

Auf Sichtweite mit der „Grünen Wiese“: Status des MZFR-Rückbaus

E. Prechtl, B. Eisenmann, Hauptabteilung Projekte (HAP-MZFR); W. Süßdorf, Studsvik®-IFM

Einleitung

Im Jubiläumsjahr 2006 blickt das Forschungszentrum Karlsruhe stolz auf sein 50-jähriges Bestehen zurück. Nur wenige Jahre jünger ist die Geschichte des damals weltweit größten Schwerwasserreaktors, des Mehrzweckforschungsreaktors „MZFR“, dessen Anfänge bis Ende der 50er Jahre zurückreichen.

Die Weichenstellung für eine Bauentscheidung des MZFR erfolgte am 13. Juni 1960 durch die deutsche Atomkommission. In Kooperation zwischen Staat, Forschung und Industrie wurde der MZFR in knapp vier Jahren Bauzeit auf dem Gelände der damaligen Gesellschaft für Kernforschung (GfK) errichtet.

Am 29. September 1965 erreichte die Anlage ihre erste Kritikalität. Auf die fast drei Jahre dauernde Inbetriebnahmephase folgte ein nahezu störungsfreier Betrieb bis zur endgültigen Abschaltung am 3. Mai 1984.

Nach dieser fast 19-jährigen Betriebszeit hatte der MZFR seine Zwecke, unter anderem:

- Testen von Natururan-Brennelementen
- Entwicklung von Reaktormaterialien
- Sammlung von Erfahrungen im Umgang mit Schwerwassersystemen
- Ausbildung von Reaktorphersonal

erfüllt. Neben den für die heutigen Leistungsreaktoren gewonnenen nutzbaren wertvollen Erfahrungen wurde aufgezeigt, dass Kernkraft-

werke unter Einhaltung aller sicherheitstechnischen Randbedingungen wirtschaftlich betrieben werden können.

Während für den MZFR nach dessen Abschaltung zunächst der sichere Einschluss der Anlage vorgesehen war, entschied man sich 1989 für einen schrittweisen, kompletten Rückbau. Das Stilllegungskonzept für die vollständige Beseitigung der Anlage bis zur grünen Wiese sieht acht Schritte vor. Für jeden der acht Stilllegungsschritte ist eine separate Stilllegungsgenehmigung erforderlich. Nach dem aktuellen Zeitplan wird das Ziel „Grüne Wiese“ Ende 2010 erreicht sein.

Der äußere Anschein trägt

Für einen Außenstehenden scheint die MZFR-Anlage seit Jahren nahezu unverändert „still zu liegen“, wie der Zustand einer kerntechnischen Anlage nach der Abschaltung von den Behörden bezeichnet wird. Die wenigen äußerlichen Anzeichen des Rückbaus waren im Jahre 1992 der Abriss der Kühltürme und im Jahre 1994 die Demontage der mit der Nachbaranlage „KNK“ (kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage) gemeinsamen Objektsicherungseinrichtungen.

Nahezu unbemerkt von der Öffentlichkeit befindet sich der MZFR heute in einem weit fortgeschrittenen Rückbauzustand. Die meisten der ursprünglichen konventionellen und kerntechnischen Einrichtungen wurden demontiert und entsorgt. Von dem Kern der Anlage, dem Reaktor selbst, ist heute nur noch der inzwischen leer

geräumte Reaktordruckbehälter (RDB) übrig. Die Einbauten wurden weitestgehend demontiert, zerlegt und endlagergerecht verpackt. Trotz der enormen Reduzierung des Aktivitätsinventars im Laufe der letzten Jahre auf unter 10^{14} Bq ist diese Restaktivität immer noch einige Größenordnungen zu hoch, um die Freigabegrenzwerte nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) unterschreiten zu können. Bis diese Voraussetzungen gegeben sind, müssen noch der RDB vollständig zerlegt, der aktivierte Teil des Biologischen Schilddes abgebaut und noch vorhandene Kontaminationen in den Kontrollbereichen beseitigt werden.

