

**Forschungszentrum Karlsruhe**

Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6510

Strahlenexposition des Personals während Abbau  
und Zerlegung des Primärsystems des  
Mehrzweckforschungsreaktors (MZFR)

H. Hesse, W. Demant, A. Reichert, F. Willmann

Projekt Stilllegung Mehrzweckforschungsreaktor Karlsruhe

Hauptabteilung Sicherheit

Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

2000

## Zusammenfassung

Der mit Schwerwasser ( $D_2O$ ) gekühlte und moderierte Druckwasserreaktor MZFR (200 MW<sub>th.</sub>) wird in mehreren Teilschritten zerlegt und abgebaut. In der zurückliegenden Stilllegungsphase wurden unter anderem die Primärkreisläufe dekontaminiert und abgebaut.

Es wird der prinzipielle Ablauf der Demontagen sowie die Handhabung von Großkomponenten des Primärkreislaufes, wie beispielsweise Dampferzeuger, Brennelementlademaschine und Druckhalter unter Strahlenschutz Gesichtspunkten aufgezeigt. Maßnahmen zur Reduktion der Dosisbelastung vor und während der Demontagemaßnahmen sowie bei der Zerlegung der Komponenten zum Zwecke der Konditionierung bzw. Freigabe zur schadlosen Wiederverwertung werden näher erläutert.

Die Maßnahmen zum Personenschutz im Hinblick auf die schwierigen radiologischen Randbedingungen (Tritium sowie sehr hohe Alpha-Kontaminationen) werden beleuchtet. Erläutert werden im weiteren dosisminimierende Maßnahmen bei der manuellen Verarbeitung der Primärkreiskomponenten durch die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) am Beispiel der Zerlegung eines Dampferzeugers

Die Dosisbelastung des Personals während der Demontage und Handhabung am MZFR wird der Dosisbelastung bei der anschließenden Weiterverarbeitung bei HDB gegenübergestellt und diskutiert.

Zusammenfassend wird dargestellt, dass die Demontage und die Zerlegung hochbelasteter Primärkreiskomponenten eines Druckwasserreaktors mit vorausgehenden Dekontaminationsmaßnahmen und entsprechenden Planungsleistungen sowohl hinsichtlich der Strahlenexposition für das Personal, als auch unter technischen, wirtschaftlichen und zeitlichen Randbedingungen sicher durchgeführt werden kann.

## **Radiation Exposure of the Personnel During Dismantling and Cutting of the Primary System of the Karlsruhe Multi-purpose Research Reactor (MZFR)**

### **Abstract**

The heavy water (D<sub>2</sub>O) cooled and moderated pressurized water reactor MZFR with a thermal power of 200 MW will be dismantled step-by-step within the framework of sectional decommissioning licenses. The past decommissioning step (6<sup>th</sup> sectional license) in general covered the removal of the primary systems and of all reactor support systems inside the reactor building.

The measures for radiation protection during dismantling and handling of the large components of the primary system, such as the fuel element loading machine, fuel element transfer system, steam generator and pressurizer shall be pointed out. The measures taken for the reduction of the dose rate during dismantling and cutting of the components for the purpose of conditioning or unrestricted reuse at the Central Decontamination Department (HDB) shall be described.

Chemical decontamination of the primary circuit and its components, which had to be executed in order to reduce the dose rates for subsequent manual dismantling, shall be presented.

The efforts undertaken for the protection of individuals in view of the difficult radiological boundary conditions (high concentrations of tritium in all systems as well as very high alpha contamination) will be explained. Moreover, dose-minimizing measures during cutting of the primary circuit and its components at HDB shall be described by the example of the cutting of a steam generator.

It shall be demonstrated that cutting and dismantling of highly contaminated and activated parts with high dose rates can be executed safely in terms of both the radiation exposure of the personnel and the technical, financial and time expenditure.

---

| <b>INHALTSVERZEICHNIS</b>  | <b>SEITE</b> |
|--|--------------|
| <b>1.0 Einleitung</b>  | <b>5</b>     |
| <b>2.0 Voraussetzung für die manuelle Demontage des Primärsystems</b>                                    | <b>5</b>     |
| 2.1 Allgemeines  | 5            |
| 2.2 Dekontaminationsverfahren  | 5            |
| 2.3 Restentwässerung und Trocknung der Komponenten als Voraussetzung für deren Abbau                     | 7            |
| <b>3.0 Abbau des Primärsystems unter Strahlenschutz Gesichtspunkten</b>                                  | <b>8</b>     |
| 3.1 Schutzmaßnahmen im Hinblick auf Inkorporationen  | 8            |
| 3.2 Schutzmaßnahmen zur Dosisreduzierung am Beispiel des Abbaus der Brennelementhandhabungseinrichtungen | 10           |
| 3.3 Ausbau und Transport der Komponenten des Primärsystems   | 11           |
| 3.3.1 Übersicht  | 11           |
| 3.3.2 Ausbau der Komponenten am Beispiel des Dampferzeugers  | 12           |
| <b>4.0 Verarbeitung der Großkomponenten bei HDB am Beispiel des Dampferzeugers</b>                       | <b>14</b>    |
| 4.1 Anlagen bei HDB  | 14           |
| 4.2 Verarbeitung des Dampferzeugers II   | 15           |
| 4.2.1 Schutzmaßnahmen zur Dosisminimierung   | 15           |
| 4.2.2 Verarbeitung   | 15           |
| <b>5.0 Dosisbelastung des Personals</b>  | <b>17</b>    |
| 5.1 Dosisbelastung während des Abbaus am MZFR  | 17           |
| 5.2 Dosisbelastung während der Verarbeitung bei HDB  | 18           |
| <b>6.0 Schlussfolgerungen / Ausblick</b>   | <b>18</b>    |
| <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>19</b>    |

---

## **TABELLENVERZEICHNIS**

- Tab. 1: Chemische Dekontamination der Primär- und Hilfsanlagensysteme  
Übersicht
- Tab. 2: Übersicht über die ausgebauten Komponenten des Primärsystems
- Tab. 3: Kollektivdosis bei den einzelnen Verarbeitungsschritten bei HDB
- Tab. 4: Vergleich zwischen geplanter und tatsächlich erreichter Kollektivdosis, MZFR
- Tab. 5: Kollektivdosen während der Verarbeitung der Großkomponenten bei HDB

