

---

**Forschungszentrum Karlsruhe**  
Technik und Umwelt

---

**Wissenschaftliche Berichte**  
FZKA 6070

**Die Demontage und Beseitigung  
des Kernkraftwerkes  
Niederaichbach (KKN)  
bis zur „Grünen Wiese“  
Abschlußbericht**

**L. Valencia. E. Prechtl**  
Projektbereich Stilllegung

April 1998

---



# **Forschungszentrum Karlsruhe**

Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6070

## **Die Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN) bis zur „Grünen Wiese“**

**Abschlußbericht**

L. Valencia, E. Prechtl

Projektbereich Stilllegung

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) unter dem Förderkennzeichen WAK 1699 6 / WAK 1999 A 6 / KWA 8702 / KWA 8702 A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe  
1998

Als Manuskript gedruckt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**  
**Postfach 3640, 76021 Karlsruhe**

Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft  
Deutscher Forschungszentren (HGF)

ISSN 0947-8620

# Die Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN) bis zur "Grünen Wiese"

## Abschlußbericht

### Zusammenfassung

Die wichtigste Zielsetzung des vorliegenden Vorhabens bestand in der vollständigen Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerks Niederaichbach (KKN), vom Zustand des gesicherten Einschlusses bis hin zur Wiederherstellung des ursprünglichen Vegetationszustandes des Geländes (sog. "Grüne Wiese"). Damit wurde der prinzipielle Nachweis erbracht, daß ein betriebener Reaktor vollständig beseitigt werden kann. Darüber hinaus wurden Erfahrungen bezüglich der Abwicklung aller Phasen eines solchen komplexen Unternehmens und dessen Optimierung gesammelt.

Das Gesamtvorhaben gliederte sich zeitlich in die Phasen

- Genehmigungsverfahren,
- Demontage der inaktiven, kontaminierten und aktivierten Anlagenbereiche,
- Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen und Gebäudedekontaminationen,
- Abbruch (konventionell) der Gebäude und Geländerekultivierung.

Es umfaßte außerdem das Aufsichtsverfahren, umfangreiche Strahlenschutzaktivitäten, die Lösung der Entsorgungsfragen und die zugehörige Öffentlichkeitsarbeit.

Bei der Durchführung wurden die Kenntnisse zum allgemeinen Stand des kerntechnischen Wissens verwendet, wobei insbesondere bezüglich der fernbedienten Demontage der aktivierten Teile des Moderatortanks angepaßte technischen Lösungen angewendet worden waren.

### Stand der Arbeiten bis Ende 1995

Im zweiten Halbjahr 1995 wurde der konventionelle Abbruch der gesamten Anlage abgeschlossen. Alle Baugruben wurden mit dem granulierten Material verfüllt. Die Straßenbeläge wurden aufgenommen und der westliche (Kernkraftwerke Isar) und südliche Zaunabschnitt (Isarlauf) entfernt.

Ca. 20.000 m<sup>3</sup> des insgesamt ca. 33.000 m<sup>3</sup> recycelten Betons verblieben in den Baugruben auf dem KKN-Gelände. Neben den restlichen 13.000 m<sup>3</sup> zur Waldwegbefestigung abgegebenen Betonmassen wurden alle beim Abbruch angefallenen Materialien, darunter ca. 2.800 Mg Stahl und 3.000 Mg Straßenbelag, abtransportiert und zu 100 % dem Rohstoffkreislauf wieder zugeführt.

Vor der Durchführung der Wiesenansaat wurden ca. 5.000 m<sup>3</sup> Mutterboden angedeckt.

Am 17. August 1995 wurde zum erfolgreichen Projektabschluß ein Festakt mit feierlicher Übergabe des Geländes an die Bayernwerk AG, symbolischer Pflanzung einer deutschen Eiche und Setzung eines Gedenksteines auf der "Grünen Wiese" unter reger Beteiligung der Kommunal- und Landespolitik durchgeführt.

Mit dieser gelungenen Veranstaltung wurde unterstrichen, daß ein aktivierter Leistungsreaktor ohne Gefahr für Mensch und Umwelt rückgebaut werden kann und sich früher geäußerte Bedenken von Teilen der im Umkreis wohnenden Bevölkerung nicht bestätigt haben.

Anfang November 1995 wurde mit der Bepflanzung des Geländes der Endzustand erreicht.

# **Dismantling and Removal of the Niederaichbach Nuclear Power Plant (KKN) to the "Green Field"**

## **Final Report**

### **Abstract**

The major objective of the present project consisted in the complete dismantling and removal of the Niederaichbach nuclear power plant (KKN), ranging from the state of safe enclosure to re-establishing the original state of vegetation of the site (so-called "green field"). By reaching this objective, principle feasibility of the complete removal of a power reactor was demonstrated. In addition, considerable experience has been gained with regard to the execution of all phases of such a complex project and project optimization.

The following phases of the project can be distinguished:

- Licensing procedure
- Dismantling of the inactive, contaminated and activated plant sections
- Disassembly of the activated building structures and decontamination of the buildings
- Demolition (conventional) of the buildings and recultivation of the site.

Moreover, the project included the work performed under the direct supervision of the licensing authority, comprehensive radiation protection activities, the solution of waste management problems and the respective public relations work.

Performance of the project was based on the general state of the art of nuclear technology. In some cases, special adaptation of the technical approaches was required, e.g. for remote-controlled dismantling of the activated moderator tank components.

### **State of Work Until the End of 1995**

Conventional demolition of the entire plant was completed by the second half of 1995. All ditches were filled with the granular material. The road coverings as well as the western (Isar nuclear power plant units) and southern sections of the fence (along the river Isar) were removed.

About 20,000 m<sup>3</sup> of the total amount of 33,000 m<sup>3</sup> of recycled concrete were filled into the ditches on the KKN site. The remaining 13,000 m<sup>3</sup> of concrete were used for the fortification of forest paths. Furthermore, all demolition material, including about 2,800 Mg of steel and 3,000 Mg of road coverings, was subjected to recycling.

Prior to the sowing of grass, the premises were covered with about 5,000 m<sup>3</sup> of topsoil.

On August 17, 1995, a ceremony marking the successful completion of the project, with the presentation of the site to the Bayernwerk AG, the symbolic planting of a German oak tree and the placement of a memorial stone on the "green field", took place in the presence of a large number of representatives of local and state authorities.

It was underlined by this event that it is possible to dismantle a radioactive power reactor without any risks for man and environment and that previous concerns expressed by parts of the population living in the surroundings did not come true.

The final state was reached upon the completion of the planting activities at the beginning of November 1995.

## INHALTSVERZEICHNIS

Seite

<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEHMIGUNGSVERFAHREN ZUR VOLLSTÄNDIGEN BESEITIGUNG</b>	<b>4</b>
<b>3. ATOMRECHTLICHE AUFSICHT UND BEGUTACHTUNG</b>	<b>5</b>
<b>4. DEMONTAGEABLAUF</b>	<b>6</b>
4.1 Vorbereitende Maßnahmen und Demontagekonzept	6
4.2 Baustelleneinrichtung (Demontagephase 1)	8
4.3 Manueller Abbau inaktiver Anlagenteile (Demontagephasen 2/1)	11
4.4 Manueller Abbau kontaminierter Anlagenteile (Demontagephasen 2/2)	16
4.4.1 Demontage der Dampferzeuger	19
4.4.2 Demontage des Moderatorablaßtanks	20
4.4.3 Eingrenzung der Tritiumaktivität	21
4.5 Fernbedienter Abbau des Reaktors (Demontagephase 2/3)	25
4.5.1 Werkserprobung der Fernbedienungseinrichtungen	25
4.5.2 Grundkonzept der fernbedienten Demontage	28
4.5.3 Durchführung der fernbedienten Demontage	30
4.5.4 Zerlegung des Thermischen Schildes	37
4.5.5 Personal und Radiologie	40
4.6 Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen (Demontagephase 2/4)	44
4.7 Dekontamination und Freimessen (Demontagephase 2/5)	61
4.8 Konventioneller Abbruch der Gebäude (Demontagephase 3)	70
<b>5. ENTSORGUNG</b>	<b>74</b>
5.1 Demontierte Massen	75
5.2 Aktivitätsabgaben	78
5.3 Personal / Personendosis	81
<b>6. SICHERHEIT</b>	<b>83</b>

<b>7. ERFAHRUNGEN UND DEREN ÜBERTRAGBARKEIT</b>	<b>84</b>
<b>7.1 Erfahrungen im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren</b>	<b>84</b>
<b>7.2 Erfahrungen in der Logistik und dem Reststoffmanagement</b>	<b>85</b>
<b>7.3 Erfahrungen bei der fernbedienten Demontage</b>	<b>85</b>
<b>7.4 Erfahrungen in der Soft-Sprengtechnik</b>	<b>86</b>
<b>7.5 Erfahrungen im Strahlenschutz</b>	<b>87</b>
<b>7.6 Erfahrungen im Verfahren zur AtG-Entlassung</b>	<b>87</b>
<b>8. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>88</b>
LITERATURVERZEICHNIS	90
ABBILDUNGS- / TABELLENVERZEICHNIS	94
ANHANG 1	100

# 1. EINLEITUNG

Mit der Enthüllung eines Gedenksteines und der Pflanzung einer deutschen Eiche auf dem Gelände des ehemaligen Kernkraftwerkes Niederaichbach ging am 17. August 1995 ein bis dato einmaliges Projekt zu Ende: Ein Leistungsreaktor wich der „Grünen Wiese“.

Im Rahmen des zweiten Deutschen Atomprogrammes 1963/1967 stand die staatliche Förderung der kerntechnischen Entwicklung durch den Bau von Versuchs- und Prototypanlagen im Vordergrund, mit deren Hilfe der Anschluß an die kerntechnische Entwicklung des Auslandes sowie eine verbesserte Wirtschaftlichkeit gegenüber den bereits im Ausland erprobten Reaktoren erreicht werden sollte. Dementsprechend beauftragte das Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung (BMwF) die damalige Gesellschaft für Kernforschung mbH - Versuchsanlagen (GfK/V), den Bau des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN) zu verwirklichen.

Erste Schritte zur Projektierung reichen bis in das Jahr 1957 zurück. Damals, am 25. März, wurde die Gesellschaft für die Entwicklung der Atomkraft in Bayern mbH (AKB) mit dem Ziel gegründet, ein Projekt für ein Kernkraftwerk in Bayern zu erstellen. Anfang 1959 wurde die Siemens AG beauftragt, ein 100 MWe-Kernkraftwerk zu projektieren. In den Jahren 1966 bis 1972 wurde dann das KKN (Abb. 1) im Auftrag des heutigen Forschungszentrums Karlsruhe und der damaligen Kernkraftwerk Niederaichbach GmbH von der Siemens AG auf der Gemarkung Niederaichbach im Landkreis Landshut / Niederbayern errichtet. Das Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 100 Megawatt sollte mit seinem mit Kohlendioxyd gekühlten und mit schwerem Wasser moderierten Druckröhrenreaktor die Vorteile des Kernbrennstoffs Natururan mit denen konventioneller Dampfturbinen kombinieren (siehe auch technische Daten und Betriebskennzahlen im Anhang 1). Die erste Kritikalität wurde am 17. Dezember 1972 erreicht.

Aufgrund von technischen Schwierigkeiten mit den Dampferzeugern, die bereits in der Inbetriebnahmephase auftraten, wurde die Anlage am 31. Juli 1974 nach eineinhalbjährigem Probebetrieb und insgesamt 18,3 äquivalenten Volllasttagen bei max. 40% Nennleistung abgeschaltet [1] und das Projekt auch im Hinblick auf die damals bereits etablierte Leichtwasserreaktortechnik nicht weiter verfolgt. Die Kosten für Bau und Inbetriebnahme hatten bis dahin rund 232 Millionen DM betragen.

Die Genehmigung zum Sicherem Einschluß, der ersten Stilllegungsstufe, wurde 1975 erteilt, die Herbeiführung des Sicherem Einschlusses durch die Siemens AG dauerte bis 1981 [2]. Bis dahin wurden alle Betriebsmedien, darunter auch das schwere Wasser und die Brennelemente, entsorgt und der Kontrollbereich auf den Sicherheitsbehälter reduziert, in welchem sich nun das gesamte radioaktive Inventar von ca.  $7,4 \text{ E}+13 \text{ Bq}$  (1982) befand [3]. Nach diesen Maßnahmen betrug die Ortsdosisleistung in den begehbaren Bereichen weniger als  $0,01 \text{ mSv/h}$ . Die laufenden Kosten für den sicheren Einschluß - Prüfungen des technischen Überwachungsvereins, Strahlenschutzüberwachung, Konservierungsmaßnahmen, Reparaturen und Bewachung - betrugen jährlich etwa 0,4 Millionen DM und stiegen im Laufe der Zeit auf ca. 1 Million DM im Jahre 1987 an.

Während der Herbeiführung des Sicheren Einschlusses ergab sich die forschungspolitische Notwendigkeit eines Demonstrationsprojektes für die Totalbeseitigung eines Leistungsreaktors bis hin zur „Grünen Wiese“. Aufgrund der kurzen Laufzeit und dem vergleichsweise geringen Radioaktivitätsinventar entschloß man sich, hierfür das KKN als Demonstrationsobjekt zu verwenden.

Bereits 1979 war die Entscheidung zur vollständigen Beseitigung des KKN gefällt worden. Den Beseitigungsauftrag erhielt die Arbeitsgemeinschaft NOELL (Würzburg) / NIS (Hanau).

Für die Demontage und Beseitigung des KKN bis hin zur „Grünen Wiese“ wurde eine Genehmigung nach § 7.3 AtG beantragt, die am 6. Juni 1986 erteilt und mit der Anordnung des Sofortvollzugs am 1. Juli 1987 rechtskräftig wurde [4].

Nach Abschluß des Genehmigungsverfahrens zur vollständigen Demontage und Beseitigung ("Grüne Wiese") im Jahre 1987 wurden von 1988 bis zum Spätherbst 1992 der Abbau von inaktiven Anlagenteilen, die Demontage des kontaminierten Verfahrensbereichs sowie die fernbediente Demontage durchgeführt.

Im Anschluß an die Beendigung der fernbedienten Demontage im September 1992 und die Demontage und Zerlegung des Thermischen Schildes bis April 1993 wurde der Abbau der aktivierten Betonstrukturen durchgeführt. Diese Arbeiten - vorwiegend im Bereich des Biologischen Schildes sowie angrenzenden Gebäudestrukturen - verliefen durch die Kombination von pyrotechnischen Lockerungssprengungen und dem Abbau mit einem elektrisch betriebenen Hydraulikbagger mit Felsmeißel äußerst erfolgreich und wurden im Oktober 1993 abgeschlossen. Damit waren alle aktivierten und kontaminierten Anlagenteile und Materialien des KKN demontiert.

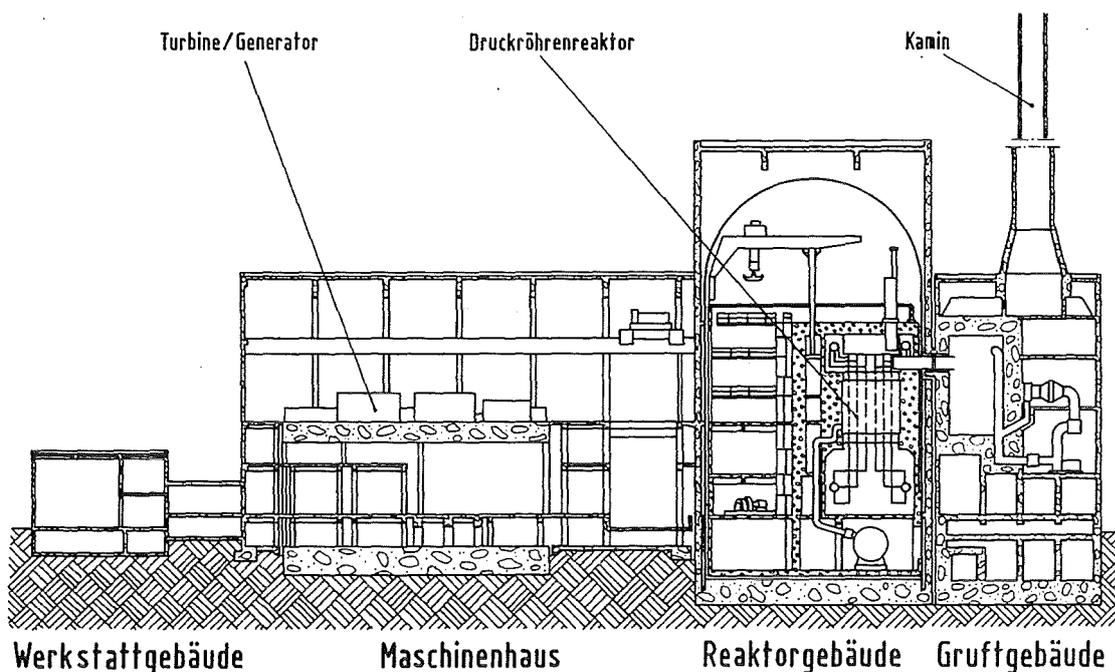


Abbildung 1: Vereinfachter Längsschnitt des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN), Westansicht, ca. 14 km nordöstlich von Landshut.

An der verbliebenen Betonhülle des Reaktorgebäudes sowie an den restlichen Gebäuden wurde durch umfangreiche Messungen bis August 1994 nachgewiesen, daß sie frei von künstlicher Aktivität sind. Die Arbeiten der sogenannten Demontagephase 2/5 „Dekontamination und Freimessen“ wurden sehr zügig durchgeführt. Diese Leistung wurde mit der europaweit ersten Entlassung eines Kernkraftwerkes dieser Größenordnung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes (AtG) manifestiert, so daß mit dem konventionellen Abbruch der Gebäude im Oktober 1994 begonnen werden konnte [5]. Im Sommer 1995 schließlich war das KKN der „Grünen Wiese“ gewichen. Mit 268,8 Mio. DM blieben die Gesamtkosten deutlich hinter den erwarteten Kosten von 280 Mio. DM zurück.

Die zwischenzeitlich etablierte Mitarbeit des Forschungszentrums in internationalen Fachausschüssen wie beispielsweise der OECD und IAEO machte das Demontageprojekt KKN weltweit bekannt. Im internationalen Vergleich lag man im Jahre 1992 mit dem japanischen Stilllegungsprojekt JPDR noch gleichauf. Drei Jahre später, im Sommer 1995, wurde das Gelände des ehemaligen KKN bereits rekultiviert, während in Japan noch der konventionelle Abbruch durchgeführt wurde [6, 7].

## 2. GENEHMIGUNGSVERFAHREN ZUR VOLLSTÄNDIGEN BESEITIGUNG

1979 beauftragte die damalige KfK GmbH die Arbeitsgemeinschaft NOELL, Würzburg / NIS, Hanau mit der Erstellung der Planungs- und Genehmigungsunterlagen, die dann Grundlage des Antrags auf Genehmigung der Endbeseitigung vom 1. September 1984 wurden, sowie mit der Durchführung der Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN). Der Genehmigungsantrag zum Abbau des KKN wurde mit Schreiben vom 31. März 1980 und 2. Juli 1984 beim Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (BStMLU) gestellt. Er beinhaltete unter anderem für die Freigabe von Anlagenteilen einen oberflächenspezifischen Grenzwert von  $0,37 \text{ Bq/cm}^2$  gemittelt über eine Fläche von  $100 \text{ cm}^2$  und einen massenspezifischen Grenzwert vom  **$10^4$ -fachen** der Freigrenzen von Anlage IV Tabelle IV 1 Spalte 4 StrlSchV je Gramm.

Da die Beseitigung des KKN den ersten totalen Abbau eines Kernkraftwerkes in der Bundesrepublik Deutschland darstellte, hatte die Genehmigungsbehörde im Zuge des Genehmigungsverfahrens nach § 7.3 des Atomgesetzes auf einer förmlichen Öffentlichkeitsbeteiligung bestanden, obwohl dies nach § 4 Abs. 2 und 5 der Atomrechtlichen Verfahrensverordnung (AtVfV) rechtlich nicht erforderlich gewesen wäre [8]. Diese ist beispielsweise bei einer Risikoerhöhung gegenüber der Betriebsgenehmigung zwingend gegeben. Bei der öffentlichen Anhörung am 6. März 1985 wurden rund 3.000 Einwendungen erörtert, die bis auf einige wenige jedoch wort- oder inhaltsgleich waren.

Anschließend wurde die Genehmigung am 6. Juni 1986 erteilt. Sie umfaßte den gesamten Abbau des KKN bis hin zur „Grünen Wiese“. Dem beantragten oberflächenspezifischen Grenzwert war entsprochen worden, der massenspezifische Grenzwert wurde bei einer Mitteilungsmasse von höchstens 10 kg auf das  **$10^5$ -fache** der Freigrenzen und damit auf ein Zehntel des beantragten Wertes festgelegt.

Die erteilte Genehmigung wurde von einem Bürger aus Niederaichbach und von der Stadt Landshut beklagt. Nach juristischer Würdigung der Klagen wurde am 30. Juni 1987 der Sofortvollzug der Genehmigung im öffentlichen Interesse angeordnet. Die Klagen hatten keine aufschiebende Wirkung und wurden vom Verwaltungsgericht Regensburg rechtskräftig abgewiesen: die Klage des Niederaichbacher Bürgers am 8. August 1988, die der Stadt Landshut im März 1989.

### 3. ATOMRECHTLICHE AUFSICHT UND BEGUTACHTUNG

Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde war das BStMLU, Gutachter der Technische Überwachungsverein Bayern/Sachsen (TÜV), für die Begutachtung der fernbedienten Gerätetechnik war die Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH (IABG) zuständig. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) wurde in radiologischer Hinsicht im Auftrag des BStMLU aufsichtlich tätig. Im Rahmen des Freigabeverfahrens kontrollierte der TÜV alle freizugebenden Anlagenteile, das LfU führte abschließend zusätzliche Messungen durch und bestätigte die Freigaben.

Einem Genehmigungsantrag nach § 7 des Atomgesetzes (AtG) sind gemäß § 3 der Atomrechtlichen Verfahrensverordnung (AtVfV) Unterlagen beizufügen, die eine hinreichende Prüfung der Genehmigungsvoraussetzung erlauben. Für die Demontage und Beseitigung des KKN setzten sich diese Unterlagen aus folgenden Dokumenten zusammen:

1. Antragsschreiben der Genehmigungsinhaber an das BStMLU,
2. KKN-Sicherheitsbericht [9],
3. KKN-Kurzbericht [10],
4. Ergänzende Unterlagen, beispielsweise Erläuterungsberichte zu radiologischen und technischen Belangen wie Lufttechnische Anlage, Zerlegewerkzeuge, Aktivitätsabgaben,
5. Demontagehandbuch in der damals vorliegenden vorläufigen Fassung [11],
6. Relevante Fachanweisungen der Bereiche Strahlenschutz und Demontage, ebenfalls in vorläufigen Fassungen.

Wichtigste Unterlage für die Demontage war das Demontagehandbuch, das mit der Erteilung der Abbaugenehmigung in Kraft trat. Als Rahmenregelwerk bildete es die Grundlage für die sichere Durchführbarkeit der Demontage- und Beseitigungsarbeiten und verwies auf weitere nachgeordnete betriebliche Regelungen, die im wesentlichen in Fachanweisungen und Durchführungsanweisungen festgeschrieben wurden. Das Demontagehandbuch orientierte sich im Aufbau an der KTA 1201 [12].

In den Fachanweisungen wurden die Vorgaben des Demontagehandbuches so umgesetzt, daß die Einhaltung sämtlicher geltender Regelungen und Auflagen sichergestellt war. Sie besaßen demnach einen engeren Geltungsbereich als das Demontagehandbuch. Das Änderungs- und Zustimmungsverfahren wurde für die Fachanweisungen durch das BStMLU folgendermaßen festgelegt: Für Fachanweisungen, die im vorläufigen Demontagehandbuch (das dem Genehmigungsantrag beigelegt war) genannt waren, war die Zustimmung des BStMLU erforderlich. Für alle anderen Fachanweisungen genügte die Zustimmung des LfU oder des TÜV.

Durchführungsanweisungen waren betriebliche Regelungen, die einen genau begrenzten Gültigkeitsbereich besaßen. Sie waren wie die Fachanweisungen in Sachbereiche untergliedert, wurden jedoch von dem jeweiligen Bereichsleiter freigegeben, wodurch eine schnelle Anpassung an geänderte Randbedingung ermöglicht wurde. Mit Hilfe der Durchführungsanweisungen wurde die Durchführung einzelner Aufgaben und Arbeiten geregelt.

Für die Beschreibung von relevanten technischen Sachverhalten und Zusammenhängen wurden sogenannte Technische Berichte erstellt.

## 4. DEMONTAGEABLAUF

### 4.1 Vorbereitende Maßnahmen und Demontagekonzept

Sämtliche Arbeiten wurden so durchgeführt, daß der Schutz der Umgebung vor Strahlenbelastungen (Umgebungsschutz) und der Schutz des Demontagepersonals (Arbeitsschutz) jederzeit gewährleistet war. Diese Schutzziele wurden für den normalen Demontagebetrieb wie auch bei Auftreten von Störungen u.a. dadurch erreicht, daß die ursprünglich für den Betrieb des KKN ausgelegte Barrierenfunktion des Sicherheitsbehälters und des ihn umgebenden Reaktorgebäudes solange erhalten blieb, bis alle radioaktiven Stoffe aus dem Sicherheitsbehälter entfernt und der Kontrollbereich aufgehoben wurde [10].

Vor Beginn der Demontage befand sich das Kernkraftwerk Niederaichbach im Zustand des Sicheren Einschlusses. Das gesamte Aktivitätsinventar war im Reaktorgebäude innerhalb des Sicherheitsbehälters eingelagert worden. Neben den eingelagerten Gebinden aus der Herleitung des Sicheren Einschlusses und den kontaminierten Anlagenteilen (D<sub>2</sub>O-Systeme, Dampferzeuger etc.) handelte es sich vor allem um die Aktivität der Reaktoreinbauten, des diese umgebenden Moderatorbehälters sowie des Thermischen und des Biologischen Schildes.

Noch 1977 wurde das Aktivitätsinventar auf ca. 1,5 E+04 Ci entsprechend 5,55 E+14 Bq abgeschätzt [2]. Die damals vorhandene Dosisleistung von ca. 1 Sv/h im Zentrum des Reaktors war fast ausschließlich auf das Nuklid Co-60 zurückzuführen. Außerhalb des Biologischen Schildes lag die Dosisleistung bei ca. 5 µSv/h.

Im Jahre 1982 wurde zur Feststellung des Aktivitätsinventars für die Erstellung des Sicherheitsberichtes eine erneute Abschätzung des gesamten Aktivitätsinventars der Anlage vorgenommen. Damals ergab sich ein Wert von 2.000 Ci entsprechend 7,4 E+13 Bq. Nahezu die gesamte Aktivität (ca. 99 %) konzentrierte sich auf den Moderatorbehälter mit seinen Einbauten. Der Nuklidvektor setzte sich im wesentlichen aus den Nukliden Fe-55 mit 80 % Anteil am Nuklidgemisch und einer Halbwertszeit ( $T_{1/2}$ ) von ca. 2,7 Jahren, Co-60 (10 %,  $T_{1/2}$  = ca. 5,3 a) und Ni-63 (10 %,  $T_{1/2}$  = ca. 100 a) zusammen.

Für die erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen war jedoch hauptsächlich die Radioaktivität des Co-60-Nuklids aufgrund seiner harten  $\gamma$ -Strahlung bedeutsam. Bis zum Beginn der Demontagearbeiten des Reaktors reduzierte sich die maximale Dosisleistung innerhalb des Reaktors weiter auf ca. 180 mSv/h (1990).

Die Demontage und Beseitigung des KKN wurde von der Arbeitsgemeinschaft NOELL/NIS durchgeführt. Die NOELL GmbH, der federführende ARGE-Partner, hatte die Aufgabe der

- Gesamtplanung der Demontage- und Beseitigungsarbeiten,
- Durchführung des Genehmigungsverfahrens und
- Entwicklung und Herstellung der fernbedienten Demontagegeräte und Manipulatoren sowie die anschließende Werkserprobung.

Die Fa. NIS Ingenieurgesellschaft mbH zeichnete für den Fachbereich Strahlenschutz und Dokumentation verantwortlich und war für die folgenden Arbeitsbereiche zuständig:

- Arbeitsplatzüberwachung,
- Reststoffmanagement,
- Meßtechnik/Labor,
- Dokumentation und Unterlagenerstellung.

Der Ablauf der gesamten Demontearbeiten gliederte sich in die drei Hauptabschnitte:

**1. Baustelleneinrichtung,**

**2. Demontage der Systeme und Einrichtungen,** mit den einzelnen Abschnitten

Abschnitt 1: Manueller Abbau inaktiver Anlagenteile

Abschnitt 2: Manueller Abbau kontaminierter Anlagenteile

Abschnitt 3: Fernbedienter Abbau des Reaktors

Abschnitt 4: Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen

Abschnitt 5: Dekontamination des Kontrollbereiches und Freimessen der Gesamtanlage,

**3. Konventioneller Abbruch der Gebäude.**

Diese drei Hauptabschnitte unterschieden sich auch genehmigungstechnisch wie folgt voneinander:

- In Phase 1 galten neben dem neuen Demontagehandbuch noch Teile des Betriebshandbuchs aus der Phase des Sicheren Einschlusses.
- In Phase 2 galt ausschließlich das neue Demontagehandbuch, während in
- Phase 3 die Anlage bereits aus den atomrechtlichen Bindungen entlassen war.

## 4.2 Baustelleneinrichtung (Demontagephase 1)

Während des Sicheren Einschlusses des KKN wurden sämtliche Einrichtungen des Sozial- und Hygienetraktes stillgelegt oder speziell für die Anforderungen des Sicheren Einschlusses demontiert bzw. umgebaut. Das gleiche betraf auch einen großen Teil der betrieblichen Infrastruktur sowie der Hilfseinrichtungen. Viele dieser Einrichtungen waren veraltet und damit nicht oder nur bedingt genehmigungsfähig. Für die KKN-Demontage mußten diese Einrichtungen saniert, erneut in Betrieb gesetzt, nachgerüstet, umgebaut oder neu installiert werden.

All diese Maßnahmen wurden in der ersten Demontagephase, der **Einrichtung der Baustelle**, die im Juli 1987 nach Anordnung des Sofortvollzugs begonnen hatte, durchgeführt.

Die installierten Einrichtungen wurden nach der durchgeführten Vorprüfung einer Inbetriebsetzungsprüfung durch den TÜV unterzogen. Der Kontrollbereich, der während des Sicheren Einschlusses nur den Sicherheitsbehälter umfaßte, wurde nun wieder auf Teile des Hilfsanlagen- und des Gruftgebäudes ausgedehnt.

Die Arbeiten der Demontagephase 1 „Baustelleneinrichtung“ waren grundsätzlich nicht baugenehmigungspflichtig. Lediglich für die Einrichtung des Hygiene- und Sozialtraktes im Hilfs- und Schaltanlagegebäude mußte beim zuständigen Landratsamt Landshut ein Bauantrag gestellt werden.

Von diesen Änderungsmaßnahmen waren vor allem die folgenden Einrichtungen betroffen:

- Lufttechnische Anlage,
- Hygiene- und Sanitärtrakt,
- Heiße und Kalte Wäscherei,
- Abwassersammelstation,
- Material- und Personenschleuse,
- Kräne und Aufzüge,
- Strahlenschutzanlagen (Strahlenschutzlabor mit diversen festinstallierten Meßplätzen, Personen-Endmonitore, Bodycounter, Fortluftmeßstation),
- Brandschutz- und Anlagensicherungseinrichtungen,
- 6 kV-Anlage,
- KKN-Verkabelung (komplette Erneuerung) sowie
- Büroräume.

Im einzelnen waren beispielsweise der Hygiene- und Sanitärtrakt komplett neu zu installieren. Das gleiche galt für die Heiße Wäscherei, für deren Betrieb zwei handelsübliche Großwäscherei-Waschmaschinen mit zugehörigen Trocknern installiert wurden.

Die für 8 Personen ausgelegte Personenschleuse wurde lediglich überholt und wieder in Betrieb genommen. Für die Demontearbeiten wurde eine neue Materialschleuse vom Maschinenhaus her an den Sicherheitsbehälter angedockt (Abb. 2). Dazu nutzte man die aus der Erziehungszeit des KKN zur Einschleusung von Großkomponenten hergestellte Montageöffnung, die anschließend wieder komplett mit einer aufgeschraubten Stahlplatte verschlossen worden war. Die auf Kote + 11,50 m installierte Materialschleuse wurde für einen Unterdruck von 500 Pa, entsprechend dem des Sicherheitsbehälters, ausgelegt. Bei einem maximalen

Schleusgewicht einschließlich Schleusenwagen von 40 t war sie für Komponenten bis zu einer Größe von 4 m x 4 m x 5,4 m ausgelegt. Das bedeutete, daß 20'-Container nur mit Sonder-schleusungen bei gleichzeitig geöffnetem Innen- und Außentor geschleust werden konnten. Während der Montage der Schleuse wurde eine gerichtete Luftströmung vom Maschinenhaus zum Sicherheitsbehälter sichergestellt.



Abbildung 2: Blick auf die neue Materialschleuse mit Schleusenwagen, Maschinenhaus Höhenkote +11,50 m.

Eine weitere wesentliche Neuinstallation war die Erneuerung der Lufttechnischen Anlage für die Belüftung des Sicherheitsbehälters und des Hilfsanlagegebäudes. Bis auf einige wenige Zu- und Abluftkanäle konnten keine Komponenten der ursprünglichen Anlage genutzt werden. Es wurden 2 Ventilatoren mit einer Leistung von insgesamt 101.000 m<sup>3</sup>/h installiert. Die Fortluftführung erfolgte über eine Schwebstofffilteranlage, die mit Filtern der Sonderklasse S, Abscheidegrad 99,99 %, bestückt war, über den Fortluftkamin ins Freie [13].

Die bei der Demontage des KKN anfallenden radioaktiven Abwässer mußten in einer ebenfalls neu zu installierenden Abwassersammelstation gesammelt werden. Das Gesamtfassungsvermögen der acht Sammel tanks betrug 57 m<sup>3</sup>. Die dort gesammelten Abwässer aus der Heißen Wäscherei, dem Strahlenschutzlabor, den Heißen Duschen sowie die Putzwässer aus dem Kontrollbereich wurden zur Aufbereitung an das benachbarte Kernkraftwerk ISAR I abgegeben.

Die Auslegungen der geschaffenen Infrastruktur zur Beseitigung des KKN beruhte auf Planungen, die denen von konventionellen Anlagen ähnelten. Durch das ca. 6 Jahre dauernde Genehmigungsverfahren mußte die Planung nach Erteilung der Genehmigung erneut dem Stand der Technik angepaßt werden. Während der Vorprüfung der Unterlagen wurde von den

Gutachtern und der Aufsichtsbehörde zusätzlich die Anlehnung an die Regeln und Richtlinien, die für den Betrieb kerntechnischer Anlagen gelten, gefordert. Das hatte wiederum nachträgliche Umbaumaßnahmen und zusätzliche Baumaßnahmen zur Folge.

Insgesamt wurde die erste Phase der KKN-Demontage, die Einrichtung der Baustelle, termingerecht ohne Störungen durchgeführt.

Die wesentliche Daten der Demontagephase 1 sind nachfolgend zusammengefaßt.

<b>Demontagephase 1: in Zahlen:</b>	<b>Einrichtung der Baustelle</b>
Dauer:	01.07.1987 - 30.06.1988
Gruppenäquivalentdosis:	222 $\mu$ Sv
Typische Jobdosis:	222 $\mu$ Sv, Montage der Lufttechnischen Anlage (einzige Tätigkeit im Kontrollbereich)
mittlere Personenzahl:	40
maximale Personenzahl:	60
Gesamtarbeitsaufwand:	480 Mannmonate, 1-Schicht-Betrieb
Demontierte Massen:	entfällt
Aktivitätsabgaben Phase 1:	< Nachweisgrenze (NWG)
Besondere Vorkommnisse:	keine

### 4.3 Manueller Abbau inaktiver Anlagenteile (Demontagephase 2/1)

Bis Mitte 1988 war die Baustelleneinrichtung im KKN abgeschlossen, so daß am 1. Juli 1988 mit dem **manuellen Abbau der inaktiven, betriebsmäßig nichtkontaminierten Anlagenteile** begonnen werden konnte.

Diese Arbeiten betrafen im wesentlichen folgende Demontagen:

- Demontage von Abschirmsteinen (aus Schwerbeton gegossene, sogenannte Setzsteine) aus dem Bereich der Moderatorablaßleitungen,
- Demontage von Abdeckhauben und Abdeckriegeln (stahlummantelte Betonteile), eingesetzt als obere Abschirmung der beiden Dampferzeugerkavernen,
- Demontage von Stellantrieben diverser verfahrenstechnischer Einrichtungen,
- Demontage von Isolierungen, unter anderem an Rohrleitungen,
- Demontage von Splitterschutzwänden,
- Demontage von Kabeln und Kabelpritschen, da die gesamte Verkabelung des Sicherheitsbehälters erneuert wurde,
- Demontage von Betonfundamenten (Hilfsantriebe der CO<sub>2</sub>-Gebläsemotoren)

Für alle in dieser Demontagephase demontierten Stoffe bis auf die oben genannten Abschirmsteine wurde mit Hilfe von radiologischen Entscheidungsmessungen die Unterschreitung der massen- oder oberflächenspezifischen Grenzwerte nachgewiesen. Damit wurde bis auf die im Mittel mit ca. 0,1 Bq/g aktivierten Setzsteine für alle demontierten Massen der Phase 2/1 die Freigabe durch die Aufsichtsbehörde erwirkt und die notwendige Voraussetzung geschaffen, das Material dem konventionellen Rohstoffkreislauf zuzuführen.

Die Demontagen wurden mit konventionellen Techniken und handelsüblichen Geräten durchgeführt [14]. Die radiologischen Messungen wurden entweder manuell mit Kontaminationsmonitoren oder mit einer Freimeßanlage durchgeführt, die auf dem Gelände des KKN in Betrieb genommen wurde (Abb. 3).

Dünnwandige Rohrleitungen trennte man entweder mit Stichsägen oder mit hydraulischen Scheren ab. Für die Demontage von Behältern oder auch Rohrleitungen mit größeren Wandstärken wurden umlaufende Kreissägen oder Fräsen benutzt. Schraubverbindungen wurden mit Schlagschraubern gelöst. Ließen sich korrodierte Schrauben nicht lösen, wurden diese mit handelsüblichen Bohrmaschinen ausgebohrt. Als weitere Werkzeuge kamen Brennschneidgeräte und Kleinwerkzeuge zum Einsatz.

Die Demontage der Rohrleitungsisolierungen aus Mineralwolle erfolgte mit einer speziellen Absaugeinheit, die die Mineralwolle nach Entfernung der Rohrleitungsisolierbleche auch aus schwer zugänglichen Bereichen absaugte und in leicht handhabbare Schlauchstücke von ca. 10 kg Gewicht und einem Meter Länge preßte (Abb. 4).