Trotz diesem weit fortgeschrittenen Rückbau weist der MZFR nach fast zwei Jahrzehnten Rückbau immer noch ein Restaktivitätsinventar auf, das in der gleichen Größenordnung liegt, wie das des ehemaligen Kernkraftwerkes Niederachbach (KKN) vor Abbaubeginn im Jahre 1988. Das KKN, ebenfalls ein Prototypreaktor des Bundes, war eines der ersten Rückbauprojekte weltweit, welches – unter der Verantwortung des Forschungszentrums Karlsruhe – bis zur Grünen Wiese abgebaut worden ist [1].

Stand des MZFR-Rückbaus und Genehmigungssituation

Der Rückbau einer kerntechnischen Anlage erfolgt in der Regel von den so genannten „kalten Bereichen“, den konventionellen Anlagenbereichen und Systemen hin zu den „heißen Bereichen“ mit immer höheren Aktivitäten bis zum Reaktor selbst.

Im MZFR-Stilllegungskonzept spiegelt sich diese Vorgehensweise in den bereits erwähnten acht Rückbausritten mit separaten Genehmigungen wieder.

So wurden nach Entfernung der Brennelemente und des Schwerelements aus der Anlage von 1984 bis 1987 nicht mehr benötigte Systeme außer Betrieb genommen sowie weiterhin benötigte Systeme modifiziert. Anschließend wurden die Kühltürme abgerissen und das Maschinenhaus ausgeräumt (1.–3. Schritt).

Bis Anfang 1997 wurden dann die Reaktorhilfssysteme demontiert und das Primärsystem dekontaminiert (4. Schritt). Dadurch war es neben dem parallel hierzu durchgeführten Abbau der Objektsicherungseinrichtungen (5. Schritt) möglich, das Primär-

system bis auf den Reaktor manuell zu demontieren. Dies erfolgte im Rahmen der 6. Stilllegungsgenehmigung. Weiterhin beinhaltete der 6. Schritt den Abbau aller Reaktorhilfsanlagen im Reaktorgebäude sowie die Dekontamination der ausgeräumten Bereiche im Hilfsanlagegebäude. Nach Abschluss dieser Arbeiten war das Reaktorgebäude bis auf den RDB und dessen Einbauten ausgeräumt.

Seit Dezember 1999 erfolgt die weitgehend fernbediente Demontage des aktivierten RDB mit seinen Einbauten in insgesamt fünf Abschnitten (7. Stilllegungsschritt). Die Ausführungsplanung und Durchführung obliegt einem Konsortium unter Führung der RWE NUKEM GmbH, wobei das Forschungszentrum als Genehmi-

gungsinhaber die Gesamtverantwortung trägt.

Der Genehmigungsantrag zum achten Schritt, dem Abbau des Biologischen Schildes, der Dekontamination und Freimessung der Anlage sowie dem konventionellen Abriss der Gebäude befindet sich in dem bereits weit fortgeschrittenen Genehmigungsverfahren. Mit der Genehmigung wird kurzfristig gerechnet.

7. Stilllegungsschritt: Zerlegung des RDB

Rückbaukonzept

Der im Jahre 1999 vor Beginn der Zerlegung mit nahezu 10^{16} Bq aktivierte RDB ist vollständig vom Biologischen Schild umgeben (Abb. 1). Bedingt durch die räum-