## **ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

- Abb. 1: Chemische Dekontamination der Primär- und Hilfssysteme  
Prinzipielle Darstellung des AMDA-Kreislaufes
- Abb. 2: Prinzipielle Darstellung der Bohrvorrichtung zur Entwässerung D<sub>2</sub>O-belasteter Komponenten
- Abb. 3: Prinzipielle Darstellung des Ausbaus eines Dampferzeugers innerhalb des Reaktor-gebäudes
- Abb. 4: Ausschnitt aus der Anlage "Gerätedekontamination", HDB
- Abb. 5: DL<sub>0</sub>-Profil des Dampferzeugers, alle Angaben in µSv/h
- Abb. 6: Darstellung der Kollektivdosisbelastung für Vorbereitung, Ausbau und Verarbeitung der Primärkreiskomponenten (in mSv)

---

## 1.0 Einleitung

Der Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR) war ein schwerwassergekühlter und -moderierter Druckwasserreaktor. Er wurde von 1961 bis 1966 gebaut und erstmals am 29. September 1965 kritisch. Nach einem erfolgreichen Betrieb über fast 19 Jahren wurde der Reaktor am 3. Mai 1984 abgeschaltet. Der Reaktor verfügte über eine thermische Leistung von 200 MW und eine elektrische Leistung von 50 MW.

Während zunächst ein sicherer Einschluss der Anlage vorgesehen war, entschied man sich dann angesichts der deutlichen Vorteile für einen schrittweisen kompletten Rückbau. Das Stilllegungskonzept für die komplette Beseitigung der Anlage bis zur grünen Wiese sieht acht Schritte vor. Für jeden Schritt sind vor der Zustimmung und Erteilung einer Genehmigung durch die Genehmigungsbehörde Unterlagen zu erstellen, in denen die im Rahmen dieses Stilllegungsschrittes durchzuführenden Arbeiten genau beschrieben sind.

Im Rahmen des Rückbaus sind etwa 72.000 t Beton und 7.200 t Metall zu beseitigen. Etwa 1000 t Beton (600 t biologischer Schild) und 1680 t Metall sind als radioaktive Abfälle einzustufen.

## 2.0 Voraussetzung für die manuelle Demontage des Primärsystems

### 2.1 Allgemeines

Vorlaufend zum Abbau von Anlagenteilen im Rahmen der 6. Teilstilllegungsgenehmigung wurden Primär- und Nebensysteme (ohne Reaktordruckbehälter) des MZFR chemisch dekontaminiert. Hierdurch konnte die Dosisleistung an den zu demontierenden Komponenten des Primärsystems an ausgewählten Messpunkten um durchschnittlich Faktor 15 reduziert werden. Erst durch diese Maßnahme konnten im weiteren Verlauf manuelle Demontagen am Primärsystem durchgeführt werden.

### 2.2 Dekontaminationsverfahren

Die Dekontamination der Systeme wurde über einen Zeitraum von ca. 5 Monaten mit der "Automatisierten Mobilen Dekontanlage" (AMDA) und dem Dekontaminationsverfahren "CORD/UV<sup>®</sup>" (Chemische Oxidation Reduktion Dekontamination) der Siemens AG / KWU durchgeführt.

Das CORD/UV<sup>®</sup>-Verfahren ist ein mehrzyklisches "Soft"-Dekontverfahren, in dem eine Chemikalienkonzentration von 2000 mg/kg nicht überschritten wird. Die Behandlungstemperatur

liegt bei  $\leq 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die im Prozess gelösten Korrosionsprodukte sowie die Aktivität werden bereits während der Dekontamination auf Ionenaustauscherkugelharze gebunden.

Ein CORD/UV<sup>®</sup>-Zyklus besteht aus mehreren ineinandergreifenden Schritten, die mit nur einer Systemfüllung Deionat durchgeführt werden. Die wesentlichen Verfahrensschritte gliedern sich wie folgt auf:

- **Voroxidation**

Durch den Einsatz einer verdünnten permangansauren Lösung ( $\text{HMnO}_4$ ) wird in der Oxidschicht vorliegendes Chrom(III) zu leicht löslichem Chromat(IV) oxidiert.

- **Reduktion**

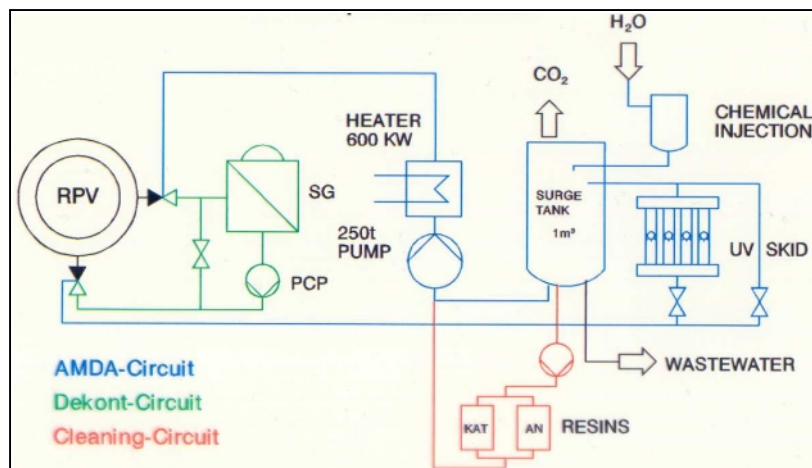
Während der Reduktion wird entstandenes Chromat und die überschüssige  $\text{HMnO}_4$  aus der Voroxidation mit der stöchiometrischen Menge an Oxalsäure reduziert.

- **Dekontamination**

Während des Dekontaminationsschrittes werden die auf den Oberflächen vorliegenden Oxidschichten gelöst und die Metallionen als Komplexe in Lösung gehalten. Die Korrosionsprodukte sowie die gelöste Aktivität werden kontinuierlich an Ionenaustauscherharze fixiert.

- **Zersetzung**

Die eingesetzten Chemikalien werden durch photokatalytische Naßoxidation vollständig zu  $\text{CO}_2$  und Wasser zersetzt. Die Reinigung mittels Ionentauscher wird parallel fortgesetzt.



