

KfK 5107
Dezember 1992

**Vergleichende Untersuchung
zur zentralen und dezentralen
Konditionierung abgebrannter
Brennelemente für
die Direkte Endlagerung**

K. Scheffler, C. Tepel
im Auftrag der
Projekträgerschaft Entsorgung

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Projektträgerschaft Entsorgung

KfK 5107

Vergleichende Untersuchung zur
zentralen und dezentralen Konditionierung
abgebrannter Brennelemente
für die Direkte Endlagerung

K. Scheffler und C. Tepel

Elektrowatt Ingenieurunternehmung GmbH
Büro NORD, Bad Nenndorf

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Untersuchungen wurden im Auftrag des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Projektträgerschaft Entsorgung (PTE), durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt allein bei den Autoren.

Kurzfassung

In der vorliegenden Untersuchung werden Konzepte zur Entsorgung von ausgedienten Brennelementen durch Konditionierung für eine direkte Endlagerung gegenübergestellt. Es wird dabei von dem Gedanken ausgegangen, daß grundsätzlich die Entsorgung der deutschen Kernkraftwerke entweder über eine zentrale Konditionierungsanlage oder dezentral über den Weg der Konditionierung der ausgedienten Brennelemente in den einzelnen Kernkraftwerken erfolgt. Während der Bearbeitung des vorgesehenen sicherheitstechnischen Vergleichs dieser Alternativen hat sich gezeigt, daß zunehmend die Frage der Machbarkeit einer dezentralen Lösung in den Vordergrund gerückt ist.

In einer zentralen Heiße-Zellen-Anlage ist es möglich, die verschiedenen LWR-Brennelement-Typen aus den Kernkraftwerken zu konditionieren. Es können Brennelemente unzerlegt oder in Brennstäbe zerlegt und verdichtet in POLLUX-Behältern verpackt werden.

Bei der dezentralen Konditionierung ist vergleichsweise diese Flexibilität bezüglich der Erfüllung technischer und rechtlicher Anforderungen für die Zukunft nicht gegeben. Betrachtet werden hier zwei Varianten, und zwar das direkte Verpacken der Brennelemente in einen POLLUX-4-Behälter oder das Verdichten der Brennstäbe und Pressen der Strukturteile mit anschließender Verpackung in einen POLLUX-8-Behälter für die Endlagerung. Beide Behälter erfüllen bezüglich ihrer Integrität für die Endlagerung zusätzliche Anforderungen gegenüber einem Transport- und Zwischenlagerbehälter wie CASTOR V/21. So nimmt ein CASTOR-Behälter etwa nur ein Drittel bis ein Fünftel der Zwischenlagerkapazität für POLLUX-8- bzw. POLLUX-4-Behälter ein. Entsprechende Zwischenlagerkapazitäten für POLLUX-Behälter sind heute nicht vorgesehen.

Für die Konditionierung von Brennelementen im Kernkraftwerk ergeben sich Probleme für die Genehmigungsfähigkeit im Zusammenhang mit einem sicheren Reaktorbetrieb sowie Engpässe insbesondere aus Sicht des erforderlichen Bedarfs an Hantierungsraum, an Hantierungszeit und der Akzeptanz qualitätssichernder Maßnahmen. Diese Aspekte sind ebenfalls Gegenstand dieser Untersuchung.

Comparative Study on Central and Decentralized Conditioning of Spent Nuclear Fuel for Direct Disposal

Abstract

In the frame of the present investigation, conditioning concepts for the direct disposal of spent nuclear fuel are compared. This study is based on the idea that the spent fuel from the German nuclear power plants will either be conditioned at one central place or conditioned in a decentralized way within the reactor hall of each power plant. In the course of related studies the feasibility of a decentralized solution turned out to be of predominant importance.

In a central hot-cell installation, treatment of any kind of LWR-fuel from the different reactor types will in principle be possible. Intact fuel assemblies or consolidated rods can be loaded into POLLUX casks.

For a decentralized conditioning concept the adaptability to technical and legal demands is limited. The two considered alternatives on a decentralized basis consist either in direct packaging of the fuel elements in a POLLUX-4 container or in disassembling and consolidation of the fuel pins with the compaction of spacers etc. prior to packaging in a POLLUX-8 container for final disposal. With respect to their integrity during disposal the containers, both, fulfill the related requirements in addition to those which are met for transport and interim storage, as well as by a CASTOR V/21, for example. Thus, a CASTOR container asks only for one third or one fifth of the space in an interim storage when compared to POLLUX-8 or POLLUX-4 containers. Likewise enhanced storage capacities for POLLUX containers are not foreseen today.

In view of fuel element conditioning within the containment of the nuclear power plants problems have to be considered with respect to licensing when precedence is yielded to safe reactor operation and with respect to limited space for fuel handling, limited time for conditioning of the fuel and limitations to the acceptance of quality assurance measures. These aspects are also subject to this study.

	<u>Seite</u>
INHALTSVERZEICHNIS	I
VORWORT	III
1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	
1.1 Stand der Entsorgung der Kernkraftwerke in Deutschland	1- 1
1.2 Stand der Planung zur direkten Entsorgung ausgedienter Brennelemente	1- 1
1.3 Rechtlicher Rahmen	1- 3
2. TECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG	2- 1
2.1 Technische Festlegungen	2- 1
2.2 Technische Varianten	2- 2
2.3 Beschreibung der technischen Einrichtung	2- 6
3. HANTIERUNGS- UND VERFAHRENSTECHNIK FÜR DIE BEHÄLTERHANDHABUNG	
3.1 Behälterhandhabung am KKW	3- 1
3.1.1 Verfahrensablauf der Behälterbeladung	3- 3
3.1.2 Unterschiede und Vergleich CASTOR-POLLUX	3- 7
3.1.3 Schlußfolgerungen	3-11
3.2 Transporte	3-16
3.2.1 Transportablauf	3-16
3.2.2 Transportaufkommen	3-16
3.2.3 Unterschiede und Vergleich CASTOR-POLLUX	3-18
3.2.4 Schlußfolgerungen	3-20

	<u>Seite</u>	
3.3	Behälterhandhabung am Zwischenlager	3-21
3.3.1	Verfahrensablauf	3-21
3.3.2	Unterschiede und Vergleich CASTOR-POLLUX	3-22
3.3.3	Schlußfolgerungen	3-24
3.4	Behälterhandhabung an der Konditionierungsanlage	3-26
3.4.1	Verfahrensablauf	3-27
3.4.2	Hantierungszeiten	3-28
3.4.3	Schlußfolgerungen	3-29
3.5	Behälterhandhabung am Endlager	3-30
3.5.1	Verfahrensablauf	3-30
3.5.2	Hantierungszeiten	3-30
3.5.3	Schlußfolgerungen	3-31
4.	GESAMTBEWERTUNG	
4.1	Zeitbedarf	4- 1
4.2	Einrichtungen	4- 2
4.3	Strahlenbelastung und radiologische Belastung	4- 3
4.4	Sekundärabfall	4- 4
4.5	Personalqualifikation	4- 6
5.	INTERNATIONALE ENTWICKLUNGEN	5- 1
6.	LITERATURVERZEICHNIS	6- 1
7.	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	7- 1
	ANHANG: Hantierungspläne	A- 1

VORWORT

Die Elektrowatt Ingenieurunternehmung GmbH, kurz EWI, ist vom Projektträger Entsorgung des Kernforschungszentrums Karlsruhe GmbH (KfK-PTE) beauftragt worden, eine vergleichende Untersuchung zur zentralen und dezentralen Konditionierung abgebrannter Brennelemente für die direkte Endlagerung durchzuführen.

Unter zentraler Konditionierung wird verstanden, daß die abgebrannten Brennelemente von den deutschen Kernkraftwerken zu einer Konditionierungsanlage transportiert werden, wo sie zentral derart konditioniert werden, daß ein raumsparendes Gebinde entsteht, das den sicherheitstechnischen Anforderungen für die Einlagerung und Endlagerung in einem Endlager entspricht. Eine dezentrale Konditionierung würde bedeuten, daß auf eine zentrale Konditionierungsanlage verzichtet wird und die abgebrannten Brennelemente direkt beim jeweiligen Kernkraftwerk zu endlagerfähigen Gebinden verpackt bzw. konditioniert werden.

Weder die zentrale noch eine dezentrale Konditionierungsvariante zur Herstellung endlagerfähiger Gebinde sind bisher gesamtheitlich demonstriert und erprobt, sodaß auf diesbezügliche Erfahrungen nicht zurückgegriffen werden kann. Die einzelnen Verfahrensschritte und Komponenten sowie Erkenntnisse zu diesbezüglichen Hantierungszeiten, Strahlenbelastungen usw. sind aber aus Kernkraftwerken, Wiederaufarbeitungsanlagen und Testständen bekannt, sodaß von einem Stand der Technik ausgegangen werden kann, der eine nachvollziehbare Bewertung im Sinne eines Vergleichs verschiedener Varianten im Rahmen dieser Untersuchung zuläßt.

Die vorliegende Untersuchung baut u.a. auf folgenden Kenntnissen, Informationen und Unterlagen auf:

- Status der Kernkraftwerke in Deutschland, "wie genehmigt, errichtet und betrieben"
- Status der Erfahrungen bei der Hantierung von bestrahlten Brennelementen
- Planungs- und Entwicklungsarbeiten für Transport-, Zwischen- und Endlagerung von abgebrannten Brennelementen
- Planungs- und Entwicklungsarbeiten für die Konditionierung abgebrannter Brennelemente zur direkten Endlagerung. Diesbezüglich liegen die Ergebnisse z.B. für das Verschweißen der für die Endlagerung vorgesehenen Pollux-Behälter, sowie für deren Untertageförderung usw. aus 1:1-Testständen vor.

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

1.1 Stand der Entsorgung der Kernkraftwerke in Deutschland

In Deutschland sind zur Zeit 20 KKW-Blöcke in Betrieb. Seitens der deutschen Kernkraftwerke ist Vorsorge getroffen, daß die abgebrannten Brennelemente nach ihrer Entnahme aus dem Reaktor 6 Jahre im kraftwerksinternen Wasserbecken gelagert werden können. Nach Zwischenlagerung im Kernkraftwerk werden die Brennelemente in geeignete Transportbehälter verpackt und zur Wiederaufarbeitung in das europäische Ausland transportiert. Die Wiederaufarbeitung wird durch Verträge zwischen den deutschen Kernkraftwerksbetreibern und den Betreibern der ausländischen Wiederaufarbeitungsanlagen geregelt. Der durch die Wiederaufarbeitung zurückgewonnene Kernbrennstoff sowie der abgetrennte radioaktive Abfall werden nach Deutschland zurückgeliefert. Der radioaktive Abfall wird im Ausland bereits für die Endlagerung vorbereitet und in Deutschland gegebenenfalls nach Zwischenlagerung einem Endlager zugeführt.

1.2 Stand der Planung zur direkten Entsorgung ausgedienter Brennelemente

Als Alternative zur Wiederaufarbeitung wurden und werden Entwicklungsarbeiten zur Konditionierung und direkten Endlagerung von Brennelementen durchgeführt.

Zur Demonstration der Konditionierungstechnik ist eine Pilotkonditionierungsanlage im Bau, die als Vorstufe für eine spätere zentrale großtechnische Konditionierungsanlage vorgesehen ist.

Die wesentlichen Komponenten für die BE-Konditionierung sind bereits in 1:1-Versuchsständen getestet; hierzu gehört auch die Demonstration der Einlagerungstechnik im Endlager.

Die ausgedienten Brennelemente werden in Transportbehältern zur Konditionierungsanlage angeliefert, die Behälter werden hier entladen und die Brennelemente in heißen Zellen zerlegt. Die Brennstäbe werden dicht gebündelt zusammen mit den zu Preßlingen kompaktierten Brennelement-Strukturteilen in einen POLLUX-Endlagerbehälter verpackt.

Parallel ist zu prüfen, ob eine Konditionierung in ähnlicher Form auch dezentral, d.h. am jeweiligen KKW stattfinden kann, so daß direkt vom KKW bereits endlagerfähige Behälter abgeführt werden, die ggf. nach einer Zwischenlagerung der Endlagerung zugeführt werden können.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist ein Vergleich dieser beiden Alternativen vor dem Hintergrund des Standes von Wissenschaft und Technik. In die Betrachtungen mit einbezogen wird eine dritte Variante, die das Verpacken von 4 unzerlegten Brennelementen in die Pollux-Endlagerbehälter beinhaltet.

1.3 Rechtlicher Rahmen

Die Entsorgung der Kernkraftwerke über die Wiederaufarbeitung gemäß Punkt 1.1 ist mittelfristig durch Verträge mit den Betreibern der Wiederaufarbeitungsanlagen abgesichert.

In der Bundesrepublik Deutschland ist im Atomgesetz in § 9 die schadlose Verwertung der radioaktiven Reststoffe und damit die Wiederaufarbeitung vorgeschrieben.

Mit der vorgesehenen Novellierung des Atomgesetzes wird sich der gesetzliche Rahmen voraussichtlich dahingehend ändern, daß die direkte Endlagerung von LWR-Brennelementen als gleichwertiger Entsorgungsweg neben dem der Wiederaufarbeitung anerkannt wird.

2. TECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG

2.1 Technische Festlegungen

Um die Zahl der im einzelnen zu betrachtenden Varianten für die Alternativen, zentrale bzw. dezentrale Verpackung/Konditionierung einzuschränken, werden die folgenden Randbedingungen festgelegt:

- Der Betrachtungszeitraum für Vergleichsdaten, wie Abfallanfall, Transportvorgänge usw. beträgt 1 Jahr
- Die jährliche Entlademenge an abgebrannten Brennelementen beträgt 550 t, das entspricht etwa 1038 ausgedienten LWR-Brennelementen. (Diese Entlademenge entspricht dem 1988 veröffentlichten Entsorgungsbericht der Bundesregierung)
- Lagerzeit im Kernkraftwerk: 10 Jahre. Es wird von einer maximal 10-jährigen Abklingzeit am Kernkraftwerk ausgegangen, da so die Wärmeentwicklung von Gebinden und vor allem die Strahlenbelastung bei der Handhabung reduziert werden können. Diese Annahme ist sehr konservativ, da nicht alle KKW über Kompaktlager verfügen und demgemäß nicht über die entsprechende Lagerkapazität von 10 Jahren. Des weiteren werden grundsätzlich nicht die maximalen Lagerkapazitäten belegt, um jederzeit eine Reservekapazität sicherzustellen.
- Lagerzeit im Zwischenlager: 20 Jahre, soweit sich diese Zeit aus den Anforderungen seitens des Endlagers an die Wärmeentwicklung der Endlagerbehälter und damit an die benötigte Gesamtabkühlzeit von 30 Jahren nach Reaktorentladung ergibt.

2.2 Technische Varianten

Um im Rahmen dieser Untersuchung die vielen denkbaren technischen Varianten auf wenige **abdeckende Fälle für den hier in Frage stehenden Vergleich** zu reduzieren sind nachstehende Vorbemerkungen zu berücksichtigen:

a) Im Hinblick auf die Behälterstrategie ist festzustellen:

- Für den Transport und die Zwischenlagerung von hochradioaktivem Material, u.a. auch für die abgebrannten Brennelemente werden verschiedene Behälter verwendet, an deren Funktion jedoch vergleichbare Anforderungen gestellt werden, diese betreffen:

Sicherstellung von Abschirmung, Wärmeabfuhr, Dichtheit und von Sicherheitsanforderungen gegen Einwirkungen von außen sowie zugehörige Überwachungs- und Kontrollmöglichkeiten.

Als typischer Brennelementtransportbehälter wird hier der CASTOR V/21 gewählt.