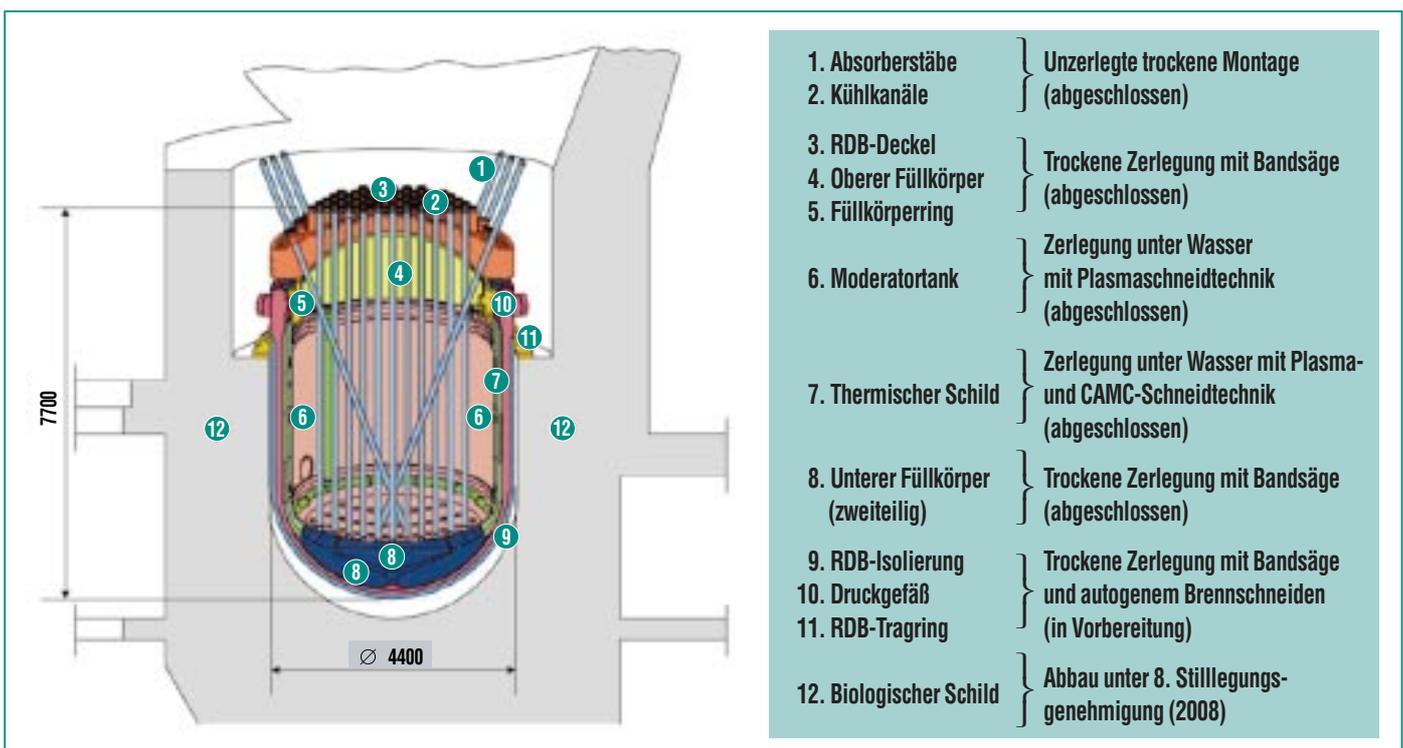


Abb. 1: Schnitt durch den Reaktordruckbehälter (RDB) mit Einbauten, eingebettet im Biologischen Schild.

liche Enge im Reaktorgebäude und weiteren Randbedingungen muss der mit Einbauten ca. 400 t schwere RDB in Einbaulage zerlegt werden. Das Zerlegekonzept sieht die Zerlegung von oben nach unten und von innen nach außen vor. Für die fernbediente Zerlegung und Verpackung in endlagerzugelassene Typ-II-Container bzw. MOSAIK-Behälter wurden auf der +10 m-Ebene des Reaktorgebäudes ein zusätzlicher Bereich mit Zerlege-, Verpackungs- und Interventionsraum eingerichtet sowie eine zusätzliche Lüftungsanlage mit einem Volumenstrom von 12.000 m³/h installiert.

Das durch diese Randbedingungen bestimmte Zerlegekonzept machte eine Strukturierung in die nachfolgend gelisteten fünf aufeinander folgenden Abschnitte erforderlich [2]:

1. Manuelle Demontage aller Komponenten oberhalb des RDB (Messleitungen, Steuerstabantriebe, etc.)
2. Fernbedienter, unzerlegter und trockener Ausbau der stabförmigen Einbauten (z. B. Absorberstäbe, Kühlkanäle), sowie Transport der Einbauten zur Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe und Nachzerlegung in der dortigen Zerlegestelle für mittelaktiven Abfall („MAW-Zelle“, middle active waste)
3. Fernbediente Demontage und Zerlegung an Luft mit einer Bandsäge des RDB-Deckels, des oberen Füllkörpers (Verdrängungskörper) und des Füllkörperringes