**Abb. 1: Chemische Dekontamination der Primär- und Hilfssysteme  
Prinzipielle Darstellung des AMDA-Kreislaufes**

Die Vorteile dieser Vorgehensweise waren:

- Ständige Regeneration der Dekontlösung
- Permanentes Angebot frischer Lösung an den zu dekontaminierenden Oberflächen
- Eine Rekontamination kann durch die permanente Reinigung ausgeschlossen werden

Folgende Eckdaten der chemischen Dekontamination des Primärsystems des MZFR können zusammenfassend dargestellt werden:

|  |                     |
|--|---------------------|
| • Abfallmengen                             |                     |
| Harze                                      | 3 m <sup>3</sup>    |
| H <sub>2</sub> O                           | 100 m <sup>3</sup>  |
| Abgetragene Metall-Oberflächen             | 72 kg               |
| • Dekontaminierte Oberfläche               | 4000 m <sup>2</sup> |
| • Dekontaminierte Masse                    | 400 Mg              |
| • Ausgetragene Aktivität (Kationenaustrag) | 1,7 E+12 Bq         |
| • Durchschnittlicher Dekont-Faktor         | 15                  |
| • Kollektivdosis des Personals             | 130 mSv             |

**Tab. 1: Chemische Dekontamination der Primär- und Hilfssysteme - Übersicht**

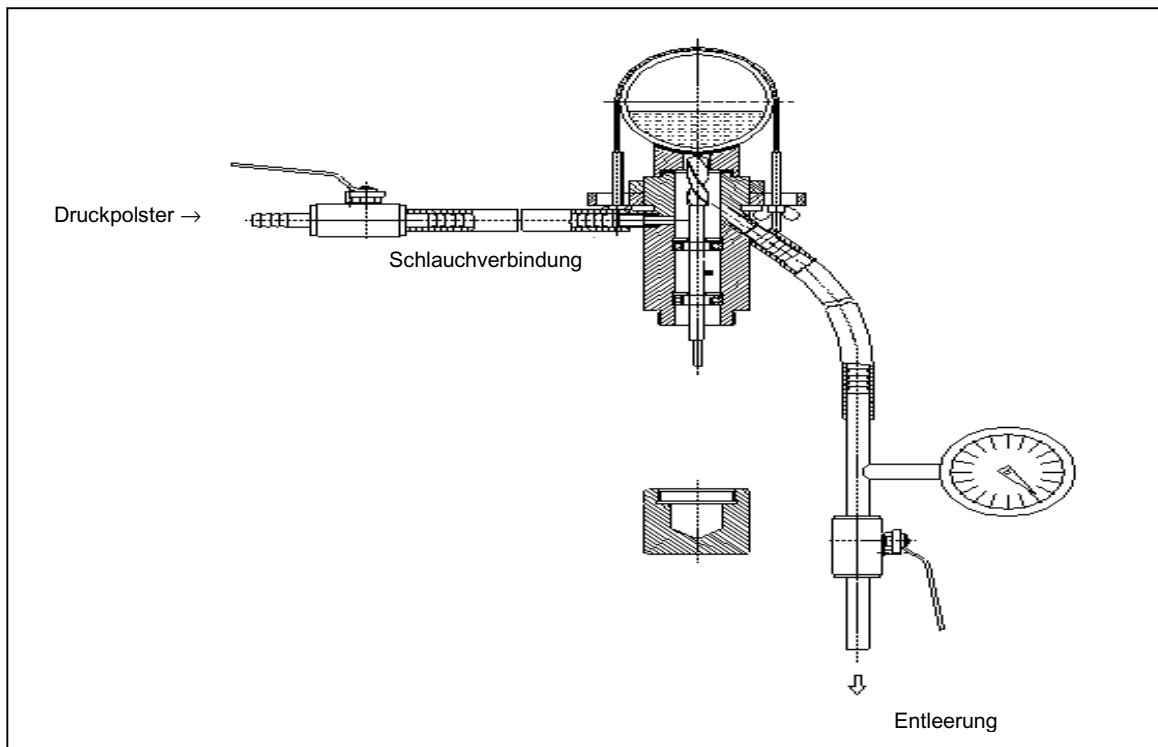
### 2.3 Restentwässerung und Trocknung der Komponenten als Voraussetzung für deren Abbau

Eine wesentliche Voraussetzung für die Demontage der Komponenten des Primärkreislaufes im Hinblick auf den Personenstrahlenschutz und den Abbaufortschritt war das Entfernen von D<sub>2</sub>O-haltigen Restwässern. Es musste daher ein System entwickelt werden, Systemkomponenten und Rohrleitungen zu entwässern, ohne gleichzeitig Tritium in die Raumluft der umliegenden Bereiche gelangen zu lassen.

Zu diesem Zwecke wurde die "IFM-Bohrvorrichtung" (im folgenden Bohrvorrichtung genannt) entwickelt, die es ermöglicht, anfallende D<sub>2</sub>O-Leckwässer unter gerichteter Strömung gezielt abzusaugen (vgl. Abb. 2). Die Leckwässer wurden dann in einer Transportablen Entwässerungseinheit (TEWE) gesammelt. Die TEWE ist ein bauartgeprüfter und -zugelassener Druckbehälter, der auf einem Fahrgestell montiert und mit der erforderlichen Ausrüstung (Füllstandsanzeige, Druckanzeige und Absperrarmaturen) versehen ist.

Sämtliche Komponenten wurden mit diesem Verfahren auf mögliche D<sub>2</sub>O-haltige Restwässer verifiziert und vor Abgabe an die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) nochmals an ein dichtheitsgeprüftes Trocknungssystem angeschlossen.





**Abb. 2: Prinzipielle Darstellung der Bohrvorrichtung zur Entwässerung  $D_2O$ -belasteter Komponenten**

### 3.0 Abbau des Primärsystems unter Strahlenschutz Gesichtspunkten

#### 3.1 Schutzmaßnahmen im Hinblick auf Inkorporationen

Während des Reaktorbetriebs entsteht -vorwiegend in schwerwassermoderierten Kernkraftwerken- durch Aktivierung des Kühlmittels das Nuklid Tritium (überwiegend als HTO). Mit zunehmender Betriebszeit wird die Tritiumaktivität größer und nähert sich einem Gleichgewichtszustand, der wesentlich von der Menge des Wasseraustausches in den Kühlkreisen abhängig ist.