- Für die Endlagerung von hochradioaktivem Material, u.a. auch für die verdichteten bzw. konditionierten Brennelemente sollen Behälter vom POLLUX-Typ verwendet werden. Die POLLUX-Behälter erheben im Vergleich zum CASTOR-Behälter **zusätzlich** den Anspruch auf eine wirksame, dichte Langzeitumschließung und Rückhaltung von radioaktivem Material unter Endlagerbedingungen. Dadurch wird bei sonst ähnlichen Außenabmessungen das Nutzvolumen des POLLUX- gegenüber einem CASTOR-Behälter ähnlicher Zweckbestimmung (hier: Brennelementlagerung) deutlich auf etwa 1/4 vermindert.

b) Das Beladen von Transport- und Zwischenlagerbehältern, CASTOR V/21 bzw. ähnlicher mit Brennelementen ist geübte Praxis bei allen deutschen Kernkraftwerken. Das Beladen von Endlagerbehältern des Typs POLLUX ist nur insofern direkt vergleichbar, als die grundsätzlichen Arbeitsabläufe, mit denen die Behälter bewegt werden identisch sind.

- c) Bestimmende Auslegungsmerkmale für den Nutzungszeitpunkt der Behälter sind deren Abschirmwirkung bzw. Oberflächendosisleistung und deren Kühlung bzw. Wärmeabfuhr.

Die Brennelementtransport- und Zwischenlager-Behälter (z.B. CASTOR V/21) sind so ausgelegt, daß Brennelemente bereits wenige Jahre nach Reaktorentladung raumsparend in ein Zwischenlager überführt werden können. Die Dicke der abschirmenden Wandung und die Oberflächenvergrößerung der Behälter durch Aufbau von Kühlrippen sind dementsprechend ausgeführt.

Durch die zusätzlichen Anforderungen seitens der Endlagerung sind für den POLLUX-Behälter Grenzen bezüglich der Abfuhr der Zerfallswärme gesetzt, sodaß längere Abklingzeiten für die Brennelemente vorausgehen müssen, ehe der POLLUX genutzt werden kann.

Mit anderen Worten: Die Behälterttypen sind auf ihre Zweckbestimmung hin optimiert. D.h., mit dem CASTOR werden das Transportaufkommen und der Zwischenlagerbedarf durch ein hohes Nutzvolumen, hohe Abschirm- und Kühlleistungen des Behälters gering gehalten. Mit dem POLLUX ist eine optimale Wärmeabfuhr und Raumnutzung im Salzgestein des Endlagers angestrebt; in diesem Sinne günstige Verhältnisse werden bei Einlagerung von abgebrannten DWR-Brennelementen in POLLUX-8-Behältern (Beladung mit 8 Brennelementen) z.B. nach etwa 30 Jahren Kühlzeit erreicht. Die Mindestanforderungen (Oberflächendosisleistung), die der POLLUX-Behälter für Transport und Zwischenlagerung erfüllen muß, werden schon bei wesentlich kürzeren Kühlzeiten erreicht, beispielsweise:

- Abgebrannte DWR-Brennelemente aus angereichertem Uran können nach etwa 3 Jahren in POLLUX-8-Behältern (8 verdichtete BE + Strukturteile) oder nach etwa 5 Jahren in POLLUX-10-Behältern (10 verdichtete BE; die Strukturteile werden separat in Fässern verpackt) transportiert und zwischengelagert werden
- abgebrannte Brennelemente aus angereichertem Uran unter Zumischung von U/Pu-Mischoxidbrennstoff können z.B. erst nach 20 Jahren im POLLUX-10 Behältern transportiert und zwischengelagert werden.

Weitere Einzelheiten sind in /1/ dokumentiert.

Diese Untersuchung geht daher auf Basis vorstehender Grundsätze von folgenden technischen Varianten zur zentralen bzw. dezentralen Konditionierung ausgedienter Brennelemente aus (s. Abbildung 1).

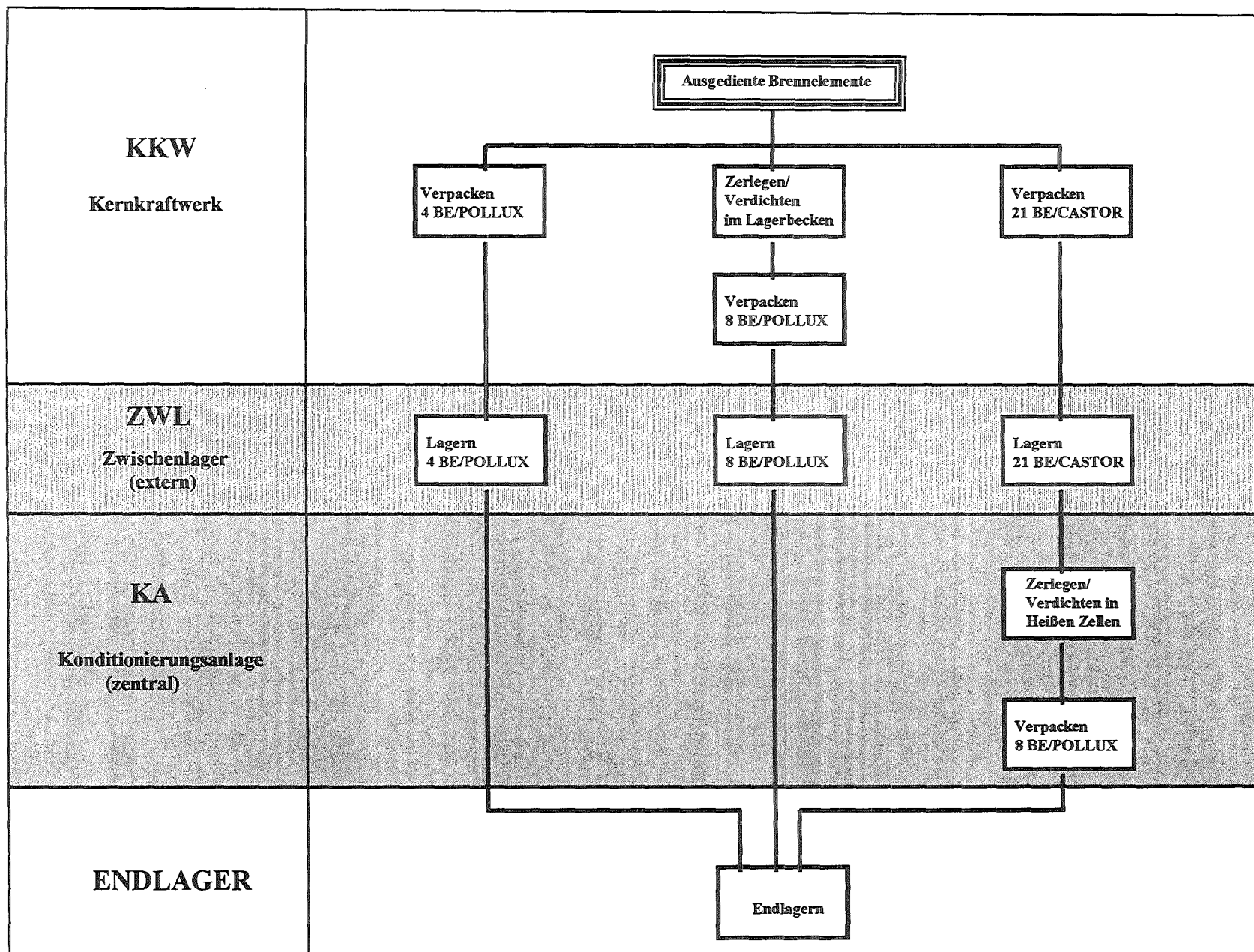
Zentrale Konditionierung

Bei der zentralen Konditionierung werden die Brennelemente nach maximal 10-jähriger Abklingzeit im Kernkraftwerk in CASTOR V/21-Transport- und Lagerbehälter verpackt und für weitere etwa 20 Jahre in ein Zwischenlager überführt. Nach insgesamt etwa 30 Jahren Kühlzeit sind Bedingungen für die Endlagerung mit vorgeschalteter Behandlung in einer Konditionierungsanlage erreicht. Die Brennelemente werden in der Konditionierungsanlage zerlegt und in POLLUX-8-Endlagerbehälter verpackt. Die POLLUX-Behälter werden anschließend unter Tage in Salzstöcken endgelagert.

Dezentrale Konditionierung

Bei der dezentralen Konditionierung werden die technischen Konzepte Dezentral-4 und Dezentral-8 betrachtet.

Das Konzept Dezentral-4 beinhaltet im Anschluß an die (maximal) 10-jährige Lagerzeit im Abklingbecken des Kernkraftwerks das Verpacken von 4 unzerlegten Brennelementen in einen POLLUX-4-Endlagerbehälter. Die POLLUX-Behälter bleiben maximal 20 Jahre im Zwischenlager und werden anschließend in Salzstöcken endgelagert.



..KLS\INFO\DEZ.PPT

Abb.1 Varianten der zentralen und dezentralen Konditionierung ausgedienter Brennelemente (BE)

Beim Konzept Dezentral-8 erfolgt nach der (maximal) 10-jährigen Lagerzeit im Abklingbecken eine Zerlegung und Verpackung der Brennelemente im Kernkraftwerk. Je 8 zerlegte Brennelemente werden in einen POLLUX-8-Endlagerbehälter verpackt, vergleichbar dem Endlagergebäude, das bei der zentralen Konditionierung anfällt. Nach 20-jähriger Zwischenlagerung werden die Behälter endgelagert.

2.3 Beschreibung der technischen Einrichtungen

A Transportbehälter

Zur Zeit werden die Brennelemente zur Wiederaufarbeitung in speziellen Transportbehältern transportiert, die auf die entsprechenden Belange von Kernkraftwerk und Wiederaufarbeitungsanlage abgestimmt sind. Da von unterschiedlichen Seiten Anforderungen an Art und Beladepazität der Behälter gestellt werden, existieren eine Reihe verschiedener Behälter, z.B. CASTOR Ia für 4 DWR-BE, CASTOR IIa für 9 DWR-BE, TN 900 für 7 DWR-BE oder TN 1300 für 12 DWR-BE.

Für die künftigen innerdeutschen Transporte wird davon ausgegangen, daß 21 DWR-Brennelemente in einem CASTOR Transport- und Lagerbehälter transportiert und zwischengelagert werden - dem CASTOR V/21. Durch den Einsatz eines CASTOR's zur Aufnahme von 21 Brennelementen, im Gegensatz zu den sonst üblichen Transport-Behältern mit niedrigeren Beladepazitäten, können der Bedarf an Zwischenlagerplätzen und das Transportaufkommen deutlich reduziert werden. Der zusätzliche zeitliche Aufwand der sich beim Be- und Entladen des Behälters durch die Hantierung von 21 Brennelementen gegenüber geringeren Zahlen ergibt, ist im Vergleich zu den anderen Hantierungszeiten nicht relevant.

Der CASTOR V/21 besteht aus einem dickwandigen zylindrischen Grundkörper aus Sphäroguß mit Kühlrippen an der Behälteroberfläche. Im Behälterschacht befindet sich der Brennelementkorb mit 21 Beladepositionen. Ein Doppeldeckelsystem aus Edelstahl mit Metall- und Elastomerdichtungen wird mit dem Grundkörper verschraubt und gewährleistet den sicheren Langzeiteinschluß der Brennelemente für die oberirdische Zwischenlagerung. In dem Deckel befinden sich Anschlüsse für Spülleitungen sowie Anschlüsse zur Überprüfung der Dichtfunktionen des Behälters.

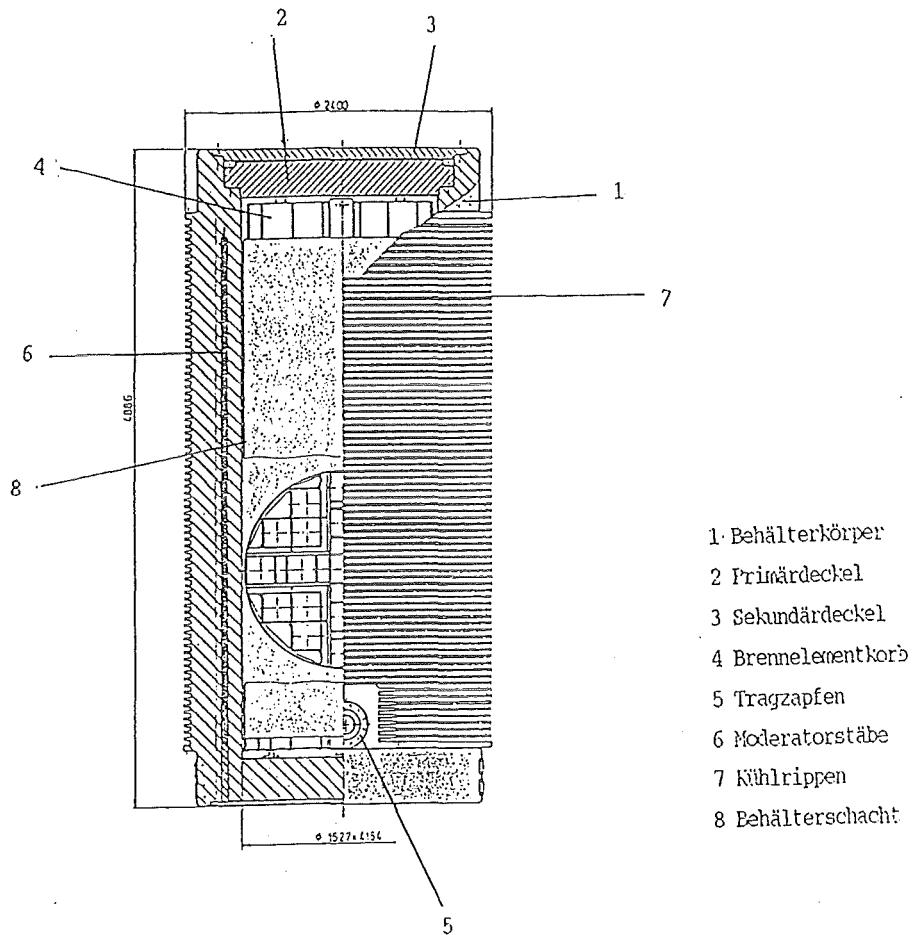


Abb. 2: Darstellung des CASTOR V/21:
 Transport- und Zwischenlagerbehälter

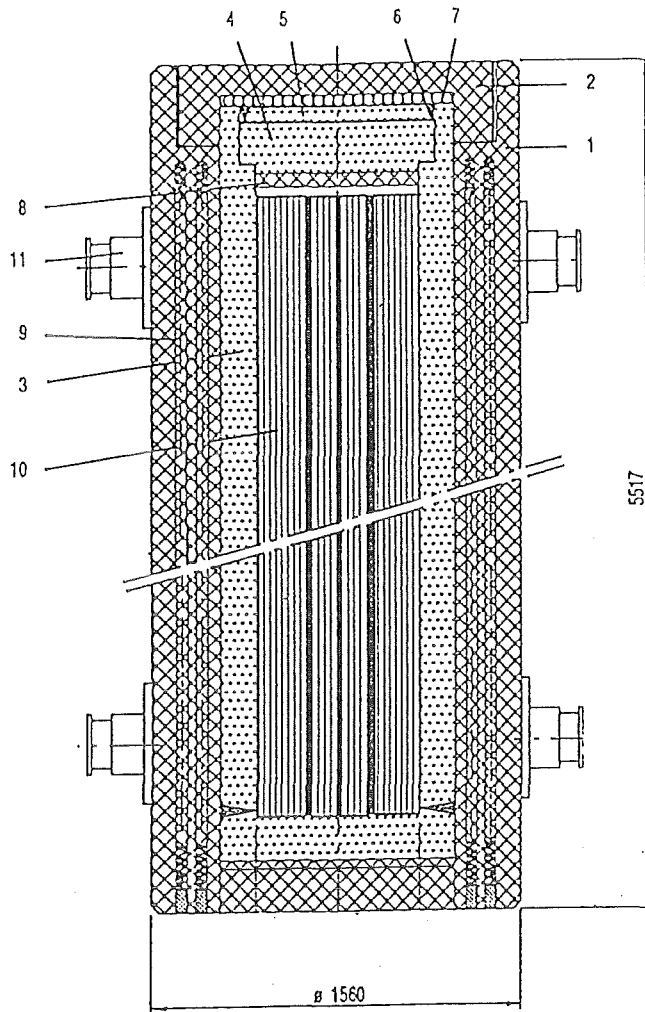
Der CASTOR V/21 erfüllt die Qualitätsanforderungen und -prüfungen für BE-Transportbehälter entsprechend den internationalen Vorschriften der IAEA sowie die speziellen Anforderungen an Transporte und Zwischenlagerung.