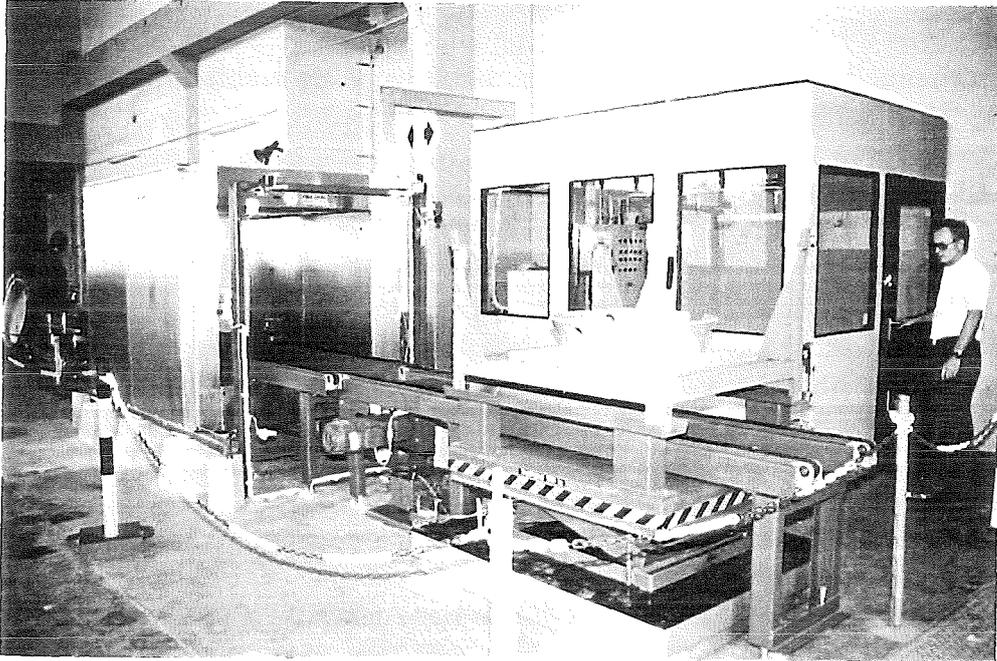


Abbildung 3: Entscheidungsmeßanlage (Freimeßanlage FMA) im Werkstattgebäude.

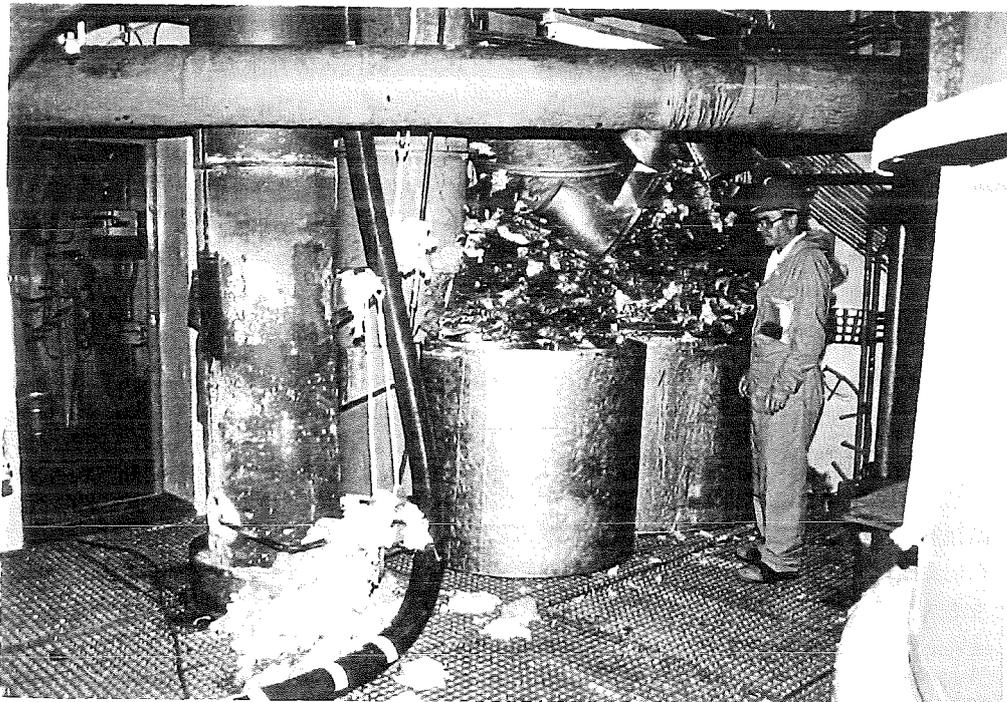


Abbildung 4: Demontage und Absaugung der Rohrleitungsisolierungen.

Alle Materialien, die aus dem Kontrollbereich ausgeschleust wurden, mußten zuvor auf etwaige Kontaminationen untersucht werden. Vor einer Freigabe war der Nachweis der Unterschreitung der in der KKN-Abbaugenehmigung genannten Grenzwerte zu führen.

Diese Nachweisführung wäre bei Komponenten mit einfacher Geometrie bei großen Massenströmen durch manuelle Entscheidungsmessungen mit Kontaminationsmonitoren (Direktmessung) nur mit großem Personal- und Zeitaufwand durchführbar gewesen. Bei Anlagenteilen mit komplexen Geometrien wären diese Messungen nur noch bedingt möglich oder mit einem noch höheren Personalaufwand verbunden. Deshalb entwickelte die ARGE im Rahmen eines europäischen Gemeinschaftsprojektes eine Freimeßanlage. Diese spezielle, mit großvolumigen gammaempfindlichen Detektoren bestückte Meßeinrichtung ermöglichte den Nachweis sehr geringer Aktivitäten auch in größeren Gebindearten, wie beispielsweise 200 l Rollreifensäcker oder „Europaletten“.

Insgesamt ca. 130 Mg wurden in dieser Demontagephase 2/1 mit der Freimeßanlage freigegeben. Dabei handelte es sich hauptsächlich um Isolierbleche, Kabel, Isolierwolle und diverse Stellantriebe für Ventile und Schieber. Ein Großteil des genannten Meßgutes hätte ohne den Einsatz der Freimeßanlage als radioaktive Reststoffe entsorgt werden müssen, da diese Komponenten manuell nicht freimeßbar waren.

Neben den Demontearbeiten erfolgten in dieser Phase Erprobungen und TÜV-Abnahmen verschiedener neu installierter oder modifizierter Einrichtungen und Geräte, unter anderem:

- Belastungsprobe und Abnahme des Reaktorrundlauf- und Maschinenhauskrans,
- Qualifizierung der Abwasserübergabe an das Kernkraftwerk KKI-1,
- TÜV-Abnahme der Gasversorgung.

Ferner wurde in einem Kaltversuch mit inaktivem Stahl die qualitätsgesicherte Verpackung für die EIRAM - Schmelzanlage getestet und die Ergebnisse für die Erstellung der zugehörigen Fachanweisung herangezogen. Diese **Einschmelzanlage für radioaktive Metalle** war im Auftrag des Kernforschungszentrums von der ARGE auf dem Gelände des KfK errichtet worden [15,16]. Das Einschmelzen von kontaminierten oder leicht aktiviertem Stahl mit einer spezifischen Aktivität < 200 Bq/g hatte vor allem folgende Vorteile:

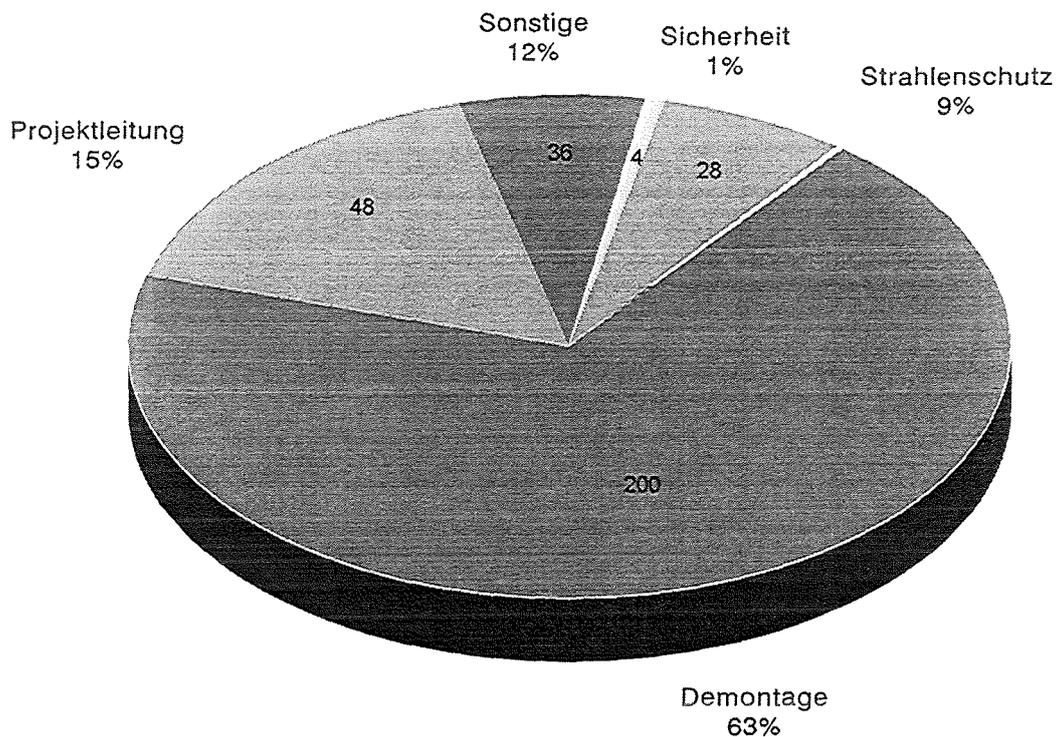
1. Reduzierung des Endlagervolumens
2. Teildekontamination des Schmelzgutes durch den Übergang einiger Radionuklide in die Schlacke oder Abscheidung im Abluftfilter (z.B. Cs-Isotope)
3. Exakte Bestimmbarkeit des Aktivitätsinventars durch Materialhomogenisierung
4. Sicherer Einschluß der Radionuklide im Grundmaterial
5. Eingeschränkte Wiederverwertung oder Freigabe des Materials.

Anmerkung: Ende 1989 wurde das KKN-Schmelzmaterial in der Gießerei der Fa. Siempelkamp in Krefeld eingeschmolzen, da die Gießlinge für das KASCADE-Experiment des KfK [17] umgegossen werden mußten, die EIRAM-Anlage jedoch nicht über die technischen Voraussetzungen verfügte. Die EIRAM-Anlage wurde nach dem Einschmelzen von ca. 250 Mg Metallen aus dem KKN-Abbau im Herbst 1989 stillgelegt.

Insgesamt verlief die Demontagephase 2/1 ohne Störungen. Durch Erhöhung des Personaleinsatzes konnte die Phasendauer um ca. 4 Wochen verkürzt werden und endete bereits am 7. November 1988.

Wesentliche Maßnahmen, gewonnen Erkenntnisse und Erfahrungen dieser Demontagephase waren vor allem der Aufbau der Logistik in der Zusammenarbeit mit Behörden, Gutachtern, Entsorgungsfirmen, ferner der erfolgreiche Einsatz der Freimeßanlage.

In Abbildung 5 ist die Personalzusammensetzung der Phase 2/1 dargestellt. Weitere Daten zur Demontagephase 2/1 sind in dem Kasten der folgenden Seite zusammengefaßt.



[Angaben in Mann-Monaten]

Abbildung 5: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/1 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).

<b>Demontagephase 2/1: in Zahlen:</b>	<b>Manueller Abbau inaktiver Anlagenteile</b>
Dauer:	01.07.1988 - 07.11.1988
Gruppenäquivalentdosis:	1.253 $\mu$ Sv
Typische Jobdosis:	806 $\mu$ Sv (Arbeitsbereich Demontage und Verpackung)
mittlere Personenzahl:	35 (ständig vor Ort, Kontrollbereich (KB))
maximale Personenzahl:	45 (ständig vor Ort, KB)
Gesamtarbeitsaufwand:	316 Mannmonate (161 Mannmonate KB), 1-Schicht-Betrieb
Demontageleistung im KB:	5,14 Mg/Mannmonat
Demontierte Massen:	827,3 Mg, davon 711 kg radioakt. Reststoffe (ca. 0,086 %)
Aktivitätsabgaben Phase 2/1:	
• Fortluft H3:	7,26 E+08 Bq (max. 51 % vom Monatsgrenzwert ) bei einem Gesamtvolumenstrom von 5,69 E+07 m <sup>3</sup>
• Fortluft Aerosole:	<NWG
• Abwasser H3, Sonstige:	<NWG
Besondere Vorkommnisse:	keine

#### 4.4 Manueller Abbau kontaminierter Anlagenteile (Demontagephase 2/2)

Der **manuelle Abbau der kontaminierten Anlagenteile** begann am 8. November 1988. Dabei handelte es sich hauptsächlich um Demontagen der Systeme mit aktivitätsführenden Medien. Wesentliche Arbeiten waren die Demontage der beiden Dampferzeuger, des Moderatorablaßtanks mit den insgesamt neun Abblaßleitungen sowie der dichten Verrohrung ober- (Verteilerraum) und unterhalb (Sammelraum) des Reaktors zur Zu- und Ableitung des Kühlmediums CO<sub>2</sub> (Abb. 6) [18].

Weitere Demontagen betrafen folgende Komponenten:

- Brennelementwechsellmaschine,
- CO<sub>2</sub>-Systeme:
  - Hauptkühlmittelleitungen,
  - CO<sub>2</sub>-Gebläse,
  - Gastrockner,
  - CO<sub>2</sub>-Sicherheitsleitung sowie
  - weitere Hilfssysteme,
- unteres Neutronenschildkühlsystem,
- Brennelementschleuse zum Gruftgebäude,
- Sammlerraumeinbauten,
- Großer Drehschild (Abb. 7).

Ferner wurden die Druck- und Isolierrohrenbauten ausgelagert. Des Weiteren wurden diverse Altlasten abtransportiert, die bei der Herbeiführung des Sicheren Einschlusses demontiert und im Sicherheitsbehälter auf den Ebenen + 1,50 m und - 4,70 m zwischengelagert wurden. Teilweise handelte es sich um Material, das im Moderatorablaßtank während der Herbeiführung des Sicheren Einschlusses eingelagert worden war.

Die höchste Ortsdosisleistung von ca. 5 µSv/h wurde im Bereich der beiden Dampferzeuger gemessen. Aufgrund der daraus resultierenden niedrigen radiologischen Belastung des Personals konnten die Demontagarbeiten manuell mit handelsüblichen Werkzeugen durchgeführt werden. Bei diesen Werkzeugen und Trennverfahren handelte es sich im wesentlichen um:

- Hydraulisches Scheren,
- Trennschleifen,
- Sägen,
- Schneidbrennen und
- Betonschneiden mittels Diamantseilsäge.

Zur Verhinderung der Ausbreitung von luftgetragener Kontamination wurden die Arbeitsbereiche eingezeltet und über mobile Filteranlagen an das Abluftsystem des KKN angeschlossen.

Neben der Zerkleinerung, Verpackung und dem Abtransport der in dieser Phase demontierten Anlagenteile und Komponenten wurden mit Hilfe der Freimeßanlage auch noch Anlagenteile freigemessen, die in der vorangegangenen Demontagephase demontiert und zur Freimessung bereitgestellt worden waren.

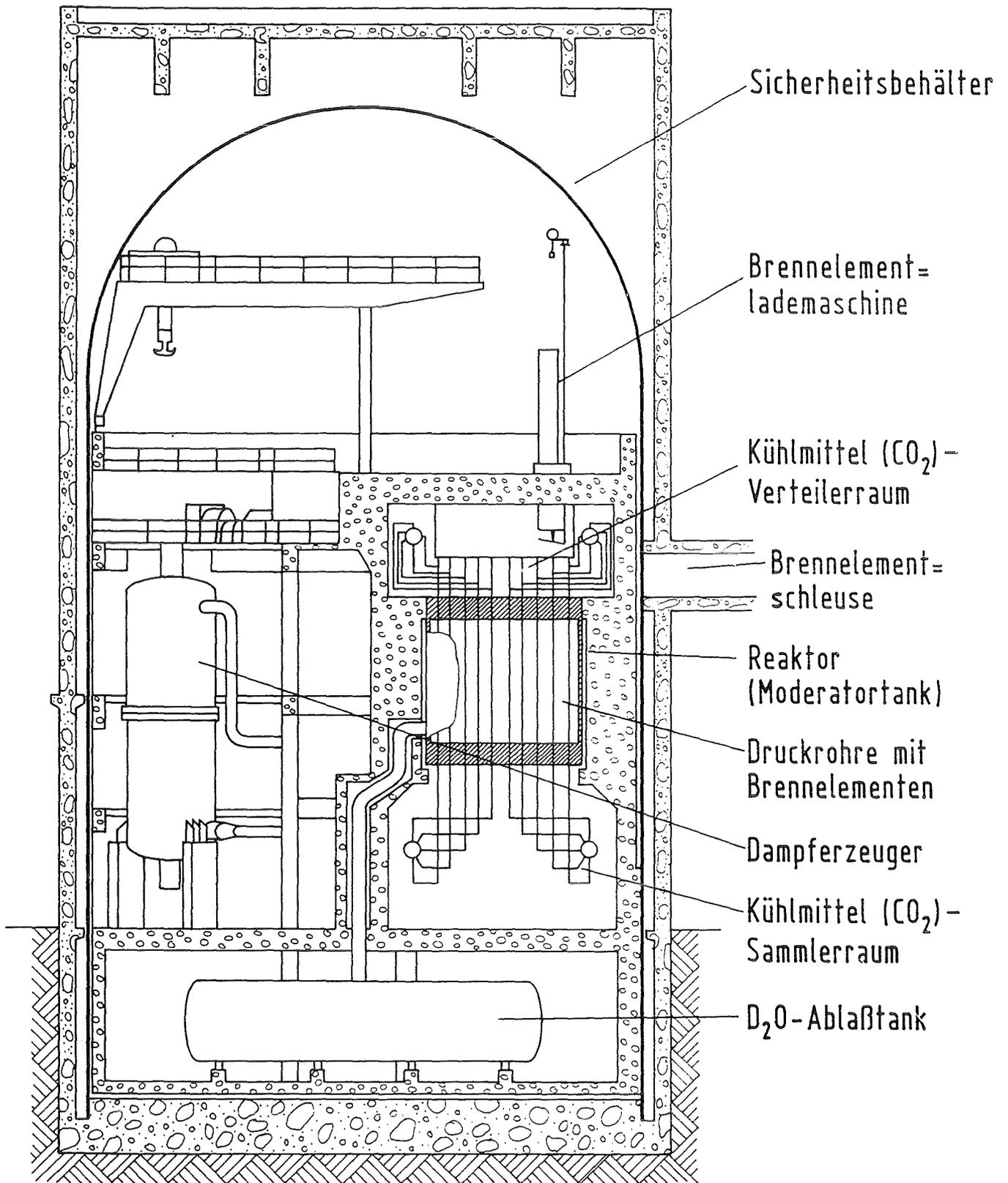


Abbildung 6: Längsschnitt durch das Reaktor Gebäude vor dem manuellen Abbau der kontaminierten Anlagenteile Phase 2/2 (vereinfachte Darstellung).

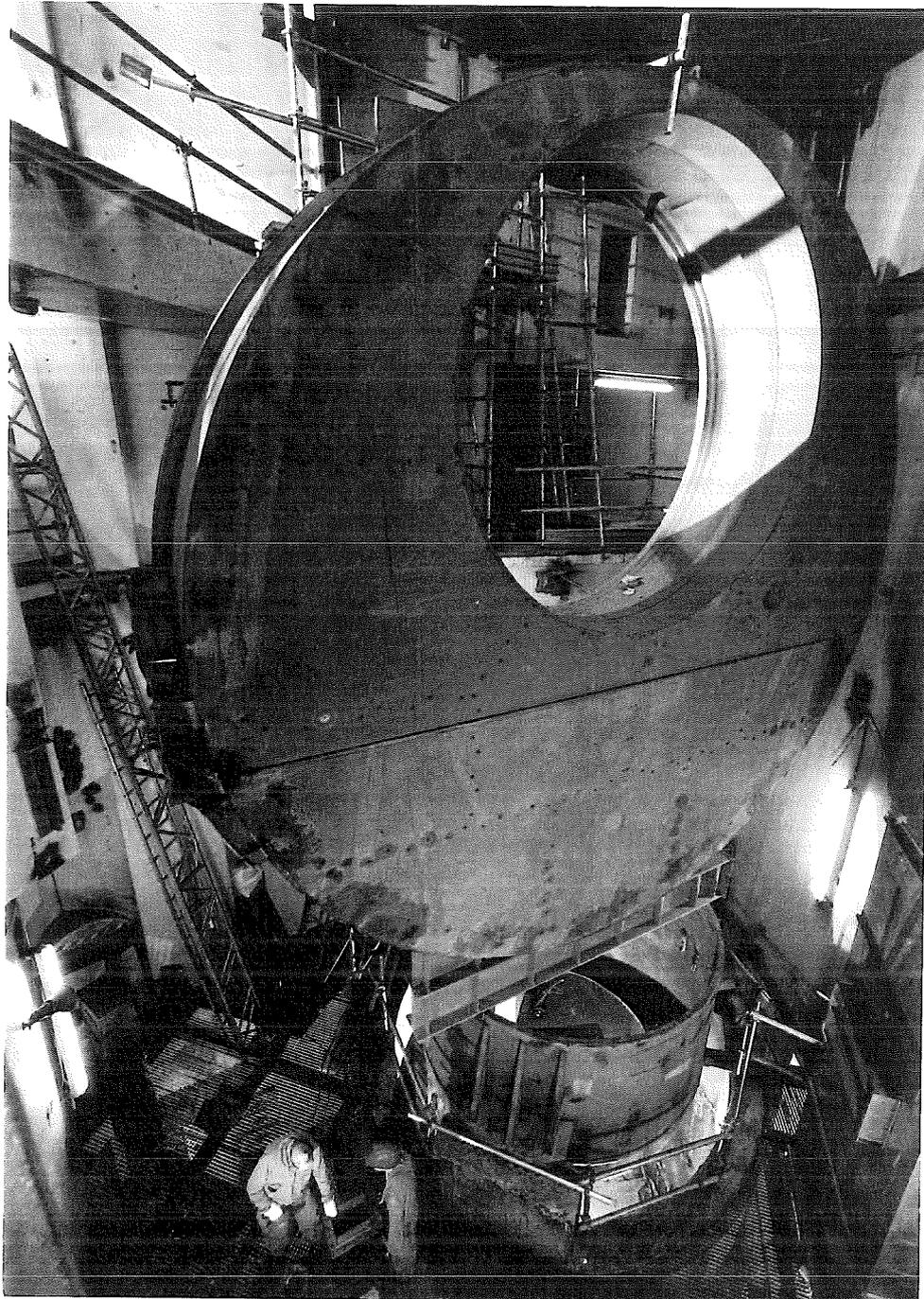


Abbildung 7: Blick auf den Großen Drehschild, der ausgehoben und senkrecht auf den Stumpf des zu diesem Zeitpunkt bereits demontierten 270°-Dampferzeugers aufgelagert wurde. In der Öffnung befand sich der Kleine Drehschild, in dem ursprünglich die Brennelementwechsellmaschine drehbar gelagert war.

Außer den genannten Arbeiten wurden auch Vorbereitungen für die nachfolgenden Demontagephasen 2/3 „Fernbedienter Abbau des Reaktors“ und Phase 2/4 „Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen“ getroffen. Im wesentlichen waren dies Probenahmen zur Bestimmung der Aktivierungstiefe im Biologischen Schild und in angrenzenden Gebäudestrukturen [19, 20, 21], aber auch diverse technische Vorbereitungsarbeiten für den Einbau der Komponenten der fernbedienten Demontage.

Als wesentliche Arbeiten dieser Phase 2/2 sind die Demontagen der beiden Dampferzeuger und des Moderatorablaßtanks und die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen im Hinblick auf die eingesetzten Trennverfahren zu nennen (Abb. 10). Die Eingrenzung der Tritiumaktivität in der Raumluft, bedingt durch das unerwartete Vorhandensein von Moderatorrestflüssigkeiten, war die wichtigste radiologische Erfahrung dieser Demontagephase.

#### **4.4.1 Demontage der Dampferzeuger**

In Vorbereitung der Demontage und zur Ermittlung des günstigsten Demontageverfahrens wurde in einem Versuch das Trennen der Dampferzeugerrohre mit Hydraulikscheren und mit Trennschleifern gegenübergestellt. Das Trennen mit Hydraulikscheren erwies sich zur Demontage der Messing-Wärmetauscherrohre als völlig ungeeignet, da der Abstand der Wärmetauscherrohre für den Ansatz der Schere zu klein war.

Das Trennschleifen der Wärmetauscherrohre dagegen bot die in Vorversuchen bestätigten folgenden Vorteile:

- technologisch gut durchführbar,
- Verringerung der Gruppenäquivalentdosis im Vergleich zum Hydraulikschereneinsatz aufgrund der
- kürzeren Demontagezeit.

Bei der anschließenden Demontage der Wärmetauscherrohre zeigte sich jedoch, daß sich beim Trennschleifen der verspannten Rohrleitungen die Schleifscheiben verklemmten, wodurch die Demontage stark erschwert wurde. Das Demontageverfahren wurde daher nach ca. 10 % demontierter Verrohrung von Trennschleifen auf Schneidbrennen (Autogenbrenner) umgestellt.

Trotz der verfahrensbedingten Nachteile (hoher Austrag von Fugenmaterial, Aerosolentwicklung, erschwerte Arbeitsbedingungen durch Hitzeentwicklung), die bei der Auswahl für den Vorversuch zum Ausschluß des Verfahrens führten, erwies sich das Schneidbrennen im Endeffekt als das effektivste Trennverfahren für diesen Anwendungsfall.

Die Demontage des Dampferzeugers erfolgte von oben nach unten. Der Abtransport der Teile erfolgte durch das zentrale CO<sub>2</sub>-Rohr, das als „Rohrpost“ benutzt wurde. Die demontierten Teile wurden in das CO<sub>2</sub>-Rohr geworfen und gelangten so in die am unteren Rohrende eingerichtete Verpackungsstation. Das zentrale CO<sub>2</sub>-Rohr wurde mit fortschreitender Demontage der Rohrbündel auf bequeme Arbeitshöhe gekürzt (Abb. 8).

Die relativ hohe Freisetzung luftgetragener Aktivität mit dem Fugenmaterial im Arbeitsbereich wurde durch den Einsatz von Zelten, lokalen Absauganlagen sowie Personalschutzmaßnahmen wie Atemschutzmasken und entsprechende Schutzkleidung vor Ort, sicher beherrscht.

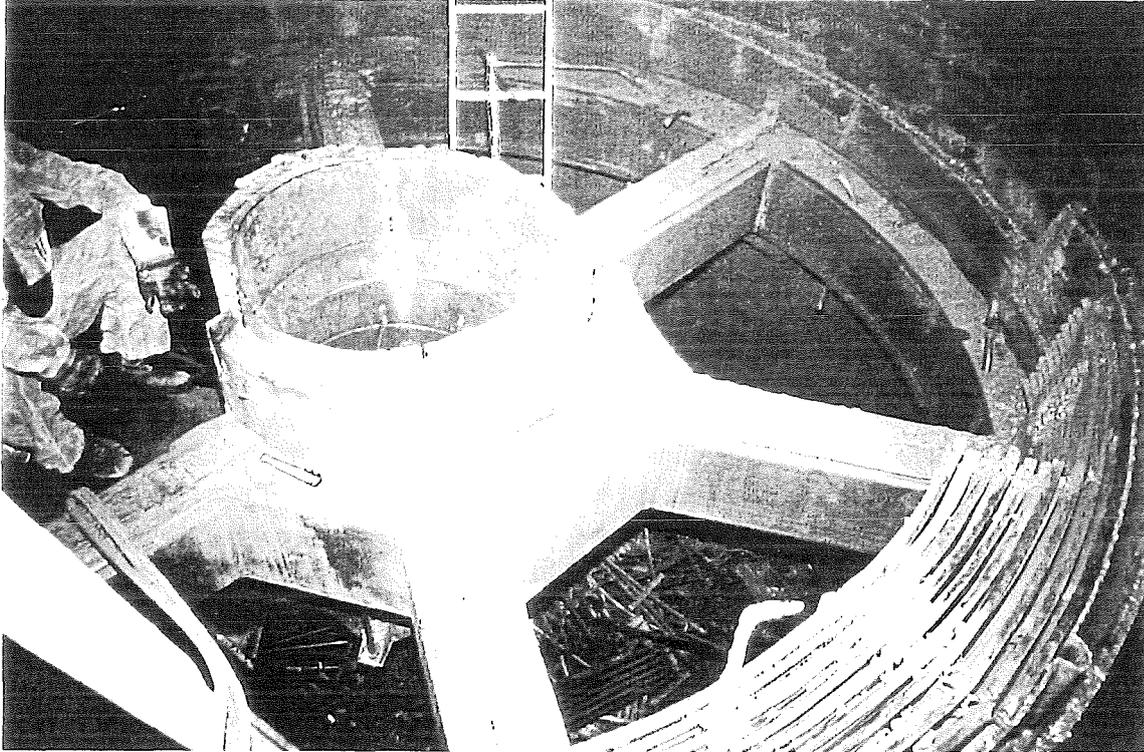


Abbildung 8: Demontage des unteren Tragrostes des 270°-Dampferzeugers.  
Rechts unten: Reste der Rohrbündel; Bildmitte: CO<sub>2</sub>-Zentralrohr.

#### **4.4.2 Demontage des Moderatorablaßtanks**

Die ursprünglich vorgesehene Dekontamination des Moderatorablaßtanks - und damit verbunden seine spätere konventionelle Beseitigung - konnte aufgrund der festgestellten Tritiumkontamination nicht durchgeführt werden. Die spezifische Tritiumaktivität verschiedener Materialproben des Moderatorablaßtanks betrug bis zu 1000 Bq/g. Die Tritiumaktivität war in die innenseitige Oberflächenstruktur des Moderatorablaßtanks eingedrungen, eine Dekontamination vor Ort war nicht möglich, weil

- hierfür im KKN keine geeigneten Einrichtungen vorhanden waren und
- bei der Dekontamination eine erhebliche Freisetzung von Tritium in die Raumluft zu erwarten gewesen wäre, was zu einer Überschreitung des sehr niedrigen Grenzwertes (5,5 E+09 Bq/Jahr bzw. 1/10 dieses Wertes pro Monat) für die Abgabe von Tritium mit der Fortluft hätte führen können.

Der Moderatorablaßtank mußte daher zerlegt und entsorgt werden. Für dessen Zerlegung wurden im Vorfeld Probeschnitte mit einem Plasmaschneidgerät durchgeführt. Ziel dieser Probeschnitte war die Bestimmung des Verhältnisses der Schnittleistung zur Aktivitätskon-

zentration (Tritium) in der Fortluft. In einem Versuchsprogramm wurden dazu mehrere Schnitte durchgeführt.

Ferner wurde der Nachweis erbracht, daß der Moderatorablaßtank sowohl aus radiologischer als auch aus Sicht des konventionellen Arbeitsschutzes mit dem Plasmaschneidverfahren zerlegt werden kann, wenn entsprechende Schutzmaßnahmen getroffen werden. In Vorbereitung der eigentlichen Demontage wurden folgende Maßnahmen ergriffen, um die Abgabe von Tritium mit der Fortluft so gering wie möglich zu halten:

- Arbeitsplatzabsaugung,
- mobile Filter- und Lufttrocknungsanlagen,
- lufttechnische Abtrennung des Moderatorablaßtanks.

Die anfallenden Trennteile des Moderatorablaßtanks wurden direkt nach deren Demontage auf der +22,30 m-Ebene mit einer Presse/Schere nachzerkleinert und die entstehenden Reststoffe dort verpackt.

#### **4.4.3 Eingrenzung der Tritiumaktivität**

Im Zuge der Demontearbeiten wurde am 8. November 1988 erstmalig ein an den D<sub>2</sub>O-Kreislauf angeschlossenes System geöffnet. Ab diesem Zeitpunkt erfolgte eine kontinuierliche Tritium-Probenahme durch Ausscheiden der Luftfeuchte in einem Bypass zum Fortluftkanal über einen Eintauchkühler mit täglicher Bilanzierung, um eine mögliche Erhöhung der Tritiumabgabe sofort zu detektieren.

Am 14. November 1988 wurde aufgrund erhöhter Tritium-Konzentrationen in der Raumluft (max. 10<sup>4</sup> Bq/m<sup>3</sup>) bzw. Fortluft (586 Bq/m<sup>3</sup>) vorsorglich der Betrieb der Lufttechnischen Anlage (LTA) eingestellt, um zu verhindern, daß der niedrige Monatsgrenzwert für die Tritiumabgabe mit der Fortluft überschritten wird. Damit mußten auch die Demontearbeiten im Sicherheitsbehälter eingestellt werden. Ursache für die Tritiumfreisetzung waren tritiumhaltige, während der Herbeiführung des Sicheren Einschlusses nicht vollständig entfernte Restflüssigkeiten in Komponenten aus ehemals D<sub>2</sub>O-führenden Systemen.

Zu einer weiteren Tritiumfreisetzung kam es am 28. August 1989 beim Zerlegen der vertikalen Kompensatoren der Moderatorablaßleitungen mit einem Plasmaschneidgerät. Ursache hierfür waren ca. 30 Liter Moderatorrestflüssigkeiten in den Kompensatoren. Messungen ergaben eine Tritiumaktivität von 6,5 E+12 Bq/m<sup>3</sup> der aufgefangenen Moderatorreste. Die Tritiumkonzentration in der Raumluft stieg auf Werte bis ca. 2.500 Bq/m<sup>3</sup>. Um eine Grenzwertüberschreitung bei der Tritiumabgabe mit der Fortluft zu verhindern, wurden die LTA erneut abgeschaltet und die Demontearbeiten unterbrochen. Bei abgestellter LTA stieg die Raumluftaktivität bis max. 4800 Bq/m<sup>3</sup> an. Da der Monatsgrenzwert für die Tritiumabgabe mit der Fortluft von 5,5 E+08 Bq/Monat im Monat August bereits zu ca. 90 % ausgeschöpft war, konnte die LTA in diesem Monat nicht wieder in Betrieb genommen werden, so daß die Demontearbeiten ruhen mußten.

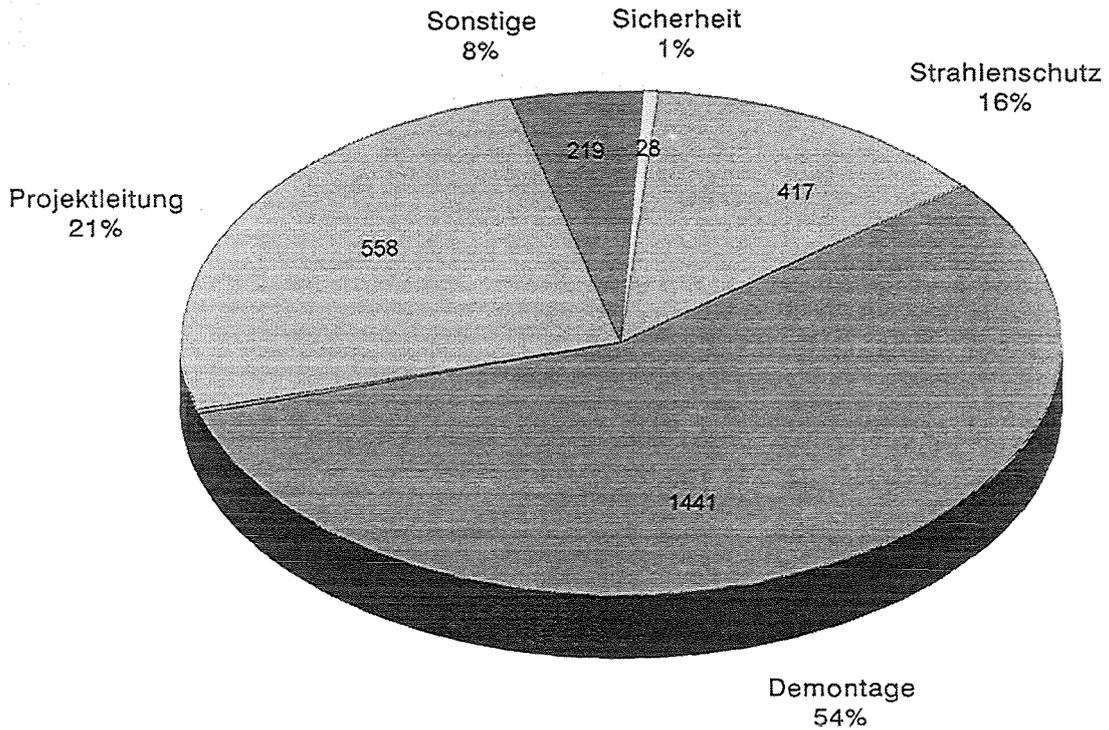
In beiden Fällen wurde unverzüglich die Genehmigungsbehörde (BStMLU) unterrichtet und die weitere Vorgehensweise zusammen mit dem Gutachter und der Aufsichtsbehörde wie folgt abgestimmt:

- kontinuierliche Probenahme der Luftfeuchte der Fortluft und Bilanzierung der Tritiumabgabe in kurzen Zeitabständen,
- erweiterte Strahlenschutz-Arbeitsplatzüberwachung und Probenahmen an Systemen,
- Direktabgabe der Gebinde aus dem gesicherten Einschluß an KfK/HDB (ohne qualitätsgesicherte Verpackung im KKN),
- Untersuchung und Restentleerung von Anlagenteilen (Kompensatoren), gegebenenfalls Trocknen von Systemen (Moderatortank),
- Durchführung von Untersuchungen und Demontage möglicherweise tritiumhaltiger Komponenten bei abgestellter LTA (z.B. Moderatorablaßrohrleitungen),
- Reduzierung der Tritiumaktivität in der Raumlufte durch Reduzierung des Luftaustausches von D<sub>2</sub>O-Systemen mit der Raumlufte (Abkleben von Schnittstellen mit Aluminiumfolie und Adhäsionsband),
- Reduzierung der Tritiumaktivität in der Raumlufte durch Entfeuchtung (für den Einsatz wurden Sorptionsentfeuchter ausgewählt, weil bei relativ geringem Energieaufwand eine hohe Entfeuchtungsleistung erreicht wird und die Geräte relativ wartungsarm arbeiten),
- Reduzierung der Tritiumabgabe durch Reduzierung der Fortluftmenge aufgrund der Umstellung auf Einschichtbetrieb,
- technische und administrative Maßnahmen für den fernbedienten Abbau zur Vermeidung einer Überschreitung des Tritiumfortluftgrenzwertes (siehe Kap. 4.5).

Die Tritiumproblematik war ein spezifisches KKN-Problem, begründet in dem aus dem Sicheren Einschluß übernommenen Grenzwert von (nur) 5,5 E+09 Bq Tritium je Kalenderjahr. Während des Sicheren Einschlusses wurde nur ein kleiner Luftvolumenstrom von 50 m<sup>3</sup>/h zum Trocknen der Molekularsiebtrockner abgegeben, dagegen betrug der Fortluftvolumenstrom bei den Demontearbeiten 57.700 m<sup>3</sup>/h. Dadurch verringerte sich die spezifische Grenzwertkonzentration für Tritium um den Faktor 10<sup>3</sup>. Aufgrund des (vertraglich zugesicherten) Anlagenzustandes entschieden sich die Genehmigungsinhaber den bestehenden Grenzwert beizubehalten, um dadurch genehmigungstechnische Vereinfachungen zu erreichen.

(Zum Vergleich: Gemäß § 46 (3) StrlSchV (1976) durften im Jahresmittel maximal 370 Bq/m<sup>3</sup> abgegeben werden, was im Falle des KKN bei einer Fortluftmenge von 1,2 E+07 m<sup>3</sup> im Monat, eine monatliche Abgabe von 4,4 E+09 Bq erlaubte [22]. Entsprechend der neuen StrlSchV (1989) sind dies 3.000 Bq/m<sup>3</sup> im Jahresmittel bzw. 3,6 E+10 Bq/Monat.).