4. Fernbediente thermische Zerlegung des Moderatortanks und des Thermischen Schildes unter Wasser mittels Plasmaschneidverfahren

5. Fernbediente Demontage und Zerlegung der unteren Füllkörper sowie Zerlegung des Druckgefäßes an Luft mit der Bandsäge

RDB-Komponenten und Zerletechnik

Bedingt durch die Konstruktion des RDB war die Auswahl an einsetzbaren Zerletechniken stark eingeschränkt. Weiterentwicklungen etablierter Zerletechniken in Verbindung mit Spezialzerletechniken waren unverzichtbar.

Wegen der teilweise sehr hohen Aktivierung der RDB-Komponenten müssen thermische und mechanische Zerletechniken eingesetzt werden, die fernbedient von einem separaten, außerhalb

des Kontrollbereichs befindlichen Steuerstand gesteuert und überwacht werden.

Für die Demontage der stabförmigen Reaktoreinbauten wurden spezielle Demontage- und Transportvorrichtungen entwickelt, mit deren Hilfe die stabförmigen Reaktoreinbauten wie Kühlkanäle, Regelstäbe und deren Führungsrohre unzerlegt aus dem RDB gezogen und zur Nachzerlegung zur Hauptabteilung Dekontaminationsbetrieb transportiert werden konnten.

Die RDB-Komponenten wie RDB-Deckel sowie oberer und untere Füllkörper sind massive Bauteile aus ferritischen Werkstoffen mit austenitischen Plattierungen. Die Komponenten oberhalb des Reaktorkerns weisen dabei eine Vielzahl von Durchführungen für Kühlkanäle und Regelstäbe auf (Abb. 2). Diese Komponenten müssen unzerlegt demontiert und zum Zerle-

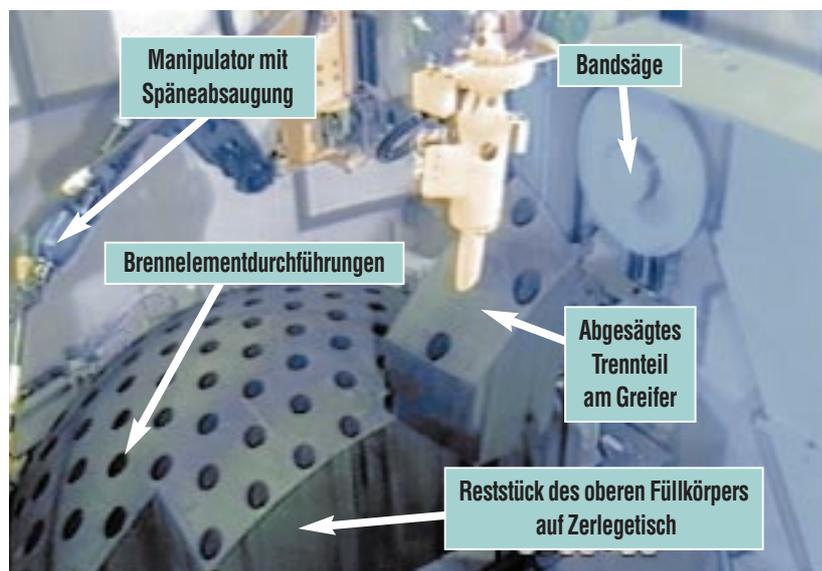


Abb. 2: Zerlegung des demontierten oberen Füllkörpers, der ursprünglich zwischen RDB-Deckel und Moderatortank montiert war und die Funktion eines Verdrängungs- und Abschirmkörpers hatte.

gebereich transportiert werden. Aufgrund der Aktivierung dieser Komponenten ist eine fernbediente Zerlegung notwendig. Als Zerlegeverfahren wurde das Sägen an Luft gewählt. Hierfür wurde eine am Markt verfügbare Bandsäge modifiziert und sicherheitstechnisch aufgerüstet (drehbares Sägeband, Sägebandkappvorrichtung, redundante Antriebe) so-

wie eine Späneabsaugung installiert.