Da die Aufnahme von Tritium in Form von Wasserdampf neben der Inhalation auch zu ca. 50 % über die Porenatmung der Haut erfolgt, kommt den Personenschutzmaßnahmen beim Umgang mit diesem Nuklid besondere Bedeutung zu. In Abhängigkeit der vorherrschenden Tritium-Konzentration kann ein zuverlässiger Schutz hinsichtlich Inhalation und Hautresorption ausschließlich von einem Vollschutzanzug mit Fremdbelüftung erwartet werden.

Am MZFR wird die Raumluft routinemäßig über mehrere festinstallierte Messanlagen überwacht. Bei Arbeiten an ehemals  $D_2O$ -führenden Systemen wird die routinemäßige Überwachung durch mobile Messanlagen ergänzt. Zum Einsatz kommen direkt anzeigende Mess-

---

anlagen mit Proportional-Durchfluss-Zählrohren, deren Nachweisempfindlichkeit im Vor-Ort-Einsatz bei ca.  $4 \text{ E}+04 \text{ Bq/m}^3 \text{ H-3}$  liegt.

Die Inkorporationsüberwachung im Allgemeinen erfolgt am MZFR gemäß der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis" und der "Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition".

Gemäß Richtlinie wird eine regelmäßige Inkorporationskontrolle dann erforderlich, wenn zu besorgen ist, dass im Kalenderjahr mehr als ein Zehntel der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr nach StrlSchV Anlage IV Tabelle IV.1 inkorporiert werden kann. Für die Demontagemassnahmen am MZFR war dies für das Nuklid Tritium sowie der Nuklidgruppe Transurane nicht auszuschließen, somit erfolgte eine Inkorporationsüberwachung über Ausscheidungsanalysen und die Raumluftüberwachung.

Für die Inkorporationsüberwachung auf Tritium ist gemäß der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis monatlich die Untersuchung einer Urinprobe durchzuführen. Eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung ist erforderlich, wenn die mittlere Aktivitätskonzentration der Raumluft am Arbeitsplatz  $1 \text{ E}+05 \text{ Bq/m}^3$  überschreitet. Kontaminationsmessungen an demontierten Rohrleitungen und Komponenten des Primärsystems ergaben Werte für die  $\alpha$ -Kontamination von einigen  $10^2 - 10^3 \text{ Bq/cm}^2$ .

Für die Inkorporationsüberwachung auf Transurane ist gemäß Richtlinie eine regelmäßige Überwachung der Aktivitätskonzentration der Raumluft am Arbeitsplatz und die halbjährliche Ermittlung der Aktivität in den Ausscheidungen durchzuführen. Eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung ist erforderlich, wenn die mittlere jährliche künstliche Alpha-Aktivitätskonzentration der Raumluft am Arbeitsplatz  $4,2 \text{ mBq/m}^3$  überschreitet.

Die Messung der Aktivitätskonzentration der Transurane erfolgt am MZFR arbeitsplatzbezogen mit ortsfesten Luftstaubsammlern. Aus den Messwerten wurden für die einzelnen Arbeitsbereiche die Monatsmittelwerte der Aktivitätszufuhr für die dort beschäftigten Mitarbeiter unter Zugrundelegung der täglichen Arbeitszeit abgeschätzt.

Aufgrund der Vorgabe durch den Strahlenschutz, bei Umgang mit ehemals  $\text{D}_2\text{O}$ -führenden Systemen fremdbelüftete Vollschutzanzüge anzulegen, war auch dem Personenschutz hinsichtlich der Nuklidgruppe Transurane in vollem Umfang Rechnung getragen.

Dementsprechend ergaben sich hinsichtlich der Inkorporationen für das eingesetzte Personal über den gesamten Zeitraum der Demontagen Zufuhrwerte, welche nur zu einer geringfügigen effektiven Dosis der Personen führten.

---

### 3.2 Schutzmaßnahmen zur Dosisreduzierung am Beispiel des Abbaus der Brennelement-Handhabungseinrichtungen

Bevor mit dem Abbau der Komponenten der BE-Handhabungseinrichtungen wie z.B. der Winde, dem Absperrschieber und dem Einsatzriegelgehäuse begonnen werden konnte, wurden umfangreiche Dosisleistungsmessungen durchgeführt. An der Winde wurde eine maximale Dosisleistung von 500 mSv/h gemessen. Diese hohe Dosisleistung machte es zunächst erforderlich, die Winde fernbedient zu demontieren, bevor anschließend der Abschirmschieber und das Gehäuse demontiert wurden. Es waren umfangreiche Vorbereitungsarbeiten notwendig, wie z.B. das Anbringen einer mobilen Abschirmeinheit mit Manipulator, das Anbringen einer Lastaufnahmeeinrichtung sowie die Errichtung eines Zeltes mit gerichteter Strömung um den Demontageort.

Das Schwenkkammerrohr wurde vor Beginn der Arbeiten mit Montageschaum gefüllt um die offene Kontamination im Inneren zu fixieren. Im Rahmen des Arbeitsfortschrittes wurde ein "Hot Spot" von 850 mSv/h gefunden, so dass weitere Bleiabschirmungen angebracht werden mussten.

Parallel hierzu musste ein weiterer Punktstrahler von 355 mSv/h am Schwenkkammerunterteil im Bereich des Bodenschiebers abgeschirmt werden, um dort notwendige Demontagemaßnahmen durchführen zu können. Nach Herausheben der Schwenkkammer aus dem Einsatzriegelgehäuse wurde der Abschirmbehälter kraftschlüssig am Schwenkkammerunterteil befestigt und die Schwenkkammer zur weiteren Verarbeitung an HDB abgegeben.

---

### 3.3 Ausbau und Transport der Komponenten des Primärsystems

#### 3.3.1 Übersicht

Sämtliche Komponenten wurden nach Demontage anbindender Rohrleitungssysteme demontiert, die Öffnungen dicht verschlossen und Komponenten über 6 m Länge (mit Ausnahme des Druckhalters) unzerlegt aus den Anlagenräumen ausgebracht. Die Komponenten wurden im Rahmen der Transportordnung des FZK zum Zwecke der weiteren Verarbeitung zur HDB transportiert (vgl. Kap. 4).