Die mittlere Personenzahl bewegte sich bei 40 Personen, wobei sich der Personalstand in der ersten Hälfte der Demontagephase im Mittel bei ca. 50 Personen, in der zweiten Hälfte bei ca. 30 Personen bewegte. Dieser Sachverhalt ist hauptsächlich dadurch begründet, daß einerseits ab August 1989 der größte Teil der kontaminierten Systeme demontiert war und andererseits langwierige Arbeiten wie die Dampferzeugerzerlegung in Verbindung mit den engen räumlichen Verhältnissen eine höhere Personaldichte nicht zuließen. Die gesamte Personalzusammensetzung ist in Abbildung 9 dargestellt.



[Angaben in Mann-Monaten]

Abbildung 9: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/2 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).

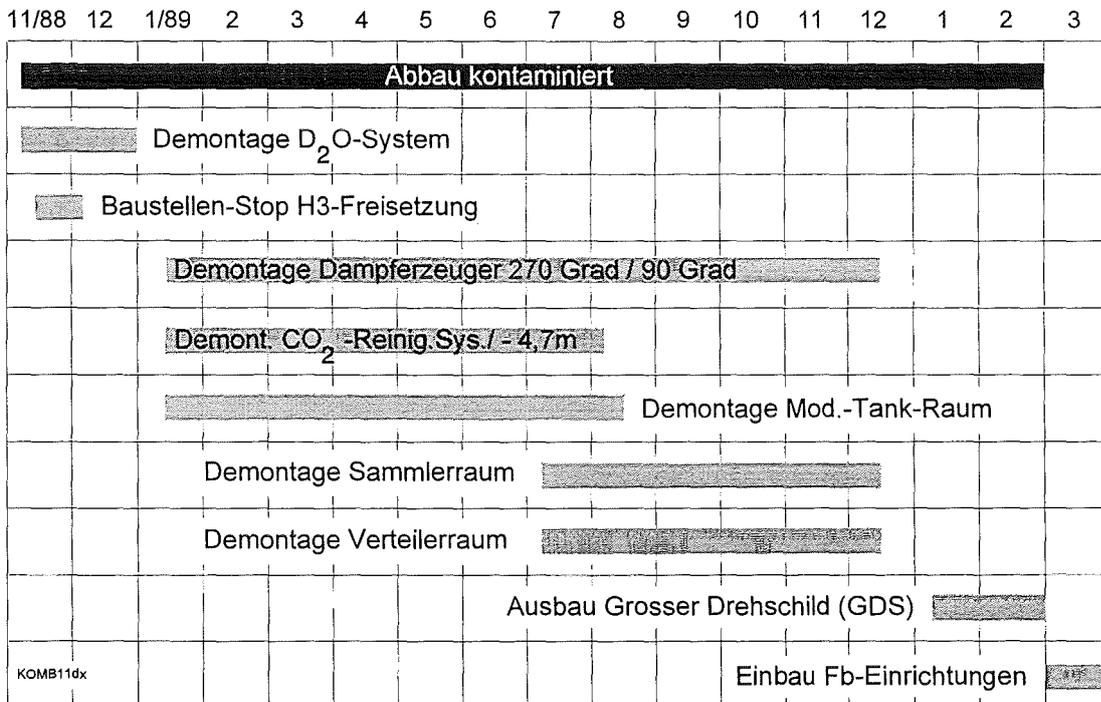


Abbildung 10: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/2.

Radiologisch ist in dieser Demontagephase neben dem geschilderten sogenannten „Tritiumereignis“ lediglich hervorzuheben, daß der größte Teil der externen Personendosis (ca. 56 %) erwartungsgemäß bei den Arbeiten im Verteilerraum sowie der Demontage der beiden Dampferzeuger und des Moderatorablaßtanks akkumuliert wurden.

Alle wesentlichen Daten dieser Demontagephase sind nachfolgend zusammengefaßt.

<b>Demontagephase 2/2: in Zahlen:</b>	<b>Manueller Abbau kontaminierter Anlagenteile</b>
Dauer:	08.11.1988 - 28.02.1990
Gruppenäquivalentdosis:	41.240 µSv
Typische Jobdosis:	6.642 µSv (Demontage im Verteilerraum)
mittlere Personenzahl:	40 (ständig vor Ort, Kontrollbereich (KB))
maximale Personenzahl:	61 (ständig vor Ort, KB)
Gesamtarbeitsaufwand:	2.663 Mannmonate (1.050 Mannmonate KB), 1-Schicht-Betrieb
Demontageleistung im KB:	1,27 Mg/Mannmonat
Demontierte Massen:	1.336,8 Mg, davon 60,7 Mg radioaktive Reststoffe (ca. 4,5%)
Aktivitätsabgaben Phase 2/2:	
• Fortluft H3:	4,31 E+09 Bq (max. 90 % vom Monatsgrenzwert ) bei einem Gesamtvolumenstrom von 1,58 E+11 m <sup>3</sup>
• Fortluft Aerosole:	4,9 E+04 Bq
• Abwasser H3:	3,5 E+09 Bq
• Abwasser Sondernuklide:	1,1 E+07 Bq (Fe-55, Ni-59, Ni-63)
• Abwasser Sonstige Nuklide:	7,4 E+06 Bq
Besondere Vorkommnisse:	Terminverzug von ca. 6 Monaten aufgrund der unerwarteten Freisetzung von H3 durch das Vorhandensein nicht erwarteter D <sub>2</sub> O-Restflüssigkeiten.

## 4.5 FERNBEDIENTER ABBAU DES REAKTORS (DEMONTAGEPHASE 2/3)

### 4.5.1 Werkserprobung der Fernbedienungseinrichtungen

Parallel zur laufenden Demontagephase 2/2 wurden umfangreiche Demontageeinrichtungen entwickelt, gefertigt und im Herstellerwerk in einem sog. „mock up“ im Originalmaßstab er-

folgreich erprobt. Kern dieser insgesamt ca. 750 t schweren Einrichtungen zur fernbedienten Demontage der aktivierten Teile des Reaktors war ein sogenannter Drehmanipulator mit insgesamt 63 Werkzeugkombinationen (Abb. 11). Diese Vielzahl an Adaptionen war notwendig, um jeden Demontageschritt des kompliziert aufgebauten Druckröhrenreaktors technisch und radiologisch sicher und sowie wirtschaftlich durchführen zu können.

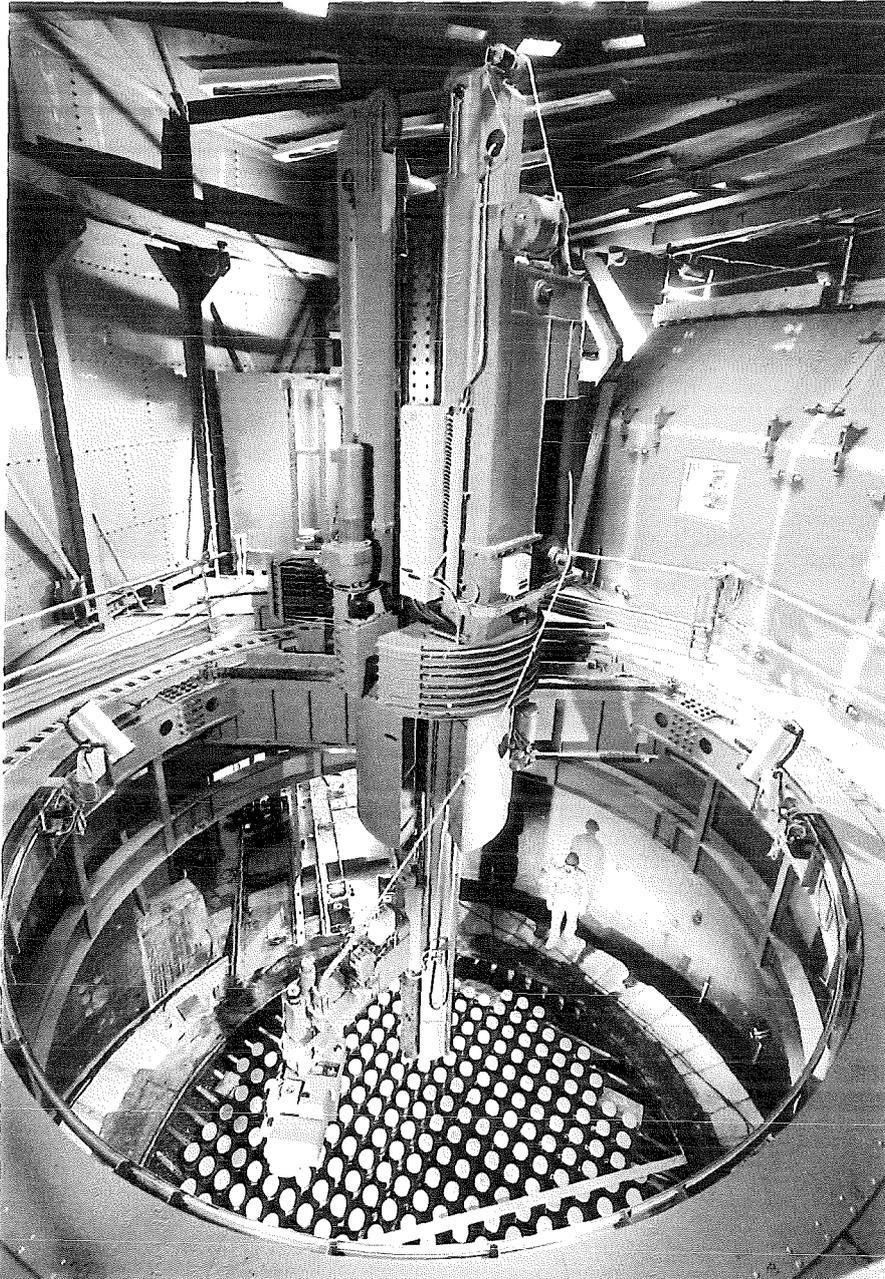


Abbildung 11: Der obere Reaktorbereich mit Zerlegehaus, Steuerhaus und Drehmanipulator (DMP) vor Beginn der fernbedienten Demontage.

Nach der Vorprüfung und Werksabnahme durch den Gutachter und der Freigabe durch die Behörden erfolgte die Installation im Sicherheitsbehälter des KKN (Abb. 12, 13) [23, 24].

Das Gesamtsystem der Fernbedienungseinrichtungen wurde aus vier Gerätegruppen gebildet:

- Der Drehmanipulator als zentrale Einrichtung und Trägersystem für alle Werkzeugeinheiten zur Zerlegung der inneren Strukturen des Moderatortanks, oberhalb des Reaktors installiert,
- Die Ringsäge - positioniert im Sammlerraum - zur Demontage des Moderatortanks, der Konstruktion nach eine Hebebühne mit einer aufmontierten Trennschleifeinrichtung (Abb. 12),
- Das Zerlegehaus mit der Preßschere, der Kaltkreissäge zur Nachzerkleinerung der ausgebauten Komponenten und den Hantiereinrichtungen (Abb. 19) sowie der unmittelbar an das Zerlegehaus angeschlossenen
- Verpackungsstation.

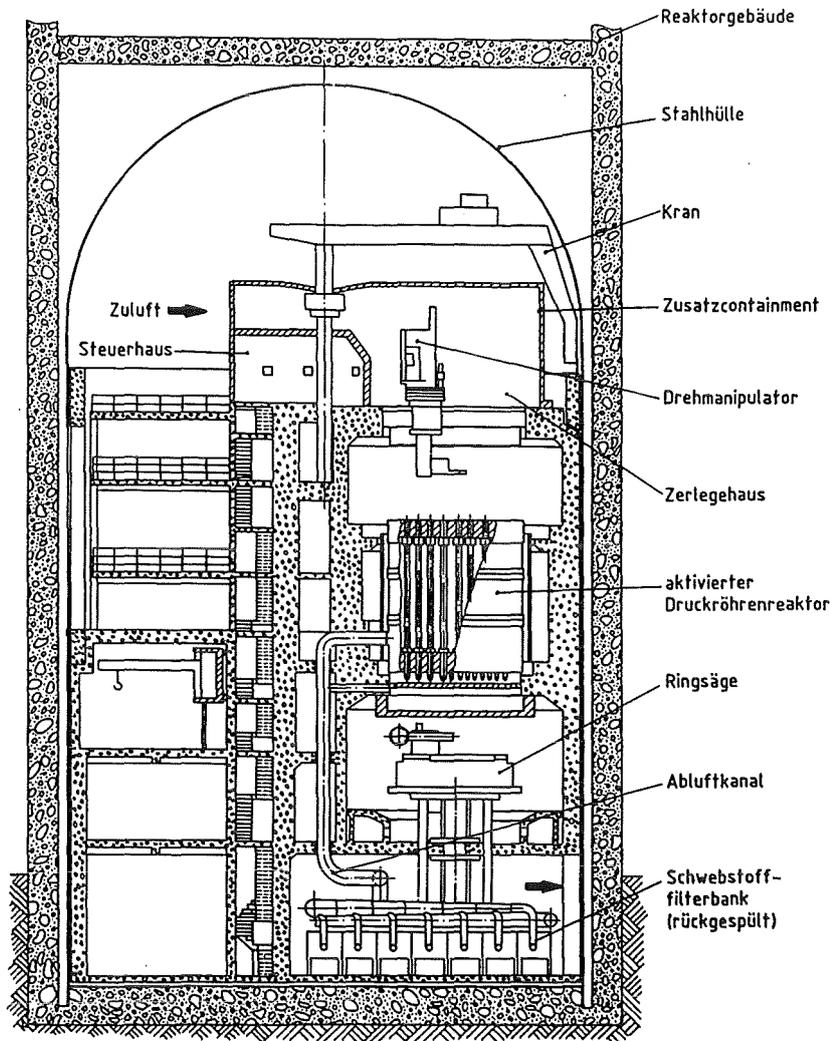


Abbildung 12: Schnitt durch den Sicherheitsbehälter mit Zusatz-Containment vor Beginn der fernbedienten Demontage: Alle Zerlegeeinrichtungen, Zerlege- und Steuerhaus sind installiert, die Lüftungstechnischen Maßnahmen abgeschlossen.

Neben dem erbrachten Nachweis der sicheren Durchführbarkeit der Demontage bot der „mock-up“ im Herstellerwerk weitere Vorteile:

1. Ermittlung und Optimierung der Betriebsparameter,
2. Schulung des Personals und
3. Beseitigung von Störungen.

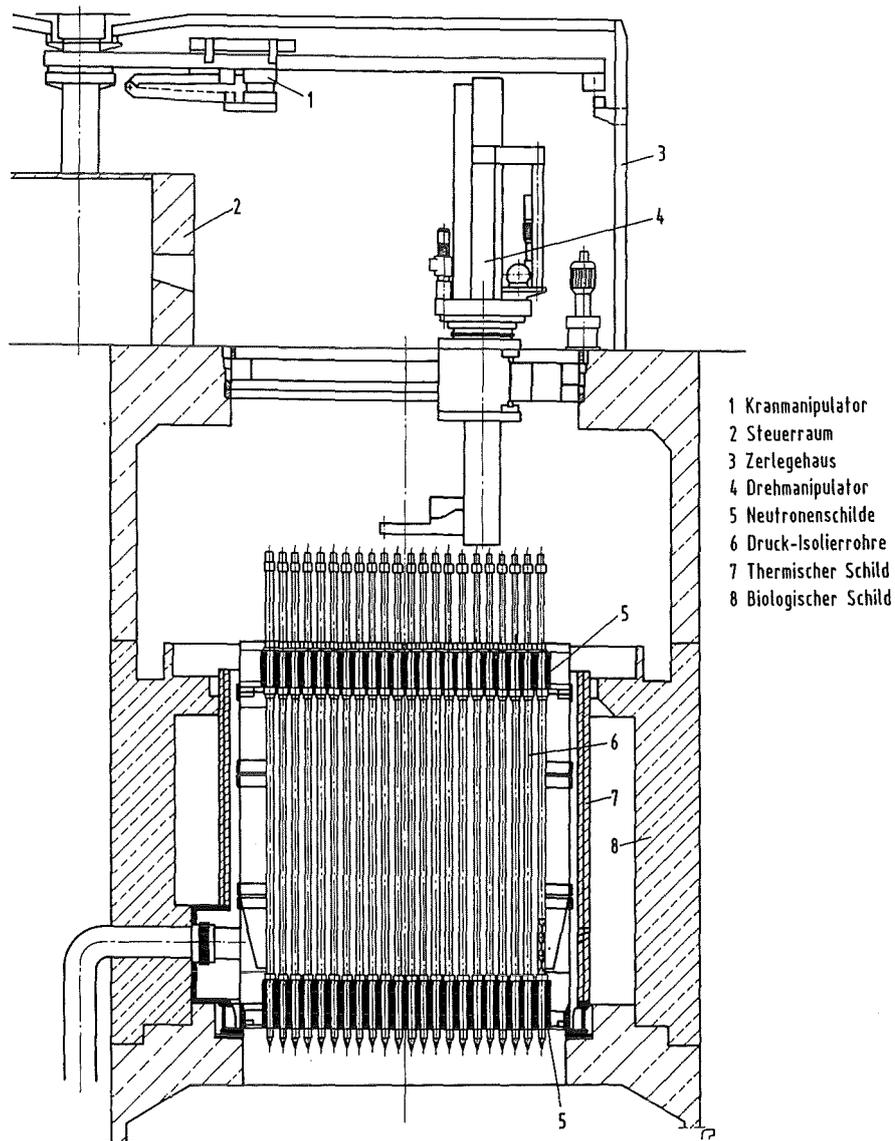


Abbildung 13: Stark vereinfachter Längsschnitt durch das Reaktorcore mit prinzipieller Darstellung der Zerlegetechnik.

#### **4.5.2 Grundkonzept der fernbedienten Demontage**

Bei der KKN-Demontage war es nur bei dem Abbau der aktivierten Stahlteile innerhalb des Reaktors - trotz der vorhandenen relativ geringen Dosisleistung von bis zu 0,18 Sv/h - notwendig, von einem abgeschirmten Steuerhaus aus fernbedient zu arbeiten.

In diesem dritten Demontageabschnitt wurde der im wesentlichen aus dem Oberen (ONS) und Unteren Neutronenschild (UNS), den 351 Druckröhren und dem Moderatortank bestehende Druckröhrenreaktor sowie der den Reaktor umgebende Thermische Schild demontiert.

Der Moderatortank war ein stehender zylindrischer Edelstahlbehälter mit Wanddicken zwischen 20 und 80 mm, einem Innendurchmesser von ca. 6 m und einer Höhe von 7,29 m. An den Stirnseiten befanden sich die ca. 1 m hohen Neutronenschilde, die die Kühlkanäle in ihrer Lage fixierten (Abb. 14). Die Neutronenschilde bestanden aus einem Gitter von 750 mm hohen Schildbalken und Leisten (Abb. 15). Der Durchtritt der Kühlkanäle durch die Neutronenschilde wurde von Schildbüchsen gebildet, die in die Maschen des Gitters eingeschrumpft waren. Die freien Räume zwischen dem Gitterwerk und den Schildbüchsen waren pro Neutronenschild mit 40 t Abschirmkugeln ( $\varnothing$  8 und 25 mm) aufgefüllt. Die Neutronenschilde wurden nach oben und unten durch 5 mm starke Dichthäute begrenzt. Die 5,24 m langen, aus einer Zirkonlegierung bestehenden Kühlkanäle durchzogen die Spaltzone des Reaktors. In jedem Kühlkanal befand sich eine Säule von vier Brennelementen. Am oberen Ende waren die Druckrohre über eine Walzmuffe in den oberen und unteren Schildbüchsen verschweißt.

Der komplexe Aufbau des Reaktors machte den weitestgehend unbeschädigten Ausbau der einzelnen Komponenten erforderlich, um die nachfolgenden Demontageschritte nicht zu erschweren. Das daraus abgeleitete Demontagekonzept sah einen schrittweisen Abbau von oben nach unten in möglichst großen Teilen mit anschließender Zerkleinerung und Verpackung vor [25].

Für die einzelnen Demontageschritte wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Werkzeuge entwickelt. Soweit die Zerlegung der einzelnen Komponenten es ermöglichte, wurde auf mechanische Trennverfahren wie beispielsweise Sägen, Fräsen etc. zurückgegriffen. Gegenüber den thermischen Trennverfahren wie Plasmabrennen oder Trennschleifen hatten diese Trennverfahren sowohl strahlenschutztechnische als auch brandschutztechnische Vorteile. Wesentlicher Vorteil ist der kleinere Aerosolaustrag aus der Schnittfuge.

Aufgrund der geringen spezifischen Aktivität der einzelnen Komponenten ( $< 2 \text{ E}+05 \text{ Bq/g}$ ) konnte die Zerlegung „trocken“ durchgeführt werden. Weitere wesentliche Gründe dafür waren folgende:

1. Bedingt durch die Bauart des Reaktors wäre nur der Moderatortank flutbar gewesen, jedoch nicht der vollständige Reaktorbereich mit Oberem und Unteren Neutronenschild. Das Fluten des gesamten Reaktorbereiches wäre technisch und wirtschaftlich unangemessen aufwendig gewesen.
2. Durch den Anfall von großen Mengen kontaminierter Abwässer hätten neue Einrichtungen zur Abwasseraufbereitung installiert werden müssen.
3. Die Konstruktion der ohnehin aufwendigen Werkzeuge zur Zerlegung des komplex aufgebauten Reaktors wäre für den Unterwassereinsatz noch komplizierter gewesen.

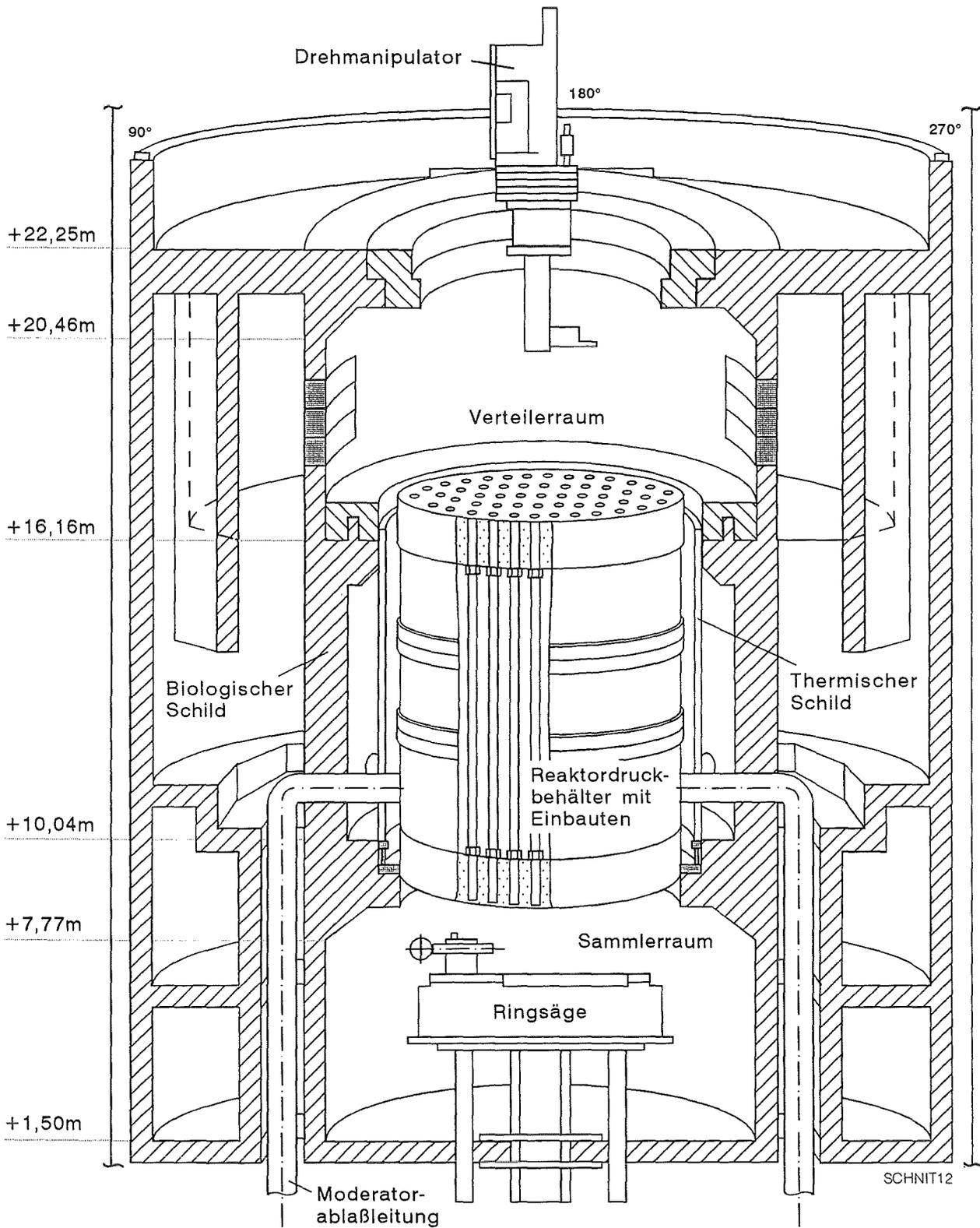


Abbildung 14: Längsschnitt durch den reaktornahen Teilbereich des Sicherheitsbehälters vor der fernbedienten Demontage, Phase 2/3 (vereinfachte Darstellung).

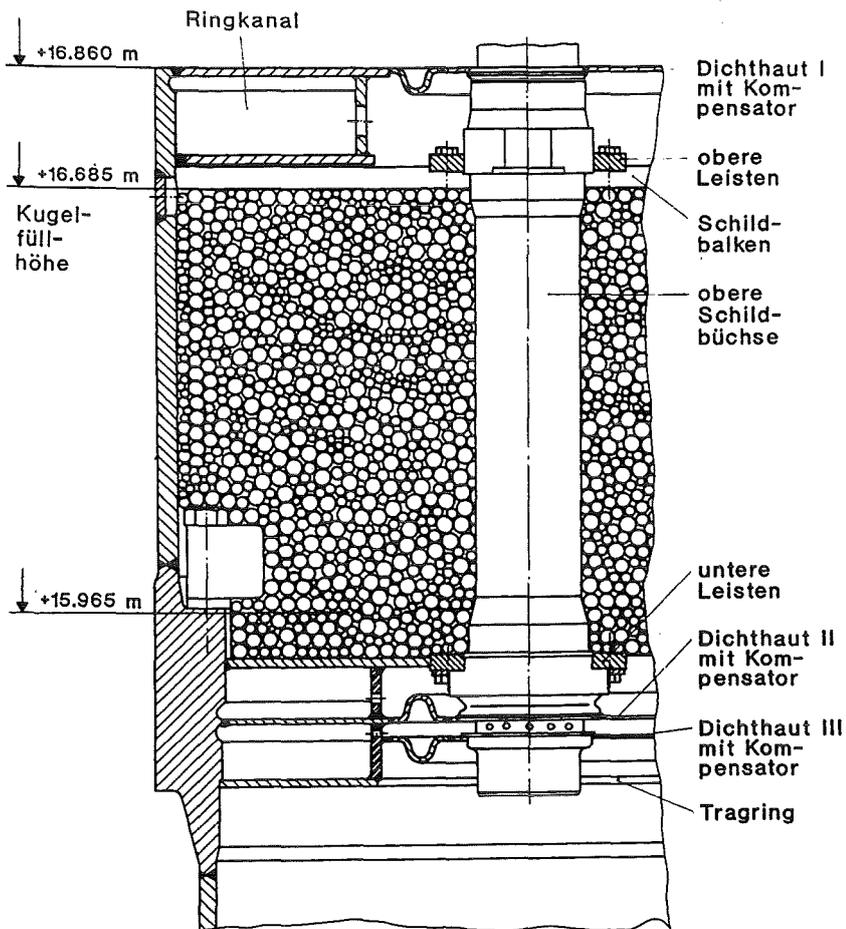


Abbildung 15:

Teilschnitt durch  
den Oberen  
Neutronenschild.

#### 4.5.3 Durchführung der fernbedienten Demontage

Die fernbediente Demontage begann am 1. März 1990 mit der Installation der Fernbedienungseinrichtungen. Nach erneuter Abnahme durch den Gutachter und der erteilten Freigabe durch die Behörde wurde mit den eigentlichen Arbeiten am 23. November 1990 begonnen.

Die Demontage wurde schrittweise von oben nach unten wie folgt durchgeführt:

1. Entnahme der Kühlkanaleinbauten der Druckrohre nach dem Öffnen des Oberen Neutronenschildes (27.11.1990 bis 06.03.1991):
  - Ziehen der oberen und unteren Abschirmstopfen (je 351 Stück) mit einer speziellen Greifvorrichtung des Drehmanipulators (Kugelklingengreifer),
  - Ziehen und Zerkleinern (Preßschere im Zerlegehaus) der 351 Isolierrohre,
  - Abschleifen der Druckrohrschweißnähte.
  
2. Demontage des Oberen Neutronenschildes mit den wesentlichen Arbeitsschritten (07.03. bis 28.08.1991, siehe auch Abb. 15 ):
  - Trennen der oberen Dichthaut (I),
  - Lösen der oberen Leisten,

- Trennen der Druckrohrbaueinheiten: Trennen der unteren Schweißnaht mit einem Innenrohrschleifer und ziehen der Druckrohre mit dem Kugelklingengreifer, containergerechte Zerkleinerung mit der Preßschere,
  - Absaugen der Abschirmkugeln,
  - Ausbau der Schildbüchsen,
  - Ausbau der Schildbalken (Abb. 16) und der unteren Leisten,
  - Trennen und Ausbau der unteren Dichthaut (II).
3. Ausbau der 351 Druckrohrreinheiten (28.08. bis 21.12.1991, Abb. 17):
- Trennen der Dichthaut (III),
  - Demontage der Druckrohre,
  - Ziehen der Abschirmrohre.
4. Ausbau der Moderatortankeinbauten (24.10. bis 05.12.1991):
- Entfernen von Dichthautresten, Ringkanalresten,
  - Trennen der D<sub>2</sub>O -Speiseleitung, des D<sub>2</sub>O-Riesel-systems und der Knallgasleitung,
  - Ausbauen des konischen Wehres direkt oberhalb des Unteren Neutronenschildes.
5. Demontage des Unteren Neutronenschildes (13.01.1992 bis 04.09.1992, Abb. 18):
- Die Demontage erfolgte analog zur Demontage des Oberen Neutronenschildes. Zwar glich der konstruktive Aufbau des Unteren Neutronenschildes (UNS) dem des Oberen Neutronenschildes. Um abbautechnisch zum UNS zu gelangen, betrug die Arbeitstiefe des Manipulators - bezogen auf die Kontrollebene - nunmehr über 10 m. Es war ungleich schwieriger, über diesen beachtlichen vertikalen Abstand z.B. den Plasmabrenner oder andere Werkzeuge fernbedient präzise genug zu positionieren bzw. einzujustieren, da sich nun einerseits durch die große Auslegerstrecke des Drehmanipulators technisch bedingte Elastizitäten wesentlich stärker auswirkten. Des weiteren konnte nur noch videoüberwacht gearbeitet werden. Hingegen war bei der Demontage des Oberen Neutronenschildes der unmittelbare Einblick durch die Abschirmfenster des Steuerraumes noch möglich gewesen.
6. Demontage des Moderatortankbehälters (18.09. bis 21.10.1992):
- Zersägen des Moderatortanks mit der unterhalb des ehemaligen Reaktors installierten Ringsäge in rechteckige containergerechte Stücke (durch die Demontage des Unteren Neutronenschildes war der Moderatorbehälter nun auch von unten erreichbar).
7. Demontage des Thermischen Schildes (Zerlegedauer: 11.02.1993 bis 09.03.1993).

Aus der komplexen Reaktorkonstruktion leiteten sich die bereits genannten 63 Werkzeugkombinationen ab, um die zur Zerlegung des Reaktors erforderlichen vielseitigen Bearbeitungsvorgänge wie:

- Trennschleifen,
- Plasmabrennen,
- Bohren,
- Schrauben,
- Fräsen,

- Saugen und insbesondere
- Greifen, Transportieren und Handhaben

der demontierten Einzelstücke zu ermöglichen. Bei den eingesetzten Geräten handelte es sich entsprechend den Vorgaben aus dem konstruktiven Aufbau des Reaktors um technisch speziell angepaßte Geräte, die ursprünglich dem Bereich des konventionellen Maschinenbaus zuzuordnen waren.

Jedes Gerät wurde vom Kontrollraum aus gesteuert und überwacht, der unmittelbar dem Zerlegehaus angegliedert war. In den vorbereitenden Tests wurden die jeweiligen Demontageschritte zu einem beträchtlichen Anteil vorprogrammiert. Überwachung und Steuerung der einzelnen Demontevorgänge erfolgten über Videoanlagen.

Sämtliche Komponenten des Reaktors wurden zunächst weitgehend unzerlegt gezogen. Anschließend erfolgte die Zerkleinerung mit der Presse/Schere bzw. der Kaltkreissäge und die endlagergerechte Verpackung in Typ-II-Container im Zerlegehaus auf der +22,3 m-Ebene (Abb. 19). Dabei wurde großes Augenmerk auf eine optimierte Verpackung der Trennteile in die Typ-II-Container gelegt. Um die Komponenten weitestgehend unzerlegt demontieren zu können, waren zum Teil zeitintensive Vorbereitungsarbeiten innerhalb des Reaktors notwendig. Beispielsweise mußten zur Herstellung des notwendigen freien Transportquerschnittes für den Ausbau der Schildbalken im Unteren Neutronenschild restliche Konstruktionselemente an der Moderatortankwand entfernt werden, unter anderem die D<sub>2</sub>O-Speiseleitung. Erst im Anschluß an diese Arbeiten konnten die Schildbalken vom Unteren Neutronenschild abgetrennt und unzerlegt zur containergerechten Zerkleinerung ins Zerlegehaus transportiert werden.

## **Lüftungstechnik**

Das Zerlegehaus, das zusammen mit dem Volumen der Reaktorkaverne ein abgeschlossenes, zusätzliches Containment bildete, schirmte den Arbeitsraum ab und verhinderte das Austreten von Stäuben und Gasen in das restliche Reaktorgebäude. Dieses Zusatz-Containment wurde durch eine eigene Lüftungsanlage (30.000 m<sup>3</sup>/h Zuluft) belüftet, deren abreinigbare Schwebstofffilterbank die Stäube aus den Trennvorgängen zurückhielt. Die gereinigte Abluft wurde an die Filtereinheit des Reaktorabluftsystems weitergeführt. Sicherheitstechnisch lieferte diese zweite Barriere zugleich eine überzeugende Kontrolle auf mögliche D<sub>2</sub>O-Restmengen. Die nach dem sogenannten Tritiumereignis (siehe Kapitel 4.4) zusätzlich installierten hochempfindlichen Überwachungssysteme reagierten bereits auf äußerst geringe Tritium-Konzentrationen im Abluftstrom (5 Bq/m<sup>3</sup>). Dadurch wurde die Gefahr einer Grenzwertüberschreitung zuverlässig ausgeschlossen.

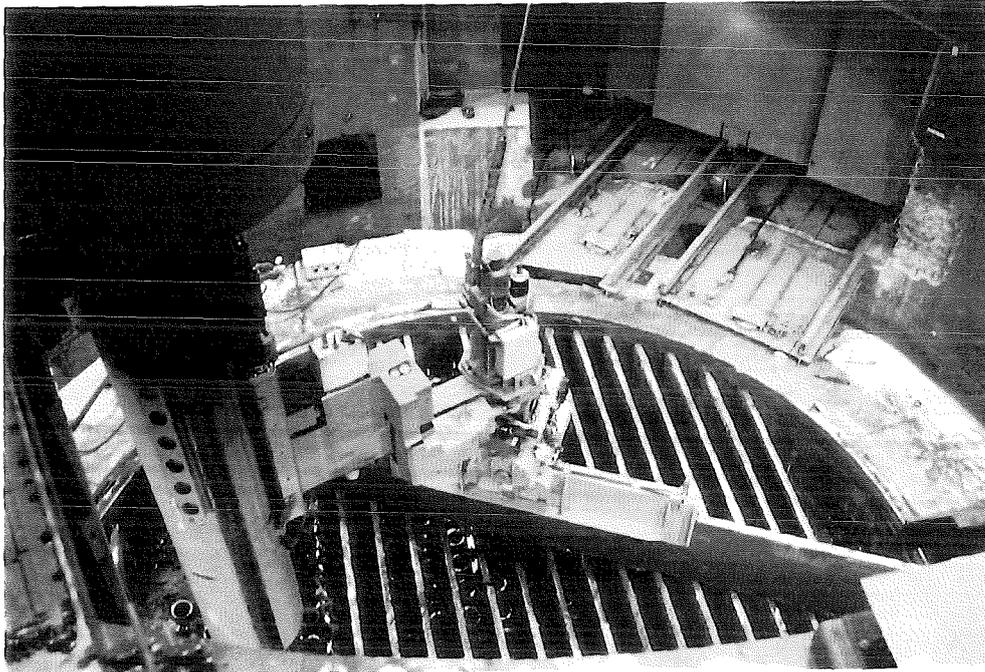


Abbildung 16: Demontage Oberer Neutronenschild, hier: Demontage der Schildbalken.  
Schräg rechts oben: Zugang zum sogenannten Interventionsraum (ehemaliger Bereich der Dampferzeuger), in dem die verschiedenen Werkzeuge des Drehmanipulators untergebracht waren.

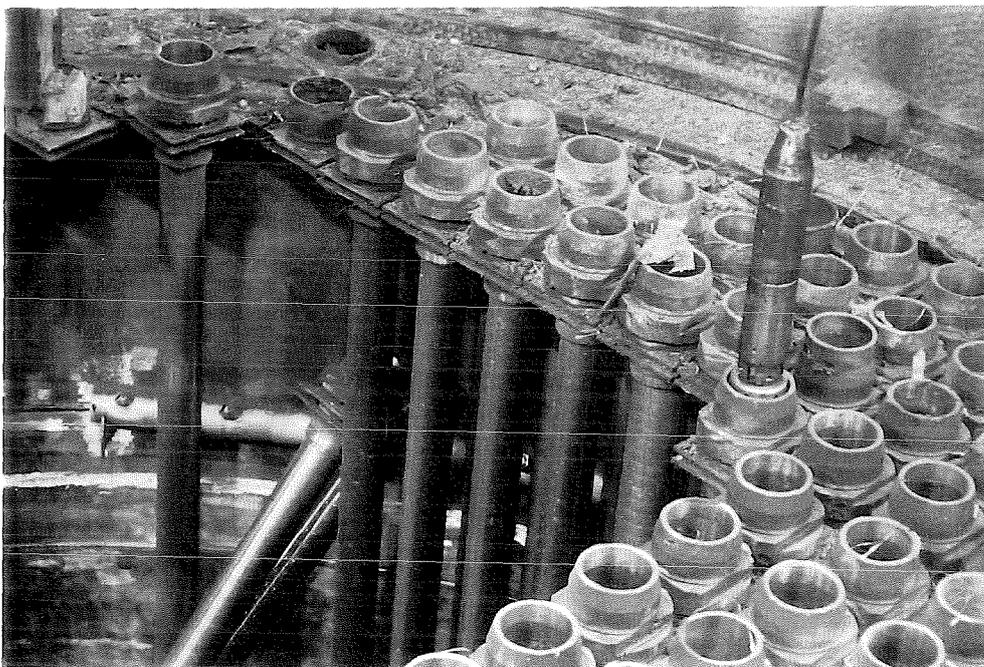


Abbildung 17: Blick in den Reaktorbereich während des Demontageabschnitts „Ausbau der 351 Druckrohre“ (Monitoraufnahme).