Der Moderatortank als auch der Thermische Schild (s. Abb. 1) müssen aufgrund der hohen Aktivierung unter Wasser zerlegt werden [3]. Der Moderatortank ist ein rundum geschlossener Zylinder und eine der am höchsten aktivierten RDB-Komponente (s. Tab. 1). Der Thermische Schild ist ein aus fünf

Segmenten, so genannten „Schüssen“, aufgebauter offener Zylinder. Sein Durchmesser verringert sich im unteren Bereich stetig, während dort die Wanddicke von 70 mm auf 130 mm anwächst. Bedingt durch die engen Platzverhältnisse wird zur Unterwasserzerlegung ein fünfschiger Werkzeugträger mit einer leistungsfähigen Steuerung für enge, geometrisch komplizierte Bereiche ein-

| Zerlegeverfahren | Mechanische Demontage | Unzerlegte Demontage | Bandsäge | | Plasmaschneidverfahren, CAMC, mech. Verfahren | | Band-säge | Band-säge u. Autogenbrenner |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | (manuell) | (fernbedient) | (fernbedient) | | (fernbedient) | | (fernbedient) | (fernbedient) |
| Verpackung | (Fässer, Konditionierung HDB *) | (Nachzerlegung HDB) | (KONRAD-Container Typ II Konditionierung HDB) | | (MOSAIK + Typ II, Konditionierung HDB) oder direkte endlagergerechte Verpackung | | (Typ II, Konditionierung HDB) | |
| Komponente | Messleitungen, Steuerstabantriebe | Absorber, Kühlkanal u.a. | RDB-Deckel | Oberer Füllkörper, Füllkörper-ring | Moderatortank | Therm. Schild | Unterer Füllkörper (2-teilig) | RDB-Unterteil (Druckgefäß) |
| Werkstoff | Austenite, Ferrite | Austenite, Zirkaloy | Ferrit plattiert | Ferrite plattiert | Austenit | Austenit | Ferrite plattiert | Ferrit plattiert |
| Gesamtaktivität (Co-60) [Bq] | 2,0 E 11 (3,3 E 11) | 2,2 E 14 (4,1 E 13) | 2,3 E 11 (1,6 E 10) | 7,2 E 12 (6,1 E 11) | 7,9 E 15 (7,7 E 13) | 9,8 E 12 (7,1 E 12) | 2,9 E 13 (5,7 E 12) | 3,4 E 13 (6,2 E 11) |
| Masse [Mg] | 17 | 70 | 71 | 65 | 22 | 30 | 35 | 101 |
| Zerlegezeitraum | Dez. 1999 – Jan. 2000 | Apr. - Sept. 2000 | Apr. - Okt. 2002 | Dez. 2002 - Juli 2003 | Sept. 2004 - Juni 2005 | Juli - Nov. 2005 | Jan. - Juni 2006 | 2007 |

*) HDB: Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe

Tab.1: RDB-Komponentenweisen, Daten und Fakten.

Grau: Unzerlegtes Ziehen der Einbauten, Nachzerlegung bei HDB;

Gelb: Zerlegung an Luft und Verpackung in endlagerfähige Container, Konditionierung bei HDB;

Blau: Fernbediente Unterwasserzerlegung, Konditionierung bei HDB oder direkte endlagergerechte Verpackung im MZFR.

gesetzt, der an einem in der Höhe verfahrbaren Schlitten montiert ist. Der Schlitten fährt an einem Mast, welcher in den RDB hineinragt und an einem Katzfahrwerk montiert ist, das in eine drehbare Brücke eingesetzt ist. Damit weist die Gesamtkinematik insgesamt acht Freiheitsgrade auf.

Mit Hilfe des Werkzeugträgers und einer Hochleistungsplasma-schneidanlage konnte der Moderator-tank und der Thermische Schild in beliebig große Teile zerlegt werden [4]. Der modular aufgebaute Hochleistungsbrenner mit Schnellwechselkopf (Abb. 3) wurde kombiniert mit einem Taster zum Teachen der Stützpunkte der jeweiligen Schneidbahn. Die Generierung der Schneidbahn erfolgte mit einer leistungsfähigen Steuerung. Bei der Zerlegung wurde die gespeicherte Schneidbahn im Automatikmodus abgefahren. Die Plasmaschneidtechnologie stieß am unteren Schuss des Thermischen Schildes jedoch an ihre verfahrensspezifischen Grenzen.