B POLLUX-Behälter

Als Transport-, Zwischenlager- und Endlagerbehälter ist der POLLUX-Behälter in der Entwicklung, der im Vergleich zum CASTOR zusätzlich die Endlageranforderungen erfüllen muß.

Der Behälter ist zweischalig aufgebaut. Der Innenbehälter aus niedriglegiertem Stahl, der eigentliche Endlagerbehälter, besteht aus einem Grundkörper, einem verschraubten Primärdeckel und einem eingeschweißten Sekundärdeckel. Der Primärdeckel stellt die Dichtigkeit des Behälters sicher, der eingeschweißte Sekundärdeckel gewährleistet ein langfristig gasdichtes Stahlcontainment. Zur Abschirmung ist der Endlagerbehälter mit einem Abschirmbehälter aus Sphäroguß umgeben. Der Abschirmbehälter wird mit einem Schraubdeckel verschlossen und hat nur Abschirm-, aber keine Dichtfunktion zu übernehmen. Der Endlagerbehälter ist mit Inneneinbauten versehen, die der Aufnahme der Brennelemente bzw. der Brennstäbe dienen.

Im Rahmen dieser Untersuchung werden der POLLUX-8-Behälter zur Aufnahme von 8 zerlegten DWR-Brennelementen und der POLLUX-4-Behälter zur Aufnahme von 4 unzerlegten DWR-Brennelementen betrachtet. Beide Behälter unterscheiden sich nur durch ihre Einbauten.



- 1 Abschirmbehälter
- 2 Abschirmbehälterdeckel
- 3 Endlagerbehälter
- 4 Primärdeckel
- 5 Sekundärdeckel (verschweißt)
- 6 Schweißnaht
- 7 Dämpfungselemente
- 8 Graphitschicht
- 9 Moderatorstäbe
- 10 Brennstäbe
- 11 Tragzapfen

Abb. 3: Darstellung des POLLUX: Endlagerbehälter

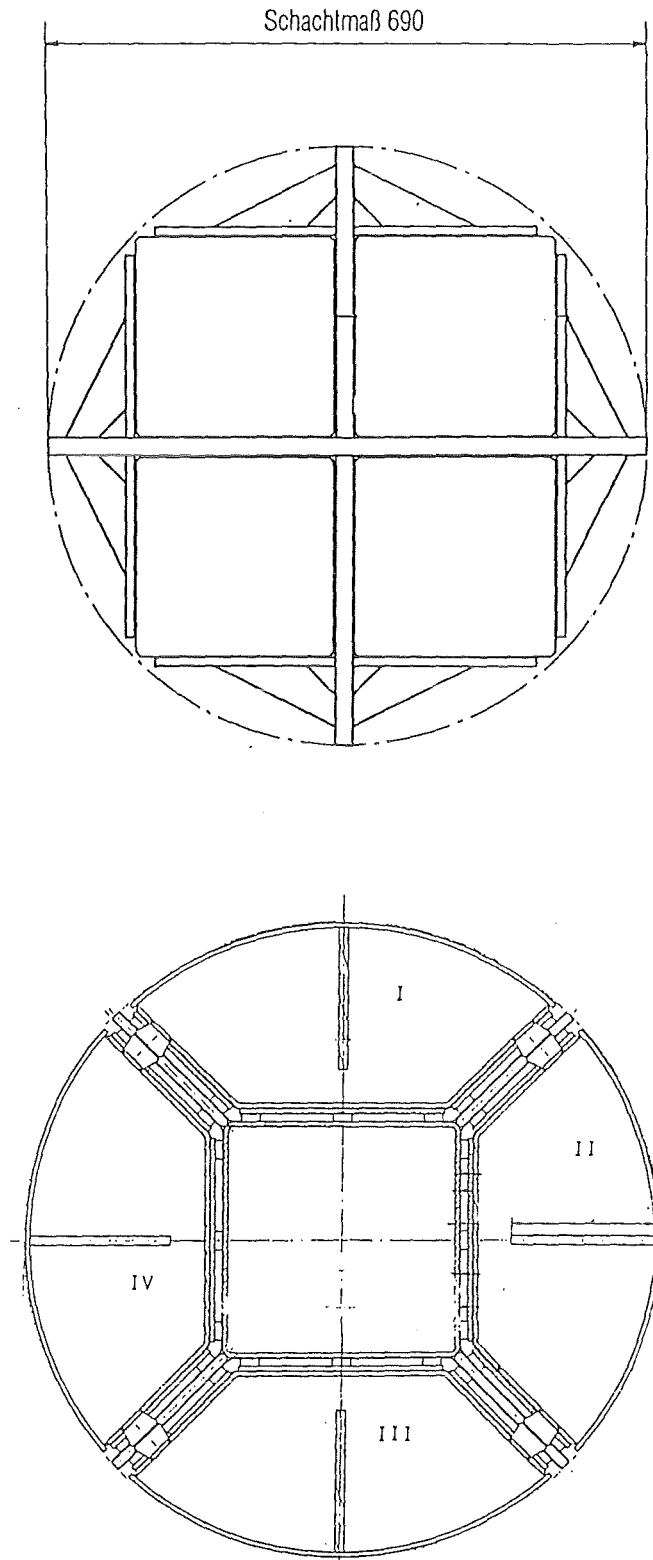


Abb. 4: Einbauten oben:
Korb für 4 DWR-Brennelemente (unzerlegt)

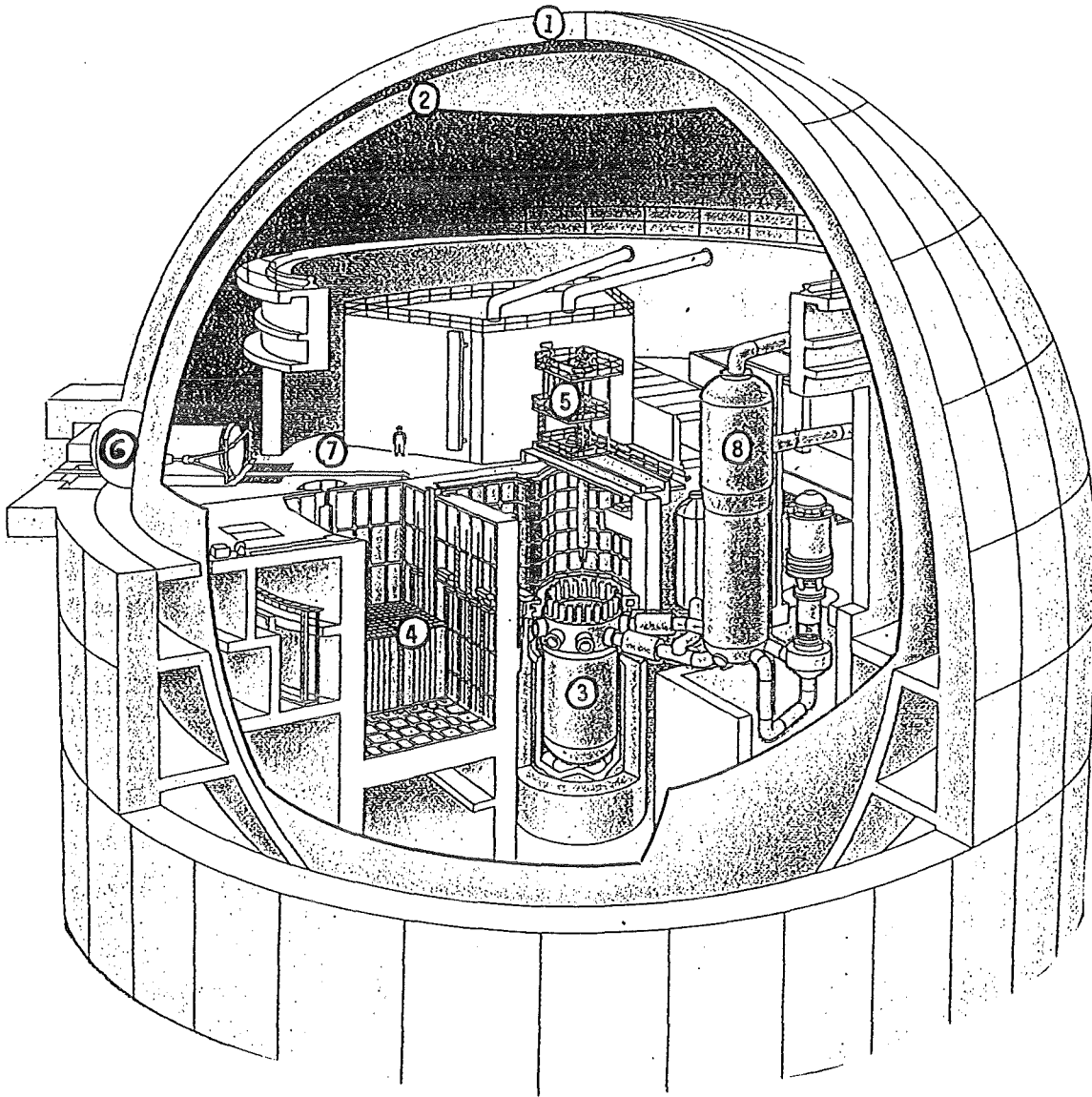
Einbauten unten:
Korb für Brennstäbe aus 8 DWR-Brennelementen (zerlegt) und
Strukturteile

3. HANTIERUNGS- UND VERFAHRENSTECHNIK FÜR DIE BEHÄLTERHANDHABUNG

3.1 Behälterhandhabung am Kernkraftwerk

Die Lagerung der ausgedienten Brennelemente und die relevanten Handhabungsschritte für die Beladung der CASTOR-bzw. POLLUX-Behälter findet innerhalb des Sicherheitsbehälters des Reaktorgebäudes statt.

Die Brennelemente werden nach ihrer Entnahme aus dem Reaktordruckbehälter unter Wasser im Brennelementbecken gelagert. Die Behälter zur Aufnahme der Brennelemente werden durch die Materialschleuse in den Sicherheitsbehälter eingeschleust. Im Sicherheitsbehälter befinden sich die für die Handhabung der Behälter erforderlichen Hantierungs- und Prüfeinrichtungen. Soweit die Beladung der Behälter nicht in einem dafür vorgesehenen Abschnitt des Brennelementbeckens stattfindet, steht bei den neueren Kernkraftwerken ein separates Behälterbeladebecken zur Verfügung, das mit dem Brennelementlagerbecken über einen Kanal verbunden ist.



- | | | | |
|---|----------------------|---|---|
| 1 | Stahlbetonhülle | 5 | Lademaschine |
| 2 | Sicherheitsbehälter | 6 | Materialschleuse u.a.
für CASTOR, POLLUX |
| 3 | Reaktordruckbehälter | 7 | Hantierungsbereich für
Handhabung |
| 4 | Brennelementbecken | 8 | Dampferzeuger |

Abb 5: Räumlichkeiten innerhalb des Sicherheitsbehälters

3.1.1 Verfahrensablauf der Behälterbeladung

A Hantierungsablauf (CASTOR, POLLUX)

Der leere Behälter wird über Schiene oder Straße angeliefert, nach der Eingangskontrolle mit dem Kran zum Halbportalgerüst gehoben und in das Reaktorgebäude eingeschleust. Der Behälter wird aufgerichtet, auf der Abstellposition abgesetzt und geprüft. Für die nachfolgende Beladung werden Vorsorgemaßnahmen gegen mögliche Kontaminationen des Behälters durch das Beckenwasser getroffen. Zur Beladung wird der Behälter in das separate Behälterbecken oder in das Brennelemente-becken abgesenkt. Dort werden die einzelnen Beladepositionen zunächst mit Dummies angefahren.

Der CASTOR-Behälter wird mit 21 Brennelementen beladen und der beladene Behälter nach Aufsetzen des Deckels aus dem Becken gehoben, auf der Abstellposition abgesetzt und mit dem Primärdeckel verschraubt. Nach der Entwässerung des Behälters werden Dichtheitsprüfungen durchgeführt und der Behälter auf dem Schleusenwagen abgelegt und an die Vakuumtrocknungsanlage angeschlossen. Während der Trocknung wird die Behälteroberfläche dekontaminiert. Der getrocknete Behälter wird mit dem Sekundärdeckel verschraubt und auf dem Schleusenwagen abgelegt.

Der POLLUX-Behälter ist nicht für die Hantierung unter Wasser im Lagerbecken vorgesehen, auch ein Genehmigungsverfahren ist hierfür nicht eingeleitet. Insbesondere die Trocknung des Behälters wird wegen des Doppelschalenkonzepts schwierig sein. D.h., daß für einen solchen "naß zu hantierenden" POLLUX schon aus dieser Sicht neue konzeptionelle Überlegungen und Optimierungen erforderlich sind. Trotzdem wird nachstehend die grundsätzliche Machbarkeit der Beladung und Hantierung des POLLUX im Kernkraftwerk unterstellt.

Im Falle der Beladung eines POLLUX-Behälters mit 4 unzerlegten Brennelementen würde der Hantierungsablauf wie folgt aussehen: Nach der Dummyprüfung wird der Behälter mit 4 Brennelementen beladen und der beladene Behälter auf der Abstellposition abgesetzt. Nach dem Verschrauben des Primärdeckels und Dichtheitsprüfungen wird der Behälter an die Trocknungsanlage angeschlossen und der Behälterinnen-

raum getrocknet. Der getrocknete Behälter wird mit Helium gefüllt und der Sekundärdeckel aufgeschweißt.

Anschließend werden der beladene CASTOR- oder POLLUX-Behälter in jeweils gleichen Arbeitsschritten ausgeschleust, für den Abtransport vorbereitet und mit dem Kran auf den Eisenbahnwaggon oder LKW abgesenkt.

Im Fall der POLLUX-8-Variante würden die Brennelemente vor der Beladung im Brennelementbecken zerlegt und die Strukturteile gepreßt werden. Die dicht gebündelten Brennstäbe werden zusammen mit den Preßlingen in den POLLUX-8-Behälter verpackt. Die weitere Hantierung vor und nach der Beladung verläuft analog zum POLLUX-4-Behälter. Im Vergleich zur POLLUX-4 Variante, wo nur komplette Brennelemente verpackt werden, bedeutet die Vorbereitung der Brennelemente für die Verpackung im POLLUX-8-Behälter einen gravierenden Eingriff in den KKW-Lagerbeckenbetrieb.