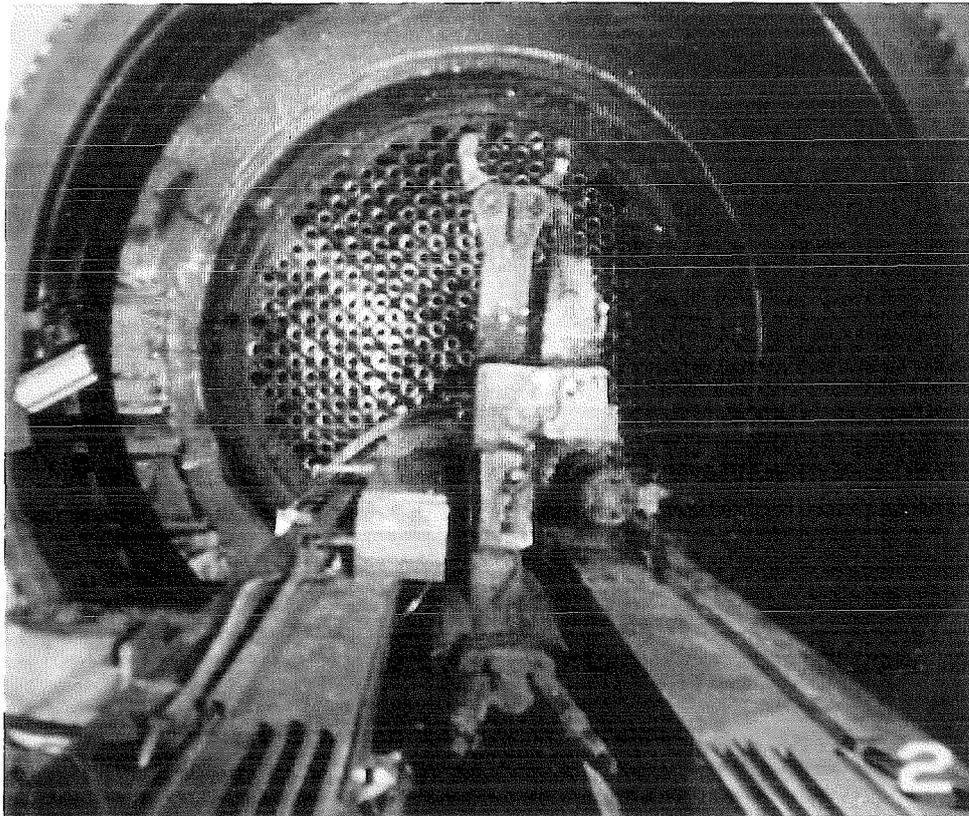


Abbildung 18: Blick auf den Unteren Neutronenschild und den Universalgreifer des Drehmanipulators (DMP) mit der DMP-Kamera (Monitoraufnahme).

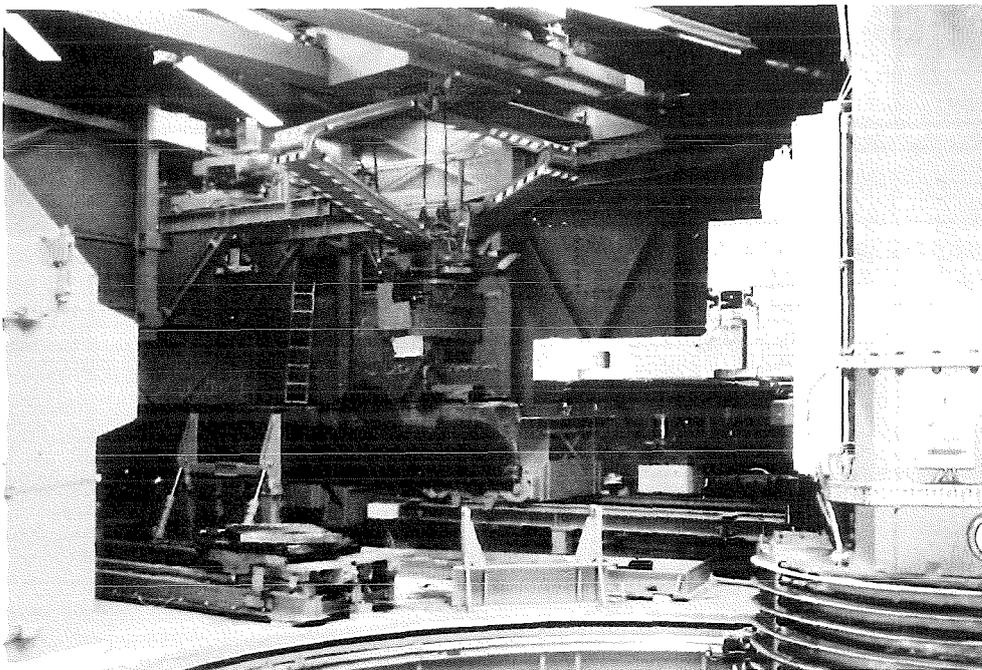


Abbildung 19: Blick in das Zerlegehaus mit Kranmanipulator. In Vorbereitung: Die Zerkleinerung eines Schildbalkens aus dem Oberen Neutronenschild.



Abbildung 20: Blick von der Drehmanipulorkamera aus auf die Ringsäge während der Zersägung der Moderatorontankwand (Monitoraufnahme). Rechts daneben der den Moderatorontank umgebende Thermische Schild.

### **Detailprobleme und deren Lösungen bei der fernbedienten Demontage des Reaktors**

Insgesamt betrachtet war das gewählte Demontagekonzept für den Reaktor sicherlich richtig, was die erfolgreich durchgeführten Arbeiten bestätigten. Naturgemäß traten aber bei solch prototypischer Vorgehensweise, trotz intensiver Testphase, einige Schwierigkeiten in Detailproblemen auf, die dann den Zeitaufwand erhöhten.

So war es durch den komplexen Aufbau des Reaktors in der Planungsphase der fernbedienten Demontage nicht möglich, den realen Zustand des Reaktors in Augenschein zu nehmen. Insbesondere bei der Zerlegung der beiden Neutronenschilde ergaben sich technische Schwierigkeiten, die aus Abweichungen des Istzustandes von dem in der Dokumentation beschriebenen Sollzustand resultierten. Typische Beispiele sind folgende aufgetretene Probleme:

#### 1. Nicht dokumentierte technische Veränderungen:

- => Breitere Schweißnähte,
- => Montageheftnähte.

2. Geometrische und physikalische Veränderungen aufgrund des Versuchsbetriebes des Reaktors:

- => Thermische Verwerfungen,
- => Materialspannungen.

3. Fehlende spezifizierende Sachverhalte:

- => Unbearbeitete, unrunde, nicht entgratete Abschirmkugeln, die zusätzlich durch vorangegangene Demontageschritte durch Schlacke unter Hitzeeinwirkung miteinander verbacken waren und dadurch nicht mit der oszillierenden Absaugeinheit entfernt werden konnten.

Solchen Problemen wurde mit Improvisation und alternativen technischen Einrichtungen begegnet, die jedoch meistens deutliche Zeitverzögerungen bedingten. In Einzelfällen resultierten aus den genannten konstruktiven Abweichungen technische Überbelastungen der Werkzeuge durch thermische Überhitzung. Beispielsweise wurde der Innenrohrschleifer bei der Durchtrennung der Druckrohrschweißnähte (Verdopplung der Schnittfuge) thermisch überbelastet, da die bei der Auslegung geplante Einsatzdauer des Gerätes überschritten wurde. Erst nach der Modifikation des Gerätes konnten diese Demontearbeiten wieder fortgesetzt werden.

Auch die Schüttungen der Abschirmkugeln bereiteten große Probleme. In der Planungsphase war man von runden Abschirmkugeln ausgegangen und hatte die Absaugeinheit entsprechend konstruiert. Da es sich aber in der Realität um Kugelrohlinge handelte, die weder entgratet noch nachgearbeitet waren, verstopften diese den eng konstruierten Querschnitt der Absaugeinheit. Hinzu kam das oben schon erwähnte Problem der Verbackung der Kugeln untereinander durch Verschmutzungen (Öle, Späne etc.) aus den vorangegangenen Demontageschritten. Dies hatte zur Folge, daß die geklumpten Kugeln nicht absaugbar waren. Sie mußten zuvor zeitaufwendig mit dem Universalgreifer des Drehmanipulators voneinander getrennt werden. Eine weitere Behinderung der Demontearbeiten war ebenfalls gegeben, da sich diese verklebten Kugeln in alle Ecken und Kanten der Schilde festsetzten und damit den Einsatz der anderen Werkzeuge erschwerten, da diese die auszubauenden Teile nicht sicher greifen konnten.

Eine Funktionsstörung des Drehmanipulators wurde am 31. Oktober 1991 bemerkt. Bei der Demontage der Moderatorbehältereinbauten kam es zu einer Störung an der Energieversorgung des Drehmanipulators. Zwei der zehn Kabel hatten sich von der Kabelführung gelöst und hingen lose in den Arbeitsbereich. Die Störung und die beabsichtigte weitere Vorgehensweise wurden der Behörde (BStMLU) und dem Gutachter (TÜV) mitgeteilt. Die Kabel mußten aus Gründen der Betriebssicherheit ausgetauscht und manuell wieder aufgelegt werden. Da in diesem Arbeitsbereich ein Ortsdosisleistung von bis zu 30 mSv/h herrschte, mußte zur Durchführung dieser Reparatur eine Abschirmbühne konstruiert und eingesetzt werden. Durch die reduzierte Ortsdosisleistung auf maximal 70 µSv/h wurde die radiologische Belastung des Personals während den Interventionsarbeiten auf das mögliche Minimum begrenzt. Nach Beseitigung dieser Störung wurden die Abbauarbeiten am 16. November 1991 wieder aufgenommen und die Demontage der Moderatorbehältereinbauten bis zum Ende des Jahres 1991 abgeschlossen. Weitere Details dieser Störung können aus [23] entnommen werden.

Bei der Zersägung der Moderatortankwand mit der Ringsäge mußte großes Augenmerk darauf gerichtet werden, daß bei dem Schleifvorgang ein nicht zu großer Umfangswinkel der Schleifscheibe im Materialeingriff stand. Ansonsten wäre die Schleifscheibe überhitzt und zerstört worden. Weiterhin war zu beachten, daß es grundsätzlich beim Trennen von großen, dünnwandigen Behältern zu Verwerfungen im Blech und daraus resultierend zu Verklemmung und eventuell zum Bruch der Schleifscheibe kommen kann. Eine behutsame Steuerung des Schleifscheibenvorschubes und die Wahl einer breiteren Schleifscheibe zeigten sich als vorteilhaft.

Mit den zum Schutz des Demontagepersonals vor radioaktiver Strahlung speziell entwickelten und gefertigten fernbedienten Einrichtungen wurde diese technisch aufwendigste Phase der Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach von Ende 1990 bis Ende 1992 (einschließlich Demontage der Fernbedienungseinrichtungen) durchgeführt. Die eingesetzten Trennverfahren, wie Trennschleifen und Plasmabrennen, haben sich über den gesamten Verlauf der fernbedienten Demontage gut bewährt.

Das zum Teil angewandte Trennfräsen konnte sich aufgrund der hohen Schnittkräfte, des komplizierten Aufbaus der Geräte und der damit verbundenen Störanfälligkeit nicht durchsetzen.

Unmittelbar nach Abschluß der fernbedienten Demontage des Reaktors wurden Dreh- und Trennmanipulator inkl. aller Werkzeuge demontiert, verpackt und zur Entsorgung in das Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB), transportiert. Parallel dazu wurde Ende 1992 mit dem Aufbau der Zerlegeeinrichtung zur Zersägung des Thermischen Schildes begonnen.

#### **4.5.4 Zerlegung des Thermischen Schildes**

Die Demontage des Thermischen Schildes bildete den Abschluß der Demontagephase 2/3. Der Thermische Schild hatte ursprünglich die Aufgabe, den Biologischen Schild vor unzulässig hoher Erwärmung durch Strahlenaufheizung und Wärmeübertragung aus dem Moderatorbehälter zu schützen. Er war aus vier kreisförmigen Segmenten mit einer Masse von insgesamt 148 t zusammengesetzt. Die Segmente bestanden aus vier Lagen radial gebogener Bleche mit den äußeren Wandstärken von 10 mm bzw. inneren Wandstärken von 70 mm.

Die Zerlegeeinrichtung bestand aus folgenden Komponenten, die bis auf die Blockbandsäge, welche im Prinzip als Industrieprodukt auf dem Markt verfügbar war, speziell für die Schildzerlegung konstruiert worden waren [26]:

- Blockbandsäge (Abb. 22),
- Kipprahmen mit Vorschubeinheit,
- Wandschwenkkräne,
- Transportvorrichtung sowie
- Containerverladestation.

Bei der Blockbandsäge, die nach der Demontage der Ringsäge im Sammlerraum installiert wurde, handelte es sich um eine modifizierte Industriebandsäge mit einem Betriebsgewicht von ca. 25 t. Die Führung des Sägeblattes wurde konstruktiv durch eine hydraulische Band-

verdrehrichtung erweitert, um die rechtwinklig zueinander liegenden Trennschnitte durchführen zu können, da die Säge selbst nicht drehbar war.

Die Segmente wurden mit dem Reaktorgebäudekran ausgehoben und auf den aufgestellten Kippstuhl abgesenkt, der sich in Übergabeposition ca. 75° zur Horizontalen befand (Abb. 21). Die Geometrie des mit Transportrollen versehenen Kippstuhls war dem Radius der Segmente angepaßt. Nach dem Absenken des Kippstuhls in die horizontale Position wurde das jeweilige Segment der Blockbandsäge mit Hilfe der an der Seite des Kippstuhls installierten Vorschubeinheit zugeführt. Die mit hydraulisch betriebenen Greifbacken versehene Vorschubeinheit führte die Segmente der Säge zu für die Durchführung der sogenannten „Kammschnitte“ (Abb. 22).

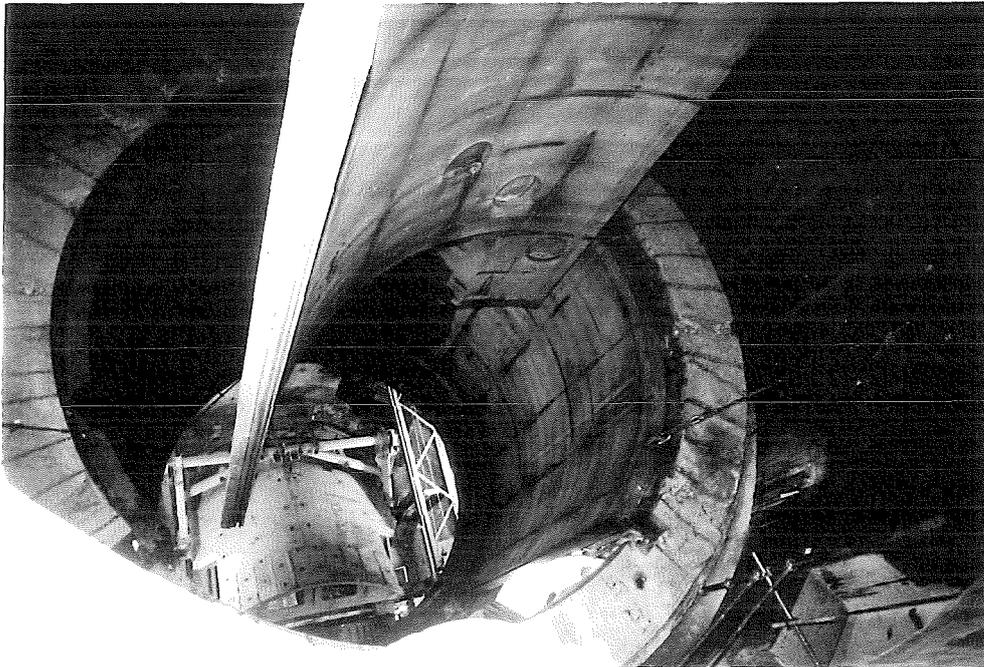


Abbildung 21: Ausheben eines Schildsegmentes mit dem Reaktorgebäudekran und Absenken auf den aufgerichteten Kippstuhl der Zerlegeeinheit.

Mit den eingegebenen Schnittdaten (mittlere Schnittgeschwindigkeit: 30 m/min, mittlere Vorschubgeschwindigkeit: 18 mm/min) führte die Säge dann die Trennschnitte durch. Die Trennteile wurden in insgesamt 14 Typ II-Container verpackt (Abb. 23), die gleichfalls fernbedient verschlossen wurden. Sämtliche Aktionen wurden fernbedient von einem Steuer Raum aus videoüberwacht durchgeführt. Die endlagergerechte Konditionierung (Fixierung) erfolgte dann bei KfK/HDB.

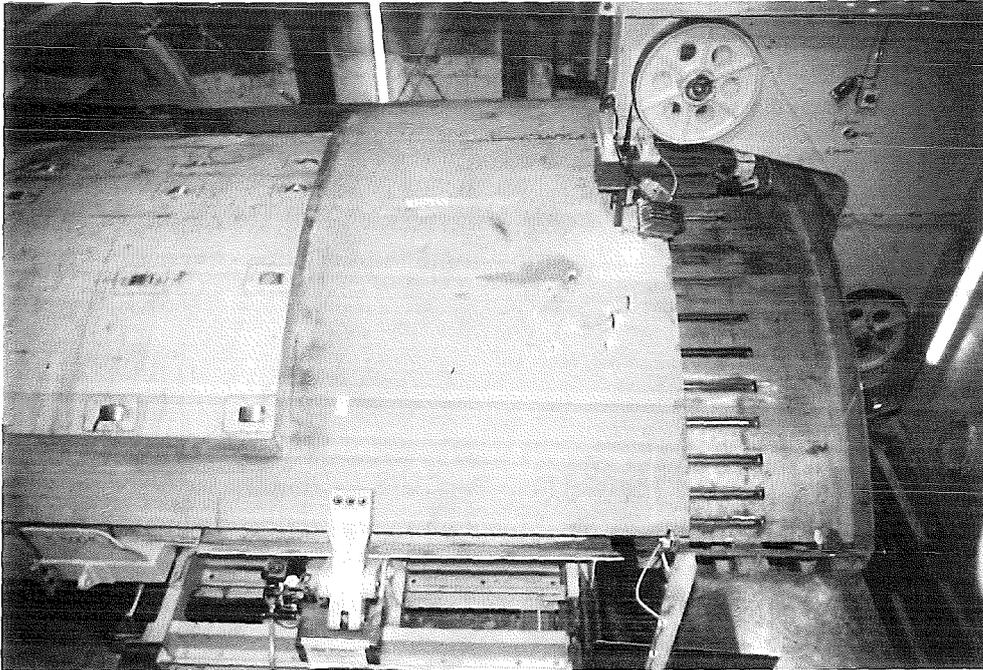


Abbildung 22: Die Zersägung eines Segmentes des Thermischen Schildes mit der Blockbandsäge (Kammschnittposition). Unten: Greifzange der Vorschubeinheit, rechts: Magnethalter zur Abrutschverhinderungen der Trennteile.



Abbildung 23: Blick in teilbeladene Typ-II-Container, Variante IV ohne Betonabschirmung für schwach aktiviertes Material (spezifische Aktivität  $< 1,4 \text{ E}+03 \text{ Bq/g}$ ) während der Beladung mit Trennteilen des Thermischen Schildes.

Durch einen optimierten Schnittplan konnten ca. 25% der Masse des Thermischen Schildes der kontrollierten Wiederverwertung zugeführt werden. Für das Ausheben und Zerlegen der vier Schildsegmente des Thermischen Schildes wurden lediglich vier Wochen benötigt, wobei die ohne Störungen verlaufende reine Zerlegezeit ca. 17 Arbeitstage betrug. Insgesamt wurde der größtenteils parallel zu anderen Abbauarbeiten durchgeführte komplette Demontageschritt in ca. 15 Wochen abgeschlossen, woraus sich eine mittlere Ausbauzeit von 0,4 Tagen je Tonne Stahl errechnet.

Der Großteil der Zerlegeeinrichtung wurde freigemessen und konventionell entsorgt. Die dekontaminierte Blockbandsäge inkl. Steuerung konnte in der HDR-Anlage in Karlstein bei dem dortigen Rückbau wiederverwendet werden.

#### **4.5.5 Personal und Radiologie**

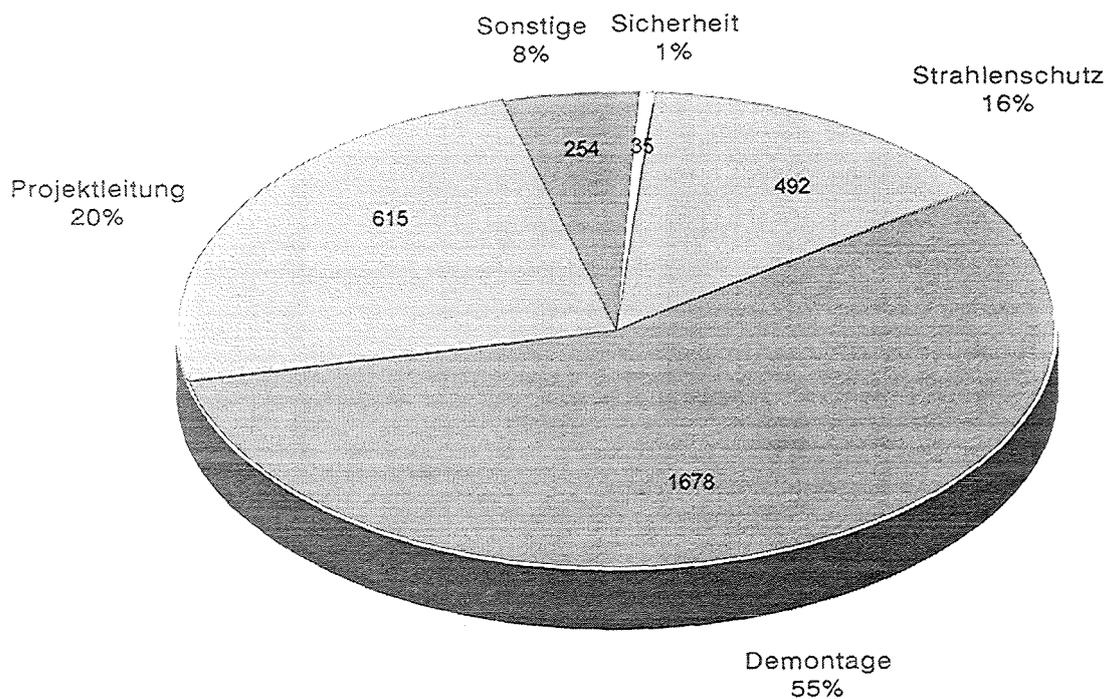
Bei Betrachtung der zeitlichen Entwicklung des Personalstandes ist die deutliche Erhöhung nach dem Abschluß der Demontage des Moderatortanks hervorzuheben. Dies ist in den vielfältigen, parallel durchgeführten Arbeiten wie der Demontage des Thermischen Schildes, dem Rückbau der Fernbedienungseinrichtungen und den Vorbereitungen zum Abbau der aktivierten Betonstrukturen begründet. Insgesamt wurden während dieser Demontagephase rund 190.000 Kontrollbereichsstunden aufgewendet, was einer mittleren täglichen Aufenthaltsdauer von 5 Kontrollbereichsstunden pro Mann bei zugrunde gelegten 20 Arbeitstagen pro Monat entspricht. Daraus resultiert ein Gesamtaufwand von ca. 1.900 Mannmonaten [23]. Die allgemeine Zusammensetzung des Personals ist in Abbildung 24 graphisch dargestellt.

Die Betrachtung des Verlaufes der nichtamtlichen Kollektivdosis (Gruppenäquivalentdosis) über die Phase der fernbedienten Demontage zeigt monatliche Spitzenwerte im November 1991 (Störung der Energiezufuhr des Drehmanipulators), im Januar 1992 (Beginn der Demontage des Unteren Neutronenschildes), sowie im Herbst 1992 (Rückbau der Fernbedienungseinrichtungen) und März 1993 (Zerlegung des Thermischen Schildes). Dies liegt in der Tatsache begründet, daß mit dem Abbau des Oberen Neutronenschildes die Dosisleistung in den angrenzenden Bereichen durch die nun demontierte fehlende Abschirmung wieder anstieg. Des weiteren häufte sich im Laufe der fortschreitenden Demontage der direkte Umgang mit kontaminierten Geräten. In Tabelle 1 sind exemplarische einige typische Jobdosen dieser Demontagephase aufgeführt.

Die alternative Zerlegung des Thermischen Schildes zum ursprünglich geplanten Einsatz der Ringsäge ermöglichte den gänzlichen Verzicht auf teilweise radiologisch nicht unwesentliche Vorbereitungs- und Wartungsarbeiten wie beispielsweise das Anschweißen von Halteblechen an den Schildsegmenten oder das manuelle Wechseln der Schleifscheiben an der Ringsäge. Des weiteren konnte durch die abgeschätzte Einsparung von ca. 2 Mg Schleifstaub, die bei der Zerlegung mit der Ringsäge angefallen wären, eine zusätzliche Strahlenbelastung des Personals bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten verhindert werden. Durch die gewählte Demontageform konnte die in [24] abgeschätzte Gruppenäquivalentdosis von ca. 140 mSv auf tatsächlich applizierte 42 mSv gesenkt werden. Außerdem ermöglichte die Zerlegung mit der Blockbandsäge parallel laufende Rückbauarbeiten der Fernbedienungseinrichtungen.

Tätigkeit	Jobdosis (mSv)
Montage Drehmanipulator	2,312
Demontage Drehmanipulator	0,285
Reparatur und Wartung Zerlegehauseinrichtungen und Drehmanipulator	6,417
Reinigungs- und Dekontaminationsarbeiten Zerlegehaus und Interventionsräume	6,213
Allgemeine Elektroinstallationen	0,738
Montage / Demontage Abschirmbühnen	2,305
Qualitätsgesicherte Verpackung	17,218

Tabelle 1: Typische Jobdosen der Demontagephase 2/3.

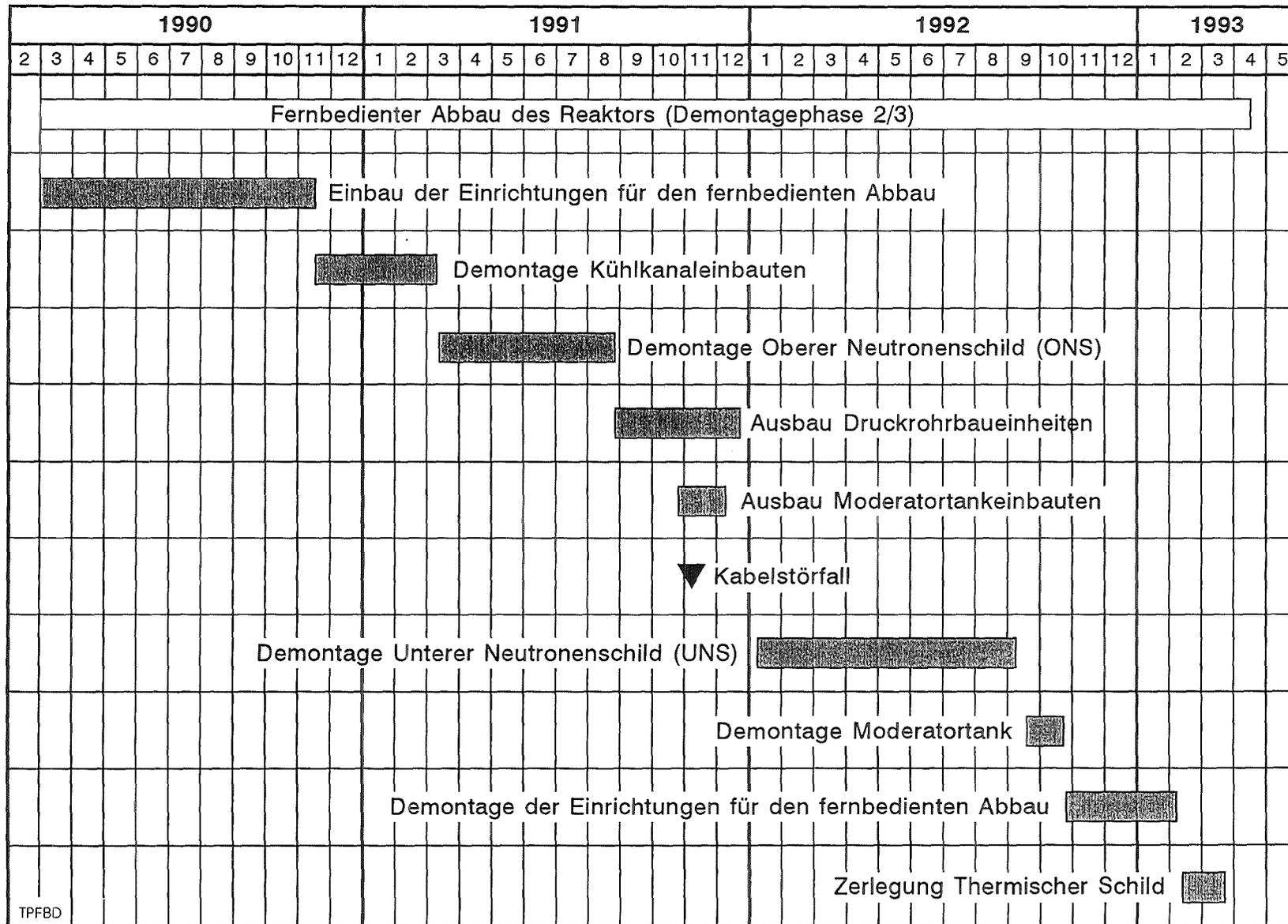


[Angaben in Mann-Monaten]

Abbildung 24: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/3 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).

Die wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/3 sind in der nachfolgenden Abbildung 25 dargestellt.

Abbildung 25: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/3.



TPFBD

Alle wesentlichen Daten dieser Demontagephase 2/3 sind nachfolgend zusammengefaßt.

<b>Demontagephase 2/3: in Zahlen:</b>	<b>Fernbedienter Abbau des Reaktors und des Thermischen Schildes</b>
Dauer:	01.03.1990 - 15.04.1993
Gruppenäquivalentdosis:	365.434 µSv
Typische Jobdosen:	6.400 µSv (Reparatur-/Wartungsarbeiten im Zerlegehaus) 17.200 µSv (Qualitätsgesicherte Verpackung)
mittlere Personenzahl:	80
maximale Personenzahl:	110
Gesamtarbeitsaufwand:	3.074 Mannmonate (ca. 1.900 Mannmonate KB), 3-Schicht-Betrieb
Demontageleistung im KB:	0,92 Mg/Mannmonat
Demontierte Massen:	1.755,5 Mg, davon 521,7 Mg radioakt. Reststoffe (ca. 30%)
Aktivitätsabgaben Phase 2/3:	
• Fortluft H3:	1,67 E+09 Bq (max. < 20 % vom Monatsgrenzwert ) bei einem Gesamtvolumenstrom von 8,63 E+08 m <sup>3</sup>
• Fortluft Aerosole:	6,8 E+05 Bq
• Abwasser H3:	3,7 E+09 Bq (Abgabemenge: 1.322 m <sup>3</sup> )
• Abwasser Sondernuklide:	< NWG (Fe-55, Ni-59, Ni-63)
• Abwasser Sonstige Nuklide:	5,6 E+06 Bq
Besondere Vorkommnisse:	Terminverzug von ca. 4 Monaten aufgrund technischer Problemen und Soll/Istzustandabweichung des Reaktors.

## 4.6 Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen (Demontagephase 2/4)

Hinsichtlich der Definition des Abbaus der aktivierten Gebäudestrukturen und der Festlegung der Vorgehensweise der Demontage waren umfangreiche Voruntersuchungen durchzuführen. Diese wurden in sog. „Probenahmeprogrammen“ zusammengefaßt, mit den Behörden abgestimmt und in Form von technischen Berichten und Fachanweisungen dokumentiert [19-21, 28-31].

Probenahmen am Biologischen Schild im Jahre 1982 unter dem damals beantragten massenspezifischen Grenzwert vom  $10^4$ -fachen der Freigrenzen von Anlage IV, Tabelle IV 1 Spalte 4 StrlSchV pro Gramm unter Anwendung der Summenformel (bei einer Mittelungsmasse von höchstens 10 kg) ergaben eine radiale Abtragtiefe an der Innenschicht des Biologischen Schildes von ca. 20 Zentimetern [28]. Darüber hinaus waren keinerlei Strukturen oberhalb dieses Grenzwertes von 3,7 Bq/g, bezogen auf das KKN-Leitnuklid Co-60, aktiviert.

Mit Erteilung der Abbaugenehmigung vom 6. Juni 1986 und der damit verbundenen Festlegung des massenspezifischen Grenzwertes um den Faktor 10 niedriger als beantragt ergaben sich vollkommen neue Randbedingungen für die Demontagephase 2/4. Nun waren alle aktivierten Strukturen oberhalb des durch die Genehmigungsbehörde festgesetzten massenspezifischen Grenzwertes vom  $10^5$ -fachen der oben genannten Freigrenzen abzubauen (Abb. 26).

Dies bedeutete nun einen ca. 60 cm tiefen radialen Abtrag der aktivierten Innenschicht des Biologischen Schildes sowie den zusätzlichen Abbau einiger benachbarter Strukturen innerhalb und außerhalb der sogenannten Kreiszyinderschale, eine den ehemaligen Reaktorbereich umgebende Baustruktur (Abb. 26). Infolge dessen war ein neues Demontagekonzept zu erstellen. Der ursprüngliche Demontageaufwand vervielfachte sich [32-34]. Des weiteren mußte nun durch die abbaubedingten Schwächungen der Baustrukturen auch die statische Tragfähigkeit der verbleibenden Reststrukturen untersucht werden.

Aufgrund der teilweise schweren Zugänglichkeit der Abbaubereiche wurde ein umfangreiches Arbeitsbühnenkonzept erstellt. Unter anderem montierte man sowohl in den beiden Zwickelbereichen als auch in der Kreiszyinderschale ober- und unterhalb des Biologischen Schildes stationäre Arbeitsbühnen. Durch den Einsatz einer weiteren, höhenversetzbaren Arbeitsbühne, die innerhalb der Kreiszyinderschale zwischen +20,2 m und +7,4 m in fünf Höhenbereichen durch konstruktive Veränderungen im Durchmesser einsetzbar war, konnten alle abzubauenen Bereiche auch mit schwerem Gerät, wie beispielsweise einem 8 t schweren elektrisch betriebenen Hydraulikbagger mit Felsmeißel (Abb. 31), erreicht werden.

Um eine mögliche Kontamination durch Betonstaub außerhalb der Abbaubereiche zu verhindern, wurde die gesamte Kreiszyinderschale nebst Zwickel- und Balkonbereichen luftdicht verschlossen und lufttechnisch an die umgebaute, mit neuen Filtereinsätzen versehene abreinigbare Schwebstofffilterbank (Höhenkote -4,70 m) angeschlossen. An Stellen, an denen das nicht möglich war, kamen mobile Filteranlagen zum Einsatz.

Für die folgenden ganz abzubauenen bzw. abzuschälenden Bereiche außerhalb des Bioschildes, im einzelnen (von Höhenkote +22,3 m bis +7,8 m):

- Großer Drehschild (GDS, Abb. 7),
- Bühnenschild (BüS, Abb. 27),
- Oberer Tragring des Verteilerraumes (TV),
- Verteilerraumwand (VR),
- Zwickelbereichswände und -decken (ZBD, Abb. 28),
- Balkonstrukturen außerhalb des Biologischen Schildes,
- Oberer Tragring (TRO, +16,10 m),
- Durchführungen der Moderatorablaßleitungen (MAL) durch den Biologischen Schild,
- Unterer Tragring (TRU, +10,04 m, Abb. 34)

wurden weitere Probenahmen in Abstimmung mit dem Gutachter durchgeführt, die Ergebnisse in technischen Fachanweisungen festgehalten [35-37].

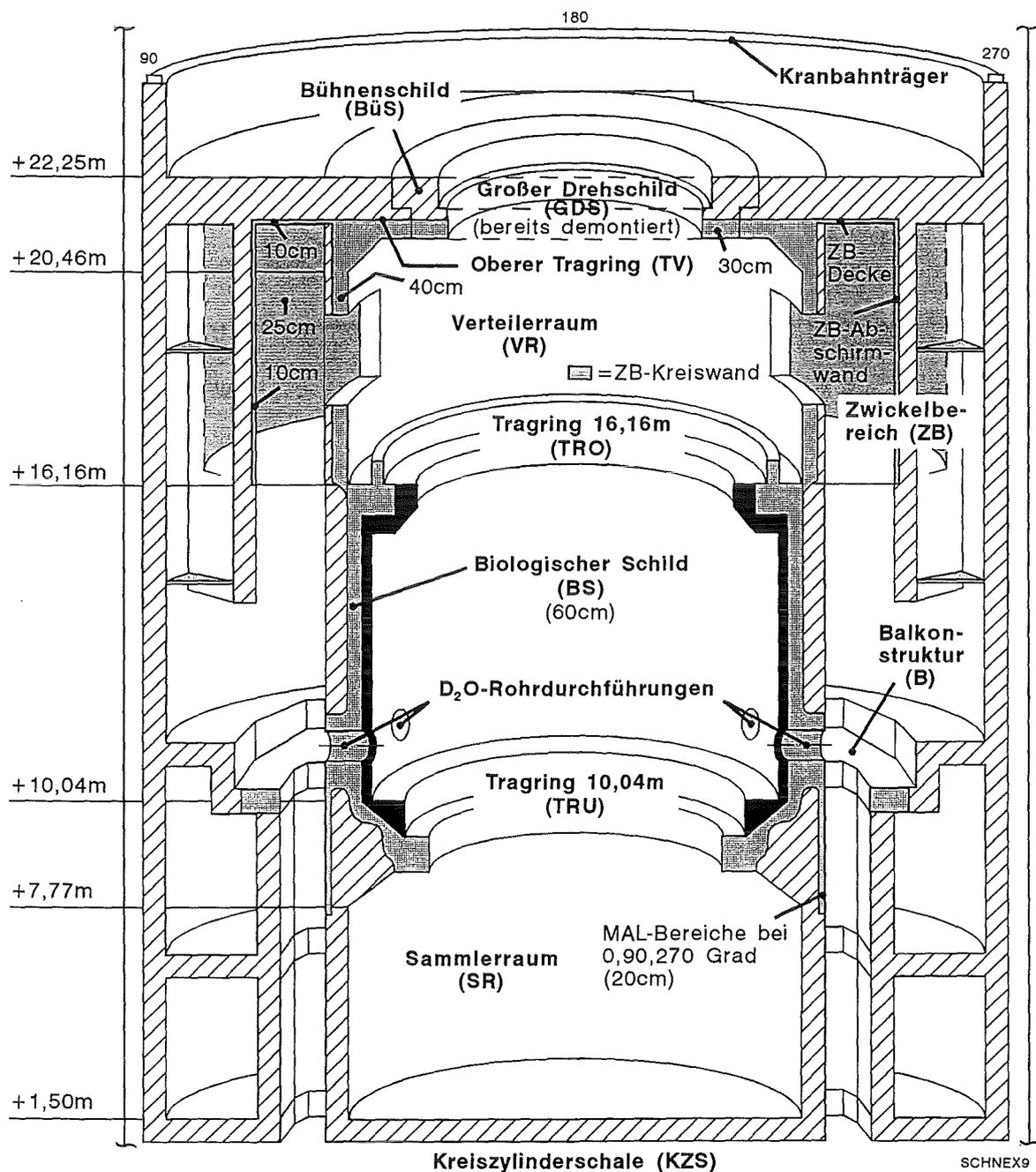
Mitte April 1993 waren die genannten Vorbereitungsarbeiten abgeschlossen. Die Abbauarbeiten der aktivierten Betonstrukturen konnten aufgenommen werden.