Für diesen Bereich wurde ein weiteres thermisches Verfahren in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover, Institut für Werkzeug-technik, qualifiziert: das Contact-Arc-Metal-Cutting, kurz (CAMC)-Verfahren [5]. Unter Nutzung eines Hochstromlichtbogens wird mit einer Graphitelektrode elektrisch leitendes Material aufgeschmolzen und die Schmelze von einem Hochdruckwasserstrahl weggespült. Der Elektrodenhalter wird an Stelle des Plasmabrenners am Werkzeugträger adaptiert. Ergänzend zur thermischen Unterwasserzerlegung wurden eine

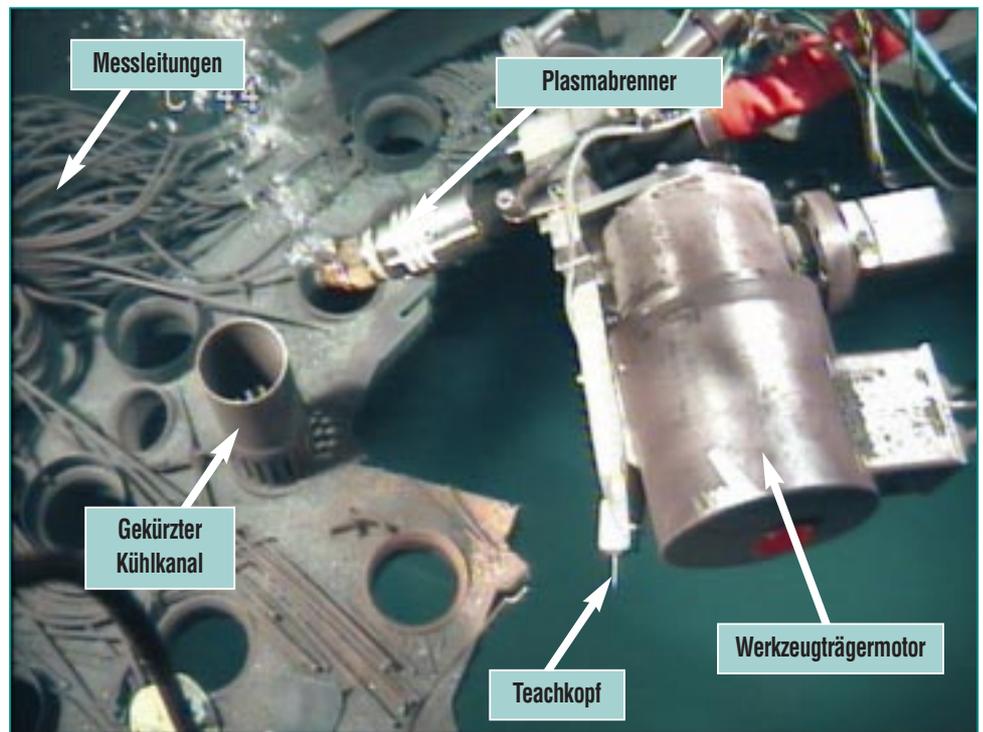


Abb. 3: Moderator-tank während der fernbedienten Zerlegung unter Wasser mit einem neu entwickelten Hochleistungsplasmabrenner

Hydraulikscherer und ein Unterwasser-trennschleifer eingesetzt.

Für den Transport der Komponenten und Zerlegeteile wurden Handhabungseinrichtungen wie Kräne und Manipulatoren installiert, die für spezifische Aufgaben mit besonderen Greifern ausgerüstet werden konnten.

Zur Kontrolle und Überwachung aller Arbeiten waren die Installation einer umfangreichen Videotechnik und Strahlenschutzinstrumentierung erforderlich.

Randbedingungen und Erschwernisse der RDB-Zerlegung

Der Rückbau einer Prototypanlage aus den 60er Jahren bringt vielerlei Erschwernissen mit sich. Know-how-Verlust des betreibenden Per-

sonals ist aus Altersgründen unvermeidbar. Eine unvollständige Anlagendokumentation erschwert die Planung.