B Wesentliche Einrichtungen für die Beladung der Behälter

B1 Gemeinsame Einrichtungen für CASTOR und POLLUX

- Hebeeinrichtungen
Halbportalkran zum Heben und Absenken des Behälters zum Halbportalgerüst, Reaktorrundlaufkran zur Hantierung des Behälters im Reaktorgebäude, Lademaschine zum Beladen der Behälter
- Schleuseinrichtungen
Materialschleuse und Schleusenwagen zum Ein- und Ausschleusen des Behälters
- Einrichtungen zum Aufrichten des Behälters
- Prüfeinrichtungen
Für Funktionsprüfungen und Dichtheitsprüfungen der Öffnungen und Dichtungen des Behälters

- Kontaminationsschutzeinrichtungen
Metallisches Kontaminationsschutzhemd zum Schutz des Behälters vor Kontaminationen durch das Beckenwasser
- Einrichtungen zum Füllen des Behälters mit vollentsalztem Wasser
- Trocknungseinrichtungen
Vakuumtrocknungsanlage zum Trocknen des Behälterinnenraumes, beim POLLUX auch zum Trocknen des Spaltes zwischen Abschirm- und Endlagerbehälter.

B2 Zusätzliche Einrichtungen für die Varianten POLLUX-4 und -8

- Schweißeinrichtungen
Schweißstation zum Verschweißen des Sekundärdeckels mit entsprechenden Prüfeinrichtungen.
- Einrichtungen zum Füllen des POLLUX-Behälters mit Helium

Die Einrichtungen müssen im Sicherheitsbehälter (Pos. 7 in Abb. 5) während der Behälterhantierung betriebsbereit sein. Für den Betrieb der Einrichtungen wird der Platzbedarf auf mindestens 20 m² geschätzt, der in vielen Kernkraftwerken nur schwer oder möglicherweise gar nicht bereitzustellen ist.

B3 Zusätzliche Einrichtungen für die Variante POLLUX-8

- Zerlegeeinrichtung
Einrichtungen zum Öffnen der Brennelemente sowie zum Herausziehen und Bündeln der Brennstäbe
- Presse
Zum Kompaktieren der Strukturteile

Diese Einrichtungen müssen im Lagerbecken für die entsprechenden Operationen vorgehalten werden. Auch hier ist mit erheblichen Platzproblemen zu rechnen.

Hinzu kommen eine Reihe individueller angepaßter Hantierungshilfen, Lagerpositionen sowie Dummies zur Prüfung vor der Beladung mit radioaktivem Material:

- bei CASTOR V/21- und POLLUX-4-Variante: Dummy zur Blindprüfung der Behälterpositionen
- bei POLLUX-8-Variante: zusätzlicher Dummy zur Blindprüfung der Position für kompaktierte Strukturteile.

C Logistik

Für die Behälterbeladung und den Abtransport der Brennelemente aus dem Kernkraftwerk stehen jährlich etwa 3 Monate zur Verfügung:

Für die Vorbereitung der jährlichen Revisionsphase und des Brennelementwechsels sind etwa 3 Monate erforderlich, für den Brennelementwechsel und erforderliche Prüfungen und Inspektionen bei abgeschaltetem Reaktor sind ca. 6 Wochen anzusetzen. Weitere etwa 3-4 Monate sind für wiederkehrende Prüfungen, Wartungs- und Reparaturarbeiten im Handhabungsbereich des Sicherheitsbehälters anzusetzen. Etwa 1 Monat ist der Einlagerung neuer Brennelemente vorbehalten.

Die Logistik der An- und Abtransporte erfolgt in einem langfristig vorbestimmten Rhythmus, der u.a. durch den Hantierungsablauf im Kernkraftwerk, Genehmigungsabläufe, Freigaben und Meldefristen bestimmt wird.

D Personal

An den Beladevorgängen am KKW sind neben dem KKW-eigenen Personal Angestellte des Transportunternehmens und des TÜV beteiligt. Der erforderliche zusätzliche Personalbedarf für die Beladevorgänge sowie während der Revisionsphase wird durch Fremdfirmen gedeckt.

Die wiederkehrenden Prüfungen an den Einrichtungen werden in der Regel vom jeweiligen Hersteller durchgeführt.

3.1.2 Unterschiede und Vergleich CASTOR-POLLUX

A Logistik

Für die Hantierungszeiten gelten bei der CASTOR- und POLLUX-Handhabung im Prinzip die gleichen Vorgaben: Es steht jeweils ein Zeitraum von etwa 3 Monaten im Jahr für Abtransporte von Brennelementen zur Verfügung (s.3.1.1 C). Eine Reduzierung des hierfür verfügbaren Zeitraums von 3 Monaten kann sich durch zusätzlich erforderliche wiederkehrende Prüfungen an den für die POLLUX-Varianten zusätzlich benötigten Einrichtungen ergeben.

B Personal

Im Vergleich zur CASTOR-Handhabung sind beim POLLUX-Behälter zusätzliche Qualifikationen des Personals für das Verschweißen des Sekundärdeckels und die Prüfungen der Schweißnaht erforderlich.

Für die Handhabung des POLLUX-8-Behälters wird zusätzlich qualifiziertes Personal für die fernbediente Zerlegung der Brennelemente und den Einsatz der Presse benötigt.

Der Zeitraum, während dessen das für die Behälterhandhabung zuständige Personal benötigt wird, ergibt sich aus den jeweils erforderlichen Hantierungszeiten und ist bei den einzelnen Varianten (CASTOR-21, POLLUX-4, POLLUX-8) unterschiedlich.

C Hantierungszeiten

Für die CASTOR-Handhabung werden die Arbeitsschritte in folgende Gruppen zusammengefaßt (Einzelschritte siehe Anhang):

- Eingangskontrolle (1 Stunde)
- Krantransport (2 Stunden)
- Stoßdämpfer-Demontage (1 Stunde)
- Einschleusen (1 Stunde)

- Vorbereiten zum Beladen (15 Stunden)
Behälter aufrichten,
Dichtheitsprüfung,
Kontaminationsschutz
Deckel abnehmen

- Beladen (18 Stunden)
Absenken ins Becken
Dummyprüfung
Beladen mit Brennelementen
Primär-Deckel auflegen

- Vorbereiten zum Ausschleusen (46 Stunden)
Herausheben aus Becken
Primärdeckel verschrauben
Dichtheitsprüfungen
Behälter entwässern
Trocknung
Sekundärdeckel verschrauben

- Ausschleusen (1 Stunde)
- Stoßdämpfer-Montage (1 Stunde)
- Krantransport (2 Stunden)
- Ausgangskontrolle (1 Stunde)

Der Hantierungsablauf für einen CASTOR-Behälter beträgt demzufolge bei normalem Durchschnittsbetrieb unter Einbeziehung von ca. 30 % Pufferzeiten eine Woche (5 Werktage mit 120 Stunden). Die Berücksichtigung von Pufferzeiten ist aufgrund möglicher Verzögerungen im Hantierungsablauf erforderlich. Der Hantierungsschritt, der insbesondere mit Unsicherheiten bezüglich des Zeitbedarfs verbunden ist, ist die Entwässerung und Trocknung des Behälters.

Der Hantierungsablauf und die Hantierungszeiten für die Handhabung des POLLUX-4-Behälters sind größtenteils mit denen des CASTORs identisch. Unterschiede bestehen nur bei folgenden Arbeitsschritten:

- Beladen (12 Stunden)
Es werden nur 4 statt 21 Brennelemente hantiert, so daß sich der Beladevorgang um 6 Stunden verkürzt.

- Vorbereiten zum Ausschleusen (78 Stunden)
Beim POLLUX-Behälter wird im Gegensatz zum CASTOR der Sekundärdeckel nicht verschraubt sondern verschweißt. Durch den zeitintensiven Arbeitsschritt des Verschweißens und der Schweißnahtprüfung sowie den zusätzlichen Schritt des Füllens des POLLUX-Behälters mit Helium verlängert sich das Vorbereiten zum Ausschleusen um insgesamt 32 Stunden. Der zusätzliche Zeitbedarf für die jährlichen Rüstzeiten zur Vorbereitung der vorstehenden Arbeitsschritte ist in die 32 Stunden eingerechnet; im Gegensatz zur zentralen Konditionierungsanlage besteht im Kernkraftwerk die Notwendigkeit, die Einrichtungen erst in die betriebliche Position zu bringen und wieder abzubauen nach Bedarf, da der Platz auch für andere Arbeiten benötigt wird.

Der Hantierungsablauf verlängert sich bei einem POLLUX-4-Behälter gegenüber dem CASTOR um mindestens 26 Stunden. Die Gesamthantierungszeit für den POLLUX-4-Behälter beträgt 115 Stunden, d.h. für die 5 Tage-Woche mit 120 Stunden ist fast keine Pufferzeit mehr gegeben, um mögliche Zeitverzögerungen bei einem Hantierungsschritt aufzufangen. Das Wochenende wäre als Pufferzeit vorzusehen, wenn wie beim CASTOR-Behälter ein Hantierungszyklus von einer Woche aufrechterhalten werden soll.

Bei der Handhabung des POLLUX-8-Behälters ergeben sich im Vergleich zum POLLUX-4-Behälter zusätzlich verlängerte Hantierungszeiten durch folgende Arbeitsschritte:

- Zerlegen (33 Stunden/POLLUX)
Der Zeitrahmen für das Zerlegen der Brennelemente und das Kompaktieren der Strukturteile orientiert sich an den Annahmen über den Zeitbedarf in der Konditionierungsanlage. Aufgrund der

Dimensionierung des Brennelementbeckens ist ein waagerechtes Ziehen der Brennstäbe und Befüllen der Büchsen wie es in der Konditionierungsanlage vorgesehen ist, allerdings nicht möglich. Die entsprechenden Hantierungsschritte müssen daher in der Vertikalen ausgeführt werden, wozu noch entsprechende Einrichtungen insbesondere für das Verdichten der Brennstäbe zu entwickeln sind. Die Übertragung des Zeitbedarfs von der Konditionierungsanlage auf die Konditionierung im Brennelementbecken ist daher nur in erster Näherung möglich und hier so angenommen und entspricht dem minimal erforderlichen Zeitbedarf im günstigsten Fall.

- Vorbereiten zum Ausschleusen (108 Stunden)

Es wird davon ausgegangen, daß sich die Trocknungszeit für die kompaktierten Teile sowie die eng gepackten Brennstäbe verdoppelt, d.h. von 30 auf mindestens 60 Stunden erhöht, wenn überhaupt eine ordnungsgemäße Trocknung sichergestellt und auch nachgewiesen werden kann. Denn Einschlüsse von Restwasser (im kompaktierten Material) würden durch Radiolyse neue Problemstellungen aufwerfen.

Der Hantierungsablauf für einen POLLUX-8-Behälter incl. Zerlegen der Brennelemente dauert demnach etwa 8 Tage. Werden etwa 30 % der Zeit als Pufferzeit für Eventualfälle und Zeitverzögerungen hinzugerechnet sowie Einschränkungen für Tätigkeiten am Wochenende/Feiertagen berücksichtigt, so ergibt sich für die Abfertigung von einem Behälter eine Zeit von 2 Wochen. Hierbei ist gleichzeitig die übliche Vorgehensweise für Behälteran- und abtransporte in Wochenzyklen gegeben.

3.1.3 Schlußfolgerungen

A Logistik

Die Hantierungseinrichtungen am Kernkraftwerk stehen für die Abtransporte von Brennelementen ca. 3 Monate im Jahr zu Verfügung. Für die Abfertigung der Behälter werden im Normalfall 5 Tage pro Woche im 3-Schichtbetrieb angesetzt.

Bei der CASTOR-21-Handhabung müssen bei 52 Brennelementen im Jahr maximal 3 Behälter abgefertigt werden. Die Hantierungszeit pro Jahr beträgt damit 3 Wochen, so daß keine zeitlichen Engpässe am Kernkraftwerk zu erwarten sind.

Bei der POLLUX-4-Abfertigung müssen im Jahr maximal 13 Behälter gehandhabt werden, so daß sich eine Gesamthantierungszeit von 13 Wochen ergibt. Die Zeit, während der die Hantierungseinrichtungen am Kernkraftwerk zur Verfügung stehen, wird vollständig genutzt.

Es dürfen keine zeitlichen Verzögerungen entstehen, da für die 5 Tage-Woche praktisch keine Pufferzeit mehr besteht und allenfalls noch das Wochenende hierfür zur Verfügung steht.

Für die Zerlegung der Brennelemente und das Verladen im POLLUX-8-Behälter liegt die Hantierungszeit bei etwa 8 Tagen. Die angegebenen Hantierungszeiten für das Zerlegen ergeben sich aus einem konservativen Ansatz, und zwar aus Erfahrungen bei "trockenen" Hantierungen, wie sie für die Konditionierungsanlage zugrundegelegt sind. Die Zerlegung ganzer Brennelemente am Kernkraftwerk unter Wasser ist noch nicht Stand der Technik, es ist aber bei entsprechender Erprobung trotzdem anzunehmen, daß sich die erforderlichen Hantierungszeiten aufgrund der schwierigen Arbeitsbedingungen im Wasserbecken verlängern. Es wurde angenommen, daß sich die Trocknungszeit des Behälterinnenraumes durch die kompaktierten Teile im Vergleich zur Trocknung bei unzerlegten Brennelementen verdoppelt. Die genauen Auswirkungen der kompaktierten Teile und auch der dicht gepackten Brennstäbe auf die Trocknungszeit müssen noch aus Versuchen ermittelt werden, so daß der tatsächliche Zeitbedarf nicht genauer angegeben werden kann. Auch die technologische Machbarkeit nach Qualitätssicherungsanforderungen bedarf eines Nachweises, d.h. es muß nachzuweisen

sein, daß "nach Trocknung" auch Wassereinschlüsse im kompaktierten Material auszuschließen sind, bzw. einen noch festzulegenden Grenzwert nicht überschreiten, um Konsequenzen aus Folgeprodukten einer Radiolyse oder Druckaufbau im Behälter zu begrenzen.

Bei 8 erforderlichen Hantierungstagen zuzüglich erforderlichen Pufferzeiten wird für die Abfertigung von einem Behälter von einer Hantierungszeit von 2 Wochen ausgegangen. Für die Abfertigung von maximal 7 Behältern pro Jahr beträgt die Gesamthantierungszeit 14 Wochen. Die zur Verfügung stehende Hantierungszeit wird schon unter normalen Bedingungen vollständig genutzt. Die Zeit für wiederkehrende Prüfungen durch die zusätzlich am Kernkraftwerk erforderlichen Einrichtungen (siehe Punkt 3.1.1 B) ist nicht mehr verfügbar. Die Hantierungszeiten können sich aus den oben genannten Gründen weiter verlängern.

Daher ist die dezentrale Konditionierung von Brennelementen und Verpackung in POLLUX-8-Behältern am Kernkraftwerk nicht mehr ohne Einfluß und Einschränkungen auf den Reaktorbetrieb machbar.

In den folgenden Abbildungen sind die Zeiten für die Behälterabfertigung am Kernkraftwerk unter günstigen Annahmen gegenübergestellt. In Abb. 6 sind für die einzelnen Varianten die reinen Hantierungszeiten ohne Pufferzeiten sowie die Hantierungszeiten mit Pufferzeiten, jeweils bezogen auf die Abfertigung eines Behälters gegenübergestellt. In der Abb. 7 ist die jährliche Gesamthantierungszeit für die Behälter an einem Kernkraftwerk dargestellt, die sich aus der Anzahl der zu handhabenden Behälter ergibt.