Bereits im Februar 1990 zum Ende der Demontagephase 2/2 „Manueller Abbau kontaminierter Anlagenteile“ wurde der Große Drehschild (GDS) ausgehoben (Abb. 7). Der GDS bildete zusammen mit dem in seiner exzentrischen Öffnung eingesetzten Kleinen Drehschild und der darin drehbar gelagerten Brennelementwechselmaschine den oberen Abschluß des Verteilerraumes über dem Reaktor auf + 22,3 m. Der GDS selbst war drehbar im Bühnenschild aufgelagert. Bautechnisch handelte es sich bei allen drei Schilden um mit Beton ausgegossene Stahlhohlzylinder. Infolge der Neutronenstrahlung während des Reaktorversuchsbetriebes waren bei allen Schilden ca. 30 cm des unteren Stahlmantels aktiviert.

Der untere Teil der Schilde wurde mit Diamantseilsägen abgetrennt. Der Beton aus den abgetrennten unteren Ringen wurde herausgelöst und ebenso wie der obere nicht aktivierte Teil radiologisch freigemessen. Der aktivierte Stahlmantel wurde faßgerecht zerkleinert und qualitätsgesichert in Fässer verpackt.

Am ca. 100 t schweren Bühnenschild (Abb. 27) wurde in ähnlicher Weise der ca. 30 cm hohe, aktivierte untere Stahlmantel mittels Diamantseilsäge abgetrennt, der obere Teil zusätzlich in 14 Segmente zersägt. Sowohl die Segmente als auch der mit einer hydraulischen Spreizzange herausgebrochene Beton aus dem unteren Ring konnten radiologisch freigegeben werden. Der untere Stahlmantel wurde thermisch zerlegt, die ca. 9,5 Mg Stahl wurden eingeschmolzen und der kontrollierten Wiederverwertung zugeführt. Die Zerkleinerung mit der Diamantseilsäge erleichterte die Separierung der aktivierten Teile. Darüber hinaus konnte damit die Ausbreitung von luftgetragener Kontamination vermieden werden.

Die Zerlegung des Bühnenschildes wurde zeitlich vorgezogen und parallel mit der Zerkleinerung des Thermischen Schildes durchgeführt. Ende März 1993 wurde die Bühnenschildzerlegung abgeschlossen.



-  Nichtaktivierte Gebäudestrukturen ( $\ll 0,37 \text{ Bq/g}$ )
-  Aktivierte Beton- und/oder Stahlstrukturen ( $> 0,37 \text{ Bq/g}$ )
-  Aktivierte Beton- und/oder Stahlstrukturen ( $> 3,7 \text{ Bq/g}$ )

Abbildung 26: Längsschnitt durch den Biologischen Schild und angrenzende Gebäudestrukturen. Darstellung der Abbautiefen in Abhängigkeit vom genehmigten Grenzwert von  $0,37 \text{ Bq/g}$  (zum Vergleich die Abbautiefen in Abhängigkeit vom beantragten Grenzwert von  $3,7 \text{ Bq/g}$ ).



Abbildung 27: Zerlegung des Bühnenschildes in zwei Arbeitsphasen: Zuerst wurde der obere nicht aktivierte Bereich in Segmente geschnitten (Auffugen der Stahlhülle, im Hintergrund links; Zersägung mit der Seilsäge, rechts hinten im Bild), dekontaminiert und stückig freigemessen: Vom unteren 30 cm hohen Ring löste man den Beton mit der hydraulischen Spreizzange heraus (im Bild rechts: Bohren der Löcher) und zerlegte die Stahlhülle in faßgerechte Stücke, die nach dem Einschmelzen der kontrollierten Wiederverwertung zugeführt wurden.

Kern der Abbauarbeiten der aktivierten Gebäudestrukturen war der sprengtechnische Abbau der aktivierten Innenschicht des Biologischen Schildes, auf den im folgenden näher eingegangen wird.

Der Mitte Juli 1993 aufgenommene Abbau des Biologischen Schildes erfolgte nach dem Abbau des Tragrings des Verteilerraumes, der Verteilerraumwand und des oberen Tragrings Kote +16,10 m in drei Etappen, wobei jeweils ein Höhenbereich von ca. 2 m abgebaut wurde:

- Abbau des Biologischen Schildes Bereich BS1 (+16,10 m bis +13,75 m),
- Abbau des Biologischen Schildes Bereich BS2 (+13,75 m bis +12,00 m),
- Abbau des Biologischen Schildes Bereich BS3 (+12,00 m bis +10,10 m).

Anschließend erfolgte der Abbau

- der Durchführungen der Moderatorablaßleitungen (MAL) sowie
- des unteren Tragrings (TRU).

Die Entscheidung zum Einsatz der Softsprengtechnik fiel aufgrund positiver Vorversuche aus den Jahren 1981 und 1982 [38]. Die Bewehrung wurde nicht aufgetrennt, sondern fungierte bei den Sprengungen als Abwurfschutz und Vorsieb für den oberflächennahen Beton. Die spezifische Aktivität, im Mittel unter 10 Bq/g, war so gering, daß sprengtechnische Nebenarbeiten vor Ort unter den üblichen Schutzmaßnahmen für Arbeiten im Kontrollbereich ohne zusätzliche Atemschutzmasken durchgeführt werden konnten.

Die Bewehrung des Biologischen Schildes befand sich sowohl außen- als auch innenseitig mit einer Betonüberdeckung von 10 cm bis 20 cm dicht unter der Oberfläche. Es handelte sich um eine vierlagige Ringbewehrung mit einer Maschenweite von ca. 6 cm und einem Stahldurchmesser von 27 mm. Am Biologischen Schild war die ca. 60 cm tiefe aktivierte innere Schicht abzutragen. Im Bereich von Öffnungen und Rohrdurchführungen mußte diese Abtragtiefe lokal erweitert werden. Solche Störzonen des ansonsten gleichmäßigen Aktivierungsverlaufes befanden sich in halber Höhe des Biologischen Schildes im Bereich der in den Innenraum mündenden 12 Rohre der ehemaligen Neutronenflußmeßkammern sowie im unteren Bereich bei den Durchführungen der neun Moderatorablaßleitungen (Abb. 26).

Der prinzipielle Ablauf der Lockerungssprengungen sah wie folgt aus (Abb. 28):

1. Bohren der Sprengbohrlöcher (Abb. 29),
2. Bohrlochbestückung,
3. Sprengfeldabdeckung (Abb. 30),
4. Räumung des Sicherheitsbehälters und Sprengfreigabe,
5. Durchführung der Sprengung (Abb. 31),
6. Strahlenschutzbegehung unter Vollschutz: Dosisleistungsmessungen, Wischteste und deren Auswertung,
7. Freigabe des Sicherheitsbehälters,
8. Kontrolle der Lüftung und der Arbeitsbühnen,
9. Abräumen und Verpacken des losen Betons,
10. Abbrennen der freigelegten Bewehrung.

Der obere Abbaubereich des Biologischen Schildes BS1 wurde in 14 Segmente eingeteilt, wobei in sieben Sprengkampagnen jeweils zwei Segmente kurz nacheinander gesprengt wurden. Die Sprengungen am BS1 wurden mit folgenden Parametern durchgeführt:

Spezifische Lademenge:	ca. 1200 g/m <sup>3</sup>
Lademenge:	500 g Ammon-Gelit + 160 g Nitropenta / Bohrloch ab der 3. Sprengung
Zündreihenfolge:	alternierend im Millisekundenabstand (Wellenbewegung)
Bohrlochabstand: (Abb. 33)	500 mm pro Reihe, Löcher seitlich um 250 mm versetzt
Anzahl der Bohrlöcher:	10, in zwei Reihen (5/5)
Abdeckung:	3 Lagen Gummigurtbänder als Abwurfschutz, 4 Lagen Dynastatmatten als Staubschutz

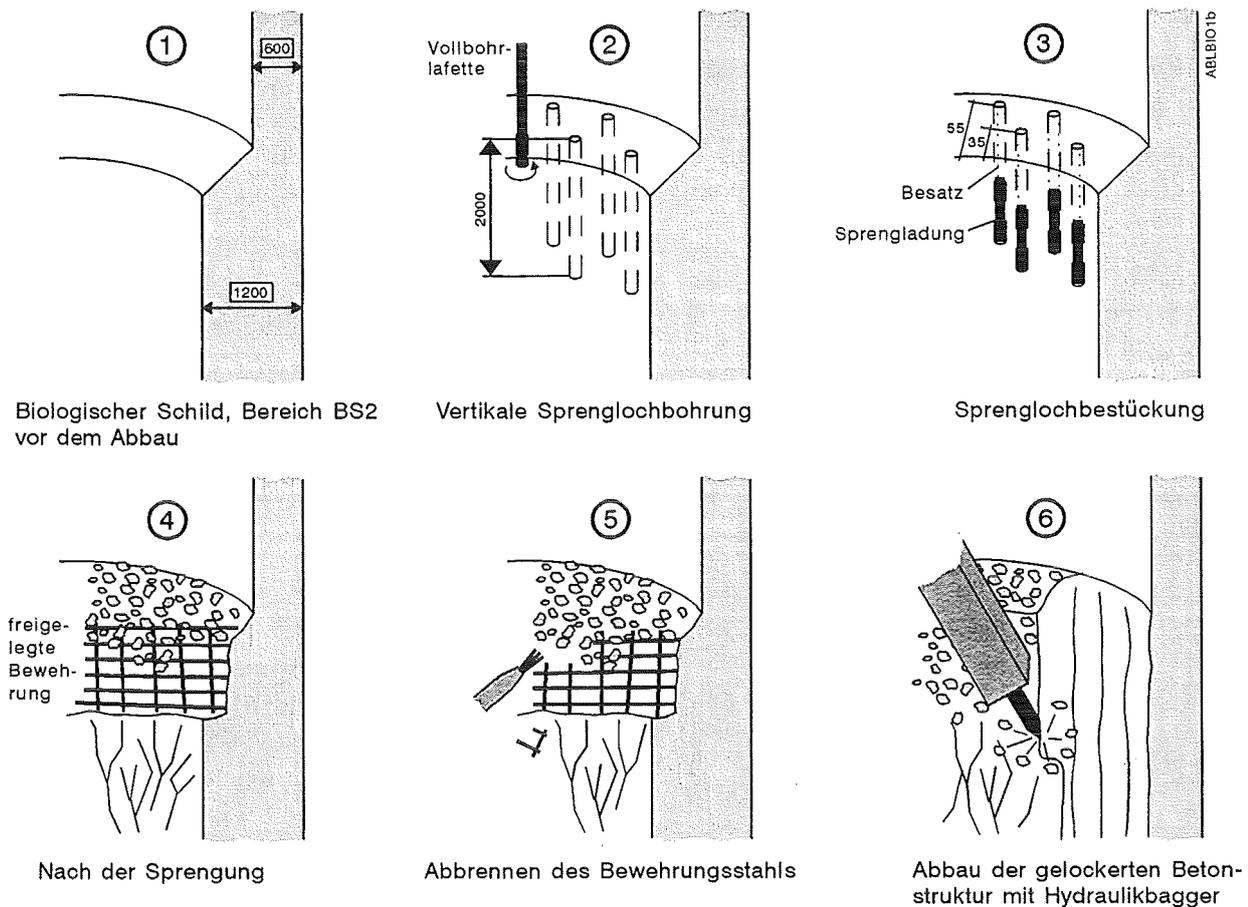


Abbildung 28: Illustratorische Darstellung des Abbaus des Biologischen Schildes für den mittleren Bereich des Biologischen Schildes (BS2).

Das Zeitvorgabe von 3 Wochen, also 15 Arbeitstagen im Zweischichtbetrieb, wurde mit 12 Tagen deutlich unterschritten. Eine weitere Reduzierung um zwei Tage war zu diesem Zeitpunkt bereits denkbar und konnte bei den anschließenden Sprengkampagnen auch realisiert werden. Dazu war jedoch vorher eine Genehmigung beim zuständigen Gewerbeaufsichtsamt Landshut für größere Sprengfelder, also für den Umgang mit einer größeren Menge Sprengstoff, einzuholen.

Das Sprengergebnis war insofern gut, weil sich die Funktion der Ringbewehrung als Splitterchutz bestätigte und der Zerrüttungsgrad des Betons hoch war. Die bei der Lockerungssprengung abgeworfene Betonmenge (Bewehrungsüberdeckung) von ca. 3 Mg fiel bereits in faßgerechten Stücken an und konnte deshalb unmittelbar in Fässer gefüllt werden.

Die wesentlichen gewonnenen Erkenntnisse bei dem sprengtechnischen Abbau des oberen Bereiches des Biologischen Schildes BS1 sind nachfolgend zusammengefaßt:

1. Geringe Staubentwicklung durch funktionelle Abdeckung der Sprengstelle.
2. Geringe Luftdruckschwankungen von max.  $8E+3$  Pa ermöglichten den permanenten Betrieb der Absaugung vor Ort.

3. Kurzzeitige Erhöhung der H3-Konzentration von normal 1-2 Bq / m<sup>3</sup> auf max. 10 Bq / m<sup>3</sup>.
4. Radiologisch ausreichende radiale Abbautiefe von 60 cm.
5. Geringfügige Verringerung der Abbautiefe theoretisch möglich, jedoch aufgrund des erhöhten Strahlenschutzaufwandes (Probenahmen und Auswertung) zur Sicherstellung der Grenzwertunterschreitung und dem Risiko einer eventuellen Nachbearbeitung und erneuter Beprobung nicht zu rechtfertigen.
6. Nachbearbeitung der Reststrukturen um ca. 15 cm im Bereich des Austrittes der Neutronenflußmeßkammerrohre ebenfalls radiologisch ausreichend sowie statisch unbedenklich.

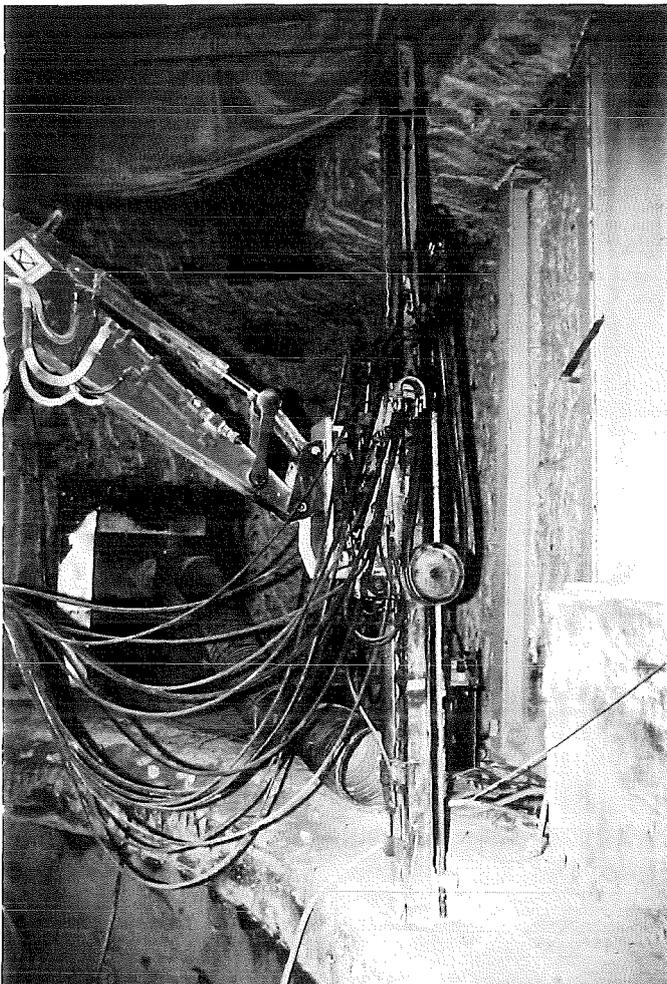


Abbildung 29:

Bohren der Sprenglöcher des Abbaubereiches BS1 des Biologischen Schildes mit der an den EX60 montierten Vollbohrlafette. Im Hintergrund ist der abgeschälte 90°-Zwickelbereich (Zwickelbereichsdecke und Außenwand der Kreiszyinderschale) zu sehen, in den aus statischen Gründen für die darüber verlaufende Kranbahn des Reaktorgebäudekrans Stahlstützen eingezogen werden mußten.

Im Unterschied zur ersten Sprengkampagne am Biologischen Schild wurde der Bereich des zweiten Abbauschrittes in lediglich sieben Sprengfelder eingeteilt. Mit dieser vom Gewerbeaufsichtsamt genehmigten Maßnahme trug man der Tatsache der guten Dosier- und Beherrschbarkeit der Lockerungssprengung des Bereiches BS1 des Biologischen Schildes Rechnung. Der damit verbundenen notwendigen Erhöhung an 20'-Container- und A400-Faßkapazitäten wurde ebenfalls Rechnung getragen. Für die Transportbereitstellung von beladenen Containern im KKN-Freigelände wurde die Zustimmung bei BStMLU eingeholt.

Eine weitere Folge der hohen Abbaugeschwindigkeit war auch ein erhöhter Personalbedarf beim Strahlenschutz aufgrund der Vielzahl an zu untersuchenden Proben, den Gebindedeklarationen und sowie den notwendigen Dosisleistungsmessungen der gefüllten Fässer.

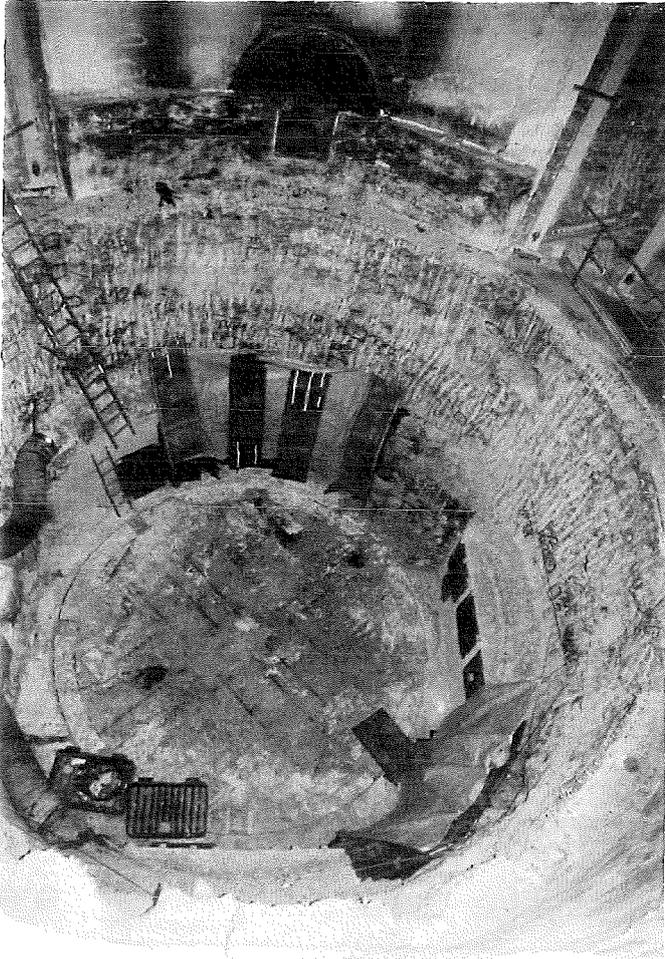


Abbildung 30:

Vorbereitung der Lockerungssprengung am Biologischen Schild, unterer Bereich BS3: Letzte Arbeiten an der Abdeckung der Sprengstelle durch den Sprengmeister. Am linken Bildrand sind die zwei flexiblen Schläuche der permanenten Luftabsaugung während der Sprengung zu sehen.

Einen zeitlichen Überblick über den Abbau des Bereiches BS2 des Biologischen Schildes ermöglicht die nachfolgende Auflistung. Innerhalb von nur 12 Arbeitstagen wurde der BS2-Bereich abgebaut. Dies wurde unter anderem durch die zeitweise parallel durchgeführten Arbeiten ermöglicht.

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1. Verfüllung des Abwurfbetons von B3 unterhalb der Arbeitsbühne B5: | 2 Tage                         |
| 2. Probenahmen durch ARGE, TÜV und LfU:                              | 1 Tag (parallel zu 1.)         |
| 3. Sprenglochbohrungen:  | 2 Tage (1 Tag parallel zu 1.)  |
| 4. Arbeitsbühnenabsenkung:   | 1 Tag                          |
| 5. Sprengungsdurchführung:   | 4 Tage                         |
| 6. Demontage, Zerlegung und Verpackung Bewehrung:                    | 4 Tage                         |
| 7. Demontage, Zerlegung und Verpackung Beton:                        | 4 Tage (3 Tage parallel zu 6.) |

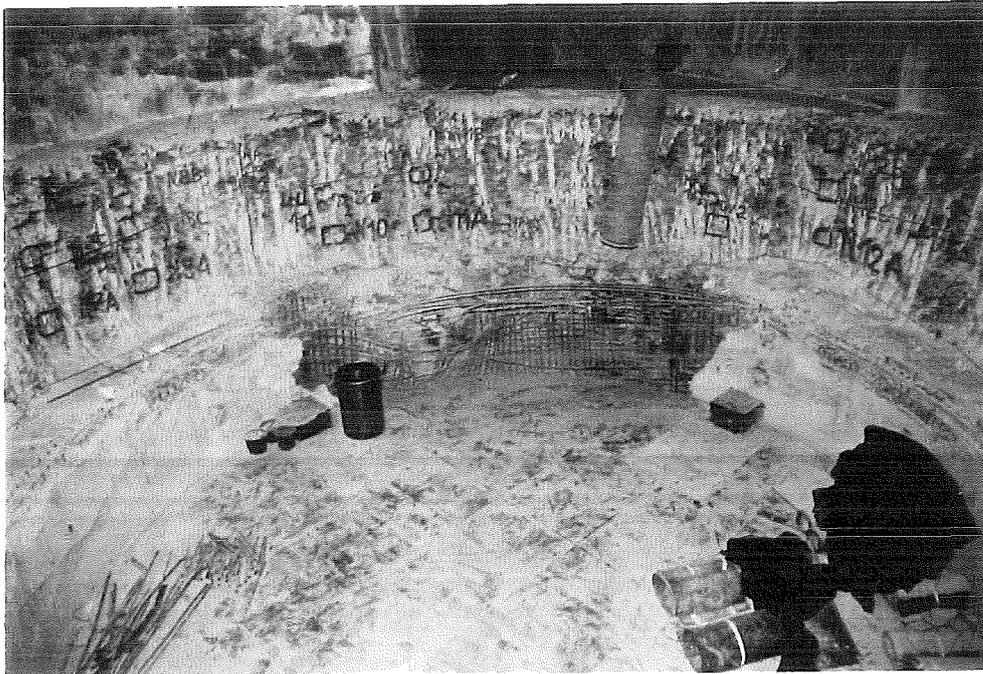


Abbildung 31: Sprengfeld am BS2 unmittelbar nach erfolgter Lockerungssprengung: Deutlich ist die nach innen gebogene Bewehrung des Biologischen Schildes und der fein gesiebte abgeworfene Beton (Bewehrungsüberdeckung) zu sehen. Die Abdeckung der Sprengstelle wurde bereits zur Seite geräumt.

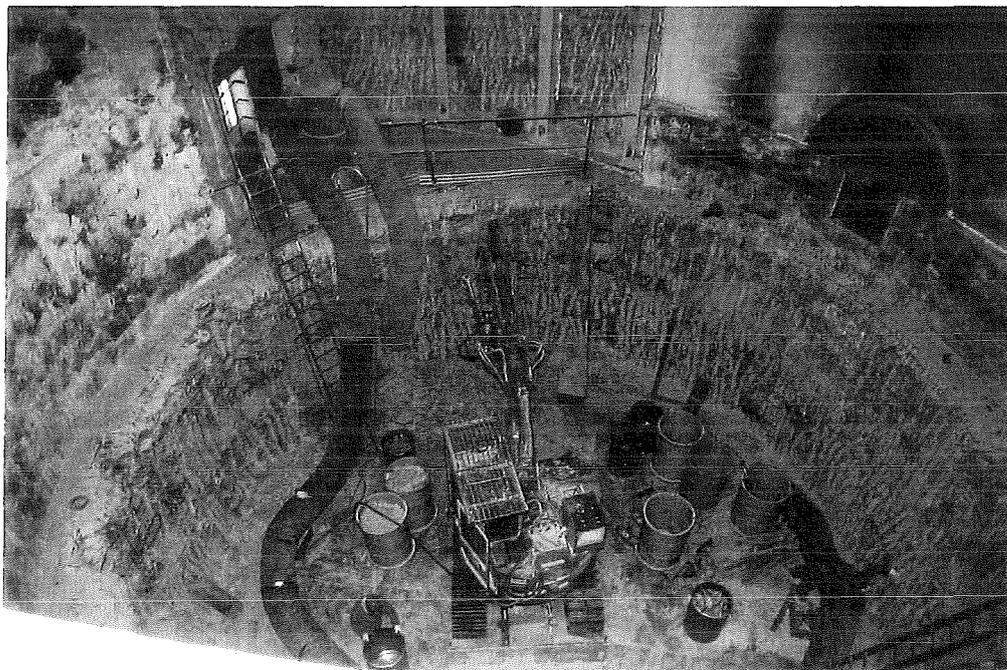


Abbildung 32: Zusätzliche Bearbeitung des Bereiches BS2 des Biologischen Schildes mit dem elektrisch betriebenen EX60-Bagger mit Felsmeißel nach erfolgter Sprengung.

Für die pyrotechnische Lockerungssprengung des unteren Bereiches des Biologischen Schildes BS3 wurde die Bohrlochanordnung im Vergleich zur Sprengkampagne BS2 erneut geändert (Abb. 33). Die Bohrungen wurden nun im konstanten radialen Abstand von 45 cm von der Innenseite des Biologischen Schildes vorgenommen.

Insgesamt sieben Sprengungen wurden vorgenommen, wobei der Bereich BS3 in acht Segmente aufgeteilt worden war. Drei von diesen Segmenten bildeten die Bereiche der Durchführungen der Moderatorablaßleitungen (MAL). Es wurden zwischen 4 Bohrlöcher (2.000 g Ammon-Gelit Sprengstoff) und 9 Bohrlöcher (ca. 3.000 g) pro Segment eingesetzt, wobei die Segmente mit neun Bohrlöchern zu den MAL-Bereichen gehörten. Der 90°-MAL-Bereich wurde nicht sprengtechnisch zerrüttet, da durch die Bearbeitung mit dem EX60 - quasi aus Versehen - an den benachbarten Feldern soviel Material abgetragen wurde, daß die Sprengung entfallen konnte.

Das Abbrennen des Bewehrungsstahls und der Abbau des gelockerten Betons wurden zeitgleich an gegenüberliegenden Segmenten durchgeführt. Nach den Kontrollen der Abbautiefen durch den Strahlenschutz an den inneren Übergängen der MAL sowie im Bereich von Nachbearbeitungen war die sichere Unterschreitung des Grenzwertes gewährleistet.

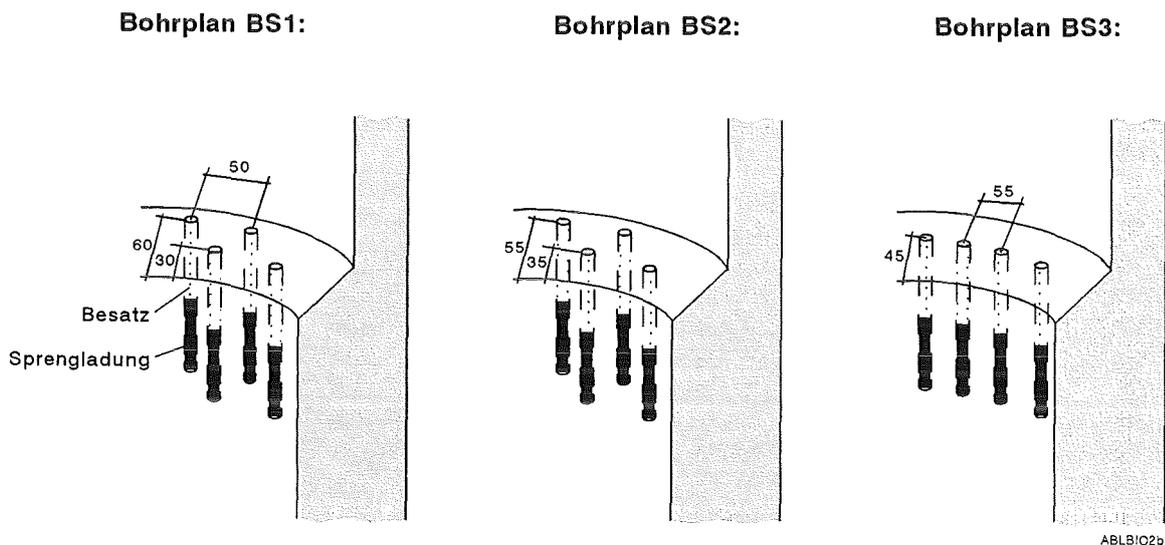


Abbildung 33: Sprengtechnischer Abbau des Biologischen Schildes mit drei unterschiedlichen Bohrlochanordnungen zur Optimierung der Sprengwirkung: Bei der Sprengkampagne des oberen Bereiches BS1 in zwei konzentrischen Kreisen, am BS2 in einer Zickzacklinie mit zwei unterschiedlichen Radien und am BS3 in einem Kreis mit konstantem Radius.

Neben dem Einsatz der Softsprengtechnik wurden in dieser Abbauphase im wesentlichen industrieübliche Geräte und deren Adaptionen eingesetzt, wie z.B.:

1. Hydraulikbagger EX60 mit Bohrlafette und Bohrhammer, wahlweise auch mit Gesteinsbrecher, Vollbohrlafette. Elektroantrieb,
2. Kernbohrgeräte mit Vakuumsaugplatte,
3. Vollbohrgeräte, druckluftbetrieben aus KKN-System,
4. Hydraulische Spreizwerkzeuge,
5. Diamantseilsägen,
6. Diamantkreissäge,
7. Preßluftbohrhämmer,
8. Schneidbrenner (Autogen) und
9. weitere Kleingeräte.



Abbildung 34: Blick von der +22,30 m-Ebene auf die Reststrukturen des Biologischen Schildes und angrenzende Bereiche unmittelbar vor dem Abschluß der Arbeiten (hier: Abbau des unteren Tragrings +10,10 m).

Durch Bohr- und Spreiztechnik (hydraulisches Sprengen) und mit preßluftbetriebenen Bohrhämmern wurden vor allem die Zwickelbereiche sowie die sich auf der Außenseite im Bereich der Durchführungen der Moderatorablaßleitungen befindlichen Balkonstrukturen abgebaut. Aufgrund der engen räumlichen Verhältnisse mußten hier Kleingeräte eingesetzt werden. Daher konnte bei diesen Arbeiten nur eine relativ niedrige Abbauleistung erreicht werden, die sich nicht in exakten Zahlenwerten ausdrücken läßt. Die Ursache hierfür ist in dem Sachverhalt begründet, daß diese Arbeiten wegen der räumlichen Trennung gegenüber den Abbaubereichen innerhalb der Kreiszylinderschale, die dort wegen der Zugänglichkeit (Bühnenmanagement) nur nacheinander erfolgen konnten, nicht auf dem terminkritischen Pfad lagen und deshalb kurzfristig unterbrochen bzw. wieder fortgesetzt werden konnten.

Mit dem Abbauende des am stärksten bewehrten Bereiches, dem unteren Tragrings (13 Lagen Bewehrungsstahl) Anfang Oktober 1993 konnte die ohne Störungen verlaufende Phase des Abbaus der aktivierten Betonstrukturen erfolgreich abgeschlossen werden (Abb. 34).

Anschließend erfolgten lediglich Restarbeiten, beispielsweise Demontagen von Hilfseinrichtungen und Reinigungsmaßnahmen. Diverse Blecheinhausungen mußten wieder entfernt werden. Vom Sammlerraum aus wurde mit Hilfe eines fahrbaren Auslegers mit angeschlossenen Personenkorb die Absaugung der verbliebenen Reststrukturen vorgenommen. Dies betraf hauptsächlich die waagerechten Vorsprünge der ehemaligen Tragrings (Abb. 35).

Das Ziel der Arbeiten innerhalb der Demontagephase 2 Abschnitt 4, die Demontage der aktivierten Gebäudestrukturen, wurde innerhalb von nur sieben Monaten erreicht. Damit wurden gegenüber der ursprünglichen Planung sieben Monate Projektlaufzeit eingespart. Dies war im wesentlichen auf folgende Gründe zurückzuführen:

1. Die Demontagarbeiten konnten ohne größere Abweichungen vom Demontagekonzept durchgeführt werden.
2. Die angewandte Zerlegetechnik, Sprengungen nach Vertikalbohrungen mit anschließender Nacharbeit eines elektrobetriebenen Hydraulikbaggers, erwies sich als sehr effizient.
3. Der engagierte Einsatz einer Fachfirma für den Betonabbau beschleunigte den Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen wesentlich.

Weitergehende Informationen sind ausführlich in [32-34] dokumentiert.

Der sprengtechnische Abbau des oberen Tragrings, des Biologischen Schildes sowie des unteren Tragrings stieß aufgrund der positiven Ergebnisse (geringe Staubentwicklung, gute Betonzerrüttung) auf Zustimmung sowohl der Genehmigungsinhaber als auch des Gutachters und der Behörden. Auch bewährte sich die Entscheidung, die oberflächennahen Lagen der Bewehrung des Biologischen Schildes nicht vor den Sprengungen aufzutrennen und diese damit als Splitterschutz vor abgesprengten Betonbrocken zu nutzen.

Für den Abbau der aktivierten Betonstrukturen des KKN lassen sich unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit folgende Aussagen ableiten:

- Geringe Abbautiefen bis ca. 30 cm (Verteilerraumwand) rechtfertigten durch die hohe Abbaugeschwindigkeit den Abbruch mit dem Felsmeißel des Hydraulikbaggers allein.

- Tiefer aktivierte Bereiche, vor allem der Barytbeton des Biologischen Schildes (60 cm), mit im Bereich der Bohrungen nur geringer Bewehrung, konnten durch die Kombination von Lockerungssprengungen und Abbruch mit dem Hydraulikbagger zügig abgebaut werden.
- Unzugängliche Bereiche (Balkone) waren nur mit Kleingeräten abzubauen.

Die Abbildung 35 zeigt den Blick auf die Reststrukturen der Kreiszyinderschale. Alle abgetragenen oder abgeschälten Wandbereiche waren mit Kennzeichnungen versehen, um die Meßpunkte des Strahlenschutzes, des TÜV sowie die Probenahmeorte des LfU nachvollziehbar identifizieren zu können.

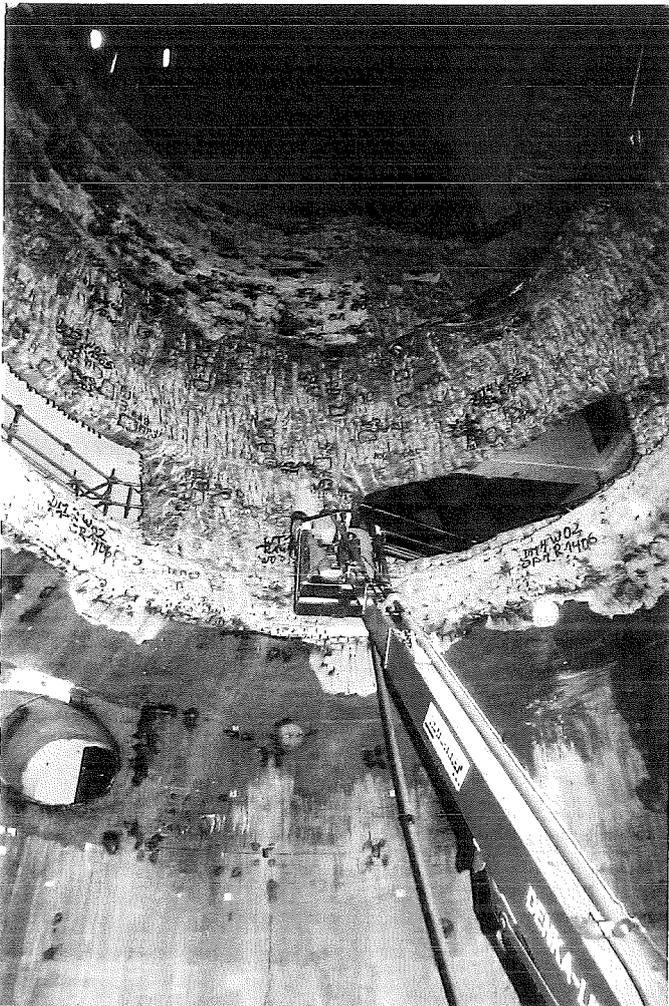


Abbildung 35:

Blick aus dem Sammlerraum, Höhenkote +1,50 m auf die Reststrukturen des Biologischen Schildes, hier: Restarbeiten - Absaugen des unteren Tragrings zur Vorbereitung der Demontagephase 2/5 „Dekontamination des Kontrollbereiches und Freimessen der Gesamtanlage“.

Zusammenfassend sind folgende in dieser Demontagephase gemachten Erkenntnisse und Erfahrungen hervorzuheben:

Für den Abbau der aktivierten Betonstrukturen aus Normal- bzw. Barytbeton (Biologischer Schild) setzte man folgende Abbautechniken - teilweise alternativ - ein:

- a) pyrotechnische, kontrollierte Lockerungssprengungen, anschließende Nacharbeit mit einem 8 t schweren, elektrisch betriebenen Hydraulikbagger mit Felsmeißel (Tragringe, Biologischer Schild),
- b) direkter Betonabbau mit Hydraulikbagger (Verteilerraum, Zwickelbereiche),
- c) Betonlockerung mit hydraulischen Spreizgeräten, Betonabbau je nach Zugänglichkeit mit Hydraulikbagger bzw. manuell mit Preßluftbohrhammer (Balkonstrukturen).

Entscheidende Kriterien für die gewählten Abbautechniken waren dabei die Aktivierungstiefe und damit Abbautiefe, die räumliche Zugänglichkeit sowie die Bewehrungsdichte [32].

Der Abbau der aktivierten Betonstrukturen zeichnete sich jedoch infolge der Kombination der beschriebenen Abbautechniken durch seine insgesamt hohe Abbauleistung aus. Nach dem Abbau des oberen Tragrings und des Verteilerraumes konnte Mitte Juli 1993 wie zuvor beschrieben mit dem Abbau des Biologischen Schildes begonnen werden. Währenddessen führte man bereits parallele Arbeiten in den Balkonbereichen durch. Schon Mitte September 1993 konnte das letzte 400 l-fassende Faß mit dem Barytbeton des Biologischen Schildes gefüllt werden. Pro Höhenbereich von ca. 2 m wurden lediglich ca. 2 Wochen reine Abbauleistung benötigt. Zeitnahe Zusammenarbeit mit den Behörden und das letztendlich nicht zu unterschätzende „know how“ der als Unterauftragnehmer der ARGE tätigen Maschinen- und Werkzeugführer bildeten die Voraussetzung zum Erreichen dieser hohen Abbauleistung am Biologischen Schild.