Speziell bei der RDB-Zerlegung hatten die rückbauenden Spezialisten eine Vielzahl von Schwierigkeiten zu bewältigen. Nur einige hiervon sind nachfolgend aufgeführt.

- Enge räumliche Gegebenheiten im Reaktorgebäude bestimmten die Zerlegeteilgröße und damit das Verpackungskonzept.
- Stabförmige, dünnwandige Komponenten verformten sich im Neutronenfeld; einige waren nicht unzerlegt zu ziehen und mussten alternativ zerlegt werden (Abb. 4).

- Plattierung bei den massiven Komponenten lösten sich während des Sägevorgangs ab. Verklemmungen des Sägebandes waren die Folge.
- Geringe Fugenspalte mit Sedimenten aus der Betriebszeit erhöhten die Anforderungen an die einzusetzenden Trenn-

verfahren: Der Einsatz des Unter-Wasser-Plasmaschmelzscheidens stieß bei Wanddicken von 130 mm in acht Metern Wassertiefe und geringen Fugenspalten (= Freiräume für Schmelzmaterial) an verfahrensspezifische Grenzen, sodass hier die als Backup-Verfahren qualifizierte CAMC-Schneidtechnologie eingesetzt werden musste (Abb. 5).

- Sichttrübungen durch aufgewirbelte Sedimente und Algenwachstum machten Zusatzmaßnahmen zur Wasserreinigung erforderlich.

Um bei der RDB-Zerlegung dem Minimierungsgebot nach Strahlenschutzverordnung Rechnung zu tragen, wurden beispielsweise folgende, sich bewährende Maßnahmen getroffen:

- Kalterprobung aller Zerlege-, Hantierungs- und Verpackungsvorgänge (Abb. 6)
- Ausarbeitung von Berge-, Interventions- und Reparaturkonzepten

- Herstellung eines neuen, direkten Zuganges zum Zerlegeraum für Wartungs- und Interventionsarbeiten
- Erhöhung der abschirmenden Wasserüberdeckung um 1,5 m durch Installation einer Schürze auf dem RDB-Flansch

Schrittweise Zerlegung des RDB bedeutet: Sukzessive Verringerung des Gesamtaktivitätsinventars der MZFR-Anlage

Für die RDB-Zerlegung wurden intensive Vor- und Detailplanungen erforderlich. In Kooperation mit den industriellen Partnern von Studsvik®-IFM, RWE-Nukem und IABG wurde und werden die anspruchsvollen Aufgaben sicher gemeistert.

Unmittelbar nach Genehmigungserteilung im Januar 1999 wurde die Baustelleneinrichtung durchgeführt. Ein Überblick über die einzelnen Abschnitte der RDB-Zerlegung gibt Tab. 1.

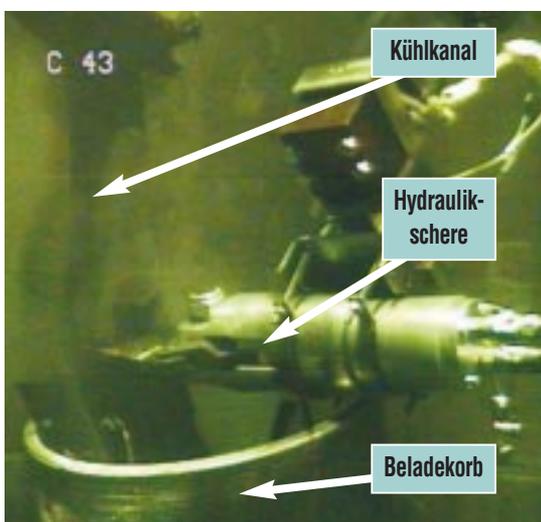


Abb. 4: Zersplitterung eines in vorangegangenen Demontagephasen nicht zerlegt demontierbaren Kühlkanals während der alternativen mechanischen Unterwasser-Zerlegung mit einer Hydraulikschere



Abb. 5: Einsatz des Contact-Arc-Metal-Cutting-(CAMC)-Zerlegeverfahrens für die Zerlegung des untersten Schusses des Thermischen Schildes. Linkes Bild: Beginn der Zerlegung. Rechtes Bild: vollständiger Trennschnitt nach ca. drei Stunden Schneiddauer und anschließender achtstündiger Wasserreinigung.