Diese Vorgehensweise war aus verschiedenen Gründen notwendig und vorteilhaft gewesen:

- Eine Vor-Ort-Zerlegung am MZFR wäre aus arbeitstechnischen und räumlichen Gegebenheiten nur unter schwierigen Bedingungen möglich gewesen; daraus resultiert hätte eine Verlängerung der Projektlaufzeit um mind. 1 Jahr mit Basiskosten von mind. 5 Mio. DM.
- Nach Abtransport reduzierte sich die Ortsdosisleistung in den Anlagenräumen, so dass weitere Demontagen am MZFR mit einer geringeren Dosisbelastung durchgeführt werden konnten.
- HDB verfügt über spezielle Einrichtungen, um derartige Zerlegungen effektiv und mit geringerer Kollektivdosis durchführen zu können

Nachfolgende Abbildung gibt eine Übersicht über die Komponenten des Primärsystems, die unzerlegt zur HDB transportiert wurden.

| Anzahl | Komponente            | Abmessung [m] | Masse [Mg] |
|--------|-----------------------|---------------|------------|
| 2      | Dampferzeuger         | Ø 2,5 x 10,4  | 55         |
| 2      | Hauptkühlmittelpumpen | Ø 1,2 x 3,9   | 12,6       |
| 2      | Moderatorkühler       | Ø 1,0 x 9,2   | 17         |
| 1      | Lademaschine          | Ø 0,4 x 8,0   | 25         |
| 1      | Umsetzmaschine        | Ø 0,65 x 2,7  | 1,2        |
| 1      | Schwenkkammer         | Ø 0,2 x 7,0   | 22         |
| 2      | Moderatorpumpen       | Ø 0,7 x 2,1   | 1,2        |
| 1      | Druckhalter           | Ø 1,6 x 11,5  | 20         |

**Tab. 2: Übersicht über die ausgebauten Komponenten des Primärsystems**

---

Insgesamt beträgt die Masse des gesamten Primärsystems ca. 600 Mg, die mit einer Kollektivdosisbelastung von ca. 210 mSv ausgebaut wurde. Ca. 400 Mg davon wurden im Vorfeld chemisch dekontaminiert, die Kollektivdosisbelastung betrug dabei ca. 130 mSv. Die Großkomponenten mit einer Masse von ca. 230 Mg wurden bei der HDB bis dato mit einer Kollektivdosisbelastung von ca. 180 mSv verarbeitet und konditioniert. Rohrleitungssystem tragen mit ca. 370 Mg zur Gesamtmasse bei.

Die Kosten verteilen sich dabei wie folgt:

|  |                |
|--|----------------|
| Chemische Dekontamination (Planung /Durchführung):     | ca. 5.400 TDM  |
| Entsorgung der Materialien bei HDB:                    | ca. 26.000 TDM |
| Abbau Primärsystem am MZFR (Planung und Durchführung): | ca. 5.800 TDM  |
| Entsorgung der Materialien bei HDB (bis Ende 98):      | ca. 12.000 TDM |

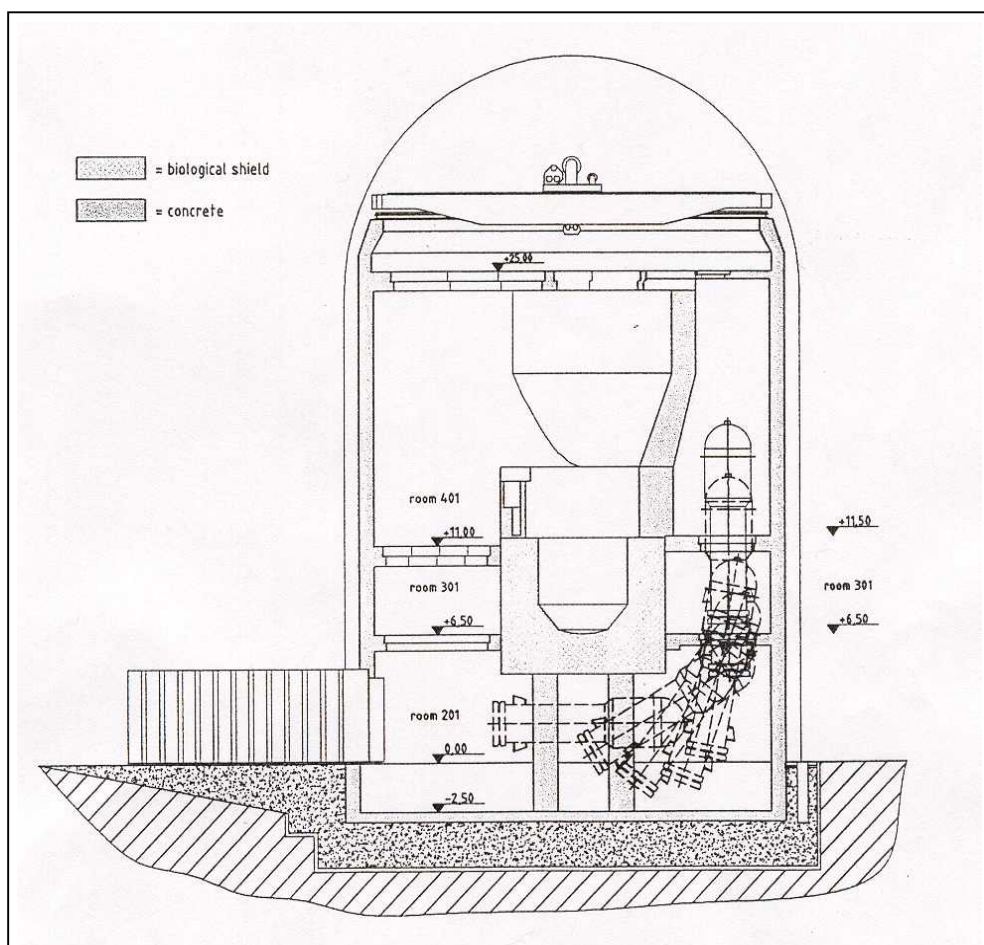
### 3.3.2 Ausbau der Komponenten am Beispiel eines Dampferzeugers (DE)

Im Rahmen des Arbeitsplanes wurde der DE zunächst abisoliert und alle anbindenden Rohrleitungen und Stutzen demontiert. Geöffnete Rohrstutzen wurden mit handelsüblichen Verschlussstopfen verschlossen und einer Dichtheitsprüfung unterzogen. An einigen der Rohrverschlüsse wurden die für eine Entwässerung bzw. Trocknung erforderlichen Anschlussmöglichkeiten geschaffen.