Für die Demontage wurden weitgehend handelsübliche Werkzeuge eingesetzt. Die getroffenen Maßnahmen und Modifizierungen an allen Gerätschaften, die für den Abbau der Betonstrukturen benötigt wurden, führten dazu, daß diese nach dem Einsatz im Kontrollbereich wieder freigegeben werden konnten.

Die Problematik, daß am Anfang bei der sprengtechnischen Zerlegung besonders stark bewehrter Betonstrukturen Erfahrungswerte fehlten, wurde nach der Analyse der ersten Sprengergebnisse durch die Weiterentwicklung des Sprengverfahrens vor Ort schnell gelöst. In der Folge verliefen die Sprengungen planmäßig. Die sprengtechnische Zerlegung aktivierter Gebäudestrukturen hat sich als ein sicher beherrschbares, effizientes und wirtschaftliches Demontageverfahren erwiesen. Hierbei konnte der Anfall an radioaktiven Reststoffen minimiert werden, indem unterhalb des massenspezifischen Grenzwertes aktivierte Betonstrukturen mit der Freimeßanlage freigemessen wurden (Tab. 2).

Die Optimierungsmaßnahmen vor allem im infrastrukturellen und logistischen Bereich, beispielsweise Sonderschichten für Faßtransporte und Erhöhung der Lagerkapazität für Container, führten immer wieder zur Verkürzung der geplanten Demontagezeiten.

Der in dieser Abbauphase angefallene Betonschutt aus den aktivierten Bereichen wurde in 400 l-Fässer verpackt und als radioaktive Reststoffe in 20'-Containern nach Karlsruhe

KfK/HDB befördert. Den nicht aktivierten Betonschutt unterzog man in 200 l-Fässern gefüllt den Entscheidungsmessungen in der KKN-Freimeßanlage. Der Bewehrungsstahl wurde faßgerecht abgetrennt und nach dem Schmelzen der kontrollierten Wiederverwertung zugeführt.

In Tabelle 2 sind die tatsächlich abgebauten Massen dieser Demontagephase den ursprünglichen Schätzungen gegenübergestellt. Daraus läßt sich ableiten, daß die zur Massenermittlung maßgeblichen Abbautiefen zur sicheren Unterschreitung des massenspezifischen Grenzwertes und die daraus zu ziehende Kosten- und Terminsituation in der Planungsphase verantwortungsbewußt eingeschätzt worden waren. In allen Bereichen wurden die ursprünglich erwarteten abzubauenen Mengen an Beton, Stahl und sonstigen radioaktiven Abfällen unterschritten.

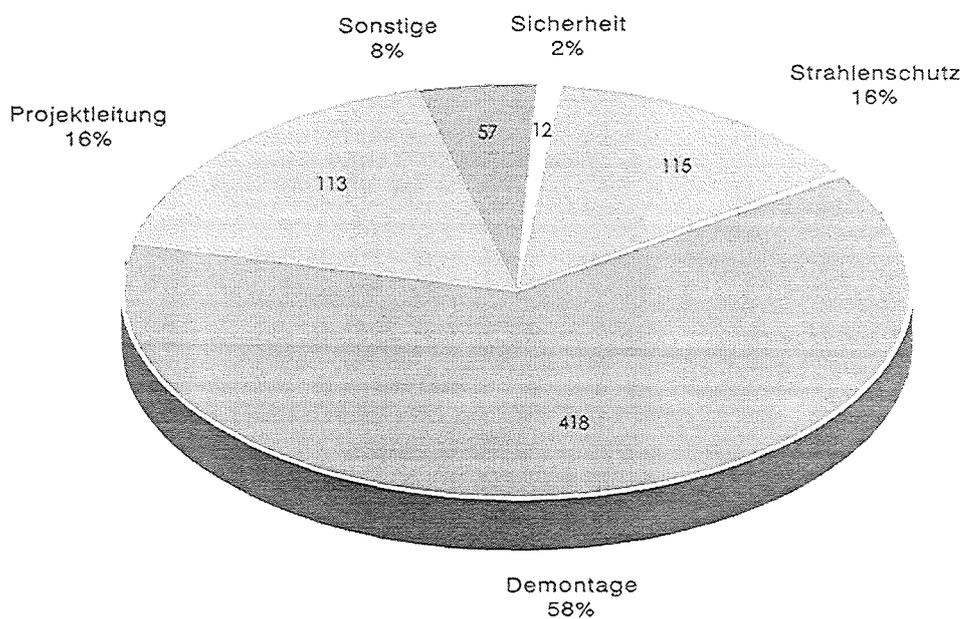
	Faßinhalt	geschätzt		tatsächlich	
		Fässer	Masse	Fässer	Masse
Barytbeton, radioaktive Reststoffe	400 l	850	645 Mg	738	532 Mg
Normalbeton, radioaktive Reststoffe	400 l	1020	561 Mg	424	229 Mg
Normalbeton, freigemessen.	200 l	400	104 Mg	903	226 Mg
Stahl, eingeschränkte Wiederverwertung	200 l	900	210 Mg	630	146 Mg
sonst. radioakt. Abfälle	200/180 l	300	37 Mg	290	20 Mg

Tabelle 2: Gegenüberstellung der geschätzten und tatsächlichen Beton-, Stahlmassen und Sekundärabfälle, die während des Abbaus der aktivierten Gebäudestrukturen anfielen. In allen Abbaubereichen wurden die geschätzten Massen deutlich unterschritten.

Für die mit Beton gefüllten Fässer wurde die +22,30 m-Ebene als Deklarations- und Pufferraum benutzt. Der zur kontrollierten Wiederverwertung vorgesehene Stahl wurde auf der QV-Station im „Keller“, Höhenkote -4,70 m, in sogenannte T180-Schmelzfässer verpackt und dokumentiert. Die gefüllten Fässer wurden nach erfolgter Deklaration und Wischtestnahme durch den Strahlenschutz in 20'-Container eingeladen. Für den Transport des Betons wurden hierzu zusätzlich zu den bereits aus den vorangegangenen Demontagephasen vorhandenen Containern weitere 35 Stück 20'-Container eingesetzt. Jedoch wurde die Gesamtzahl der einsetzbaren 20'-Container durch den eingeschränkten Bereitstellungsraum im Maschinenhaus und die Auflage der Behörde, mit radioaktivem Material beladene Container nur für den Zeitraum des unmittelbar folgenden Abtransportes im KKN-Freigelände bereitzustellen, begrenzt. Somit war ein zügiger Abtransport beladener Container unumgänglich.

Mit Ausnahme des aktivierten Stahls unterhalb einer spezifischen Aktivität von 200 Bq/g wurden sämtliche feste radioaktive Reststoffe (Beton, Sekundär- und Sonderabfall) zur Konditionierung und Zwischenlagerung nach Karlsruhe zu KfK/HDB transportiert. Der Transport der Fässer mit aktiviertem Stahl unterhalb der genannten spezifischen Aktivität erfolgte zur Fa. Siempelkamp nach Krefeld, wo der sortenreine Stahl chargenweise eingeschmolzen und anschließend durch den Erzeuger der kontrollierten Wiederverwertung zugeführt wurde.

Die Personalausstattung der Demontagephase 2/4 „Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen“ ist in Abbildung 36 dargestellt. Die höchste nichtamtliche monatliche Individualdosis dieser Demontagephase lag mit 0,646 man mSv sehr niedrig.



[Angaben in Mann-Monaten]

Abbildung 36: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/4 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).

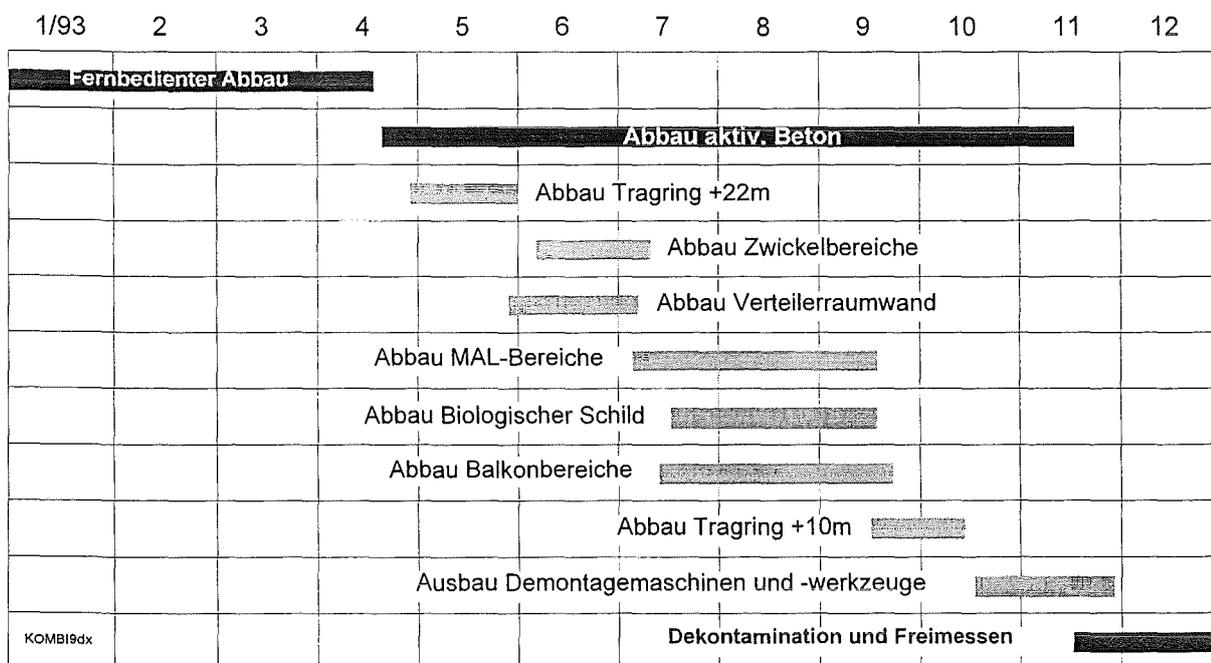


Abbildung 37: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/4.

Alle wesentlichen Daten der Demontagephase 2/4 sind nachfolgend zusammengefaßt.

<b>Demontagephase 2/4: in Zahlen:</b>	<b>Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen</b>
Dauer:	16.04.1993 - 15.11.1993
Gruppenäquivalentdosis:	11.852 $\mu$ Sv
Typische Jobdosis:	3,249 man- $\mu$ Sv (Qualitätsgesicherte Verpackung)
mittlere Personenzahl:	120
maximale Personenzahl:	130
Gesamtarbeitsaufwand:	715 Mannmonate, 2-Schicht-Betrieb
Demontierte Massen:	1.153 Mg, davon 761 Mg radioakt. Reststoffe (ca. 66 %)
Aktivitätsabgaben Phase 2/4:	
• Fortluft H3:	2,217 E+8 Bq (Gesamtvolumenstrom: 1,51 E+08 m <sup>3</sup> )
• Fortluft Aerosole:	5,19 E+04 Bq Co-60
• Abwasser H3:	< NWG (Abgabemenge: 228 m <sup>3</sup> )
• Abwasser Sondernuklide:	< NWG (Fe-55, Ni-59, Ni-63)
• Abwasser Sonstige Nuklide:	3,0 E+05 Bq Co-60
Besondere Vorkommnisse:	Verkürzung der Projektlaufzeit um 7 Monate.

## 4.7 Dekontamination und Freimessen (Demontagephase 2/5)

Mitte November 1993 wurde nach der Demontage der abreinigbaren Filteranlage inkl. der Entsorgung der Filtereinsätze und der Demontage aller Einrichtungen im Sicherheitsbehälter, u.a. die Lufttechnische Anlage des Reaktorgebäudes, der aktivierte Betonabbau abgeschlossen. Nahtlos daran schloß sich die Demontagephase 2/5 „Restarbeiten“, im wesentlichen Arbeiten in Zusammenhang mit der Dekontamination des Kontrollbereiches und dem Freimessen der Gesamtanlage, an.

Die Vorgehensweise zur Entlassung einer kerntechnischen Anlage aus den atomrechtlichen Bindungen ist gesetzlich nicht explizit geregelt und wurde deshalb für das KKN frühzeitig mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt. Die Randbedingungen für die Freimeßarbeiten legte man in zahlreichen Aufsichtsgesprächen und Änderungsanzeigen fest. Mit der Freigabe von Einrichtungen und Anlagenteilen verloren diese ihre atomrechtliche Bindung. Die Freigabe erfolgte durch den Nachweis der Unterschreitung der in der Abbaugenehmigung genannten Grenzwerte. Die Standortfreigabe ergab sich durch die Summe der Einzelfreigaben [39].

Insgesamt wurden in dieser Demontagephase über 200.000 Messungen und Probenahmen durchgeführt, die dokumentiert und bewertet werden mußten. Zusätzlich wurden durch den TÜV Bayern Sachsen ca. 10 %, durch LfU ca. 2 - 3 % Kontrollmessungen vorgenommen. Durch eine gut abgestimmte Vorplanung konnten die Kontrollmessungen des Gutachters und der Aufsichtsbehörde weitgehend parallel zu den Messungen der ARGE durchgeführt und die Bearbeitungszeit für die Freigabeanträge, zur zeitlichen Entzerrung in sechs Teilfreigaben aufgeteilt, deutlich reduziert werden.

Alle Meßorte wurden anhand der in einer Strahlenschutzfachanweisung festgeschriebenen Nomenklatur beschriftet und dokumentiert. Für die Messungen wurden die Flächen in Abschnitte unterteilt und die Meßpositionen markiert. Alle KKN-Anlagenbereiche, also sowohl der Kontrollbereich (Reaktorgebäude, Hilfsanlagengebäude, Faßpufferlager im Maschinenhaus) als auch alle sonstigen Gebäude des betrieblichen Überwachungsbereiches nebst Freigelände, Grün- und Dachflächen wurden je nach der Wahrscheinlichkeit der Kontaminationsverschleppung in radiologische Kategorien I - V eingeteilt (Tab. 3). In Abstimmung mit Behörden und Gutachter wurde hinsichtlich der Vorgehensweise ein sog. „Rückzugskonzept“ von den heißen Bereichen der Kategorie I zu den kalten Bereichen der Kategorie V festgelegt.

Wesentlich in dieser Demontagephase waren nicht nur die reinen Meßzeiten. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Einrüstungen der verschiedenen Bereiche gerichtet. Die Zugänglichkeit jedes Quadratmeters der Gebäude zur Durchführung von Freigabemessungen wurde durch diese aufwendigen Gerüstbauten gewährleistet. Zur Reinigung der Kuppel wurde ein dem Radius der Kuppel angepaßtes Gerüst montiert. Dieses spezielle Kuppelgerüst war auf der Kranbahn des Reaktorgebäudekrans manuell verfahrbar und über ein Drehlager im Kuppeldom verschraubt.

Sämtliche Oberflächen wurden vor den Freigabemessungen abgesaugt und mit Dekontaminationsmitteln feucht abgewischt. Beschädigte Verkehrsflächen wurden abgefräst, in Einzelfällen war zusätzlich der Estrich zu entfernen.

Radiolog. Kategorie	Zugehörige Anlagenteile / Gebäude	Beispiele	Zahl der Messungen	Bemerkungen
I	Alle Kontrollbereiche (KB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitsbehälter</li> <li>• Hilfsanlagengeb. (teilweise), (HAG)</li> <li>• Faßpufferlager im Maschinenhaus, (MH)</li> </ul>	Decken und Wände: 1/m <sup>2</sup> Boden: 100%	
II	Bereiche außerhalb KB (Kontaminationsverschleppung aufgrund der Nutzung während der Demontage <u>möglich</u> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hygienetrakt im HAG</li> <li>• KB-Zugänge</li> </ul>	Nur Böden: Messung 1/10m <sup>2</sup> , mind. 1/Raum	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• MH-Zugänge</li> </ul>	Boden	
III	Bereiche außerhalb KB (Kontaminationsverschleppung aufgrund der Nutzung während der Demontage <u>unwahrscheinlich</u> )	Büroräume, Pfortnerhaus, Maschinenhaus	Verkehrswege: Raster 1/10m <sup>2</sup> , Sonstige: Raster 1/50m <sup>2</sup> , mind. 1/Raum	
		Einige Grünflächen (Lagerflächen)	1 Probe /250m <sup>2</sup>	Messung durch TÜV vereinzelt (in-situ)
IV	Während der Demontage nicht genutzte Anlagenbereiche  (Aktivitätsfreiheit aufgrund Betriebshistorie)	Teile Schaltanlagengebäude, Dachflächen	Messung der Verkehrswege 1/50m <sup>2</sup> mind. 1/Raum	
		Großteil Grünflächen	1 Probe/500m <sup>2</sup>	Zusätzl. Messung durch TÜV großflächig (in-situ)
V	Bereiche innerhalb und außerhalb der betrieblichen Überw.-bereiche (während der Demontage nicht genutzt; Aktivitätsfreiheit seit Sicherem Einschluß (SE))	Kühlwasserentnahmebauwerk, Gruftgebäude (ehem. KB)	Lediglich Beweissicherungs-messungen (Argumentation über bisherige Nutzung)	Aktivitätsfreiheit seit SE wurde durch Messungen bestätigt

Tabelle 3: Einteilung der Gebäude und Anlagenbereiche entsprechend der Betriebshistorie bzw. Nutzung in fünf radiologische Kategorien.

Im Kontrollbereich erfolgte der Nachweis der Grenzwertunterschreitung auf allen Verkehrsflächen flächendeckend. An Wänden und Decken wurden die Messungen in einem Raster von einer Messung je Quadratmeter durchgeführt (Abb.38). Zusätzlich erfolgte die Entnahme von Materialproben. Die Dekontamination beschädigter Verkehrsflächen erfolgte mit handelsüblichen Fräsmaschinen, die für den Kontrollbereichseinsatz auf Trockenbetrieb umgerüstet und mit einer Absaugung versehen worden waren.

Die Ablauffolge bei der Freigabe der Gebäudestrukturen ist in Abbildung 39 dargestellt. Nach Erfassung aller Gebäude und Anlagenbereiche wurde der Umfang der Freigabemessungen entsprechend der radiologischen Wertigkeit der Anlagenbereiche in einer Strahlenschutz-Fachanweisung festgelegt.

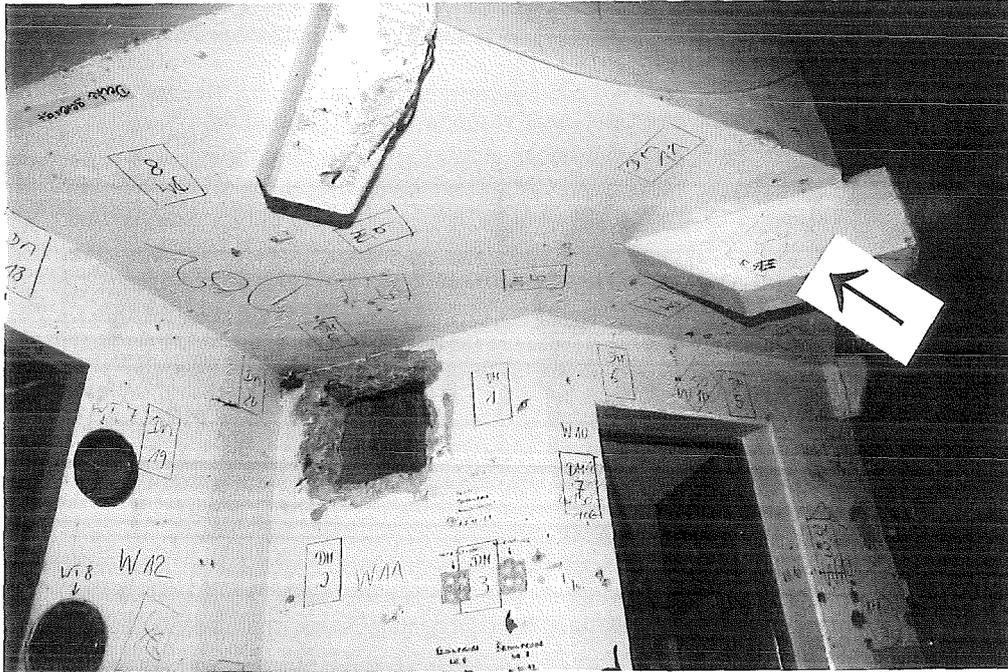


Abbildung 38: Freigemessene komplexe Wandstruktur im Reaktorgebäude: Jede Meßstelle wurde gemäß Nomenklatur gekennzeichnet, anschließend erfolgten die TÜV-Messungen (rot, Nr. 49 siehe Pfeil) und LfU-Probenahmen.

Die Restarbeiten zur Entlassung der Anlage aus der atomrechtlichen Bindung setzten sich im wesentlichen wie folgt zusammen:

- a) Dekontamination und das Freimessen des Sicherheitsbehälters und Aufhebung des Kontrollbereichs „Sicherheitsbehälter“,
- b) das Freimessen des sog. „Faßpufferlagers“ im Maschinenhaus und die Aufhebung des Kontrollbereichs,
- c) die Demontage der Lufttechnischen Anlage, der Abwassersammelstation sowie weiterer Hilfseinrichtungen im Hilfsanlagengebäude (Heiße Wäscherei, Heiße Umkleide),
- d) die Dekontamination des Hilfsanlagengebäudes (Abb. 41) und die Aufhebung des Kontrollbereichs,
- e) das Freimessen aller Bereiche des betrieblichen Überwachungsbereichs inkl. des Freigeländes und der Dachflächen (Transportwege, Bereitstellungsflächen im Freigelände, Ringräume, Werkstattgebäude und die LKW-Durchfahrt im Maschinenhaus),
- f) die Vorbereitung aller Dokumente, und nach deren Freigabe
- g) die Erwirkung der Entlassung der KKN-Anlage aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes.

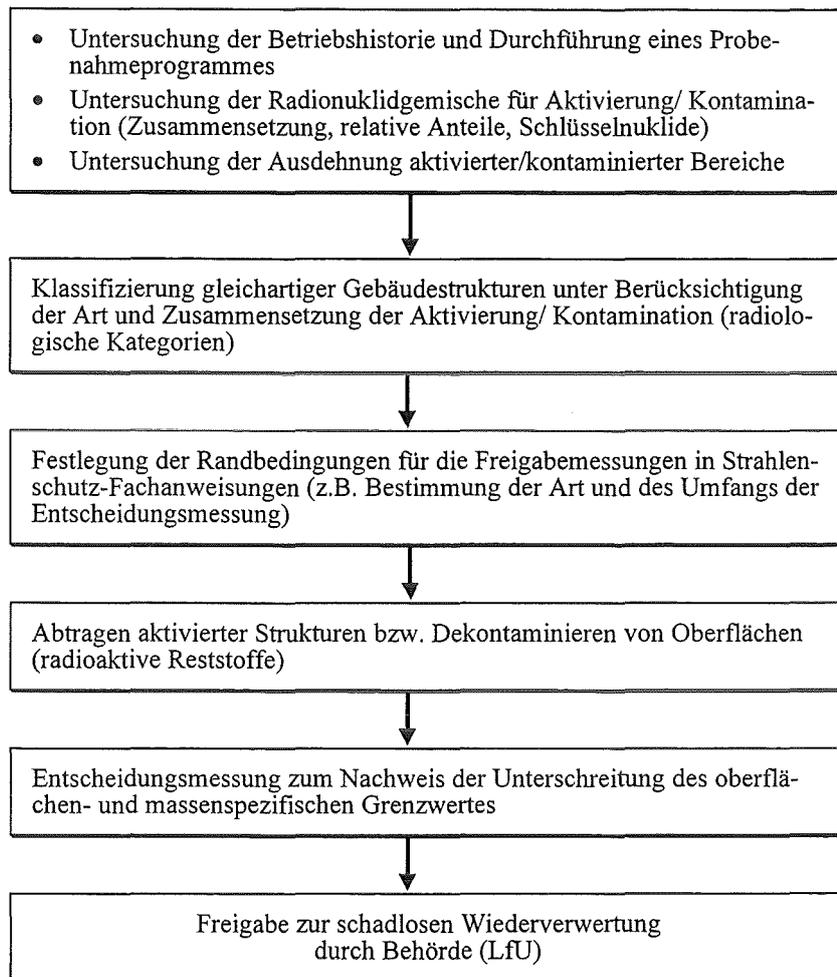


Abbildung 39: Ablauffolge bei der Freigabe der Gebäude und Anlagenbereiche.

Die Dekontaminations- und Freimeßarbeiten begannen im Reaktorgebäude und umfaßten die nachfolgend aufgelisteten Arbeiten und Bereiche:

- Dekontamination sämtlicher Bodenflächen durch Entfernung von „Störungen“ wie Stahlverankerungen etc. und / oder Abfräsen des Estrichs,
- Freimessen der verbliebenen Reststrukturen der Demontagephase 2/4, des Reaktorgebäudekrans, des Restes des gekappten Großen Drehschildes, der Dampferzeugerkavernen, des Kranschachtbereiches, des Fahrstuhlchachtes, der Not-, Material- und Personenschleusen (Abb. 40),
- Freimessungen am Ringspalt (Spalt zwischen Innenseite der Sicherheitsbehälterstahlhülle und Außenseite des sich darin befindenden Betonbauwerks des Sicherheitsbehälters) durch Messungen, Probenahmen und Plausibilitätsbetrachtungen,
- sukzessiver Rückbau der Lüftungsanlage.

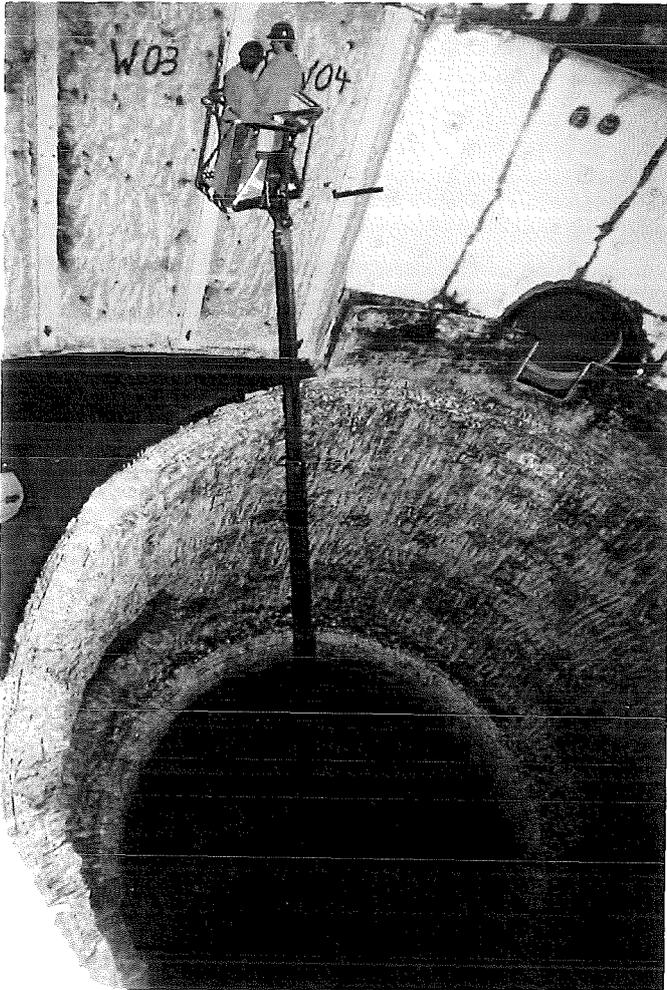


Abbildung 40:

Freimeßarbeiten an den nach dem Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen verbliebenen Reststrukturen. Blick auf die Außenwand der sogenannten Kreiszyinderschale im Zwickelbereich.

Untere Bildhälfte:

Blick auf die Reststruktur des Biologischen Schildes.

Die Dekontaminations- und Freimeßarbeiten fanden nach dem Freimessen des Hilfsanlagengebäudes (Abb. 41) in den Außenanlagen ihren Abschluß. Dieses Rückzugskonzept von den heißen Bereichen der Kategorie I bis zu den kalten Bereichen der Kategorie V schloß eine erneute Kontamination bereits dekontaminierter und gemessener Bereiche durch das Verschießen der entsprechenden Räume sicher aus. Insgesamt waren nahezu 40.000 m<sup>2</sup> Raumboflächen zu messen. Der damit verbundene Meßaufwand ist in Tabelle 4 zusammengestellt.

Anlagenbereiche	Flächen	Zahl der Messungen
Kontrollbereich	26.000 m <sup>2</sup> (Boden-, Wand- und Deckenflächen)	200.000 direkt 5.000 Probenahmen
Außerhalb Kontrollbereich	19.500 m <sup>2</sup> (Boden- und Dachflächen)	5.000 direkt 300 Probenahmen

Tabelle 4: Meßaufwand zur Standortfreigabe des KKN für alle Bereiche innerhalb und außerhalb des Kontrollbereiches.

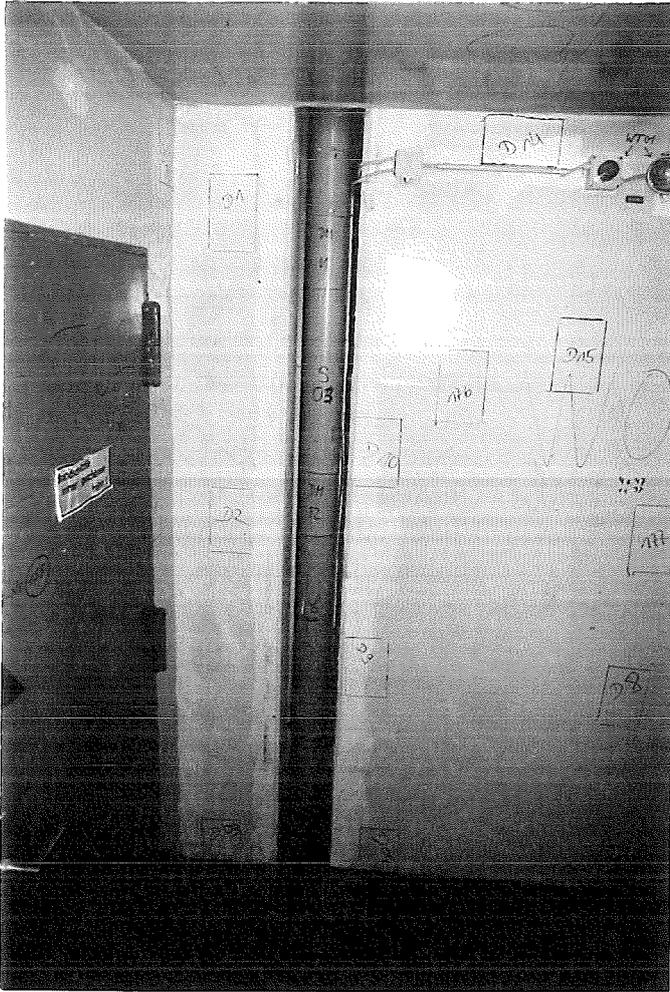


Abbildung 41:

Dekontamination und Freimessen  
des Hilfsanlagegebäudes.  
Hier: Freigelegtes und freigemes-  
senes Kunststoffallrohr.

Eine wichtige Randbedingung war der möglichst lange Betrieb der verbliebenen technischen Einrichtungen und gegebenenfalls der Ersatz durch Behelfseinrichtungen, wie z.B. die Lufttechnische Anlage und das Abwassersystem inkl. der Heißen Wäscherei. Die Hilfseinrichtungen standen für die Arbeiten im Sicherheitsbehälter zur Verfügung, im Hilfsanlagegebäude wurde vor der Außerbetriebnahme der Lufttechnischen Anlage eine Behelfslüftung in Betrieb genommen. Dadurch war stets eine gerichtete Luftströmung vorhanden. Aufgrund der Radonbildung war ebenfalls der notwendige Luftwechsel sicherzustellen und so die Abluftbilanzierung zu gewährleisten. Die Wäscherei und die Abwassersammelstation wurden Zug um Zug zurückgebaut und erst außer Betrieb genommen, als alle Reinigungs- und Dekontaminationsarbeiten abgeschlossen waren.

Das nach dem Ende der Arbeiten im Sicherheitsbehälter (Abb. 42) frei gewordene Strahlenschutzpersonal führte im zweiten Quartal 1994 die bereits begonnenen Messungen aller Bereiche der Kategorien II-IV durch. Dabei wiesen selbst die Probenahmen aus den Regenrinnen der Dachflächen keine künstliche, KKN-spezifische Aktivität aus. Der TÜV nutzte die Grünflächen zusätzlich als Testgelände für sogenannte „in-situ“-Messungen im Rahmen eines EG-geförderten Forschungsprojektes. Auf diese Weise wurden die Grün- und Verkehrsflächen nahezu 100 %ig gemessen. Die genaue gammaspektroskopische Analyse der oberen Erdfflächen wies ebenfalls keine künstlichen, KKN-spezifischen Nuklide aus.

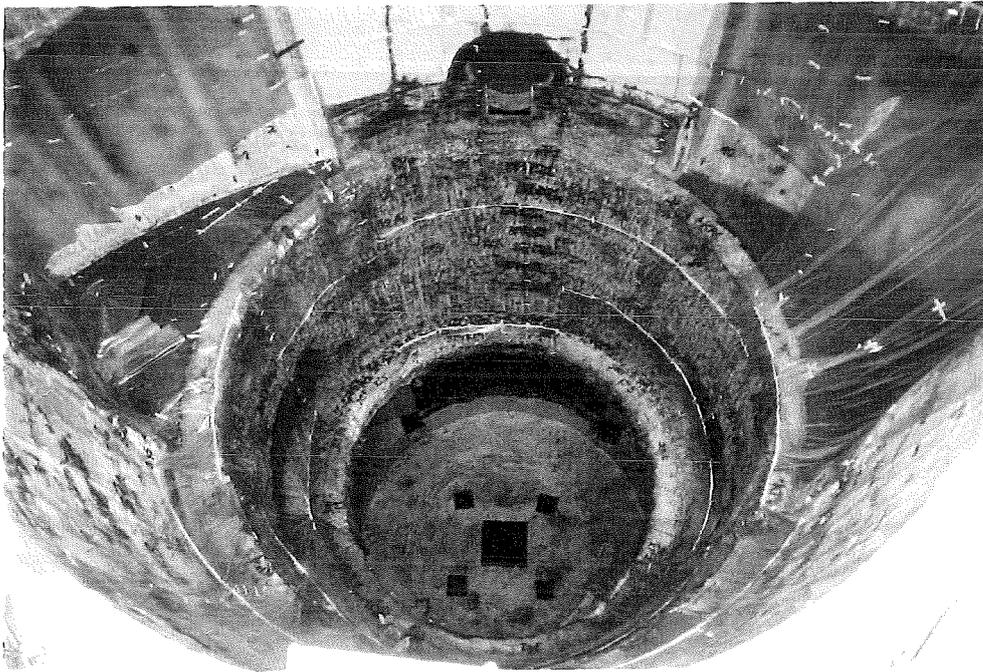


Abbildung 42: Blick von der +22,30 m-Ebene in die sogenannte Kreiszyinderschale nach dem Abschluß der dortigen Freiemarbeiten.  
Obere Bildmitte: ehemalige Brennelementsleuse zum Gruftgebäude.

Ende Juli 1994 waren alle Freiemarbeiten des ehemaligen Kontrollbereiches und des betrieblichen Überwachungsbereiches ohne festgestellte Überschreitungen der Grenzwerte erfolgreich abgeschlossen. Für jeden jeweils durch TÜV gegengemessenen und durch LfU nochmals kontrollierten Anlagenbereich wurde durch LfU eine Einzelfreigabe ausgesprochen. Die Summe dieser sukzessiven erteilten Einzelfreigaben:

- Aufhebung Kontrollbereich Faßpufferlager: 2/94
- Aufhebung Kontrollbereich Reaktorgebäude: 5/94
- Ende Fortluftbilanzierung: 5/94
- Freigabe Abwassersammelstation: 5/94
- Aufhebung Kontrollbereich Hilfsanlagengebäude: 8/94
- Freigabe Grün- und Dachflächen: 8/94

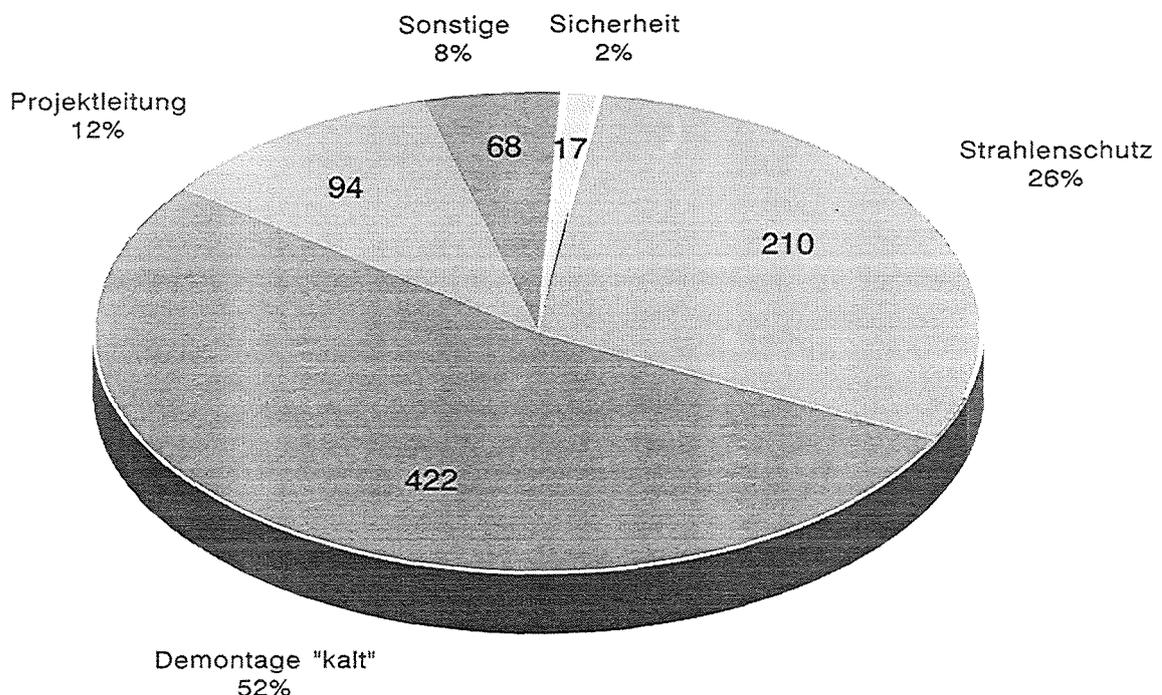
ermöglichte eine zügige Bearbeitung der Antragsunterlagen auf Entlassung der KKN-Anlage aus der atomrechtlichen Bindung bei der zuständigen Genehmigungsbehörde, dem BStMLU.

Der anteilige Arbeitsaufwand des Strahlenschutzes erhöhte sich erwartungsgemäß auf ca. 210 Mannmonate (Abb. 43) gegenüber der vorangegangenen Demontagephase 2/4 (115 Mannmonate). Der nahezu konstante Arbeitsaufwand des Demontagepersonals zeugt von umfangreichen Dekontaminations- und Rückbauarbeiten.

Die gesamte nichtamtliche Dosis von 824 man- $\mu$ Sv verdeutlicht, daß die Anlage KKN schon zu Beginn dieser Demontagephase praktisch aktivitätsfrei war. Unterstrichen wird dies durch einen Vergleich mit den vorangegangenen Demontagephasen 2/4 (ca. 12 man-mSv) bzw. Demontagephasen 2/3 (ca. 365 man-mSv).