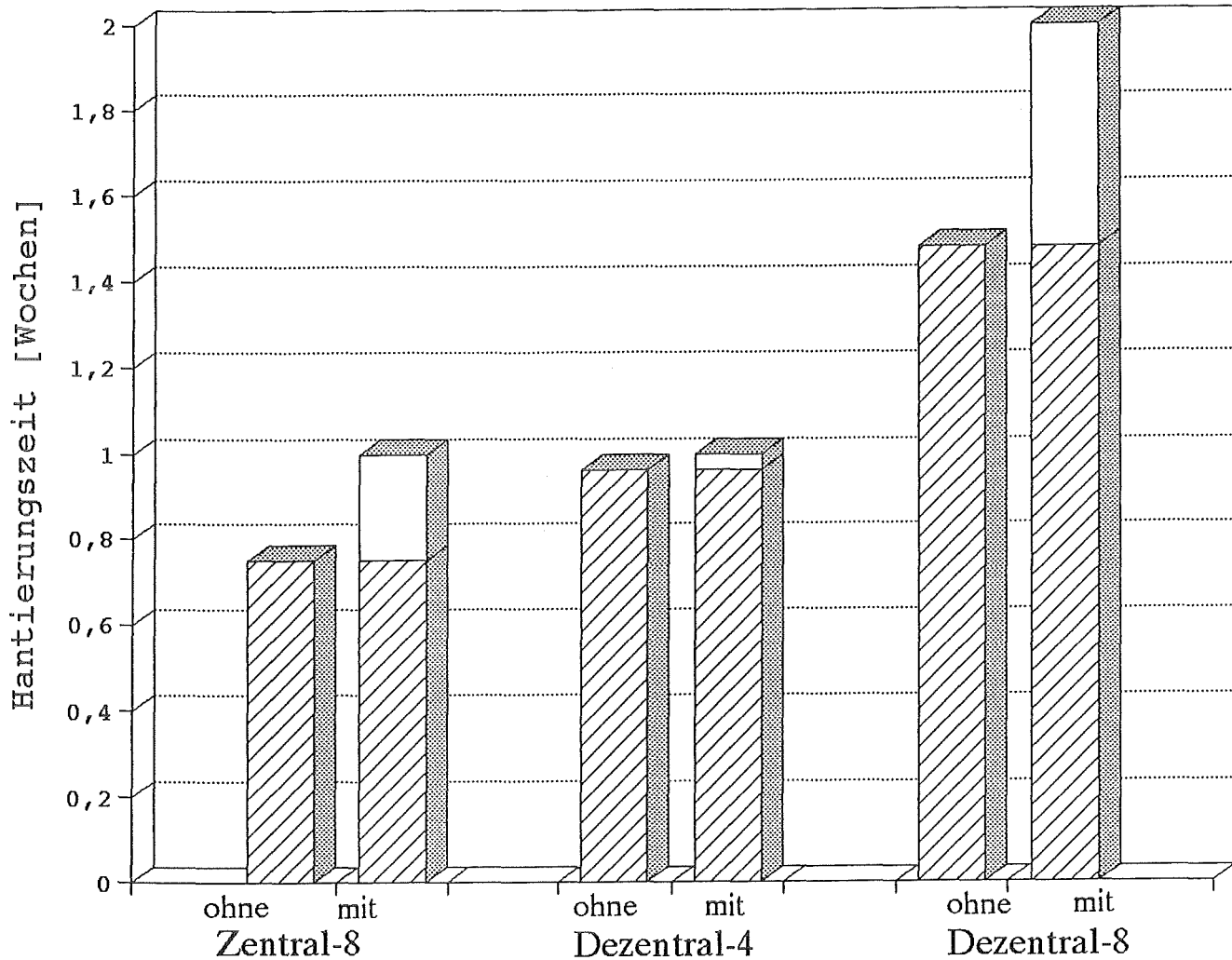


Abb. 6: Hantierungszeiten pro Behälter und Zykluszeiten pro Behälter am Kernkraftwerk

(Die Hantierungszeiten (schraffiert) beziehen sich ausschließlich auf den für die Behälterhandhabung erforderlichen Zeitbedarf. In der Gesamthantierungszeit (Zykluszeit) sind neben der reinen Hantierungszeit zusätzlich Pufferzeiten und Wochenenden enthalten .)

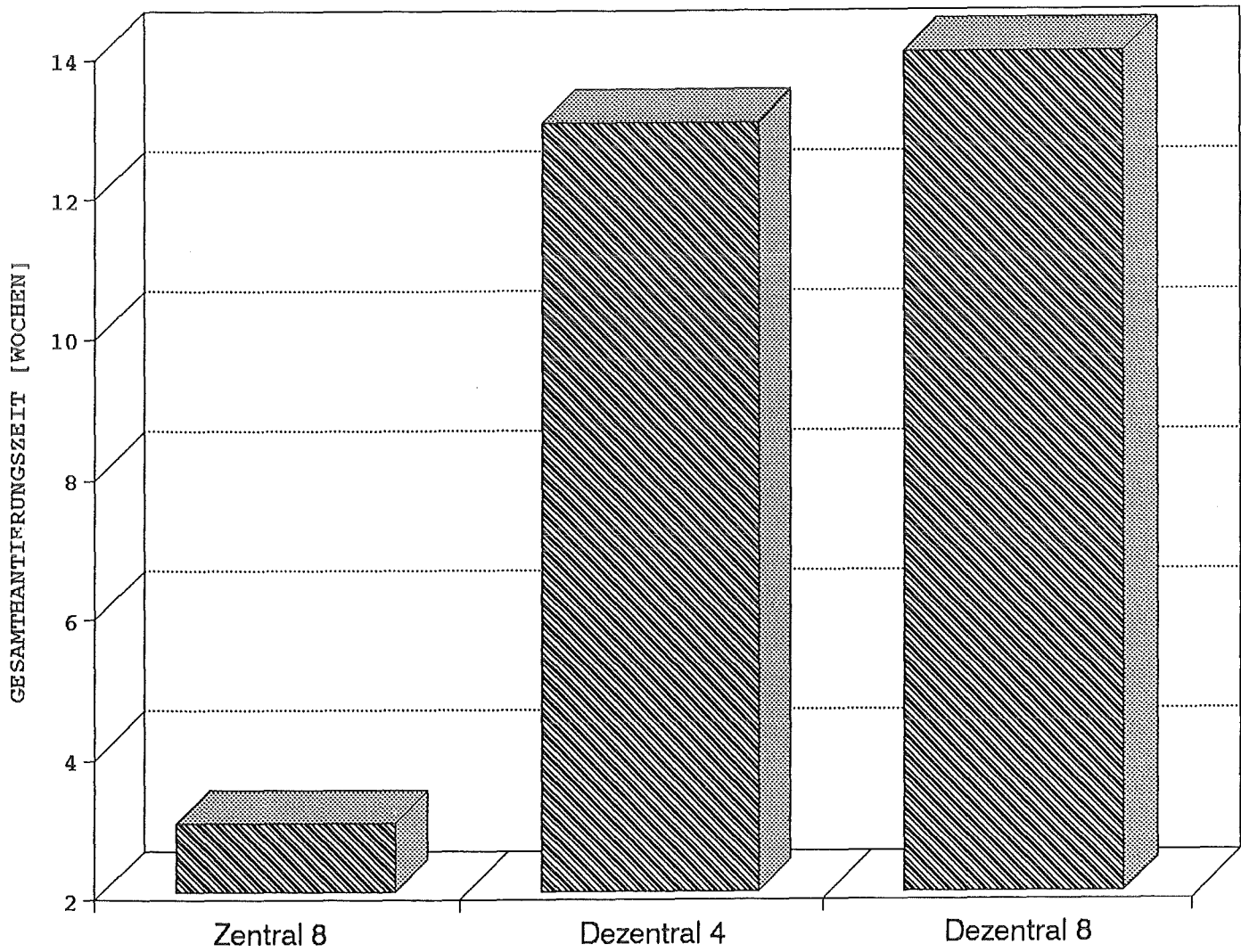


Abb. 7: Gesamthantierungszeiten (Zykluszeiten) pro Jahr an einem Kernkraftwerk

B Hantierungseinrichtungen

Für die Hantierung von CASTOR-Behältern am Kernkraftwerk sind im Vergleich zu den an einigen Kernkraftwerken hantierten TN-Behältern keine zusätzlichen Einrichtungen erforderlich.

Für die Hantierung eines POLLUX-4- oder POLLUX-8-Behälters sind zusätzliche Hantierungseinrichtungen erforderlich, u.a.

- für das Füllen des Behälters mit Helium
- das Verschweißen des Sekundärdeckels und
- die Prüfung der Schweißnaht.

An der Abstellposition des Behälters (siehe Abb. 5, Pos. 7) ist eine Hochfrequenzschweißung nicht ohne weiteres möglich, da eine elektromagnetische Beeinflussung des Reaktorschutzsystems (aber auch anderer elektronischer oder leittechnischer Einrichtungen) zu besorgen ist. Daher muß eine entsprechend abgeschirmte, hochqualifizierte Schweißstation eingerichtet werden. Es ist fraglich, ob der Raumbedarf für eine solche Schweißstation befriedigt werden kann, was durch entsprechende Entwicklungsarbeiten nachzuweisen wäre.

Für die Zerlegung von Brennelementen im Abklingbecken müssen Einrichtungen zum Ziehen und Verdichten der Brennstäbe sowie zum Kompaktieren der Strukturteile vorhanden sein. Aufgrund des begrenzten zur Verfügung stehenden Platzes im Abklingbecken sind die Möglichkeiten zur Installation dieser zusätzlichen Einrichtungen beschränkt, wenn nicht bei einigen KKW, insbesondere der Mehrzahl der älteren KKW überhaupt ausgeschlossen.

3.2 Transporte

3.2.1 Transportablauf

Die mit Brennelementen beladenen Behälter werden einzeln über Schienen- oder Straßentransporte vom Kernkraftwerk abtransportiert und erreichen über Schiene oder Straße das Zwischenlager, die Konditionierungsanlage oder das Endlager.

3.2.2 Transportaufkommen

Das Transportaufkommen setzt sich aus den An- und Abtransporten der Behälter an den einzelnen Stationen zusammen. Enthalten sind neben den Transporten von beladenen Behältern auch An- und Abtransporte von leeren Behältern. Zusätzlich müssen Transporte von Abfällen, Anlagenkomponenten und sonstige Materialtransporte berücksichtigt werden.

A Kernkraftwerk

Zum Kernkraftwerk werden leere CASTOR- bzw. POLLUX-Behälter angeliefert und nach der Beladung mit Brennelementen zum Zwischenlager abtransportiert. Zusätzlich werden jährlich frische Brennelemente in Transportbehältern zum Kernkraftwerk angeliefert. Durchschnittlich müssen in Deutschland in einem Jahr 1038 Brennelemente an Kernkraftwerke angeliefert und ebensoviele ausgediente Brennelemente abtransportiert werden. Zusätzliche Transporte entstehen durch 200-300 m³ schwach- und mittelaktive Abfälle, die pro Jahr an einem Kernkraftwerk anfallen und konditioniert in Fässern abtransportiert werden müssen.

B Zwischenlager

Zum Zwischenlager werden beladene Behälter vom Kernkraftwerk angeliefert und nach der Zwischenlagerung zur Konditionierungsanlage bzw. zum Endlager abtransportiert. In die Gesamtzahl der Transporte gehen außerdem die An- und Abtransporte von Fässern mit schwach- und mittelaktiven Abfällen zur Zwischenlagerung ein. Sonstige Materialtransporte sind vernachlässigbar.

C Konditionierungsanlage

Das Transportaufkommen an der Konditionierungsanlage setzt sich aus den Antransporten beladener CASTOR-Behälter und leerer POLLUX-Behälter sowie aus den Abtransporten der beladenen POLLUX-Behälter zum Endlager und den Abtransporten der entladenen CASTOR-Behälter zum Kernkraftwerk zusammen.

Zusätzliche Transporte entstehen durch den Abtransport von Fässern mit radioaktiven Abfällen aus dem Konditionierungsbetrieb sowie durch Antransporte von Ersatzteilen, Kleinmaterialien etc.

D Endlager

Das Transportaufkommen am Endlager ergibt sich aus den Antransporten von beladenen POLLUX-Behältern und anderen endzulagernden Abfallgebinden. Sonstige Materialtransporte sind nicht relevant.

3.2.3 Unterschiede und Vergleich CASTOR-POLLUX

An den einzelnen Stationen Kernkraftwerk, Zwischenlager, Konditionierungsanlage und Endlager ergeben sich durch den Einsatz von CASTOR- oder POLLUX-Behältern für das Transportaufkommen Unterschiede. Diese sind durch die zu transportierende Behälterzahl, hervorgerufen durch die unterschiedliche Beladekapazität von CASTOR-21, POLLUX-4 und POLLUX-8, bedingt.

A Kernkraftwerk

Bei dem Verladen von 1038 ausgedienten Brennelementen in CASTOR-21-Behälter müssen pro Jahr zu Kernkraftwerken 50 leere CASTOR-Behälter angeliefert und ebensoviele beladene CASTOR-Behälter zum Zwischenlager abtransportiert werden.

Für das Verladen der Brennelemente in POLLUX-4-Behälter werden 260 Behälter benötigt, die pro Jahr leer zu den Kernkraftwerken angeliefert und beladen zum Zwischenlager abtransportiert werden müssen.

Bei einer Konditionierung der Brennelemente am Kernkraftwerk und dem Einsatz von POLLUX-8-Behältern sind 130 Behälter pro Jahr erforderlich. Es ergibt sich ein jährliches Transportaufkommen für ausgediente Brennelemente an Kernkraftwerken von 130 Antransporten leerer und 130 Abtransporten beladener Behälter.

B Zwischenlagerung

Beim Einsatz von CASTOR-21-Behältern müssen bei einer jährlichen Anfallmenge von 1038 ausgedienten Brennelementen 50 CASTOR-Behälter zwischengelagert werden. Aus An- und Abtransporten der Behälter ergeben sich jährlich 100 Transporte.

Für die Zwischenlagerung in POLLUX-4-Behältern ergeben sich jeweils 260, in POLLUX-8-Behältern jeweils 130 An- und Abtransporte im Jahr.

C Konditionierungsanlage

Zur Konditionierungsanlage werden jährlich 50 beladene CASTOR-21-Behälter angeliefert und 130 beladene POLLUX-Behälter abtransportiert. Die gleiche Anzahl an leeren Behältern muß an- bzw. abtransportiert werden. Daraus ergibt sich ein jährliches Transportaufkommen von 180 beladenen und 180 leeren Behältern.

Für POLLUX-4- bzw. POLLUX-8-Behälter entfallen Transporte zur Konditionierungsanlage.

D Endlager

Zum Endlager werden sowohl bei der Konditionierung am Kernkraftwerk als auch bei der Konditionierung an einer zentralen Konditionierungsanlage 130 POLLUX-8-Behälter zur Endlagerung angeliefert. Beim Einsatz von POLLUX-4-Behältern ergeben sich 260 Antransporte zum Endlager.

3.2.4 Schlußfolgerungen

Das Transportaufkommen, das bei der zentralen Konditionierung und der dezentralen Konditionierung in POLLUX-4- bzw. POLLUX-8-Behältern mit der Entsorgung ausgedienter Brennelemente verbunden ist, ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

	Zentral	Dezentral-4	Dezentral-8
<u>Transporte zum Kernkraftwerk:</u>			
beladen	-	-	-
leer	50	260	130
<u>Transporte zum Zwischenlager:</u>			
beladen	50	260	130
leer	-	-	-
<u>Transporte zur Konditionierungsanlage:</u>			
beladen	50	-	-
leer	130	-	-
<u>Transporte zum Endlager:</u>			
beladen	130	260	130
leer	-	-	-
<u>Gesamttransporte:</u>			
beladen	230	520	260
leer	180	260	130
<u>Transporte pro Tag bei 230 Arbeitstagen:</u>			
beladen	1,0	2,3	1,1
leer	0,8	1,1	0,5

Die Zahlen in der Tabelle sind für den Fall dargestellt, daß zwischen allen Anlagen eine räumliche Distanz zu überwinden ist und Transporte nur mit Einzelbehältern durchgeführt werden. Diese mehr theoretische Annahme ist hier nur zu Vergleichszwecken gewählt. Weiterhin sind Unterschiede im Umfang der für die Variante jeweils zusätzlich erforderlichen Sekundärabfalltransporte (s. Kapitel 4.4) nicht berücksichtigt.