Für den Transport innerhalb des Gebäudes wurde eine Bühne auf 0-m als Schwerlastbühne ausgeführt, ein Schienensystem installiert und nach Beendigung dieser Umbaumaßnahmen ein Kipp- und Prismenwagen zur Aufnahme der Großkomponenten in die Schienen der Fahrbahnträger eingesetzt.

Für den Ausbau wurden zunächst die Erdbebenstützen am DE oben und unten demontiert. Die speziell konstruierte Lasttraverse wurde am 110-Mg-Rundlaufkran angeschlagen, mittig über den Dampferzeuger verfahren und an die Tragzapfen des DE angeschlagen. Die Lasttraverse wurde auf Vorspannung gebracht, die Stützkonsolen am DE sowie zugehörige Verschraubungen getrennt und zum Teil demontiert. Der DE wurde über die Montageöffnung verfahren und unter Ablassen des Krans und gleichzeitigem Verfahren des Kippwagens in die Waagrechte gekippt und auf einem Prismenwagen aufgelegt (vgl. Abb. 3).

Nach erfolgter Entwässerung, Trocknung und Dekontamination wurde die Schleuse beidseitig geöffnet und der Tieflader mit der aufgesetzten Aufnahmevorrichtung unter die Last verfahren. Die Komponente wurde abgesetzt, in Folie eingeschlagen und auf der Pritsche des Tiefladers fixiert. Nach Freigabe durch den Strahlenschutz wurde der DE als "Sondertransport" zur HDB gebracht.



**Abb. 3: Prinzipielle Darstellung des Ausbaus eines Dampferzeugers innerhalb des Reaktorgebäudes**

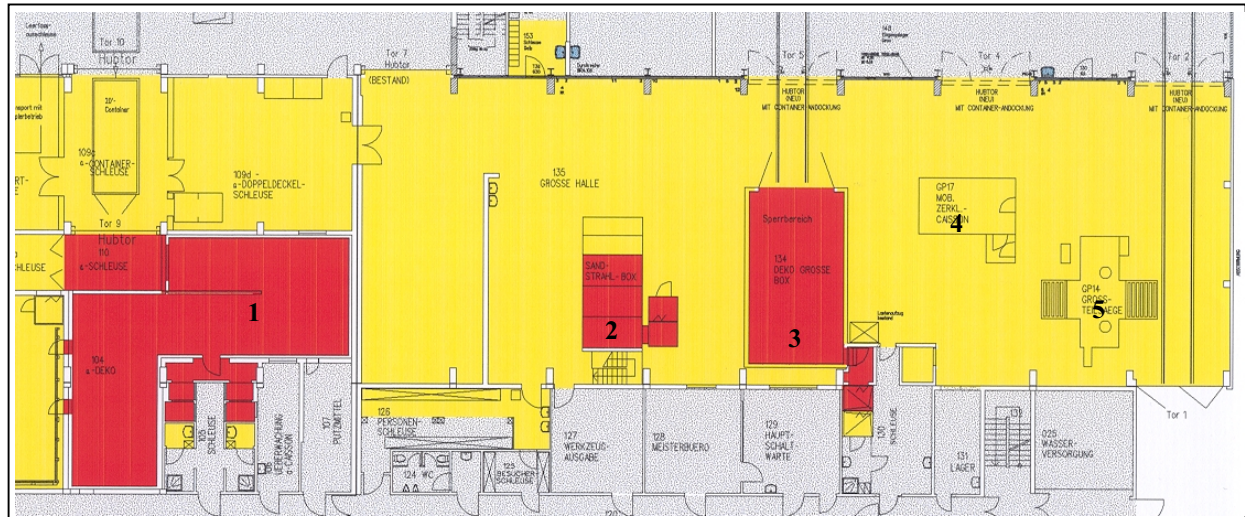
## 4.0 Verarbeitung der Großkomponenten bei HDB am Beispiel des Dampferzeigers

Basierend auf den Erkenntnissen, die bei der Verarbeitung vorangegangener MZFR-Großkomponenten im speziellen des Dampferzeigers I gesammelt wurden, fiel die aufgelaufene Personendosis, die bei der Behandlung des Dampferzeigers II vergleichsweise niedrig aus.

### 4.1 Anlagen bei HDB

Alle Großkomponenten des MZFR wurden bisher bei der HDB im Betrieb „Gerätedekontamination“ oder der „LAW-Verschrottungsanlage“ bearbeitet. Die in diesen Anlagen vorgehaltenen Arbeitsplätze wie Großteilsäge, Zerlegecaisson, Sandstrahlcaisson, Dekontaminationscaisson, Presse (vgl. Abb. 4) ermöglichen in fast allen Fällen eine komplette Konditionierung unter einem Dach.

Die verschiedenen Arbeitsplätze sind räumlich so angeordnet, dass die internen Transportwege sehr kurz und somit der Kontakt vom Personal zum Reststoff gering gehalten werden kann.



**Abb. 4:** Ausschnitt aus der Anlage "Gerätedekontamination", HDB:

- 1 / 3: Verarbeitungscaissons für stark kontaminierte Reststoffe
- 2: Sandstrahlcaisson
- 4: Zerkleinerungcaisson
- 5: Großteilsäge

---

## 4.2 Verarbeitung des Dampferzeuger II

Der Dampferzeuger II wurde mit dem in Abbildung 5 dargestellten Oberflächen-DL-Profil an HDB geliefert.