Die Demontage des KKN im Rahmen des Atomrechtes endete am 17. August 1994 (Abb. 44), bereits eine Woche nach Eingang der Antragsunterlagen mit der Bestätigung des BStMLU, daß

- sich auf dem Gelände des ehemaligen Kernkraftwerkes Niederaichbach keine vom Kernkraftwerk herrührenden radioaktiven Stoffe mehr befinden,
- alle dort noch vorhandenen Anlagenteile und Reststoffe freigegeben sind,
- die Gestattungen der atomrechtlichen Abbaugenehmigung somit ausgeschöpft sind und
- die noch vorhandenen Anlagenteile und Reststoffe sowie das Gelände keinen atomrechtlichen Beschränkungen mehr unterliegen.



[Angaben in Mann-Monaten]

Abbildung 43: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/5 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).

11/93 12 1/94 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

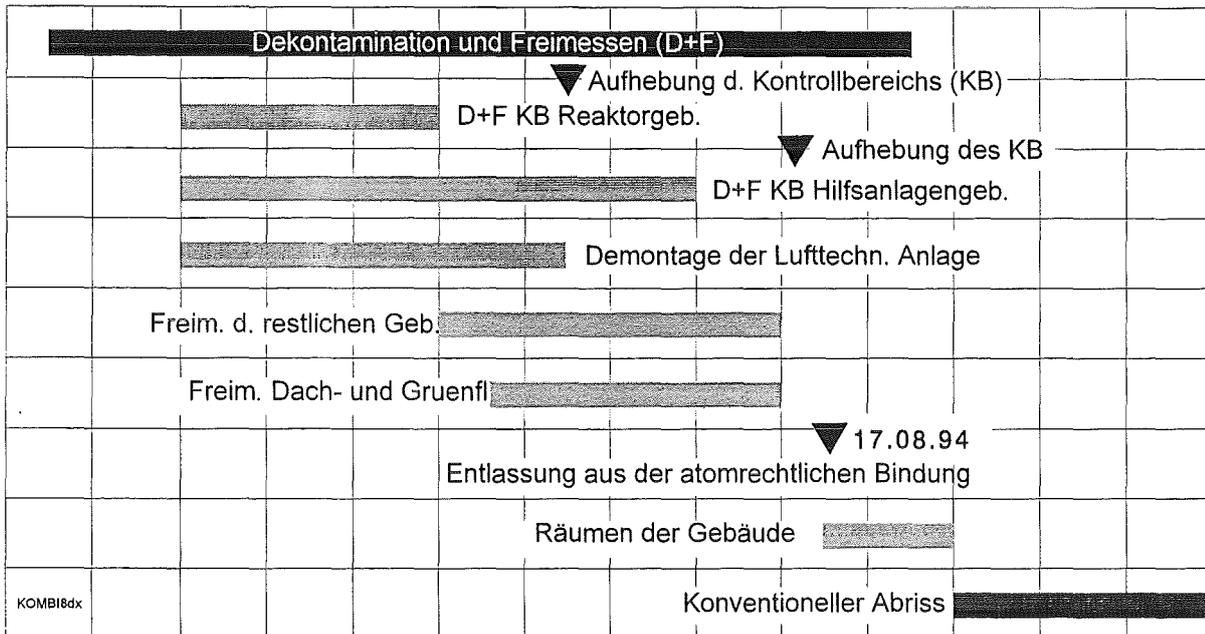


Abbildung 44: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/5.

Alle wesentlichen Daten dieser Demontagephase 2/5 sind nachfolgend zusammengefaßt.

<b>Demontagephase 2/5: in Zahlen:</b>	<b>Dekontamination des Kontrollbereiches und Freimessen der Gesamtanlage</b>
Dauer:	16.11.1993 - 17.08.1994
Gruppenäquivalentdosis:	824 man-µSv
Typische Jobdosis:	entfällt
mittlere Personenzahl:	100
maximale Personenzahl:	130
Gesamtarbeitsaufwand:	811 Mannmonate, 2-Schicht-Betrieb
Demontierte Massen:	544,14 Mg, davon 136 Mg radioaktive Reststoffe (ca. 25 %)
Aktivitätsabgaben Phase 2/5:	
• Fortluft H3:	4,9 E+07 Bq (Gesamtvolumenstrom: 1,12 E+08 m <sup>3</sup> )
• Fortluft Aerosole:	1,36 E+05 Bq
• Abwasser H3:	< NWG (Abgabemenge: 194 m <sup>3</sup> )
• Abwasser Sondernuklide:	< NWG (Fe-55, Ni-59, Ni-63)
• Abwasser Sonstige Nuklide:	1,5 E+06 Bq Co-60
Besondere Vorkommnisse:	Verkürzung der Projektlaufzeit um 2,5 Monate.

#### 4.8 Konventioneller Abbruch der Gebäude (Demontagephase 3)

Mit der Vorlage der zuvor erwähnten Bestätigung zur Standortfreigabe wurde die Genehmigung zum konventionellen Abbruch der Gebäude, der dritten und letzten Demontagephase, rechtskräftig. Unmittelbar daran anschließend wurde die Infrastruktur des KKN aufgelöst, so daß die Voraussetzung zum konventionellen Abbruch gegeben waren (Abb. 45).

Durch die Novellierung des bayerischen Baugesetzes vereinfachte sich die Erwirkung der Abrißgenehmigung. Der beim zuständigen Landratsamt Landshut eingereichten Abrißanzeige wurde zugestimmt unter der Prämisse, daß die Anlage frei von künstlicher Aktivität sei. Die Erfüllung dieser Forderung mit der Standortfreigabe des KKN ermöglichte die Festlegung des Beginns des konventionellen Abbruchs auf Anfang Oktober 1994.



Abbildung 45: Konventioneller Abbruch der Gebäude. Blick über das abgebrochene ehemalige Maschinenhaus hinweg auf das zum Teil abgebrochene Reaktorgebäude mit Sicherheitsbehälter (Februar 1995).

Bereits im Jahre 1993 wurde die Wiederverwertung der beim konventionellen Abbruch des ca. 130.000 m<sup>3</sup> umbauten Raumes anfallenden Massen an Beton, Mauerwerk und Stahl geklärt. Mit zwei Betonbrechanlagen wurden die ca. 33.000 m<sup>3</sup> Bauschutt vom Bewehrungsstahl getrennt und auf eine Korngröße von wenigen Zentimetern zerkleinert. Knapp 2/3 dieser 75.000 Mg Beton fanden als Füllmaterial der entstandenen Baugrube Verwendung. Die restlichen 13.000 m<sup>3</sup> wurden je zur Hälfte an benachbarte Gemeinden zum Waldwegebau abgegeben. Der granulierten Beton erwies sich als so gut geeignetes Wegebefestigungsmaterial, daß die gewünschte Nachfragemenge bei weitem nicht zur Verfügung gestellt werden konnte. Zirka 2.800 Mg Stahl führte man durch die Abgabe an den konventionellen Schrotthandel dem Rohstoffkreislauf zu.

Die Abbrucharbeiten der Restbauwerke wurden mit bewährten schweren Geräten, wie beispielsweise einem Seilbagger mit Abrißbirne, einem Hydraulikbagger mit Langausleger und Hydraulikzange und Hydraulikbaggern mit Felsmeißel durchgeführt. Auch beim konventionellen Abbruch der Gebäude wurde, wie schon zuvor beim Betonabbau, deutlich, daß die Effizienz dieser Arbeiten und damit der Zeitplan überwiegend von der Erfahrung der Maschinenführer dieser schweren Abbruchgeräte bestimmt wird. Eine von der ARGE beauftragte Fachfirma erfüllte diese Aufgabe vorzüglich.

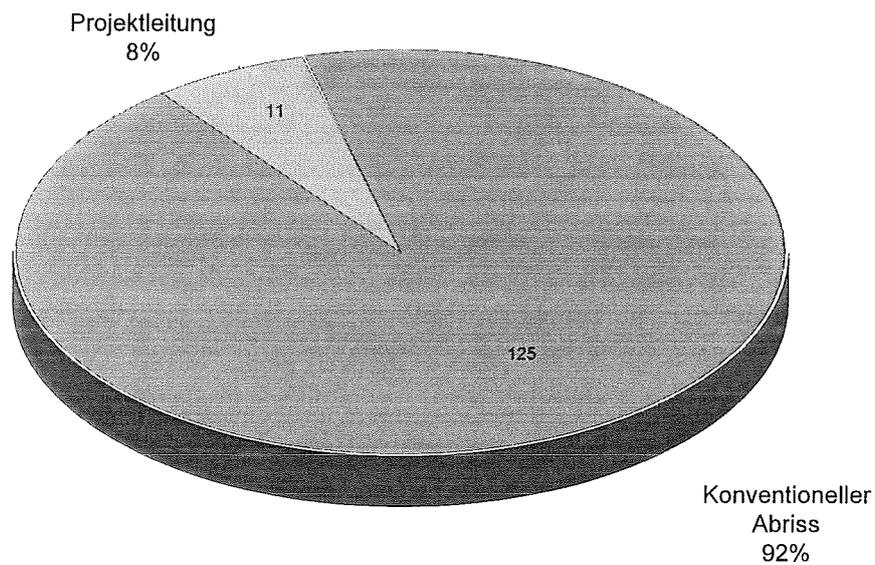
Höhepunkt des konventionellen Abbruchs war die Sprengung des Wahrzeichens des KKN am 20. Januar 1995 - der 130 m hohe Abluftkamin (Abb. 46). Der sprengtechnisch abzubauende, ca. 97 m hohe Teil des Kamins oberhalb des Gruftgebäudes wurde mit seiner Masse von etwa 610 t durch Bohr- und Sprengarbeit über das teilweise abgebrochene Reaktorgebäude hinweg in den Bereich des abgebrochenen Maschinenhauses umgelegt. Erschütterungsmessungen bestätigten die Ergebnisse zuvor erstellter Gutachten, daß keinerlei Gefahr für die unmittelbar benachbarten Kernkraftwerke Isar (KKI 1 in ca. 400 m, KKI 2 in ca. 700 m Entfernung) bestand.

Nach den Abbrucharbeiten oberhalb Geländeoberkante wurden die Gebäudefundamente entfernt. Mit der Baugrubenverfüllung durch den granulierten Beton und der Ende Juli 1995 abgeschlossenen Restauffüllung mit Muttererde waren alle Voraussetzungen geschaffen worden, um die "Grüne Wiese" am ehemaligen Standort KKN mit der Rekultivierung des Geländes bis zum Herbst 1995 zu realisieren.



Abbildung 46:

Mit der Sprengung des KKN-Wahrzeichens am 20. Januar 1995 wurde der Öffentlichkeit eindrucksvoll verdeutlicht, daß die vollständige Beseitigung des KKN bis hin zur „Grünen Wiese“ unmittelbar bevorstand.



[Angaben in Mann-Monaten]

Abbildung 47: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 3 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).

Alle wesentlichen Daten der Demontagephase 3 sind nachfolgend zusammengefaßt.

<b>Demontagephase 3: in Zahlen</b>	<b>Konventioneller Abbruch der Gebäude</b>
Dauer:	18.08.1994 - 11.08.1995
Gruppenäquivalentdosis:	entfällt
Typische Jobdosis:	entfällt
mittlere Personenzahl:	10
maximale Personenzahl:	13
Gesamtarbeitsaufwand:	136 Mannmonate, 1-Schicht-Betrieb
Demontageleistung im KB:	entfällt
Demontierte Massen:	~ 82.500 Mg, davon ca. 75.000 Mg Beton, (keine radioaktiven Reststoffe)
Aktivitätsabgaben Phase 3:	entfällt
Besondere Vorkommnisse:	Sprengeung des Fortluftkamins am 20. Januar 1995.

## 5. ENTSORGUNG

Im Atomgesetz ist definiert, daß bei der Beseitigung kerntechnischer Anlagen ausnahmslos Reststoffe anfallen. Sowohl diese Reststoffe als auch aus- oder abgebaute radioaktive Anlagenteile müssen so weit als möglich schadlos verwertet werden. Ansonsten sind sie als Abfälle geordnet zu beseitigen [40]. Dabei ist streng auf die Minimierung der Reststoffmenge zu achten.

Als Eigentümer der KKN-Anlage und damit Abfallverursacher hatte das Kernforschungszentrum Karlsruhe die Behandlung bzw. die Entsorgung sämtlicher Reststoffe sicherzustellen.

Die Entsorgung begann an dem Ort, an dem die radioaktiven Reststoffe anfielen, also unmittelbar am Ort der Demontage. Neben dem aktivierten Stahl des Reaktors, in dem der Großteil der Gesamtaktivität der Anlage eingebunden war, fielen aktivierter und kontaminierter Beton sowie Betriebsabfälle und Abwässer an.

Der höher aktivierte Stahl (spez. Aktivität oberhalb 200 Bq/g) wurde in endlagerechte Typ-II-Container in vier verschiedenen radiologischen Varianten mit unterschiedlich starker Abschirmung (Tab. 5) verpackt. Stahl mit einer spezifischen Aktivität unterhalb von 200 Bq/g wurde in 200 l Stahltrommeln, sogenannte Schmelzfässer gepackt. Betriebsabfälle wurden in 200 l-Rollreifentrommeln bzw. in Stahlpreßtrommeln eingefüllt. Für die aktivierten und kontaminierten Betonstrukturen standen 200 l- und 400 l- Fässer zur Verfügung. Die radiologisch belasteten Abwässer wurden aus der Abwassersammelstation in einen speziell für diesen Zweck gefertigten Tankcontainer gefüllt und zur Entsorgung ins benachbarte KKW Isar I transportiert.

Allgemein endete der Entsorgungspfad mit der Wiederverwertung des Materials, beispielsweise Einschmelzen für Stahl mit einer spezifischen Aktivität  $< 200$  Bq/g, bzw. der Wiederverwendung der Teile, beispielsweise der Wiedereinsatz der Blockbandsäge bei der Zerlegung des RDB im Rahmen der Demontage der Heißdampfreaktoranlage Karlstein (HDR). Ein anderes Ende des Entsorgungspfades ist die Zwischen- / Endlagerung der konditionierten radioaktiven Abfälle durch die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) des Kernforschungszentrums Karlsruhe.

## 5.1 Demontierte Massen

Die noch vor Beginn der Demontage geschätzte Reststoffmenge von über 130.000 Mg [9] wurde deutlich unterschritten (Abb. 48). Insgesamt fielen lediglich knapp über 88.000 Mg an, davon nur 1,9 % radioaktive Reststoffe. Weniger als 2,6 % der Gesamtmasse wurde der Wiederverwendung im Kontrollbereich, z.B. der HDR-Anlage Karlstein, bzw. der kontrollierten Wiederverwertung durch Einschmelzen zugeführt (Abb. 49). Eine radiologische Voraussetzung des Einschmelzens war die bereits erwähnte mittlere spezifische Aktivität unterhalb von 200 Bq/g zum Zeitpunkt der Anlieferung, eine weitere die Sicherstellung der Sortenreinheit des Stahls.

Stoffgruppe	Menge [Mg]	Behandlung	Verbleib
Inaktive Anlagenteile, Demontagegeräte	405	Freigabemessung	Konv. Entsorg., Schrotthandel, Wiederverwend.
Kontamin. und leichtaktivierte Stähle, Werkzeuge etc.	2259	Einschmelzen, Wiedereinsatz in KB	Eingeschränkte Wiederverwertung/Wiederverwendung FZK
Aktivierte Metalle	522	Konditionierung FZK/HDB	Zwischenlagerung FZK/HDB
Kontaminierter oder aktivierter Beton	890	Konditionierung FZK/HDB	Zwischenlagerung FZK/HDB, Endlager ERAM
Sekundärabfälle aus Demontage	255	Konditionierung FZK/HDB	Zwischenlagerung FZK/HDB
Abwasser	1540m <sup>3</sup>	Aufbereitung KKI 1	Abgabe über KKI 1
Bauschutt, Stahl aus konv. Abriß Restgebäude	~82500	Freigabemessung, Aufbereitung	Wiederverwertung

Abbildung 48: Übersicht der Reststoffströme aus der KKN-Demontage: Menge, Behandlung und Verbleib der verschiedenen Reststoffgruppen.

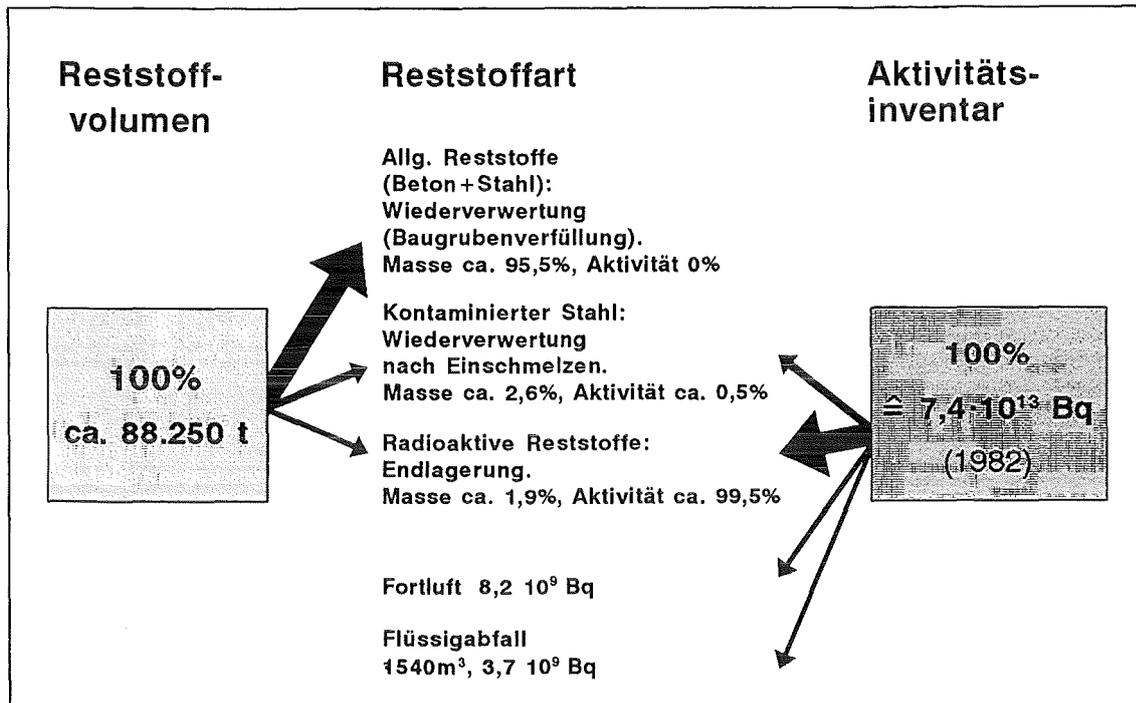


Abbildung 49: Art, Wiederverwendung und Aktivitätsinventar der Reststoffe aus der KKN-Demontage.

Aufgrund des geringen Aktivitätsinventars der Anlage ( $7,4 \text{ E}+13 \text{ Bq}$  1982) waren lediglich 1.680 Mg der über 88.000 Mg Reststoffe als radioaktive Reststoffe zu entsorgen, wovon wiederum der Hauptanteil während des fernbedienten Abbaus des Reaktors (Phase 2/3) und des Abbaus der aktivierten Gebäudestrukturen (Phase 2/4) folgendermaßen anfiel:

- 522 Mg aktivierter Stahl des eigentlichen Reaktors mit Einbauten sowie dem Thermischen Schild, der in 139 endlagerungsgeeigneten Typ II - Containern fernbedient verpackt und im KfK konditioniert wurde. Im zwischenzeitlich in Forschungszentrum Karlsruhe umbenannten ehemaligen KfK werden diese Reststoffe zwischengelagert. Aktivitätsinventar: ca.  $8,4 \text{ E}+12 \text{ Bq}$  (Tab. 5).
- Rund 457 Mg leicht aktivierter Schwerbeton aus der etwa 60 cm tief aktivierten Innenschicht des Biologischen Schildes (mittlere spezifische Aktivität unter  $10 \text{ Bq/g}$ ).
- Etwa 1956 Mg eingeschränkt wiederverwertbare Stoffe, d.h. überwiegend Stahlschrott aus geringfügig kontaminierten Leitungssystemen, Behältern, Hilfseinrichtungen usw.. Dieser Schrott wurde eingeschmolzen, damit teilweise gereinigt (Dekontaminationsfaktor bis 10) und der kontrollierten Wiederverwertung, u.a. als Abschirmmaterial für das Höhenstrahlexperiment des Forschungszentrums (KASCADE) zugeführt [17]. Durch das kontrollierte Einschmelzen von Stahl wurden wertvolle Reststoffe zurückgewonnen und das Reststoffvolumen reduziert.

schutt wurde wie erwähnt zu 2/3 in die entstandene Baugrube verfüllt. Das restliche Drittel fand je zur Hälfte beim Waldwegebau zweier benachbarter Gemeinden Wiederverwertung.

Alle diese Abfälle - den freigemessenen, den wiederverwertbaren Stahl und den konventionellen Bauschutt ausgenommen - wurden ins Forschungszentrum Karlsruhe / (HDB) gebracht und, soweit sie nicht wiederverwertbar waren, hier endlagerfähig konditioniert und im Forschungszentrum-Zwischenlager eingestellt. Der Transport nach Karlsruhe erfolgte fast ausnahmslos durch die Bundesbahn, lediglich der schwach aktivierte Beton und die Sekundärabfälle wurden auf der Straße transportiert. Der aktivierte Beton wurde Zug um Zug bis Ende März 1996 im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben ERAM eingelagert. Weitere Chargen sonstige radioaktive Reststoffe sind durch die HDB bereits bei TÜV Hannover / Sachsen-Anhalt angemeldet worden. Mit der Einlagerung darf aus heutiger Sicht bis Ende des Jahres 1996 gerechnet werden. Flüssige Reststoffmengen wurden über das benachbarte Kernkraftwerk Isar I entsorgt.

	Stoffgruppe 1	Stoffgruppe 2	Stoffgruppe 3	Stoffgruppe 4
mittlere spezifische Aktivität	0 bis $1,4 \times 10^3$ Bq/g	$1,4 \times 10^3$ Bq/g bis $1,0 \times 10^4$ Bq/g	$1,0 \times 10^4$ Bq/g bis $6,0 \times 10^4$ Bq/g	$6,0 \times 10^4$ Bq/g bis $3,0 \times 10^5$ Bq/g
Containerzahl	32	70	32	5
Masse [Mg]	179,42	272,71	62,25	7,32

Tabelle 5: Die insgesamt 522 Mg aktivierter Stahl des eigentlichen Reaktors mit Einbauten sowie dem Thermischen Schild, Aktivitätsinventar: ca.  $8,4 \times 10^{12}$  Bq, wurden in 139 speziellen Typ II - Containern in vier Varianten unterschiedlich starker Abschirmung verpackt.

Einen wesentlichen Beitrag zum wirtschaftlichen Freimessen im Sinne der uneingeschränkten Wiederverwendung lieferte die vor Ort aufgebaute Freimeßanlage. Mit diesem Gerät wurden neben Kabeln, Isolierwolle, diversen Blechen, Metallschrotten, Filtermaterial, Graphit, Kunststoffen, Bleimatten und -steinen vor allem in 200 l Fässer verfüllter Betonschutt aus der Phase des aktivierten Betonabbaus freigemessen, insgesamt 1.284,5 Mg. Dadurch konnte der Anfall an radioaktiven Reststoffen deutlich minimiert und Kosten eingespart werden.

Mit der Verwertung des aufgearbeiteten Bauschuttes und des Bewehrungsstahls wurde auch im konventionellen Bereich der Reststoffkreislauf geschlossen und das Reststoffaufkommen weiter reduziert.

## 5.2 Aktivitätsabgaben

Angefallenes Abwasser aus dem Kontrollbereich wurde generell nicht vom KKN an die Umgebung abgegeben. Die Entsorgung erfolgte im benachbarten Kernkraftwerk Isar I (KKI 1). Per Tankcontainer wurden die Abwässer zum KKI 1 transportiert, in den dort installierten Aufbereitungsanlagen behandelt und anschließend in die Isar abgeleitet. Die maximale Abwassermenge pro Jahr war auf 1.000 m<sup>3</sup> begrenzt. Gegenüber den ursprünglich abgeschätzten Gesamtvolumen fielen mit 1.540 m<sup>3</sup> lediglich ca. 44 % Abwasser an, hauptsächlich aus dem Betrieb der Heißen Wäscherei.

Von 1988 bis 1994 wurden bei einem Fortluftvolumenstrom von insgesamt 1,34 E+09 m<sup>3</sup> 8,33 E+05 Bq Aerosole sowie 8,21 E+09 Bq Tritium abgegeben. Für Tritium wurde der Jahresabgabegrenzwert im Jahre 1989 zu ca. 58,5 % ausgeschöpft, bedingt durch das bereits in Kapitel 4.4 ausführlich und nachfolgend kurz beschriebene sogenannte „Tritiumereignis“. Zum Vergleich wurde der genannte Grenzwert im Jahre 1992 noch zu 5,4 %, 1994 lediglich noch zu 0,7 % ausgeschöpft.

Die genehmigten Jahresgrenzwerte für die Aktivitätsabgaben mit der Fortluft bzw. dem Abwasser (Atomrechtliche Umgangsgenehmigung und Wasserrechtsgenehmigung des Kernkraftwerkes Isar I) waren wie folgt festgelegt.

### Fortluft:

Tritium:	5,50 E+09 Bq/a (bzw. 1/10 pro Monat)
Sonstige Radionuklide:	3,33 E+08 Bq/a (bzw. 1/10 pro Monat)

### Abwasser:

Tritium:	≤ 3,70 E+11 Bq/a maximale Abgabe
Sonstige Radionuklide:	≤ 3,70 E+09 Bq/a maximale Abgabe ≤ 3,70 E+06 Bq/m <sup>3</sup> spezifische Aktivität

Durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen, zum Beispiel der Einsatz der abreinigbaren Filteranlage (ARFA) konnten die Abgaben von Radioaktivität an die Umwelt während der Abbauarbeiten außerordentlich gering gehalten werden. Im Durchschnitt lagen die Emissionen im Bereich von Promillen bis allenfalls wenigen Prozenten der genehmigten Monatsgrenzwerte. Lediglich die Tritiumabgaben bewegten sich im Durchschnitt um etwa 15 % des sehr niedrigen Genehmigungswertes und schöpften diesen in dem folgenden Fall nahezu aus (Abb. 50):

Wie bereits in Kapitel 4.4.3 beschrieben, wurden am 14. November 1988 um 14.00 Uhr die bereits angelaufenen Arbeiten im Sicherheitsbehälter eingestellt und die Lufttechnische Anlage anschließend abgestellt, da tritiumhaltige Restflüssigkeiten zu einer Erhöhung der Tritium-Raumluftaktivität führten. Bei einem Weiterbetrieb der Lufttechnischen Anlage wäre es zu einer Überschreitung des äußerst niedrig angesetzten Abgabegrenzwertes für dieses Radionuklid mit der Fortluft gekommen ( $5,5 \text{ E}+09 \text{ Bq/a}$ ). Als Quelle dieser Kontamination wurden geringe Reste von Moderatorflüssigkeit ermittelt. Mit Hilfe einer Reihe technischer Aktionen wie beispielsweise Trocknen und Verschließen geöffneter Leitungen sowie administrativer Maßnahmen konnte die Demontage nach Zustimmung durch das BStMLU ab Anfang Dezember 1988 routinemäßig weitergeführt werden.

Zu einer erneuten kurzzeitigen Einstellung der Demontage aufgrund der Tritiumproblematik kam es Mitte 1989, als 30 l Moderatorflüssigkeit ( $\text{D}_2\text{O}$ ) beim Auftrennen der Rohrleitungs-kompensatoren der Moderatorablaßleitungen gefunden wurden. In der Folgezeit traten Probleme bei der Demontage aufgrund der Tritiumabgaben mit der Fortluft nicht mehr auf (Abb. 50).

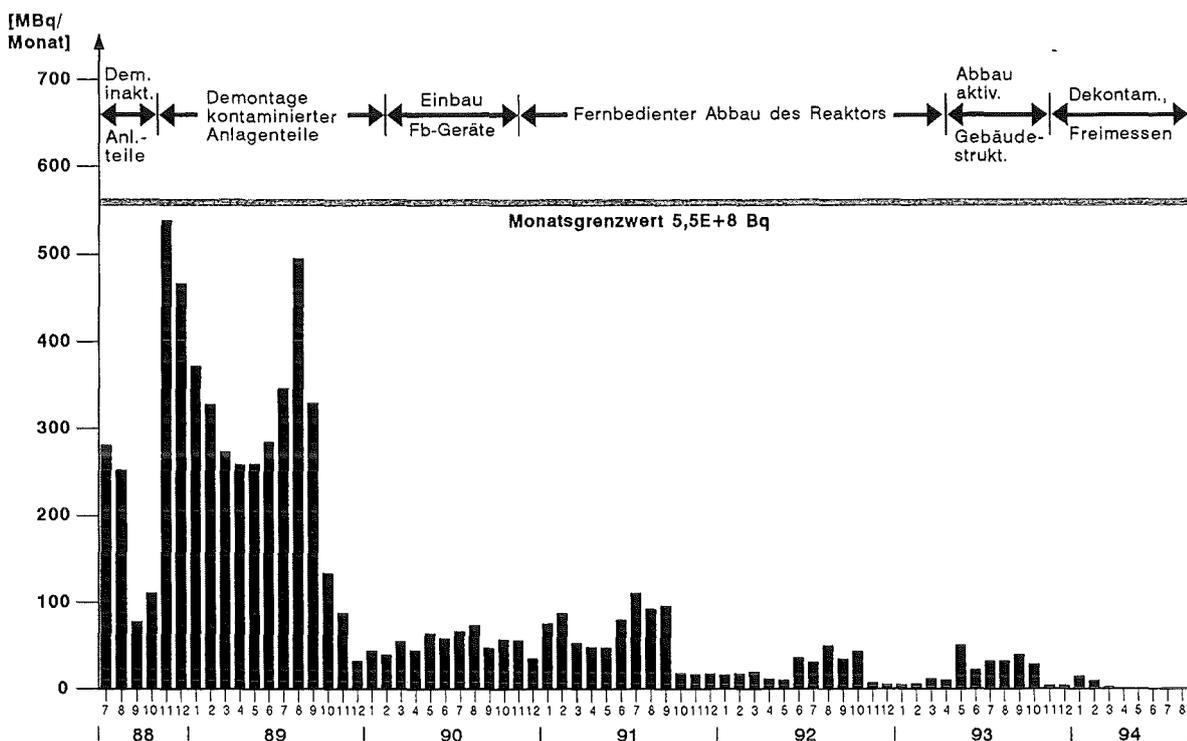


Abbildung 50: Tritiumabgaben mit der Fortluft. In der Regel blieben die Abgabewerte im Bereich von wenigen Promillen oder allenfalls Prozenten. Spitzenwerte traten während des kontaminierten Abbaus durch nicht vorhersehbare Freisetzungen aufgrund von  $\text{D}_2\text{O}$ -Restflüssigkeiten im Sicherheitsbehälter auf.

Lüftungstechnisch erwies sich die installierte abreinigbare Filteranlage als sehr wirkungsvoll. Vor allem während der Phase 2/4 „Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen“ wurden große Mengen kontaminierten Staubes zurückgehalten. Diese Lüftungstechnische Lösung in Verbindung mit einem zusätzlichen Zerlegehaus erwies sich als sehr wirkungsvoll zur Beherrschung von Aerosolfreisetzen während der Demontage.

Die abreinigbare Filteranlage wurde vor Beginn des Betonabbaus mit neuen Filtern versehen. Direkt im Anschluß an die Phase 2/4 erfolgte der Rückbau dieser aus je sechs Filterbänken mit je fünf fest miteinander verbundenen Einheiten bestehenden Filteranlage Ende Oktober 1993. Vorher wurden die Filtertöpfe erneut entleert und die Anlage dekontaminiert. Die Demontage erfolgte im Hinblick auf den geplanten Wiedereinsatz im Forschungszentrum im Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR).

Die in Tabelle 6 aufgelisteten Staubmassen waren bei den Staubsackwechseln der Demontagephase 2.4 „Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen“ angefallen. Die entsprechend Mengen der Phase 2/3 „Fernbedienter Abbau des Reaktors“ sind zum Vergleich gegenübergestellt.

<u>Phase 2/4:</u>			<u>Phase 2/3:</u>		
13.04.93:	0,085	Mg	16.09.91:	0,030	Mg
18.06.93:	0,327	Mg	29.01.92:	0,327	Mg
29.07.93:	1,615	Mg	09.08.92:	0,590	Mg
02.09.93:	1,002	Mg	12.11.92:	0,380	Mg
27.10.93:	1,524	Mg			

Tabelle 6: Angefallene Stäube der abreinigbaren Filteranlage (Schwebstofffilterbank) während der Demontagephase 2/4. Zum Vergleich wurden die angefallenen Staubmengen der Phase 2/3 gegenübergestellt.

### 5.3 Personal/Personendosis

Die durchschnittliche Personalstärke bewegte sich zwischen 10 (Phase 3: „Konventioneller Abbruch“) und 120 Personen (Phase 2/4: „Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen“), war also sehr großen Schwankungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Demontagephase unterworfen.

Ähnlich günstig wie die Aktivitätsabgaben liegen auch die Verhältnisse hinsichtlich der radiologischen Belastung des an der Demontage direkt beteiligten Personals. Im Jahre 1982, dem Jahr der Antragstellung zur vollständigen Demontage des KKN, war die kumulierte Personendosis mit 3.000 mSv abgeschätzt worden. Zur Ermittlung einer aktualisierten Gesamtpersonendosis bietet sich das Jahr 1992 als zeitliche Mitte des Demontagefortschrittes an. Der dazwischen liegende Zeitraum von ca. 10 Jahren entspricht ungefähr zwei Halbwertszeiten des Nuklides Co-60, das als Gammastrahler die externe Dosis verursacht. Unter diesen Voraussetzungen errechnet sich für das Jahr 1992 eine aktualisierte Gesamtpersonendosis von ca. 750 mSv. Die während der gesamten Demontage akkumulierte nichtamtliche Personendosis betrug ca. 421 mSv und bestätigt mit dieser relativ guten Übereinstimmung die im Jahre 1982 getroffenen Annahmen [23].

Die höchste nichtamtliche monatliche Personendosis lag mit ca. 3 mSv sehr niedrig. Genauso niedrig verhielten sich die durchschnittlichen Werte: Sie lagen im Durchschnitt unter einem mSv pro Mann und Jahr und damit unter 2 % des nach der derzeit gültigen Strahlenschutzverordnung zulässigen Grenzwertes von 50 mSv/a (Abb. 51).

In Tabelle 7 ist die Gruppenäquivalentdosis der einzelnen Demontagephasen aufgeführt. Auffällig ist der hohe Anteil der Fernbedienten Demontage mit ca. 87 %. Dies ist hauptsächlich durch folgende Sachverhalte begründet:

- Umgang mit stark kontaminierten Geräten in den Interventionsräumen,
- Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten innerhalb des Zerlegehauses in stark kontaminierten Bereichen bzw. Bereiche mit hoher Ortsdosisleistung aufgrund der noch vorhandenen Reaktorkomponenten.

Demontagephase	Zeitraum	Titel	Gruppenäquivalentdosis [ $\mu$ Sv]
1	07/87 - 10/88	Baustelleneinrichtung	222
2/1	07/88 - 10/88	Demontage inaktiver Teile	1.253
2/2	11/88 - 02/90	Demontage kontaminierter Teile	41.240
2/3	02/90 - 04/93	Fernbedienter Abbau des Reaktors inkl. der Zerlegung des Thermischen Schildes	365.434
2/4	04/93 - 11/93	Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen	11.852
2/5	11/93 - 08/94	Dekontamination und Freimessen	824
3	08/94 - 08/95	Rückbau der Gebäude	0
		$\Sigma$	420.825

Tabelle 7: Übersicht der Gruppenäquivalentdosen der KKN-Demontagephasen.

Die Bodycountermessungen während der gesamten Demontage ergaben lediglich zweimal geringfügige Inkorporationen, die unterhalb von 0,5 mSv 50 Jahre Folgeäquivalentdosis lagen. Daraus läßt sich ableiten, daß durch die getroffenen technischen Maßnahmen wie beispielsweise das Zerlegehaus mit der zusätzlichen abreinigbaren Filteranlage die Zerlegung des Reaktors auch radiologisch sicher beherrscht wurde.

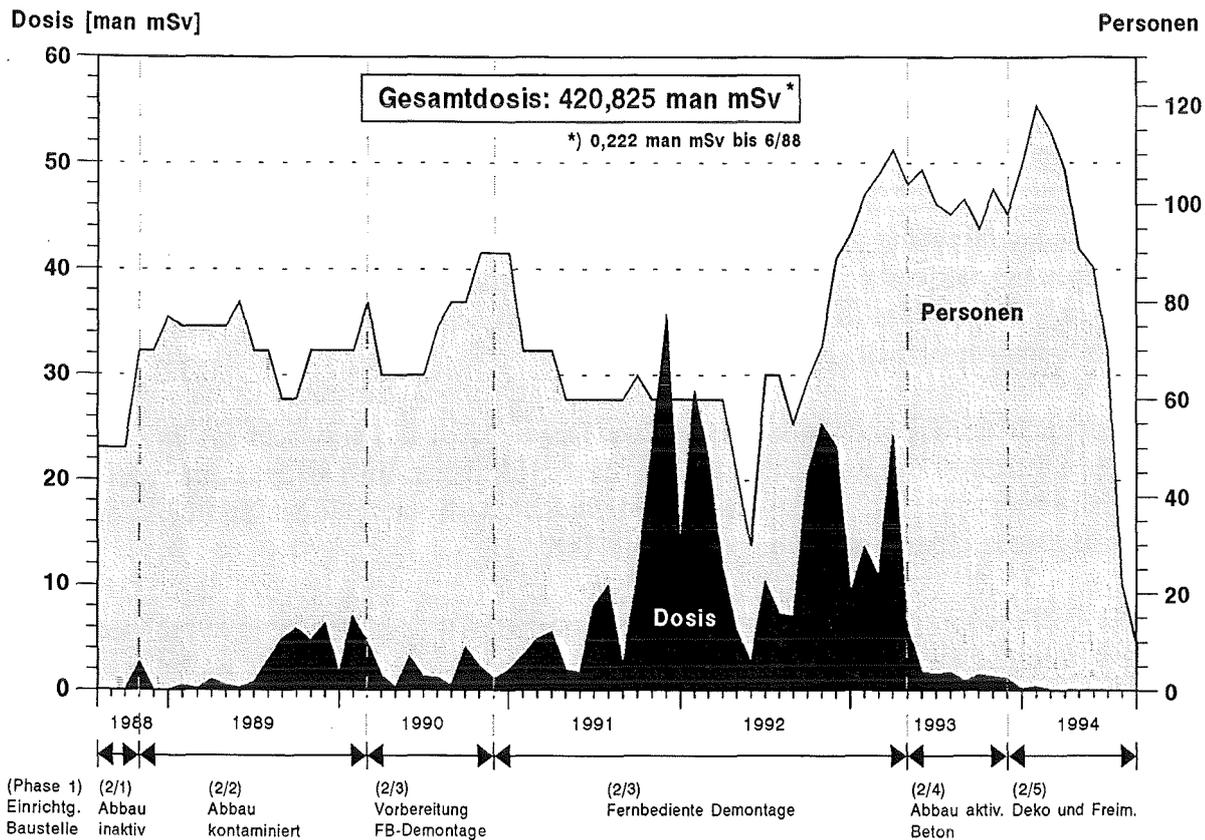


Abbildung 51: Verlauf der Personendosis über die gesamte KKN-Demontage (Personen, die keine Dosis appliziert und weder direkt noch indirekt an der Demontage beteiligt waren bleiben hier unberücksichtigt). Auffällig sind die Spitzendosiswerte im November 1991 und Januar 1992 (manuelle Interventionen) sowie Ende 1992 und im März 1993 (Rückbau der Fernbedienungseinrichtungen). Wesentlich ist jedoch die geringe radiologische Belastung des an der Demontage direkt beteiligten Personals: Im Durchschnitt unter einem mSv pro Mann und Jahr.