Eine Zusammenlegung von Standorten des Zwischenlagers, der Konditionierungsanlage (im Falle der zentralen Konditionierung) und des Endlagers würde bei allen Varianten das Transportaufkommen auf die Hälfte oder mehr reduzieren.

Bei der dezentralen Konditionierung und Verpackung in POLLUX-8-Behältern am Kernkraftwerk ist das Gesamtaufkommen an Transporten sowie das Aufkommen an Transporten von beladenen Behältern vergleichbar dem Transportaufkommen bei zentraler Konditionierung. Bei der Verladung von unzerlegten Brennelementen in POLLUX-4-Behälter ist das Transportaufkommen etwa doppelt so hoch.

In Verbindung mit dem Transportaufkommen steigt naturgemäß die Wahrscheinlichkeit von Störungen beim Transport sowie auch die Strahlenbelastung des Transportpersonals.

3.3 Behälterhandhabung am Zwischenlager

Die maximal 20-jährige Zwischenlagerung erfolgt als Trockenlagerung in CASTOR-21-, POLLUX-4- oder POLLUX-8-Behältern.

3.3.1 Verfahrensablauf

Die mit Brennelementen beladenen Behälter werden über Schienen- oder Straßentransporte zum Zwischenlager angeliefert und nach der Eingangskontrolle mit dem Kran in den Wartungsbereich transportiert. Am CASTOR-Behälter wird eine Dichtheitsprüfung durchgeführt und ein Druckmeßgerät zur Überwachung des Behälters während der Lagerzeit eingesetzt. Beim verschweißten POLLUX-Endlagerbehälter ist eine

Dichtheitsprüfung oder die Montage eines Druckmeßgerätes nicht vorgesehen.

Durch das Verschweißen und die zugehörigen Prüfungen ist der Langzeiteinschluß des Aktivitätsinventars sichergestellt. Anschließend werden die Behälter auf die vorgesehenen Stellplätze in der Lagerhalle gebracht. Nach Ablauf der Lagerzeit durchlaufen die Behälter verschiedene Prüfungen und werden nach der Ausgangskontrolle zur Konditionierungsanlage oder zum Endlager abtransportiert.

3.3.2 Unterschiede und Vergleich CASTOR-POLLUX

A Hantierungszeiten

Für die Behälterhandhabung werden die folgenden Gruppen von Arbeitsschritten zusammengefaßt. Die angegebenen Hantierungszeiten beziehen sich auf den CASTOR-Behälter.

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| - Eingangskontrolle | (1 Stunde) |
| - Stoßdämpfer-Demontage | (1 Stunde) |
| - Krantransporte | (1 Stunde) |
| - Vorbereiten zum Einlagern | (3 Stunden) |
| - Einlagern | (1,5 Stunden) |
| - Auslagern | (1,5 Stunden) |
| - Vorbereiten zum Abtransport | (3 Stunden) |
| - Krantransport | (1 Stunde) |
| - Stoßdämpfer-Montage | (1 Stunde) |
| - Ausgangskontrolle | (1 Stunde) |

Der Hantierungsablauf eines CASTOR-Behälters vom Eingang am Zwischenlager bis zur Einlagerung sowie von der Auslagerung bis zum Abtransport benötigt jeweils etwa 7,5 Stunden. Bei je 50 ein- und auszulagernden CASTOR-Behältern in einem Jahr ergibt sich eine Gesamthantierungszeit von 750 Stunden.

Der Hantierungsablauf von POLLUX-4- und POLLUX-8-Behältern ist miteinander identisch und unterscheidet sich von dem des CASTOR-Behälters in folgenden Arbeitsschritten:

- Vorbereiten zum Einlagern: (entfällt)
Am POLLUX-Behälter wird keine Dichtheitsprüfung durchgeführt und kein Meßgerät eingesetzt.
- Vorbereiten zum Auslagern: entfällt
Erklärung siehe oben
- Das Ein- bzw. Auslagern reduziert sich auf jeweils eine Stunde, da das Anschließen und Abtrennen des Meßgerätes entfällt.

Der Hantierungsablauf der Ein- bzw. Auslagerung eines POLLUX-Behälters dauert je 4 Stunden. Bezogen auf die zu hantierende Behälterzahl ergibt sich bei der Zwischenlagerung von POLLUX-8-Behältern eine Gesamthantierungszeit von 1040 Stunden und bei der Lagerung von POLLUX-4-Behältern von 2080 Stunden im Jahr.

B Stellplätze

Zur Zwischenlagerung werden jährlich 50 CASTOR-21-Behälter, 130 POLLUX-8-Behälter oder 260 POLLUX-4-Behälter angeliefert. Während der ersten Jahre steigt der Bedarf an Stellplätzen jährlich um die Zahl der zwischenzulagernden Behälter. Nach etwa 10 Jahren könnten die ersten POLLUX-4-Behälter, nach 20 Jahren die übrigen Behälter vom Zwischenlager abtransportiert werden, so daß sich ein Gleichgewicht zwischen An- und Abtransporten einstellt.

Insgesamt werden bei der Lagerung in CASTOR-Behältern 1000, bei der Lagerung in POLLUX-8-Behältern 2600 und bei der Lagerung in POLLUX-4-Behältern ebenfalls 2600 Stellplätze benötigt, wobei davon ausgegangen wird, daß die Wärmeleitung der POLLUX-4-Behälter nach 10 Jahren etwa der der POLLUX-8-Behälter nach 20 Jahren im Hinblick auf die Endlager-Bedingungen entspricht.

3.3.3 Schlußfolgerungen

A Hantierungszeiten

Bei zwei zur Verfügung stehenden Zwischenlagern entstehen bei keiner Variante zeitliche Engpässe am Zwischenlager.

Im ungünstigsten Fall, der Zwischenlagerung von POLLUX-4-Behältern, müssen jährlich je 130 Behälter abgefertigt werden. Bei 230 Arbeitstagen im Jahr und 1-Schichtbetrieb stunden für die Hantierung eines Behälters 7 Stunden zur Verfügung. Für die Abfertigung eines Behälters sind jedoch nur 4 Stunden erforderlich.

B Stellplätze

Der Zwischenlagerbedarf ist bei der Lagerung von POLLUX-4-Behältern mit (max. 5.200 bzw.) 2600 Stellplätzen bei 10 a Zwischenlagerung am höchsten. Bei allen drei Varianten liegt der Bedarf an Stellplätzen über der zur Zeit vorhandenen Anzahl von 820 Stellplätzen in den Zwischenlagern von Gorleben und Ahaus.

In der nachstehenden Abb. 8 ist der zeitliche Verlauf des Bedarfs an Stellplätzen für die einzelnen Varianten den derzeit vorhandenen Stellplätzen gegenübergestellt.

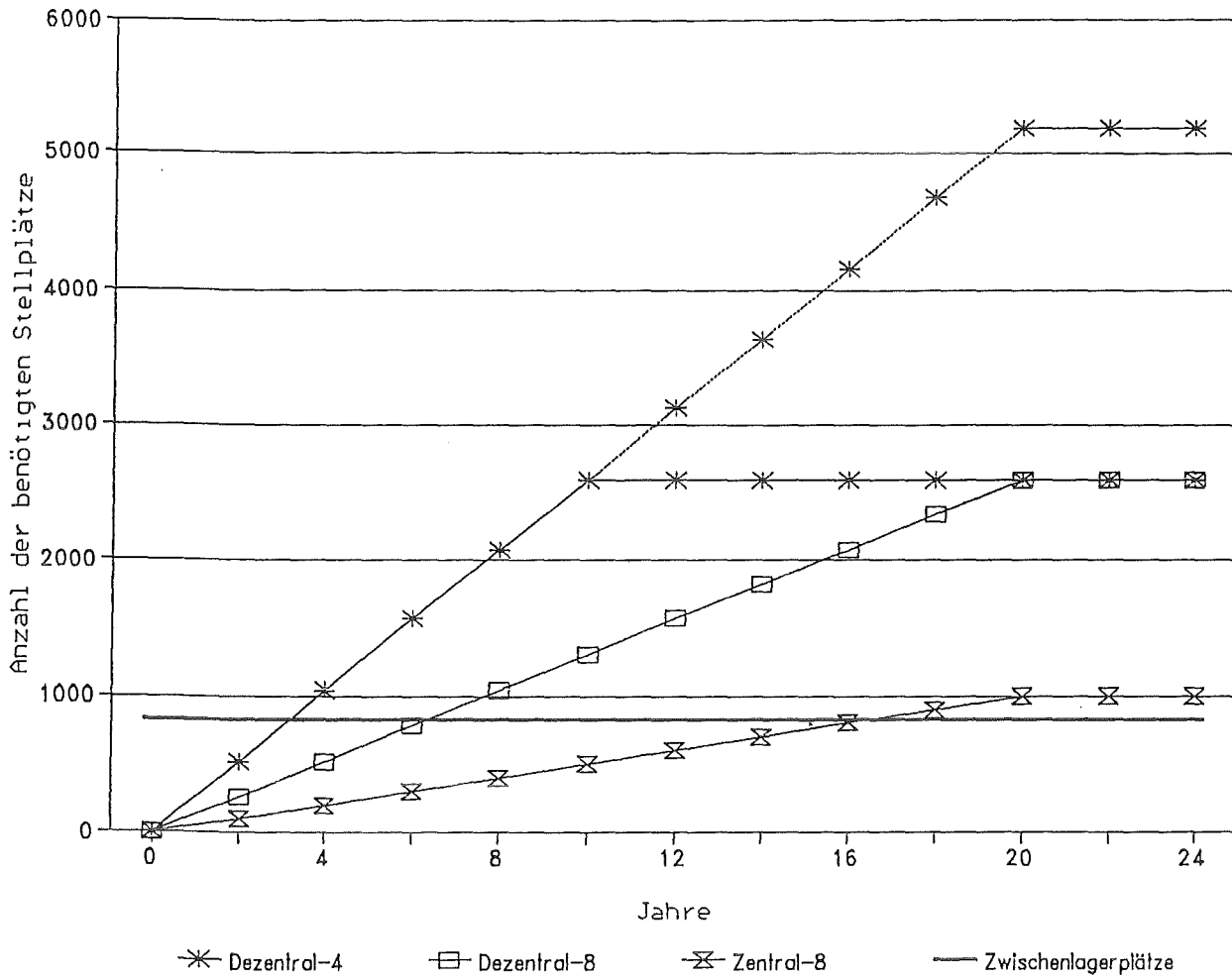


Abb. 8: Benötigte und vorhandene Zwischenlagerplätze

Bei der Zwischenlagerung in CASTOR-21-Behältern sind nach 16 Jahren die vorhandenen Zwischenlagerplätze belegt, so daß weitere Stellplätze benötigt werden. Bei der Lagerung von POLLUX-4-Behältern sind nach etwa 3 Jahren zusätzliche Zwischenlagerplätze erforderlich.

Die Gesamtzahl der für die Lagerung von POLLUX-4-Behältern benötigten Stellplätze ist zu 2600 angenommen unter der Voraussetzung, daß die Behälter nach 10 Jahren Zwischenlagerung ins Endlager abtransportiert werden: Eine 10-jährige Zwischenlagerung ist aufgrund der geringeren Wärmeentwicklung der mit nur 4 Brennelementen beladenen Behälter ausreichend. Voraussetzung ist jedoch, daß 10 Jahre nach Beginn der Zwischenlagerung ein Endlager zur Verfügung steht, in das die Behälter abtransportiert werden können.

Es ist darauf hinzuweisen, daß der Bedarf an Zwischenlagerplätzen weiter steigt, wenn Abfallgebinde aus der HAWC-Verglasung aus den ausländischen Wiederaufarbeitungsanlagen nach Deutschland zurückgeliefert werden, bevor ein Endlager für sie zur Verfügung steht.

3.4 Behälterhandhabung an der Konditionierungsanlage

In der Konditionierungsanlage läuft die Zerlegung der Brennelemente und das Kompaktieren der Strukturteile teilweise automatisiert in heißen Zellen ab. Für die Hantierungsschritte zur Vorbereitung der Behälter zur Beladung, zur Entladung oder zum Abtransport stehen entsprechend ausgestattete Arbeitsplätze in der Behälterhalle zur Verfügung.

Die zentrale Konditionierung ausgedienter Brennelemente ist derzeit noch nicht demonstriert. In der zur Zeit im Bau befindlichen Pilotkonditionierungsanlage sollen die einzelnen Hantierungsschritte erprobt, und die angewendeten Techniken für den späteren Einsatz in einer großtechnischen Konditionierungsanlage optimiert werden. Die wesentlichen Einzelkomponenten sind aber in Versuchsständen getestet worden.

3.4.1 Verfahrensablauf

Die Brennelemente werden in CASTOR-21-Behältern zur Konditionierungsanlage angeliefert. Nach der Eingangskontrolle wird der Behälter zum Arbeitsplatz transportiert, zum Einschleusen vorbereitet und in den EVA-geschützten Bereich der Anlage eingeschleust. Der Behälter wird von unten an eine Heiße Zelle angedockt und die Brennelemente werden in ein Pufferlager entladen, wo sie bis zu ihrer Weiterverarbeitung in der Zerlegezelle verbleiben.

Die Zerlegung erfolgt weitgehend automatisch. Die Brennelemente werden einzeln auf den Zerlegetisch gespannt, das Kopfstück wird abgetrennt und die einzelnen Brennstäbe werden aus dem BE-Skelett gezogen. Die Brennstäbe fallen in einen Trog, der die Brennstäbe von zwei DWR-Brennelementen faßt, und werden aus dem Trog in eine angedockte Büchse geschoben. Die Brennelementstrukturteile werden in einer Presse kompaktiert; jeweils acht Preßlinge werden in einen angedockten Korb verpackt.

Ein Strukturteilkorb und vier Büchsen werden in einen an die heiße Zelle angedockten POLLUX-8-Behälter geladen. Der Behälter wird mit einem Primärdeckel verschraubt, mit Helium gefüllt, mit einem Sekundärdeckel verschweißt und zum Abtransport vorbereitet.

Der entladene CASTOR wird dekontaminiert und nach der Ausgangskontrolle zum Kernkraftwerk abtransportiert.

3.4.2 Hantierungszeiten

Die Arbeitsschritte an der Konditionierungsanlage für die CASTOR- und POLLUX-Handhabung sowie für die Zerlegung der Brennelemente lassen sich in folgende Arbeitsschritte aufteilen:

<u>CASTOR</u>		<u>POLLUX</u>	
Eingangskontrolle	(1 h)	Eingangskontrolle	(1 h)
Stoßdämpfer-Demontage	(1 h)	Stoßdämpfer-Demontage	(1 h)
Krantransport	(1 h)	Krantransport	(1 h)
Vorbereiten zum			
Einschleusen	(3 h)		
Einschleusen	(2 h)	Einschleusen	(2 h)
Vorbereiten Entladen	(4 h)	Vorbereiten Beladen	(3,5 h)
Entladen	(3,5 h)		

Konditionierung (33 h/POLLUX)

		Beladen	(1,5 h)
Vorber. z. Ausschleusen	(4 h)	Vorber. z. Ausschleusen	(4,5 h)
Ausschleusen	(2 h)	Ausschleusen	(2 h)
Vorber. z. Abtransport	(3,5 h)	Vorber. z. Abtransport	(30 h)
Krantransport	(1 h)	Krantransport	(1 h)
Stoßdämpfer-Montage	(1 h)	Stoßdämpfer-Montage	(1 h)
Ausgangskontrolle	(1 h)	Ausgangskontrolle	(1 h)

Bei einigen Arbeitsschritten der CASTOR- und POLLUX-Handhabung unterscheiden sich die Einzelschritte, so daß sich für die Hantierungszeiten Abweichungen ergeben. Die genauen Einzelschritte sind in der Anlage zu diesem Bericht enthalten.