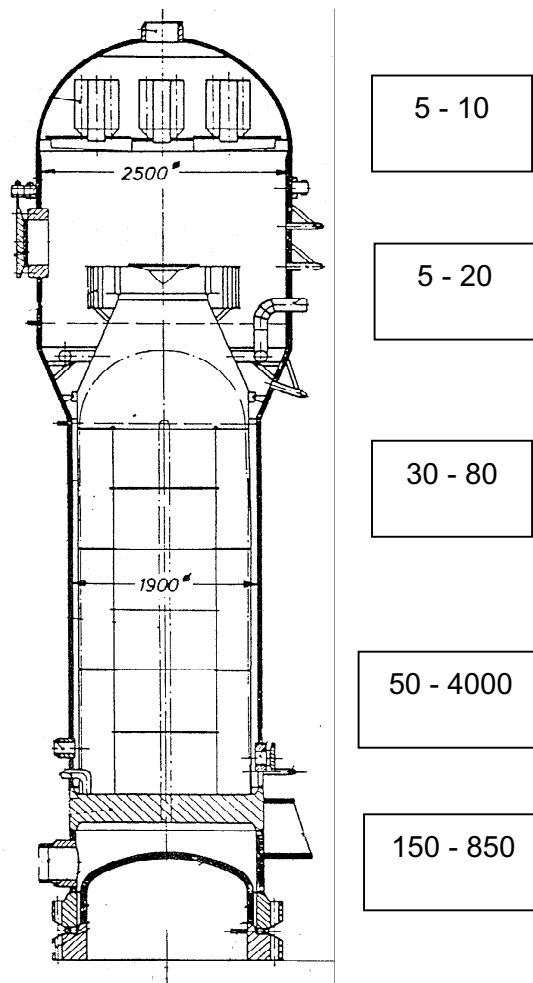
### 4.2.1 Schutzmaßnahmen zur Dosisminimierung

- **Abschirmung:** Zum Schutz der Arbeitsplatzumgebung und zum Schutz des Personals wurde die ganze Komponente in ein Abschirmgerüst mit 60 mm Stahlblech eingehaust. Die Abschirmung bestand aus 6 Segmenten, wobei das jeweils zur Bearbeitung benötigte Fenster geöffnet werden konnte.
- **Dekontamination:** Vor der Verarbeitung wurde das Rohrbündel des Primärsystems über einen Säurekreislauf dekontaminiert. Da der Dampferzeuger isoliert bearbeitet wurde, konnten bei HDB eine sehr viel stärkere Säurelösung als bei MZFR (s. Kap. 2.2) eingesetzt werden. Dabei wurde ein durchschnittlicher Dekofaktor von 3 erreicht.
- **Fernhantierte Bearbeitung:** Die Zerlegung des Dampferzeuger-Rohrbündels konnte zum Großteil fernhantiert durchgeführt werden. Sowohl das Schneiden der Rohre als auch die Bewegungen des ganzen DE-Primärsystems im Verarbeitungscaisson waren automatisiert.

### 4.2.2 Verarbeitung

- **Primärsystem:** Da bei der Verarbeitung und damit bei der Öffnung des DE-Primärsystems neben der hohen Dosisleistung (vgl. DL-Profil Abb. 5) das Problem der hohen Kontaminationen hinzu kam, wurden diese Arbeiten unter Vollschutz mit externer Belüftung in einem Verarbeitungscaisson durchgeführt. Das Rohrbündel wurde weitgehend automatisiert entlang der Rohrführungsbleche geschnitten. Der Aufenthalt des Personal beschränkte sich somit auf das Einrichten des Trennwerkzeugs und auf das Abräumen der abgeschnittenen Rohre. Als Werkzeugträger diente ein Abschirmgerüst, welches das Rohrbündel und den Flanschboden im Wesentlichen abdeckte.
- **Sekundärsystem:** Das Sekundärsystem wurde in der Gerätedekontamination in einem extra dafür errichteten Zelt thermisch zerlegt. Zum Schutz vor möglicher Inkorporation wurden unbelüftete Schutzanzüge und Atemschutzmasken mit Fremdluft getragen. Bei der Verarbeitung war die ganze Komponente, wie oben beschrieben, eingehaust. Nach der Demontage der Kalotte wurde der restliche Teil zwar in Halbschalen getrennt, zu Abschirmzwecken allerdings vorerst auf dem Rohrbündel liegen gelassen. Erst unmittelbar vor dem Transport des DE-Primärsystems in den Verarbeitungscaisson wurden die Halbschalen abgehoben.





**Abb. 5: DL<sub>0</sub>-Profil des Dampferzeugers, alle Angaben in  $\mu\text{Sv/h}$**

Die aufgelaufene Kollektivdosis der einzelnen Verarbeitungsschritte setzt sich wie folgt zusammen:

| Arbeitsschritt                   | Kollektivdosis  |
|----------------------------------|-----------------|
| Deko-Spülkreislauf               | 2,0 mSv         |
| Demontage des DE-Sekundärsystems | 1,6 mSv         |
| Transport innerhalb des Gebäudes | 2,0 mSv         |
| Demontage des DE-Primärsystems   | 68,2 mSv        |
| <b>Summe</b>                     | <b>73,8 mSv</b> |

**Tab. 3: Kollektivdosis bei den einzelnen Verarbeitungsschritten bei HDB**

Die Dosen resultierend aus Inkorporationen waren vernachlässigbar.

---

## 5.0 Dosisbelastung des Personals

### 5.1 Dosisbelastung während des Abbaus am MZFR

Die nachfolgenden Dosisbetrachtungen sind auf die Stilllegungsmaßnahmen der 6. SG im Reaktorgebäude bezogen, da hier der wesentliche Anteil der Dosis angefallen ist.

Alle Stilllegungsmaßnahmen werden am MZFR im Rahmen von Arbeitsplänen (AP's) ausgeführt. Diese Arbeitspläne werden im Vorfeld zunächst durch einen Sachverständigen geprüft und sodann von der Genehmigungsbehörde freigegeben. Die in der ICRP-60-Empfehlung enthaltenen Grenzwerte für die Kollektivdosis des eingesetzten Personals sind für Stilllegungsmaßnahmen zugrunde zu legen. Für sämtliche Stilllegungsmaßnahmen am MZFR gilt jedoch die Vorgabe für den Planungswert der individuellen Dosis von nicht mehr als 10 mSv/a und Person, die nur in begründeten Einzelfällen um den Faktor 2 überschritten werden darf.

Die aus radiologischer Sicht relevanten Demontagen im Rahmen der 6. TSG wurden im Rahmen der AP's 706, 707 und 709 durchgeführt. Diese Arbeitspläne beinhalten im wesentlichen:

AP 706: Demontage bzw. Teildemontage und Entfernung von Anlagenteilen diverser Systeme, wie z.B. der Elementüberwachung, des Lademaschine-Kühl- und Spülsystems, der Hauptkühl- und Moderatorkreisläufe und des Vorrats- und Volumenregelsystems.