## 6. SICHERHEIT

Der Fachbereich Sicherheit gliederte sich in die Bereiche Anlagensicherung, Arbeitssicherheit und Brandschutz und war personell durch den Fachbereichsleiter, dessen Stellvertreter sowie einer Arbeitssicherheitsfachkraft pro Schicht vertreten.

Wesentliche Vorfälle wurden über die gesamte Zeitdauer der Demontage nicht verzeichnet. Erwähnt werden sollen lediglich die folgenden:

- Am 10. Mai 1990 ereignete sich ein Hebezeugunfall, bei dem ein Monteur erheblich verletzt wurde. Beim Aufbau der Ringsäge im Sammlerraum für die fernbediente Demontage mußten die Gebäudestrukturen vorbereitet werden. Zwei Monteure waren im Sammlerraum mit dem Trennen des Beton-Meßleitungstunnels in Segmente beschäftigt. Beim Transport stürzte ein Betonsegment, das nur in einer geringen Höhe von ca. 5 cm über den Boden angehoben war, ab, als der Zugwirbel einer Laufkatze riß. Ein Katzbahnträger stürzte ab und streifte dabei den darunterstehenden Monteur, der erheblich an Kopf und Schulter verletzt wurde und in ein Krankenhaus eingeliefert werden mußte. Die Untersuchung des Sachverhaltes durch den TÜV Bayern ergab als Ursache für den Bruch des Zugwirbels eine Wasserstoffversprödung, also ein Materialfehler in einem Normteil.
- Am 31. Oktober 1991 kam es bei der Demontage der Moderatorbehältereinbauten zu einer Störung an der Energieversorgung des Drehmanipulators. Nach Beseitigung dieser Störung wurden die Abbauarbeiten am 16. November 1991 wieder aufgenommen und die Demontage der Moderatorbehältereinbauten bis zum Ende des Jahres 1991 abgeschlossen.
- Während des Aufbaus der fernbedienten Einrichtungen entstand am 8. Juni 1990 außerhalb der Arbeitszeit im Hygienetrakt im Bereich des Kontrollbereichseingangs ein Brand. Ursache war eine defekte, ausgeschaltete (!) Kaffeemaschine. Der Brand, der schnell gelöscht wurde, verursachte nur geringen Schaden durch direkte Brandeinwirkung. Durch mitverbrannte PVC-Kabelkanäle, entwickelte sich eine große Menge Ruß, der in Verbindung mit der entstehenden Salzsäure (Verbrennungsprodukt des für die Kabelkanäle verwendeten PVC), einen stark korrosiven Belag an allen Gegenständen in der Umgebung des Brandherdes bildete. Dieser Belag führte zu Störungen und Schäden an mehreren elektronischen Geräten, so z.B. dem Dosimetrierechner, dem Bodycounterrechner und den Personenendmonitoren, so daß diese entweder ersetzt (Rechner, Monitore, Drucker) oder aufwendig gereinigt (Endmonitore) werden mußten. Diese Arbeiten verursachten einen mehrtägigen Demontagestillstand, da die betroffenen Geräte für den normalen Kontrollbereichsbetrieb unerlässlich waren. Zur Vermeidung weiterer derartiger Vorfälle wurden administrative Maßnahmen getroffen.

Daß diese Vorfälle die einzige nennenswerte Auffälligkeit während den gesamten Demontagearbeiten ist, unterstreicht das hohe Sicherheitsniveau der Baustelle. Die nach Atomrecht geforderten Sicherheitsmaßnahmen im Bereich Arbeitssicherheit, Strahlen- und Brandschutz wurden konsequent durchgeführt und überwacht.

## **7. ERFAHRUNGEN UND DEREN ÜBERTRAGBARKEIT**

Mit dem KKN wurde erstmals ein Leistungsreaktor vollständig abgebaut und beseitigt. Hierbei handelte es sich um ein Demonstrationsvorhaben, dessen Erkenntnisse bei der künftigen Beseitigung ausgedienter Kernkraftwerke eine wertvolle Hilfe sein werden.

Für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen existiert kein spezifisches Regelwerk. So lag es nahe, die für die Errichtung und den Betrieb geltenden Richtlinien und Regeln bei der Demontage des KKN stilllegungsbezogen umzusetzen und sinngemäß anzuwenden. Diese Vorgehensweise hat sich - nicht zuletzt auch in der Zusammenarbeit mit TÜV und LfU - gut bewährt.

Bei der Durchführung der Arbeiten wurde mit einer neu aufgebauten personellen Betriebsorganisation und dem neugeschaffenen Demontagehandbuch den besonderen Anforderungen eines kerntechnischen Stilllegungsprojektes Rechnung getragen. Beides führte zu einem effizienten Demontageablauf.

Nachfolgend sind die wesentlichen Erfahrungen aufgeführt.

### **7.1 Erfahrungen im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren**

Erstmals wurde eine Genehmigung für ein solches Pilotprojekt beantragt. Bis zur Erteilung der beantragten Gesamtgenehmigung zur Endbeseitigung verging die relativ lange Zeitspanne von sechs Jahren.

Die Gesamtgenehmigung bis hin zur „Grünen Wiese“ ermöglichte die frühzeitige und effiziente Planung der Stilllegungsarbeiten mit einer zeitnahen Aufsicht durch die Behörde, welche wiederum einen wesentlichen Beitrag zum zügigen Projektfortschritt lieferte. Weiter konnten dadurch Abbaustrategie und -konzept eingehalten werden, ebenso die Erfüllung der über den gesamten Demontagezeitraum unverändert gebliebenen behördlichen Auflagen. Die Doppelbegutachtung durch TÜV und LfU stellte sich aufgrund beanstandungsloser KKN-Freigabeverfahren als verzichtbar heraus.

Die Arbeitsgemeinschaft NOELL/NIS führte das Gesamtprojekt als Generalunternehmer verantwortlich durch. Gemeinsame Inhaber der atomrechtlichen Abbaugenehmigung waren das Forschungszentrum Karlsruhe, NOELL und NIS. Dies war eine wesentliche Voraussetzung, um das Projekt - trotz der Pilotfunktion des Genehmigungsverfahrens und neu zu entwickelnder technischer Vorgehensweisen und Lösungen - effizient zu gestalten.

Die Gesamtgenehmigung bot den Vorteil der Planungssicherheit, d.h. die Demontearbeiten konnten ohne Verzögerungen durch nichtkalkulierbare genehmigungstechnische Haltepunkte durchgeführt werden. Für die Erlangung einer solchen Gesamtgenehmigung war es jedoch notwendig, die Vorgehensweisen und Demontageverfahren transparent darzustellen. Dazu

wurde der gesamte Ablauf straff gegliedert. Die vorgenommene Trennung in Demontagephasen hat sich bewährt. Überlappende Arbeiten der einzelnen Demontagephasen waren ohne Erschwernisse durchführbar. Die wesentlichen Ablaufphasen der KKN-Beseitigung (inaktiver, kontaminierter, aktivierter Abbau) sind vom Reaktortyp nahezu unabhängig, sieht man von der maßgeschneiderten fernbedienten Demontage einmal ab, und auch bei moderneren Reaktorgenerationen einsetzbar.

## **7.2 Erfahrungen in der Logistik und dem Reststoffmanagement**

Es zeigte sich, daß detaillierte logistische Planungen der Reststoffströme zur Festigung der Projektlaufzeiten unumgänglich sind. Besonders die Koordinierung des Massenflusses (Chargen und Container) bedurfte einer intensiven Zusammenarbeit zwischen der ARGE, den Spediteuren und dem Forschungszentrum, um einen schnellstmöglichen Abtransport zu gewährleisten. Innerhalb des Sicherheitsbehälters schlug sich die detaillierte Einsatzplanung, beispielsweise in bezug auf den Reaktorgebäudekran und die Materialschleuse, positiv auf die Verkürzung der Projektlaufzeit nieder. Die Optimierungsmaßnahmen vor allem im infrastrukturellen und logistischen Bereich, beispielsweise Sonderschichten für Faßtransporte und Erhöhung der Lagerkapazität für Container während des Abbaus der aktivierten Gebäudestrukturen, führten zur Verkürzung der geplanten Demontagezeiten.

Weitere wesentliche Bedeutung wurde der qualitätsgesicherten Verpackung und der Dokumentation der Reststoffe zugeschrieben, um aufgrund nicht weiter ausbaubaren Lagerkapazitäten einen schnellen Abtransport der jeweiligen Chargen sicherzustellen.

## **7.3 Erfahrungen bei der fernbedienten Demontage**

Im Rahmen der Werkserprobung der Manipulatoren und Einrichtungen wurden unverzichtbare Erkenntnisse für den Einsatz im KKN gewonnen. Nicht vorhersehbare technische Schwierigkeiten bei einzelnen Arbeitsschritten wurden durch flexible Vorgehensweisen und Zusatzentwicklungen der Manipulatortechnik kompensiert. Von großem Vorteil war, daß NOELL entsprechende Nachlieferungen und Anpassungen kurzfristig aus eigener Produktion bereitstellen konnte.

Weiter konnte bestätigt werden, daß auch eine solche komplizierte Reaktorkonstruktion mit den aktuell verfügbaren technischen Mitteln im wesentlichen problemlos und mit geringer Dosisbelastung für das Demontagepersonal abgebaut werden kann. Bei den zum fernbedienten Abbau eingesetzten Geräten handelte es sich im wesentlichen um Konstruktionen des konventionellen Maschinenbaues, in die Erfahrungen aus Reparatur- und Nachrüstmaßnahmen bei Kernkraftwerken eingeflossen sind.

Die eingesetzten Trennverfahren, wie Trennschleifen und Plasmabrennen, haben sich über den gesamten Verlauf der fernbedienten Demontage sehr gut bewährt. Während bisher die Staubbildung als problematisch angesehen worden war, konnte hier durch das Zusatz-Containment

und die abreinigbare Schwebstofffilterbank eine geeignete Lösung aufgezeigt werden. Mit einer Filterbestückung von 30 Elementen wurden annähernd 1,4 Mg Staub mit sehr hohem De-kontaminationsfaktor abgeschieden.

Generell ist hervorzuheben, daß sich die trockene Zerlegung des Reaktors sehr gut bewährt hat. Hier zeichnet sich die Möglichkeit ab, auch wesentlich höher aktivierte Komponenten trocken und damit einfacher und billiger zu zerlegen.

Mit der erfolgreichen, problemlosen fernbedienten Demontage des KKN dürfen die diversen am Markt verfügbaren Trenntechniken als ausreichend erprobt und dokumentiert gelten. Lediglich die Adaption dieser Techniken auf die individuellen Erfordernisse ist im Einzelfall zu lösen.

## **7.4 Erfahrungen in der Soft-Sprengtechnik**

Die frühzeitige Durchführung umfangreicher Probenahmeprogramme zur Feststellung der Aktivierungstiefe in den Betonstrukturen unter dem in der Abbaugenehmigung festgeschriebenen Grenzwert erwies sich als sinnvoll.

Die angewandte Soft-Sprengtechnik zeigte sich als effizient, wirtschaftlich, technisch und radiologisch sicher und vielseitig einsetzbar. In Verbindung mit einem elektrisch betriebenen Hydraulikbagger mit Felsmeißel wurde dadurch im KKN die optimale Technologie zum Abbau des Biologischen Schildes eingesetzt. Der engagierte Einsatz einer Fachfirma für den Betonabbau beschleunigte den Betonabbau wesentlich, obwohl das ausführende Personal keinerlei Erfahrung im Umgang mit kerntechnischen Belangen hatte. Entscheidend war die Kompetenz führender Fachkräfte mit umfangreichen Kenntnissen im Bereich der kerntechnischen Demontage.

Aufgrund der geringen spezifischen Aktivität des aktivierten Betons von wenigen Becquerel pro Gramm erforderte die Arbeitsplatzüberwachung keine besonderen Maßnahmen. Die getroffenen Maßnahmen des Atem- und Kontaminationsschutzes entsprachen dem üblichen Rahmen für Arbeiten innerhalb von Kontrollbereichen.

Trotz der erschwerenden Bedingungen eines Kontrollbereiches konnten durch Optimierungen im technischen und infrastrukturellen Bereich allein in dieser Demontagephase sieben Monate Projektlaufzeit eingespart werden.

Allgemein bleibt festzustellen, daß sich der kombinierte Einsatz von Soft-Sprengtechnik und Hydraulikbagger als positive Erfahrung auf den Abbau anderer Kernkraftwerke übertragen läßt.

## 7.5 Erfahrungen im Strahlenschutz

Durch technische und organisatorische Maßnahmen wurde die radiologische Belastung des KKN-Personals und der Umwelt trotz der niedrigen Genehmigungsgrenzwerte außerordentlich gering gehalten (Tab. 8). Im Durchschnitt lagen die Emissionen im Bereich von Promillen bis allenfalls wenigen Prozenten der genehmigten Monatsgrenzwerte.

Wie bereits erwähnt konnte beispielsweise durch die alternative Zerlegung des aktivierten Thermischen Schildes mit einer nahezu handelsüblichen Blockbandsäge der geschätzte Anfall von ca. 2 Mg Schleifstaub verhindert und damit eine zusätzliche Strahlenbelastung des Personals bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten von abgeschätzten 100 mSv Gruppenäquivalentdosis vermieden werden [24].

Personen vor Ort	60 - 130 Personen
Gruppenäquivalentdosis	0,42 manSv
max. Individualdosis	2,9 mSv / Monat
Inkorporationsmessungen	ca. 6.600 Messungen
Strahlenschutzbelehrungen	ca. 2.100 Belehrungen

Tabelle 8: Personal und Strahlenschutz.

## 7.6 Erfahrungen im Verfahren zur AtG-Entlassung

Die enge und zeitnahe Zusammenarbeit mit den Behörden war eine wesentliche Voraussetzung zur zügigen Durchführung des Verfahrensweges zur Entlassung des KKN aus der atomrechtlichen Bindung. Allerdings stellte sich die Doppelbegutachtung durch TÜV und LfU als verzichtbar heraus, da die Kontrolle der Aufsichtsbehörde LfU die Ergebnisse des TÜV ausnahmslos bestätigte.

## 8. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Vorhaben zur Stilllegung und zum Rückbau des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN) wurde gezeigt, daß ein aktivierter Leistungsreaktor umweltverträglich stillgelegt, demontiert und restlos beseitigt sowie die Liegenschaft vollständig von künstlicher Radioaktivität befreit werden kann.

Die gewonnenen technischen, genehmigungstechnischen und logistischen Erfahrungen vor bzw. während der Demontage des KKN stehen für andere Stilllegungsprojekte zur Verfügung und werden von nationalen und internationalen Experten rege im Forschungszentrum angefragt.

Die bereits in [3] geäußerte Prognose, ein stillgelegtes Kernkraftwerk mit den derzeitigen technischen Mitteln und den genehmigungstechnischen Instrumenten problemlos abzubauen, wurde mit der Entlassung des KKN aus der atomrechtlichen Bindung am 17. August 1994 und der exakt ein Jahr späteren Pflanzung einer deutschen Eiche auf der „Grünen Wiese“ eindrucksvoll unter Beweis gestellt (Abb. 52).



Abbildung 52: Abschlußbegehung der „Grünen Wiese“ durch Vertreter der ARGE NOELL / NIS und des Forschungszentrums Karlsruhe. An den Standort des ehemaligen KKN erinnert heute lediglich noch der in der Bildmitte zu sehende Gedenkstein und eine direkt daneben gepflanzte deutsche Eiche.

Die Abbildung 53 zeigt einen Überblick der terminlichen Abläufe der Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach.

Jahresfolge	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Auftragserteilung	◆ 29.10.79																
Genehmigungsanträge	◆ ————— ◆ 31.03.80 und 02.07.84																
Anhörung	◆ 16.03.85																
Genehmigung	◆ 06.06.86																
Sofortvollzug	◆ 30.06.87																
Baustelleneinrichtung	01.07.87 - 30.06.88 																
Abbau inaktiver Anl.teile	01.07.88 - 31.10.88 																
Abbau kontamin. Anl.teile	01.11.88 - 31.01.90 																
Fernbedienter Abbau	01.02.90 - 15.04.93 																
Abbau aktivierte Geb.strukt.	16.04.93 - 15.11.93 																
Dekontamin. u. Freimessen	16.11.93 - 17.08.94 																
Entlassung AtG	17.08.94 ◆																
Konventioneller Abbruch	18.08.94 - 31.07.95 																

Abbildung 53: Terminplan Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN).

Den Errichtungskosten von damals 232 Millionen DM stehen die heutigen Gesamtdemontagenkosten von ca. 268 Millionen DM gegenüber - nach über 25 Jahren (Tab. 9).

Errichtung	232 Mio. DM (Preisbasis 1966)
Herbeiführung und Betrieb Sicherer Einschluß	30 Mio. DM (Preisbasis 1980)
Liefer- und Leistungsumfang ARGE NOELL-NIS	199 Mio. DM (Preisbasis 1995)
Eigenleistung Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	69 Mio. DM (Preisbasis 1995)
Endlagerung	30 Mio. DM (Stand 1995)

Tabelle 9: Kosten für die Errichtung und die Beseitigung des KKN.

## Literaturhinweise

- [1] Technischer Monatsbericht,  
KKN Betriebsleitung Juli 1974.
- [2] NIS-Ingenieurgesellschaft mbH:  
„Überwachung der Anlage Niederaichbach im Zustand „Gesicherter Einschluß“,  
Frankfurt, Mai 1980.
- [3] TÜV Bayern e.V.  
„Gutachten zur Demontage und Beseitigung (Abbau) des Kernkraftwerkes Niederaich-  
bach für das atomrechtliche Genehmigungsverfahren“,  
München, Dezember 1985.
- [4] Genehmigung nach § 7 des Atomgesetzes  
„Abbau des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN) in der Gemeinde Niederaichbach“,  
Az.: 9204-75-25419, vom 6. Juni 1986.
- [5] Entlassung des KKN aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes  
BSStMLU -Schreiben, Az.: 9204-96-44664, vom 17. August 1994.
- [6] „OECD/NEA Co-operative Programme on Decommissioning“,  
18th Meeting of the Technical Advisory Group, Mito, Japan, April 1995.
- [7] L.Valencia, E. Prechtl:  
„The Experience Gained from the Decommissioning of the Niederaichbach Nuclear  
Power Plant“,  
3rd International Conference of Nuclear Engineering (ICONE-3),  
Kyoto, Japan, April 1995.
- [8] Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atom-  
gesetzes (Atomrechtliche Verfahrensverordnung (AtVfV), 18. Februar 1977.
- [9] KKN-Sicherheitsbericht,  
Mai 1984.
- [10] ARGE NOELL-NIS:  
Demontage und Beseitigung Anlage Niederaichbach, Kurzbeschreibung nach §3 Absatz  
3 der atomrechtlichen Verfahrensordnung (AtVfV),  
Mai 1984.
- [11] ARGE NOELL-NIS:  
Demontagehandbuch (DHB), Teil 0, 1 und 2  
Dok.-Nr.: JF.
- [12] Anforderungen an das Betriebshandbuch,  
Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA),  
KTA 1201, Fassung 12/85.

- [13] ARGE NOELL-NIS:  
Erfahrungsbericht Abbauphase 1 „Baustelleneinrichtung“,  
Dok.-Nr.: BB 0002-001, Rev. A.
- [14] ARGE NOELL-NIS:  
Erfahrungsbericht Abbauphase 2/1  
„Abbau inaktiver, betriebsmäßig nicht kontaminierter Anlagenteile“,  
Dok.-Nr.: BB 0002-002.
- [15] Anlagen- und Betriebsbeschreibung für die  
**EINSCHMELZANLAGE FÜR RADIOAKTIVE METALLE (EIRAM)**  
Noell, Würzburg.
- [16] Genehmigung zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen für den Betrieb einer  
pyrotechnischen Einschmelzanlage für radioaktive Stoffe (EIRAM)  
MELUF-BW, Stuttgart, 4. März 1986.
- [17] Doll, P. et al.  
KASCADE (Karlsruhe Shower Core and Array Detector)  
Karlsruher Detektoranlage zur Erfassung Ultrahochenergetischer kosmischer Strahlung,  
KfK-Report 46/86 1990.
- [18] ARGE NOELL-NIS:  
Erfahrungsbericht Abbauphase 2/2  
„Abbau kontaminierter Anlagenteile“,  
Dok.-Nr.: BB 0002-003.
- [19] KKN-Dok.-Nr. LA 0014  
Ergebnis Probenahmeprogramm Abbau Biologischer Schild.
- [20] KKN-Dok.-Nr. LA 0021  
Erweitertes Probenahmeprogramm Abbau Biologischer Schild.
- [21] KKN-Dok.-Nr. LA 0029  
3. Probenahmeprogramm Abbau Bioschild.
- [22] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen  
(Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)), 13. Oktober 1976.
- [23] ARGE NOELL-NIS:  
Erfahrungsbericht Abbauphase 2/3,  
„Fernbediente Demontage“,  
Dok.-Nr.: BB 0002-004.
- [24] ARGE NOELL-NIS:  
Kollektivdosisabschätzung Zerlegung Thermischer Schild,  
Dok.-Nr.: DU F009/004, 02.10.1992.

- [25] KfK Erfahrungsbericht  
Phase 2/3 „Fernbediente Demontage“, G. Herzog.
- [26]: L. Valencia, G. Herzog; Progress Report from Niederaichbach,  
Nuclear Engineering, (August 1992), S. 20 ).
- [27] IFM Erfahrungsbericht Nr. 1  
Phase 2/3 „Zerlegung des Thermischen Schildes“, E. Prechtl.
- [28] EIR-Prüfbericht Nr. PB-43-82-9  
Die Probenahme im Kernkraftwerk Niederaichbach.
- [29] KKN-Dok.-Nr. LA 0015  
Aktivierung von Betonstrukturen außerhalb des Biologischen Schildes, Probenahme im  
Zwickelbereich.
- [30] KKN-Dok.-Nr. LA 0019  
Bestimmung der Aktivierung außerhalb des Biologischen Schildes.
- [31] KKN-Dok.-Nr. LA 0020  
Bestimmung der Aktivierung im großen Drehschild.
- [32] IFM Erfahrungsbericht Nr. 2  
Phase 2/4 „Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen“, E. Prechtl.
- [33] ARGE NOELL-NIS:  
Erfahrungsbericht Abbauphase 2/4 „Abbau aktivierter Gebäudestrukturen“,  
Dok.-Nr.: BB 0002-006.
- [34] L.Valencia, E. Prechtl:  
„Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN),  
Abbau der aktivierten Innenschicht des Biologischen Schildes und angrenzender Ge-  
bäudestrukturen“,  
Jahrestagung Kerntechnik,  
Nürnberg, Mai 1995.
- [35] KKN-Dok.-Nr. LA 0015  
Aktivierung von Betonstrukturen außerhalb des Biologischen Schildes, Probenahme im  
Zwickelbereich.
- [36] KKN-Dok.-Nr. LA 0019  
Bestimmung der Aktivierung außerhalb des Biologischen Schildes.
- [37] KKN-Dok.-Nr. LA 0020  
Bestimmung der Aktivierung im großen Drehschild.

- [38] H.-U. Freund:  
„Versuche zum sprengtechnischen Abbruch von Beton im HDR: Zerlegeversuche am Modellschild T53.3 und übergreifende Auswertung der Versuchsgruppe ZER-B.“  
Battelle-Bericht BF-R-66.827-3 für das Bundesministerium für Forschung und Technologie, Juli 1989.
- [39] P. Schwald, I. Auler:  
„Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN),  
Freigabeverfahren zur Entlassung des KKN aus der atomrechtlichen Bindung“,  
Jahrestagung Kerntechnik,  
Nürnberg, Mai 1995.
- [40] Atomgesetz:  
Fassung vom 19. Juli 1994 (BGBl S. 1618, 1622).

## ABBILDUNGS- / TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 1: Vereinfachter Längsschnitt des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN), Westansicht, ca. 14 km nordöstlich von Landshut.	5
Abbildung 2: Blick auf die neue Materialschleuse mit Schleusenwagen, Maschinenhaus Höhenkote + 11,50 m.	12
Abbildung 3: Entscheidungsmeßanlage (Freimeßanlage FMA) im Werkstattgebäude.	15
Abbildung 4: Demontage und Absaugung der Rohrleitungsisolierungen.	15
Abbildung 5: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/1 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).	17
Abbildung 6: Längsschnitt durch das Reaktorgebäude vor dem manuellen Abbau der kontaminierten Anlagenteile Phase 2/2 (vereinfachte Darstellung).	20
Abbildung 7: Blick auf den Großen Drehschild, der ausgehoben und senkrecht auf den Stumpf des zu diesem Zeitpunkt bereits demontierten 270°-Dampf-erzeugers aufgelagert wurde. In der Öffnung befand sich der Kleine Drehschild, in dem ursprünglich die Brennelementwechselmaschine drehbar gelagert war.	21
Abbildung 8: Demontage des unteren Tragrostes des 270°-Dampf-erzeugers. Rechts unten: Reste der Rohrbündel; Bildmitte: CO <sub>2</sub> -Zentralrohr.	23
Abbildung 9: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/2 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).	26
Abbildung 10: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/2.	26
Abbildung 11: Der obere Reaktorbereich mit Zerlegehaus, Steuerhaus und Drehmanipulator (DMP) vor Beginn der fernbedienten Demontage.	28
Abbildung 12: Schnitt durch den Sicherheitsbehälter mit Zusatz-Containment vor Beginn der fernbedienten Demontage: Alle Zerlegeeinrichtungen, Zerlege- und Steuerhaus sind installiert, die Lüftungstechnischen Maßnahmen abgeschlossen.	29
Abbildung 13: Stark vereinfachter Längsschnitt durch das Reaktorcore mit prinzipieller Darstellung der Zerletechnik.	30
Abbildung 14: Längsschnitt durch den reaktornahen Teilbereich des Sicherheitsbehälters vor der fernbedienten Demontage, Phase 2/3 (vereinfachte Darstellung).	32

	Seite
Abbildung 15: Teilschnitt durch den Oberen Neutronenschild.	33
Abbildung 16: Demontage Oberer Neutronenschild, hier: Demontage der Schildbalken. Schräg rechts oben: Zugang zum sogenannten Interventionsraum (ehemaliger Bereich der Dampferzeuger), in dem die verschiedenen Werkzeuge des Drehmanipulators untergebracht waren.	36
Abbildung 17: Blick in den Reaktorbereich während des Demontageabschnitts „Ausbau der 351 Druckrohre“ (Monitoraufnahme).	36
Abbildung 18: Blick auf den Unteren Neutronenschild und den Universalgreifer des Drehmanipulators (DMP) mit der DMP-Kamera (Monitoraufnahme).	37
Abbildung 19: Blick in das Zerlegehaus mit Kranmanipulator. In Vorbereitung: Die Zerkleinerung eines Schildbalkens aus dem Oberen Neutronenschild.	37
Abbildung 20: Blick von der Drehmanipulatorkamera aus auf die Ringsäge während der Zersägung der Moderatortankwand (Monitoraufnahme). Rechts daneben der den Moderatortank umgebende Thermische Schild.	38
Abbildung 21: Ausheben eines Schildsegmentes mit dem Reaktorgebäudekran und Absenken auf den aufgerichteten Kippstuhl der Zerlegeeinheit.	41
Abbildung 22: Die Zersägung eines Segmentes des Thermischen Schildes mit der Blockbandsäge (Kammschnittposition). Unten: Greifzange der Vorschubeinheit, rechts: Magnethalter zur Abrutschverhinderungen der Trennteile.	42
Abbildung 23: Blick in teilbeladene Typ-II-Container, Variante IV ohne Betonabschirmung für schwach aktiviertes Material (spezifische Aktivität $< 1,4 \text{ E}+03 \text{ Bq/g}$ ) während der Beladung mit Trennteilen des Thermischen Schildes.	42
Abbildung 24: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/3 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).	44
Abbildung 25: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/3.	45
Abbildung 26: Längsschnitt durch den Biologischen Schild und angrenzende Gebäudestrukturen. Darstellung der Abbautiefen in Abhängigkeit vom genehmigten Grenzwert von $0,37 \text{ Bq/g}$ (zum Vergleich die Abbautiefen in Abhängigkeit vom beantragten Grenzwert von $3,7 \text{ Bq/g}$ ).	48

	Seite
Abbildung 27: Zerlegung des Bühnenschildes in zwei Arbeitsphasen: Zuerst wurde der obere nicht aktivierte Bereich in Segmente geschnitten (Auffugen der Stahlhülle, im Hintergrund links, Zersägung mit der Seilsäge, rechts hinten im Bild), dekontaminiert und stückig freigemessen: Vom unteren 30 cm hohen Ring löste man den Beton mit der hydraulischen Spreizzange heraus (im Bild rechts: Bohren der Löcher) und zerlegte die Stahlhülle in faßgerechte Stücke, die nach dem Einschmelzen der kontrollierten Wiederverwertung zugeführt wurden.	50
Abbildung 28: Illustrierte Darstellung des Abbaus des Biologischen Schildes für den mittleren Bereich des Biologischen Schildes (BS2).	52
Abbildung 29: Bohren der Sprenglöcher des Abbaubereiches BS1 des Biologischen Schildes mit der an den EX60 montierten Vollbohrlafette. Im Hintergrund ist der abgeschälte 90°-Zwickelbereich (Zwickelbereichsdecke und Außenwand der Kreiszyinderschale) zu sehen, in den aus statischen Gründen für die darüber verlaufende Kranbahn des Reaktorgebäudekrans Stahlstützen eingezogen werden mußten.	53
Abbildung 30: Vorbereitung der Lockerungssprengung am Biologischen Schild, unterer Bereich BS3: Letzte Arbeiten an der Abdeckung der Sprengstelle durch den Sprengmeister. Am linken Bildrand sind die zwei flexiblen Schläuche der permanenten Luftabsaugung während der Sprengung zu sehen.	54
Abbildung 31: Sprengfeld am BS2 unmittelbar nach erfolgter Lockerungssprengung: Deutlich ist die nach innen gebogene Bewehrung des Biologischen Schildes und der fein gesiebte abgeworfene Beton (Bewehrungsüberdeckung) zu sehen. Die Abdeckung der Sprengstelle wurde bereits zur Seite geräumt.	55
Abbildung 32: Zusätzliche Bearbeitung des Bereiches BS2 des Biologischen Schildes mit dem elektrisch betriebenen EX60-Bagger mit Felsmeißel nach erfolgter Sprengung.	55
Abbildung 33: Sprengtechnischer Abbau des Biologischen Schildes mit drei unterschiedlichen Bohrlochanordnungen zur Optimierung der Sprengwirkung: Bei der Sprengkampagne des oberen Bereiches BS1 in zwei konzentrischen Kreisen, am BS2 in einer Zickzacklinie mit zwei unterschiedlichen Radien und am BS3 in einem Kreis mit konstantem Radius.	56
Abbildung 34: Blick von der +22,30 m-Ebene auf die Reststrukturen des Biologischen Schildes und angrenzende Bereiche unmittelbar vor dem Abschluß der Arbeiten (hier: Abbau des unteren Tragrings +10,10 m).	57

	Seite
Abbildung 35: Blick aus dem Sammlerraum, Höhenkote + 1,50 m auf die Reststrukturen des Biologischen Schildes, hier: Restarbeiten - Absaugen des unteren Tragrings zur Vorbereitung der Demontagephase 2/5 „Dekontamination des Kontrollbereiches und Freimessen der Gesamtanlage“.	59
Abbildung 36: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/4 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).	62
Abbildung 37: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/4.	62
Abbildung 38: Freigemessene komplexe Wandstruktur im Reaktorgebäude: Jede Meßstelle wurde gemäß Nomenklatur gekennzeichnet, anschließend erfolgten die TÜV-Messungen (rot, Nr. 49 siehe Pfeil) und LfU-Probenahmen.	66
Abbildung 39: Ablauffolge bei der Freigabe der Gebäude und Anlagenbereiche.	67
Abbildung 40: Freimeßarbeiten an den nach dem Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen verbliebenen Reststrukturen. Blick auf die Außenwand der sogenannten Kreiszyinderschale im Zwickelbereich. Untere Bildhälfte: Blick auf die Reststruktur des Biologischen Schildes.	68
Abbildung 41: Dekontamination und Freimessen des Hilfsanlagegebäudes. Hier: Freigelegtes und freigemessenes Kunststoffallrohr.	69
Abbildung 42: Blick von der +22,30 m-Ebene in die sogenannte Kreiszyinderschale nach dem Abschluß der dortigen Freimeßarbeiten. Obere Bildmitte: ehemalige Brennelementschleuse zum Gruftgebäude.	70
Abbildung 43: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/5 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).	71
Abbildung 44: Terminplan der wesentlichen Arbeiten der Demontagephase 2/5.	72
Abbildung 45: Konventioneller Abbruch der Gebäude. Blick über das abgebrochene ehemalige Maschinenhaus hinweg auf das zum Teil abgebrochene Reaktorgebäude mit Sicherheitsbehälter (Februar 1995).	73
Abbildung 46: Mit der Sprengung des KKN-Wahrzeichens am 20. Januar 1995 wurde der Öffentlichkeit eindrucksvoll verdeutlicht, daß die vollständige Beseitigung des KKN bis hin zur „Grünen Wiese“ unmittelbar bevorstand.	75
Abbildung 47: Zusammensetzung des KKN-Personals während der Demontagephase 2/5 (Verteilung der Mannmonate auf die einzelnen Arbeitsbereiche).	75
Abbildung 48: Übersicht der Reststoffströme aus der KKN-Demontage: Menge, Behandlung und Verbleib der verschiedenen Reststoffgruppen.	78

	Seite
Abbildung 49: Art, Wiederverwendung und Aktivitätsinventar der Reststoffe aus der KKN-Demontage.	79
Abbildung 50: Tritiumabgaben mit der Fortluft. In der Regel blieben die Abgabewerte im Bereich von wenigen Promillen oder allenfalls Prozenten. Spitzenwerte traten während des kontaminierten Abbaus durch nicht vorhersehbare Freisetzungen aufgrund von D <sub>2</sub> O-Restflüssigkeiten im Sicherheitsbehälter auf.	82
Abbildung 51: Verlauf der Personendosis über die gesamte KKN-Demontage (Personen, die keine Dosis applizierten und weder direkt noch indirekt an der Demontage beteiligt waren bleiben hier unberücksichtigt). Auffällig sind die Spitzendosiswerte im November 1991 und Januar 1992 (manuelle Interventionen) sowie Ende 1992 und im März 1993 (Rückbau der Fernbedienungseinrichtungen). Wesentlich ist jedoch die geringe radiologische Belastung des an der Demontage direkt beteiligten Personals: Im Durchschnitt unter einem mSv pro Mann und Jahr.	85
Abbildung 52: Abschlußbegehung der „Grünen Wiese“ durch Vertreter der ARGE NOELL / NIS und des Forschungszentrums Karlsruhe. An den Standort des ehemaligen KKN erinnert heute lediglich noch der in der Bildmitte zu sehende Gedenkstein und eine direkt daneben gepflanzte deutsche Eiche.	91
Abbildung 53: Terminplan Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN).	92

	Seite	
Tabelle 1:	Typische Jobdosen der Demontagephase 2/3.	44
Tabelle 2:	Gegenüberstellung der geschätzten und tatsächlichen Beton-, Stahlmassen und Sekundärabfälle, die während des Abbaus der aktivierten Gebäudestrukturen anfielen. In allen Abbaubereichen wurden die geschätzten Massen deutlich unterschritten.	61
Tabelle 3:	Einteilung der Gebäude und Anlagenbereiche entsprechend der Betriebs- historie bzw. Nutzung in fünf radiologische Kategorien.	65
Tabelle 4:	Meßaufwand zur Standortfreigabe des KKN für alle Bereiche innerhalb und außerhalb des Kontrollbereiches.	68
Tabelle 5:	Die insgesamt 522 Mg aktivierter Stahl des eigentlichen Reaktors mit Einbauten sowie dem Thermischen Schild, Aktivitätsinventar: ca. 8,4 E+12 Bq, wurden in 139 speziellen Typ II - Containern in vier Varianten unterschiedlich starker Abschirmung verpackt.	80
Tabelle 6:	Angefallene Stäube der abreinigbaren Filteranlage (Schwebstofffilter- bank) während der Demontagephase 2/4. Zum Vergleich wurden die angefallenen Staubmengen der Phase 2/4 gegenübergestellt.	83
Tabelle 7:	Übersicht der Gruppenäquivalentdosen der KKN-Demontagephasen.	84
Tabelle 8:	Personal und Strahlenschutz.	90
Tabelle 9:	Kosten für die Errichtung und Beseitigung des KKN.	92

**Anhang 1: Technische Daten und Betriebskennzahlen  
des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN)**

<b>Reaktortyp</b>	<b>CO<sub>2</sub>-gekühlter, D<sub>2</sub>O-moderierter Druckröhrenreaktor</b>
<b>Thermische Nennleistung</b>	<b>320,6 MW</b>
<b>Elektrische Nennleistung (brutto)</b>	<b>106,4 MW</b>
<b>Elektrische Nennleistung (netto)</b>	<b>100,4 MW</b>
<b>Innendurchmesser des Moderator tanks</b>	<b>6140 mm</b>
<b>Höhe des Moderator tanks</b>	<b>5240 mm</b>
<b>Druckrohre :</b>	
<b>Material</b>	<b>Zircaloy 2</b>
<b>Gesamtlänge</b>	<b>5260 mm</b>
<b>Innendurchmesser</b>	<b>119,4 mm</b>
<b>Wandstärke</b>	<b>2,75 mm</b>
<b>Betriebsdruck Primärkreis</b>	<b>6 x 10<sup>6</sup> Pa</b>
<b>Kühlmittel-Durchsatz (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>3040 t/h</b>
<b>Kühlmittel-Einlaßtemperatur</b>	<b>247°C</b>
<b>Kühlmittel-Auslaßtemperatur</b>	<b>550°C</b>
<b>Moderatormenge (D<sub>2</sub>O)</b>	<b>177,5 t</b>
<b>Primärsystem</b>	
<b>Dampferzeugung</b>	<b>377 t/h</b>
<b>Zustand am Turbineneinlaß</b>	<b>530°C ,1,07 x 10<sup>7</sup> Pa</b>
<b>Zahl der Brennelemente</b>	<b>1404</b>
<b>Brennstoffmenge (UO<sub>2</sub>)</b>	<b>46,5 t</b>
<b>Brennstoff-Anreicherung (U-235)</b>	<b>bis zu 1,15%</b>
<b>Brennstabaußendurchmesser</b>	<b>15 mm</b>
<b>Brennstabwandstärke</b>	<b>0,25 mm</b>
<b>Brennstabmaterial</b>	<b>DIN Mat.-Nr. 4961</b>
<b>Brennstablänge</b>	<b>1075 mm</b>
<b>Mittlere spez. Brennstoff-Wärmeleistung</b>	<b>110 W/cm</b>
<b>Mittlere Brennstoff-Wärmeleistung</b>	<b>7,3 MW/tU</b>
<b>Mittlerer Neutronenfluß</b>	<b>2,86 x 10<sup>13</sup> n/cm<sup>2</sup>sec</b>