Der Hantierungsablauf vom Eingang bis zum Abtransport eines CASTOR-21-Behälters dauert etwa 28 Stunden, der des POLLUX-Behälters 82,5 Stunden. Bei 1040 zu konditionierenden Brennelementen im Jahr ergeben sich jeweils 50 abzufertigende CASTOR- und 130 POLLUX-Behälter. Die Gesamthantierungszeit beträgt danach 12.125 Stunden im Jahr.

3.4.3 Schlußfolgerungen

Bei der Ermittlung des möglichen Durchsatzes der Konditionierungsanlage muß berücksichtigt werden, daß die Hantierungsschritte in den heißen Zellen parallel zu den Hantierungsschritten an den Arbeitsplätzen in der Behälterhalle ablaufen können. Es wird daher davon ausgegangen, daß während der Hantierung in den heißen Zellen der Ein- und Ausgang der CASTOR-Behälter sowie der Ein- und Ausgang (incl. Verschweißen) der POLLUX-Behälter parallel stattfindet. Die Verarbeitungskapazität der Konditionierungsanlage ist danach aus den Zeiten für die Brennelementkonditionierung und das Ein- und Ausschleusen der POLLUX-Behälter abzuleiten und liegt bei rund 47 Stunden.

In einem Jahr stehen bei 230 Arbeitstagen und unter der Annahme eines 2-Schichtbetriebes rund 3680 Arbeitsstunden für die Konditionierung zur Verfügung.

Bei jährlich 130 abzufertigenden POLLUX-Behältern und einer Taktzeit um 47 h/POLLUX ergibt sich eine Gesamthantierungszeit von etwa 6110 Stunden im Jahr.

Eine zentrale Konditionierungsanlage müßte demnach mit mindestens 2 parallelen Konditionierungssträngen für jeweils ca. 300 tSM ausgelegt sein.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, daß dieser Aspekt auch einen Optimierungsbedarf fordert. Wenn zugrunde gelegt wird, daß sowohl CASTOR- als auch POLLUX-Behälter voll beladen werden, muß ein Regime entwickelt werden, das eine Vermischung von Brennelementen verschiedenen Typs und/oder aus verschiedenen Kernkraftwerken im POLLUX-Behälter zuläßt oder es müssen in bestimmtem Umfang Zwischenlagermöglichkeiten für einzelne Brennelemente der Konditionierungsanlage

lage vorgesehen werden. Hier sind u.a. auch technische und genehmigungsrechtliche Fragen sowie Möglichkeiten der Spaltstoffflußkontrolle zu klären.

3.5 Behälterhandhabung am Endlager

Die Endlagerung der POLLUX-4- und POLLUX-8-Behälter erfolgt in Strecken in einer Salzformation.

Die Handhabung der Abfallgebinde im Endlager ist noch nicht großtechnisch demonstriert worden. Die für die Einlagerung der POLLUX-Behälter benötigten Komponenten sind bereits entwickelt und teilweise erprobt. Dabei handelt es sich neben dem innerbetrieblichen Transportwagen und der Einlagerungsvorrichtung vor allem auch um die Schachtförderanlage.

3.5.1 Verfahrensablauf

Der zum Endlager angelieferte POLLUX-Behälter wird nach der Eingangskontrolle auf einen innerbetrieblichen Transportwagen umgeladen. Per Schachtförderung werden Behälter und Transportwagen unter Tage gebracht und mit der Grubenlok zum Einlagerungsbereich gefahren. Der Behälter wird auf der Sohle abgesetzt, die Einlagerungsvorrichtung mit dem Transportwagen wird vorgezogen und der Hohlraum um das eingelagerte Gebinde wird mit Salzgrus verfüllt.

3.5.2 Hantierungszeiten

Die Hantierungszeiten für die Einlagerung von POLLUX-4- und POLLUX-8-Behältern sind identisch:

- Eingangskontrolle (1 Stunde)
- Stoßdämpfer-Demontage (1 Stunde)
- Krantransport (1 Stunde)
- Einlagern (4 Stunden)
- Rückführen des Transportwagens (2 Stunden)

Der gesamte Hantierungsablauf der Einlagerung dauert 9 Stunden pro Behälter.

Bei den Varianten Dezentral-8 und Zentral-8 werden je 130 POLLUX-Behälter zum Endlager angeliefert. Die Gesamthantierungszeit am Endlager beträgt 1170 Stunden im Jahr.

Bei der Variante Dezentral-4 mit 260 POLLUX-Behältern im Jahr ergibt sich eine Gesamthantierungszeit von 2340 Stunden.

3.5.3 Schlußfolgerungen

Die Einlagerung von 130 POLLUX-8-Behältern ist bei 230 Arbeitstagen im Jahr im 1-Schichtbetrieb am Endlager möglich.

Für die Annahme und Einlagerung von jährlich 260 POLLUX-4-Behältern ist ein 2-Schichtbetrieb vorzusehen.

4. GESAMTBEWERTUNG

4.1 Zeitbedarf

In der folgenden Tabelle sind die erforderlichen reinen Hantierungsstunden bei Normalbetrieb für die einzelnen betrachteten Varianten zusammenfassend gegenübergestellt. Die Angaben zum KKW beziehen sich auf die durchschnittlich pro Jahr zu handhabende Behälteranzahl und beinhalten bei der Gesamthantierungszeit alle 20 Standorte.

	Zentral	Dezentral-4	Dezentral-8
<u>Am Kernkraftwerk:</u>			
pro Behälter	89	115	178
gesamt	4.400	29.900	23.140
<u>Am Zwischenlager:</u>			
pro Behälter	15	8	8
gesamt	750	2080	1040
<u>An der Konditionierungsanlage</u>			
gesamt	12.125 *) 6.110 **)	-	-
<u>Am Endlager:</u>			
pro Behälter	9	9	9
gesamt	1170	2340	1170
<u>Gesamt</u>	<u>18.545</u>	<u>34.580</u>	<u>25.480</u>

Abb. 9: Gesamthantierungsstunden pro Jahr

*) ohne Berücksichtigung parallel ablaufender Schritte bei der CASTOR- und POLLUX-Hantierung

***) mit Berücksichtigung paralleler Arbeitsschritte bei der CASTOR- und POLLUX-Hantierung

4.2 Einrichtungen

Nachstehend sind die Unterschiede im Bedarf an wesentlichen Einrichtungen, bei den verschiedenen Varianten herausgestellt:

<u>Zentral-8</u>	<u>Dezentral-4</u>	<u>Dezentral-8</u>
---	Am Kernkraftwerk	
	abgeschirmte Schweißstation mit Schweißeinrichtungen und Prüfeinrichtungen	abgeschirmte Schweißstation mit Schweißeinrichtungen und Prüfeinrichtungen
	Einrichtung zum Füllen des Behälters mit Helium	Einrichtung zum Füllen des Behälters mit Helium
		Zerlegeeinrichtung für die Brennelemente
		Presse zum Kompaktieren der Strukturteile
	Am Zwischenlager	
1000 Stellplätze	5200 Stellplätze (2600 bei 10 Jahren Zwischenlagerung)	2600 Stellplätze
	An der Konditionierungsanlage	
Eine Konditionierungsanlage mit 2 parallelen Strängen (Gesamtdurchsatz 600 tSM)	---	---
	Am Endlager	
---	---	---
	Behälter	
50 CASTOR-Behälter 130 POLLUX-Behälter/a	260 POLLUX-Behälter/a	130 POLLUX-Behälter/a

Abb. 10: Unterschiede im Bedarf an wesentlichen Einrichtungen für die Konditionierungsvarianten

Ein Vergleich über die erforderlichen Einrichtungen für die Varianten Zentral-8 und Dezentral-8 zeigt, daß Einrichtungen, die etwa 3 mal in der zentralen Konditionierungsanlage bereitstehen, müßten 20 mal, nämlich in jedem KKW-Block bei dezentraler Konditionierung verfügbar sein.

In Abschnitt 3.1 wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Frage der Unterbringung der Einrichtungen im KKW für eine dezentrale Lösung generell nicht gelöst ist und aus räumlichen Gründen zumindest für die Zerlegevariante, Dezentral-8, auch in den bestehenden KKW nicht lösbar ist, ohne Einfluß zu nehmen auf den KKW-Betrieb und bestehende Genehmigungen.

4.3 Strahlenbelastung des Personals und radiologische Belastung

Aussagen zur Strahlenbelastung können z.B. auf Grundlage der Hantierungszeiten gemacht werden. Genauere Angaben zur Strahlenbelastung einzelner Hantierungsschritte unter Berücksichtigung von beteiligten Personen und dem Abstand der Personen vom Gebinde sind nicht möglich, da einige Hantierungsabläufe noch nicht hinreichend erprobt und optimiert sind und somit keine aussagefähigen Angaben abgeleitet werden können. Daher sind nur qualitative Vergleiche zwischen den Varianten möglich.

Die Strahlenbelastung kann nur in erster Näherung als proportional zur Hantierungszeit angesehen werden. Entsprechend den unter 4.1 aufgeführten Hantierungszeiten wäre danach die Strahlenbelastung bei der zentralen Konditionierungsvariante, Zentral-8, niedriger als bei der dezentralen Konditionierung.

Vom Castor V/21 als auch von einem POLLUX-Behälter gehen auf dem Transportweg vom KKW zum nächsten Empfänger grundsätzlich vergleichbare Strahlenbelastungen auf die Umgebung, das Transportbegleitpersonal und das empfangende Personal aus. Auch aus dieser Sicht ist die Strahlenbelastung beim Konzept einer zentralen Konditionierung voraussichtlich niedriger entsprechend den in Abschnitt 3.2.3 und 3.2.4 gemachten Ausführungen zum Transportaufkommen.

4.4 Sekundärabfall

Am Kernkraftwerk fällt bei der Abfertigung eines Behälters etwa 1 m³ ungepreßter brennbarer schwachaktiver Sekundärabfall an, der sich hauptsächlich aus Schutzkleidung, Putzlappen und Kontaminationsschutzfolie zusammensetzt.

Für die einzelnen Varianten wird folgende Anfallmenge an festem Sekundärabfall abgeschätzt:

Zentral-8	Dezentral-4	Dezentral-8
50 m ³	260 m ³	130 m ³

Das Wasser, das bei der Entwässerung, Trocknung und Dekontamination der Behälter bei der dezentralen Konditionierung anfällt, wird dem Beckenwasser zugeführt. Der Beitrag zum Abfallaufkommen wird als vernachlässigbar eingestuft.

Zusätzliche Abfälle bei der Brennelement-Zerlegung im Kernkraftwerk müssen erwartet werden. Ihre Art und Menge ist jedoch nicht verlässlich abzuschätzen. Weiterhin sind Abfälle aus der Instandhaltung/Wartung und Reparatur der zusätzlichen dezentralen Einrichtungen zu erwarten.

An der Konditionierungsanlage (Variante Zentral-8) fallen bei der Konditionierung von 550 tSM voraussichtlich folgende Abfälle an:

- ca. 150 m³ kompaktierte schwachaktive Abfälle, vorwiegend bestehend aus Schrott, Filtern, Putzmitteln und Schutzkleidung)
- ca. 180 m³ zementierte Konzentrate, vorwiegend bestehend aus Konzentraten von Dekontaminations- und Spülwässern

Am Zwischenlager und Endlager wird ein Anfall an Sekundärabfall nicht betrachtet.

An Stilllegungsabfällen sind entsprechend Abschnitt 4.2

bei der zentralen Konditionierung

- kontaminierte Gebäudeteile und 2-strängige Einrichtungen,

bei der dezentralen Konditionierung

- 20-fache Einrichtungen in bestehender Infrastruktur

miteinander zu vergleichen

Aus heutiger Erkenntnislage können bei Betrachtung des Aufkommens an radioaktivem Sekundärabfall keine Schlüsse gezogen werden, die deutliche Vorteile für eines der Konzepte erkennen lassen.

4.5 Personalqualifikation

Am Kernkraftwerk muß bei der POLLUX-Hantierung im Vergleich zur CASTOR-Hantierung zusätzlich qualifiziertes Personal für das Verschweißen des Sekundärdeckels und die Schweißnahtprüfung zur Verfügung stehen. Für die Variante POLLUX-8 sind zusätzlich Qualifikationen des Personals für die fernbediente Zerlegung der Brennelemente und das Kompaktieren der Strukturteile erforderlich.

An der Behälterhandhabung am Kernkraftwerk ist neben dem KKW-eigenen Personal das Personal der Transportunternehmen beteiligt. Bei den Varianten Dezentral-4 und Dezentral-8 wurde die jährliche Behälter-Hantierungszeit an einem Kernkraftwerk auf 13 bzw. 14 Wochen ausgedehnt sein. Um die Behälterabfertigung an allen 20 Kernkraftwerken abwickeln zu können ist bei den Transportunternehmen in erheblichem Umfang zusätzliches Personal erforderlich; auch wären bei den atomrechtlichen Aufsichtsbehörden und Gutachtern zusätzliche Kapazitäten zu schaffen.

Für den Betrieb der zentralen Konditionierungsanlage (Variante Zentral-8) werden ebenfalls Mitarbeiter mit auf den Arbeitsplatz abgestimmten Qualifikationen benötigt.

Am Zwischenlager und Endlager ergeben sich bei den einzelnen Varianten keine Unterschiede für die erforderliche Personalqualifikation, allenfalls geringe Unterschiede mit Bezug zum Personalbedarf.

Die erforderliche Personalkapazität für den Betrieb einer zentralen Konditionierungsanlage wird auf etwa 100 Mitarbeiter geschätzt. Für die dezentralen Varianten kann mindestens mit zusätzlich etwa 50 Mitarbeitern (Vollschichtbetrieb) pro 0,5 Jahre (bei externem Personal) und pro Kernkraftwerk gerechnet werden. D.h., es ist mindestens die 5-fache Personalkapazität für die dezentrale gegenüber der zentralen Konditionierungsalternative erforderlich.

5. INTERNATIONALE ENTWICKLUNGEN

Mit dem erklärten Ziel einer dezentralen Konditionierung abgebrannter Brennelemente im Kernkraftwerk für die anschließende Endlagerung sind keine Entwicklungen bekannt. Am ehesten kommen Arbeiten in den USA den hiesigen Überlegungen nahe, die ausgedienten Brennelemente platzsparend durch Zerlegen und dichte Packung (Verdichten) der Brennstäbe zu lagern. Zur Vervollständigung dieser Untersuchung ist nachstehend der derzeitige Kenntnisstand zusammengefaßt. Hierzu wurde die unter /8/ bis /15/ zitierte Literatur herangezogen.

In den USA sind im Rahmen von Entwicklungsprogrammen des U.S. Department of Energy mit den Betreibern und dem Electric Power Research Institute, Palo Alto (EPRI) Möglichkeiten der kompakteren Lagerung von Brennelementen untersucht worden.

Das EPRI arbeitet an der Entwicklung von neuen Lagersystemen für ausgediente Brennelemente am Kernkraftwerk und hat verschiedene Demonstrationsprojekte auf diesem Gebiet durchgeführt, so daß einige verbesserte Lagerungsmöglichkeiten prinzipiell zur Verfügung stehen.

Zwischen 1982 und 1989 bildete die Entwicklung und Erprobung solcher Techniken den Schwerpunkt des Programmes von EPRI.

Verdichtung ausgedienter Brennelemente

Eines der ersten EPRI-Programme hatte das Ziel, die Genehmigungsfähigkeit der Verdichtung ausgedienter Brennelemente zu demonstrieren sowie die erforderliche Hardware zu entwickeln und zu erproben. Gleichzeitig wurde nachgewiesen, daß das Lagerbecken für ausgediente Brennelemente in der Lage ist, das wachsende Gewicht an verdichteten Brennelementen sicher aufzunehmen.