AP 707: Demontagen im Reaktorgebäude und Beckenhaus, im wesentlichen die Demontage der Einrichtungen der Brennelementhandhabung, wie z.B. der BE-Lademaschine, der Umsetzmaschine, der BE-Schleuse und zugehöriger Systemleitungen.

AP 709: Demontagen diverser Systeme wie z.B. der Primärkühlkreisläufe, Moderatorkreislaufes und Druckhaltesystems samt zugehöriger Großkomponenten wie z.B. Dampferzeuger, Moderatorkühler und Druckhalter.

Bei den durchgeführten Maßnahmen, konnten die in der Planungsphase abgeschätzten Kollektivdosen wesentlich unterschritten werden (vgl. Tab. 4):

| Arbeitsplan | Personenanzahl | Planungswert [mSv] | Ist-Wert [mSv] |
|-------------|----------------|--------------------|----------------|
| AP 706      | 39             | 200                | 25             |
| AP 707      | 35             | 146                | 36             |
| AP 709      | 82             | 585                | 124            |
| $\Sigma$    |                | 931                | 185            |

**Tab. 4: Vergleich zwischen geplanter und tatsächlich erreichter Kollektivdosis, MZFR**

---

Die tatsächlich erreichte Kollektivdosis entspricht damit ca. 20 % des geplanten Wertes.  
Die Summe der Kollektivdosis für alle im Rahmen der 6. SG von April 1997 bis Dezember 1998 durchgeführten Maßnahmen betrug ca. 209 mSv.

## 5.2 Dosisbelastung während der Verarbeitung bei HDB

Die Verarbeitung der in Tab. 5 aufgeführten Großkomponenten führte bislang zu einer Kollektivdosis von ca. 180 mSv, hierbei wurden die Messwerte der nicht-amtlichen Dosis (gemessen mit elektronischen Dosimetern) zugrunde gelegt.

Der größte Teil der Kollektivdosis ergab sich aus der Verarbeitung der beiden Dampferzeuger (167 mSv). Die maximale Individualdosis bei den mit der Verarbeitung betrauten Personen lag bei 12 mSv/a.

| <b>Komponente</b>     | <b>Kollektivdosis [mSv]</b> |
|-----------------------|-----------------------------|
| Dampferzeuger I       | 93,5                        |
| Dampferzeuger II      | 73,8                        |
| Moderatorenkühler     | 4,7                         |
| Druckhalter           | 0,4                         |
| Lademaschine          | 3,7                         |
| Schwenkkammer         | 0,3                         |
| Hauptkühlmittelpumpen | 1,7                         |
| Umsetzmaschine        | 2,1                         |

**Tab. 5: Kollektivdosen während der Verarbeitung der Großkomponenten bei HDB**

## 6.0 Schlussfolgerungen / Ausblick

Die vorangegangenen Ausführungen am Beispiel der Demontage des Primärsystems des MZFR zeigen, dass es für eine Beurteilung der zu erwartenden Belastungen des eingesetzten Personals aus radiologischer Sicht bei der Durchführung von Demontageschritten in einem stillgelegten Kernkraftwerk von großer Wichtigkeit ist, folgendes zu berücksichtigen:

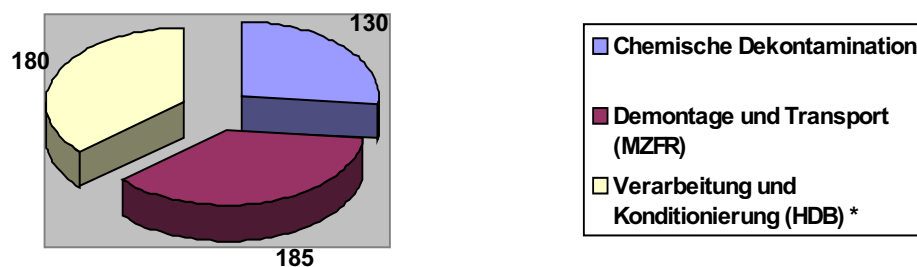
Unabhängig von der Wahl der Abbaumethode, die stark von räumlichen Gegebenheiten, terminlichen und auch finanziellen Randbedingungen abhängig ist, dürfen für eine realistische Beurteilung der Gesamtdosisbelastung einer Stilllegungsmaßnahme nicht nur die vorbereitenden Arbeitsschritte und die eigentliche Demontage an der Anlage selbst betrachtet werden. Wie es sich aus den Ausführungen ergibt, liefert gerade die Weiterverarbeitung bzw. Konditionierung der abgebauten Komponenten einen ähnlich großen Beitrag zur Gesamtdosisbelastung des Personals.

Die für den MZFR geltende Vorgabe einer Individualdosisbelastung von 10 mSv pro Jahr und Person konnte sicher eingehalten werden. Die maximale Individualdosis betrug für 2 Personen 12 mSv/a.

Die für HDB gültigen Grenzwerte der StrlSchV von derzeit 50 mSv/a und Person konnten im Verarbeitungszeitraum ebenfalls sicher eingehalten werden; auch hier betrug die maximale Individualdosis für 2 Personen ca. 12 mSv/a.

Es ergaben sich hinsichtlich der Inkorporationen des eingesetzten Personals sowohl am MZFR als auch bei HDB über den gesamten Zeitraum der Demontagen bzw. Verarbeitung Zufuhrwerte, welche nur zu einer geringfügigen effektiven Dosis der Personen führten.

Die genehmigten Emissionswerte für den MZFR wurden im betrachteten Zeitraum für Tritium zu kleiner 2 %, für Aerosole zu 0,0 % ausgeschöpft. Auch die genehmigten Emissionswerte der HDB wurden sicher eingehalten.



\* Bezieht sich auf die personendosisrelevante Verarbeitung, restliche Verarbeitung erfolgt fernbedient.

**Abb. 6: Darstellung der Kollektivdosisbelastung für Vorbereitung, Ausbau und Verarbeitung der Primärkreis Komponenten (in mSv)**

## Literaturverzeichnis

1. Dr. Wolski, Hirning, *Chemische Dekontamination von Primär- und Nebensystemen im MZFR Karlsruhe*, Abschlußbericht KWU NR-D/1995/031
2. W. Demant, E. Prechtl, *Interne Fortschrittsberichte MZFR (1997 - 1999)*