Abb. 6: Erprobung aller Demontage-, Transport- und Positionierungsvorgänge mit Hilfe von 1:1-Modellen (abgebildet: „Dummy“ oberer Füllkörper).

Als wesentliche Maßnahme zur Erhöhung der Systemverfügbarkeit und der Zuverlässigkeit haben sich die umfangreichen Erprobungen erwiesen (Abb. 6). Die im Testfeld durchgeführten Schritte in Entwicklung, Modifizierung, Optimierung und Qualifizierung der Zerlegeeinrichtungen, der Einsatz von Dummies mit Originalabmessungen und vergleichbaren Werkstoffen sowie die Erprobung und Abnahme im Beisein des Gutachters ermöglichten die zielgerichtete schrittweise Zerlegung des RDB.

Ausblick

Die Zerlegung des RDB wird bis Ende 2007 abgeschlossen sein. Ungefähr 400 Mg mit einer Gesamtaktivität von ca. 10^{16} Bq werden dann in je 100 Typ-II-Container und MOSAIK-Behälter endlagergerecht verpackt sein.

Zeitgleich sind in den Jahren 2006 und 2007 Erprobungen zum Abbau des aktivierten Bereiches des Biologischen Schildes geplant.

Die Genehmigung für die Durchführung des achten Schrittes wird kurzfristig erwartet, so dass ab 2008 die folgenden Arbeiten durchgeführt werden sollen:

- Fernbedienter Abbau aktivierter Teil Biologischer Schild

- Ausbau tritiumhaltiger Betonstrukturen (Reaktorgebäude)
- Sukzessive Demontage aller Systeme und Einrichtungen
- Dekontamination und Freimessung der Gesamtanlage
- Entlassung der Anlage aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes (AtG)
- Konventioneller Abriss der Gebäude

Zusammenfassung

Mit dem Entschluss zum vollständigen Rückbau des MZFR wagte sich das Forschungszentrum Karlsruhe auf ein damals unbekanntes Terrain vor. Von Anfang an war die Kompetenzerhaltung bei Eigen- und Fremdpersonal zur Durchführung dieses Rückbauprojektes von großer Bedeutung.

Bei dem Rückbau des MZFR hat sich die Bildung eines festen Stammes regionaler Fachplaner bewährt. Die straffe Bauleitung, Rückbau- und Betriebsführung unter Einbeziehung dieser Fachplaner ermöglichen ein konsequentes Abarbeiten der anstehenden Aufgaben.

Die eingesetzten Zerlegetechniken basieren auf industrieprobten Verfahren, um eine hohe Ver-

fügbare zu erzielen und eine optimierte Ersatzteilhaltung zu ermöglichen. Ergänzt werden diese durch Speziallösungen für die Zerlegung hoch aktivierter Reaktoreinbauten und -komponenten. Sowohl der Einsatz der Plasma- als auch der CAMC-Technologie sind einzigartig in dieser eingesetzten Leistungsklasse.

Stilllegungsverzögerungen konnten durch Risikobetrachtungen und intensive Erprobungen minimiert werden.

Die enge Einbindung von Gutachter und Behörde in Stilllegung und Restbetrieb wirkte sich positiv auf die Abwicklung des Projektes aus.

Literatur

- [1] L. Valencia, E. Prechtl, „Die Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach bis zur ‚Grünen Wiese‘“. Abschlussbericht Forschungszentrum Karlsruhe (1995)
- [2] E. Prechtl, W. Demant, *Nachrichten des Forschungszentrums Karlsruhe Jahrgang 33, 3/2001, S. 245 ff.*
- [3] E. Prechtl, B. Eisenmann, *Tagungsband KONTEC 2005, Berlin, S. 204 ff.*
- [4] A. Loeb, *Jahrestagung Kerntechnik 2005, Nürnberg*
- [5] D. Stanke et al., *atw, Internationales Journal for Nuclear Power, March 2006, S. 170 ff.*