Heiße Versuche wurden mit DWR-Brennelementen im Herbst 1987 im Becken für ausgediente Brennelemente in Millstone 2 durchgeführt. Als ein Ergebnis wurde eine Genehmigung zur Verdichtung und zum Lagern der verdichteten Brennelementen in Millstone 2 erreicht.

Weitere Ergebnisse des Projektes:

- Es kann ein 2:1 Verdichtungsverhältnis von Brennstäben erreicht werden.
- Der Prozeß soll jedoch verbessert werden, um die Hantierungszeiten zu verkürzen und den Einfluß auf den Kernkraftwerksbetrieb zu reduzieren.
- Die Einrichtungen zur Kompaktierung sollen weiter- bzw. neu entwickelt werden.

Lagerung in Metallbehältern (Trockenlagerung)

Die Lagerung von Brennelementen in Metallbehältern war Inhalt eines anderen frühen EPRI-Demonstrationsprogramms.

Aufgrund des Fortschritts, der in Europa mit der trockenen Lagerung in Metallbehältern gemacht wurde, wurden die Lagerung im Wasserbecken, die Trockenlagerung in Metallbehältern und andere Möglichkeiten miteinander verglichen und untersucht. Man kam zu dem Schluß, daß mit Metallbehältern am ehesten gewährleistet ist, den schnell steigenden Bedarf an zusätzlichen Brennelementlagerplätzen gerecht zu werden.

Wichtigste Ergebnisse dieses Projektes waren:

- Der Gebrauch von Metallagerbehältern ist eine relativ simple Technik, die eine minimale Behinderung des KKW-Betriebes darstellt.
- Die Strahlenbelastung des Personals bei der Behälterlagerung ist niedrig.

Das NUHOMs-Lager

Das dritte Gemeinschaftsprogramm beschäftigt sich mit der Entwicklung, Genehmigung und Erprobung von Lagereinheiten, bezeichnet als NUHOMS, die als eine preiswerte Technologie zur Trockenlagerung ausgedienter Brennstoffe von NUTECH entwickelt wurden.

Kennzeichnend für diese Lagerungstechnik ist die Platzierung einer verschweißten Metallbüchse in einem horizontal angeordneten Abschirmsilo.

Im April 1987 erreichte das Projekt eine NRC-Genehmigung zum Einsatz dieser Technologie. Die heiße Erprobung der NUHOMS-Technologie erfolgte 1989 mit drei Einheiten, die je eine versiegelte Büchse für 7 DWR-Brennelemente enthielten.

Für die Zukunft wird untersucht, ob die NUHOMS-Technologie auch auf größere, 24 DWR-Brennelemente fassende Büchsen anwendbar ist.

Die NUHOMS-Erprobung kann wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die Technologie erscheint für die Praxis geeignet.
- Das Verschweißen der Büchsen macht die größten Probleme u.a. auch bezüglich der Strahlenbelastung des Personals.
- Auch hier ist der betriebliche Einfluß auf den Reaktorbetrieb ein noch ungelöstes Problem.

Zukünftige Projekte

Das Programm des EPRI hat zum Ziel, genehmigungsfähige, kostengünstige Technologien zu entwickeln, die dem jeweiligen Bedarf an Lagerungskapazität angepaßt werden können.

In näherer Zukunft ist nicht damit zu rechnen, daß außer in Millstone 2 noch andernorts abgebrannte Brennelemente verdichtet werden.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Systemanalyse Mischkonzept im Rahmen des FuE-Programms Direkte Endlagerung des BMFT, Abschlußbericht Hauptband, KWA-2190A1, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (1989)
- /2/ Engelmann, H.-J., et al., "Planung der Tagesanlagen, "Technischer Anhang 1 zu /1/, KWA-5131 B5, (1989)
- /3/ Wildt, K.H., et al., "Planung der Grubengebäude", Technischer Anhang 2 zu /1/, KWA-5131 B5, (1989)
- /4/ Nickelmann, P., et al., "Einlagerung von Abfallgebinden", Technischer Anhang 3 zu /1/, KWA-5131 B5, (1989)
- /5/ Heidekorn, D., et al., "Strahlenschutz im Endlager", Technischer Anhang 4 zu /1/, KWA-5131 B5, (1989)
- /6/ FuE-Programm Direkte Endlagerung, AE Nr. 24, Halbjahresbericht 01.07.1989 - 31.12.1989, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (1990)
- /7/ FuE-Programm Direkte Endlagerung, AE Nr. 25, Jahresbericht 01.01.1990 - 31.12.1990, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (1991)
- /8/ Baker, G., et al., "Spent Fuel Storage Options", Nucleonics Week, Oct. 27, (1988)
- /9/ Maillet, J., "Recent Advances in Spent Fuel Consolidation Concepts", IAEA Technical Committee Meeting on Methods for Expanding Spent Fuel Storage Facilities, Wien, 12.-15. Juni, (1989)
- /10/ Moscardini, R.L., et al., "Fuel Consolidation Demonstration Program: Methods Development, Testing, and Design Analysis", EPRI NP-5945, PNL-6524, Interim Report, August (1988)
- /11/ Williams, R.F., et al., "EPRI helps utilities solve spent fuel storage problems", Nuclear Engineering International, Oktober (1991)
- /12/ Knoetgen, P.M., "BWR Fuel Consolidation", 8th Annual Institute of Nuclear Materials Management Spent Fuel Management Seminar, 16.-18. Januar, (1991)
- /13/ Isakson, R.A., "Northeast Utilities' Spent Fuel Consolidation Program", 8th Annual Institute of Nuclear Materials Management Spent Fuel Management Seminar, 16.-18. Januar, (1991)
- /14/ Lee, W.J., "Simplifying fuel rod consolidation", Nuclear Engineering International, September (1989)
- /15/ Clark, J.H., "The Prototypical Fuel Consolidation Equipment Demonstration Projekt (PCDP)" 8th Annual Institute of Nuclear Materials Management Spent Fuel Management Seminar, 16.-18. Januar, (1991)

7. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

		<u>Seite</u>
Abb. 1	Varianten der zentralen und dezentralen Konditionierung ausgedienter Brennelemente	2- 5
Abb. 2	Darstellung des CASTOR V/21: Transport- und Zwischenlagerbehälter	2- 7
Abb. 3	Darstellung des POLLUX: Endlagerbehälter	2- 9
Abb. 4	Einbauten oben: Korb für 4 DWR-Brennelementen (unzerlegt) Einbauten unten: Korb für Brennstäbe aus 8 DWR-Brennelementen (zerlegt) und Strukturteile	2-10
Abb. 5	Räumlichkeiten innerhalb des Sicherheits- behälters	3- 2
Abb. 6	Hantierungszeiten pro Behälter und Zyklus- zeiten pro Behälter am Kernkraftwerk	3-13
Abb. 7	Gesamthantierungszeiten (Zykluszeiten) pro Jahr an einem Kernkraftwerk	3-14
Abb. 8	Benötigte und vorhandene Zwischenlagerplätze	3-25
Abb. 9	Gesamthantierungsstunden pro Jahr	4- 1
Abb.10	Unterschiede im Bedarf an wesentlichen Einrichtungen für die Konditionierungs- varianten	4- 2

Anhang

Hantierungspläne: Mittlere Hantierungszeiten bei ungestörtem betrieblichen Ablauf

A Hantierungsplan für das Kernkraftwerk

Hantierungsschritt	Hantierungszeit in Stunden		
	Zen.-8	Dezen.-4	Dezen.-8
Eingangskontrolle	1,0	1,0	1,0
Krantransport	2,0	2,0	2,0
- Transport vom Waggon zum Halbportalgerüst			
Stoßdämpfer-Demontage	1,0	1,0	1,0
Einschleusen	1,0	1,0	1,0
Vorbereiten zum Beladen	15,0	15,0	15,0
- Behälter aufrichten	(2,0)	(2,0)	(2,0)
- Behälterdichtheitsprüfung	(2,0)	(2,0)	(2,0)
- Sekundärdeckel abnehmen	(1,0)	(1,0)	(1,0)
- Behälter mit Kontaminationschutzfolie verkleben	(4,0)	(4,0)	(4,0)
- Metallisches Kontaminationschutzhemd anbringen und mit Deionat füllen	(3,0)	(3,0)	(3,0)
- Behälter mit Deionat füllen	(2,0)	(2,0)	(2,0)
- Primärdeckel abnehmen	(1,0)	(1,0)	(1,0)
Konditionieren			33 Stunden /POLLUX ¹⁾
<u>Vorbereiten zum Zerlegen</u>			
- Transport der Brennelemente zur Zerlegeeinrichtung			
<u>Zerlegen</u>			
- BE-Kopf abtrennen			
- Brennstäbe ziehen, verdichten			
- Brennstäbe in Büchsen schieben			
<u>Pressen</u>			
- Strukturteile zur Presse transportieren			
- Kompaktieren			
- Preßlinge in Korb füllen			
Beladen	18,0 ²⁾	12,0 ²⁾	12,0 ²⁾
- Transport des Behälters und Absenken ins Behälterbecken	(2,0)	(2,0)	(2,0)
- Dummyprüfung	(2,0)	(2,0)	(2,0)
- CASTOR mit 21 BE beladen	(13,0)	---	---
- POLLUX-4 mit 4 BE beladen	---	(7,0)	---
- POLLUX-8 mit 4 Büchsen und 1 Korb beladen	---	---	(7,0)
- Primärdeckel aufsetzen	(1,0)	(1,0)	(1,0)

Hantierungsschritt	Hantierungszeit in Stunden		
	Zen.-8	Dezen.-4	Dezen.-8
Vorbereiten zum Ausschleusen	46,0	78,0	108,0
- Transport des Behälters zur Abstellposition	(2,0)	(2,0)	(2,0)
- Primärdeckel verschrauben	(1,0)	(1,0)	(1,0)
- Deckeldichtheitsprüfungen	(3,0)	(3,0)	(3,0)
- Behälter und MKS entwässern	(4,0)	(4,0)	(4,0)
- Vakuumtrocknung	(30,0) ³⁾	(30,0) ³⁾	(60,0) ³⁾
- POLLUX mit Helium füllen	---	(1,0)	(1,0)
- Dichtheitsprüfung POLLUX	---	(3,0)	(3,0)
- Sekundärdeckel montieren	(1,0)	---	---
- Sekundärdeckel verschweißen	---	(32,0) ⁴⁾	(32,0) ⁴⁾
- Dichtheitsprüfung CASTOR	(3,0)	---	---
- Ablegen des Behälters auf dem Schleusenwagen	(2,0)	(2,0)	(2,0)
Ausschleusen	1,0	1,0	1,0
Stoßdämpfer-Montage	1,0	1,0	1,0
Krantransport	2,0	2,0	2,0
- Transport vom Halbportalgerüst zum Waggon			
Ausgangskontrolle	1,0	1,0	1,0
Gesamt	89,0	115,0	178,0

B Hantierungsplan für das Zwischenlager

Hantierungsschritt	Hantierungszeit in Stunden		
	Zen.-8	Dezen.-4	Dezen.-8
Eingangskontrolle	1,0	1,0	1,0
Stoßdämpfer-Demontage	1,0	1,0	1,0
Krantransport - Transport vom Waggon/LKW zum Wartungsbereich	1,0	1,0	1,0
Vorbereiten zum Einlagern - Dichtheitsprüfung CASTOR - Einsetzen eines Druckmeß- gerätes	3,0 (2,0) (1,0)	---	---
Einlagern - Transport zum Lagerbereich - Anschließen des Meßgerätes	1,5 (1,0) (0,5)	1,0 (1,0) ---	1,0 (1,0) ---
Auslagern - Abtrennen des Meßgerätes - Transport zum Wartungsbereich	1,5 (0,5) (1,0)	1,0 --- (1,0)	1,0 --- (1,0)
Vorbereiten zum Abtransport - Herausnehmen des Meßgerätes - Behälterdichtheitsprüfung	3,0 (1,0) (2,0)	---	---
Krantransport - Transport vom Wartungsbereich zum Waggon/LKW	1,0	1,0	1,0
Stoßdämpfer-Montage	1,0	1,0	1,0
Ausgangskontrolle	1,0	1,0	1,0
Gesamt	15,0	8,0	8,0

C Hantierungspläne für die Konditionierungsanlage

Hantierungsschritt	Hantierungszeit in Stunden		
	Zen.-8	Dezen.-4	Dezen.-8
<u>CASTOR-Hantierung</u>			
Eingangskontrolle	1,0	---	---
Stoßdämpfer-Demontage	1,0	---	---
Krantransport	1,0	---	---
- Transport vom Waggon/LKW zum Arbeitsplatz			
Vorbereiten zum Einschleusen	3,0	---	---
- Behälterdichtheitsprüfung	(2,0)		
- Sekundärdeckel demontieren	(1,0)		
Einschleusen	2,0	---	---
- Behälter in Hängewagen setzen	(1,0)		
- Andockring montieren	(0,5)		
- Einschleusen mit Hängewagen	(0,5)		
Vorbereiten zum Entladen	4,0	---	---
- CASTOR-Innenraum mit Luft spülen	(1,5)		
- Primärdeckelschrauben lösen	(1,0)		
- Behälter andocken	(0,5)		
- Primärdeckel abnehmen	(1,0)		
Entladen	3,5	---	---
- Schürze einhängen	(0,5)		
- Brennelemente ins Pufferlager transportieren	(3,0)		
Vorbereiten zum Ausschleusen	4,0	---	---
- Primärdeckel auflegen	(0,5)		
- Behälter abdocken	(0,5)		
- Primärdeckelschrauben anziehen	(1,0)		
- Behälterdichtheitsprüfung	(2,0)		
Ausschleusen	2,0	---	---
- Ausschleusen mit Hängewagen	(0,5)		
- Andockring abmontieren	(0,5)		
- Behälter aus Hängewagen heben	(1,0)		
Vorbereiten zum Abtransport	3,5	---	---
- Sekundärdeckel montieren	(1,0)		
- Versandvorbereitung	(2,5)		
Krantransport	1,0	---	---
- Transport vom Arbeitsplatz zum Waggon/LKW			

Hantierungsschritt	Hantierungszeit in Stunden		
	Zen.-8	Dezen.-4	Dezen.-8
Stoßdämpfer-Montage	1,0	---	---
Ausgangskontrolle	1,0	---	---
Gesamt CASTOR	28,0	---	---
<u>POLLUX-Hantierung</u>			
Eingangskontrolle	1,0	---	---
Stoßdämpfer-Demontage	1,0	---	---
Krantransport - Transport vom Waggon/LKW zum Arbeitsplatz	1,0	---	---
Einschleusen - Behälter in Hängewagen einsetzen - Andockring montieren - Einschleusen mit Hängewagen	2,0 (1,0) (0,5) (0,5)	---	---
Vorbereiten zum Beladen - Primärdeckelschrauben lösen - Behälter andocken - Primärdeckel abnehmen - Büchsen und Korb ins Pufferlager stellen	3,5 (1,0) (0,5) (1,0) (1,0)	---	---
Konditionieren - 8 BE	33 Stunden /POLLUX 1)	---	---
<u>Vorbereiten z. Zerlegen</u> (35 min/BE) - BE in Transportwagen stellen - Transport zur Zerlegezelle - BE auf Zerlegetisch ablegen			
<u>Zerlegen</u> (95 min/BE) - BE-Kopf abtrennen - Brennstäbe ziehen und in Trog füllen - Brennstäbe verdichten - Büchse und Trog andocken - Brennstäbe in Büchse schieben - Büchse und Trog abdocken - Büchse ins Pufferlager stellen			

Hantierungsschritt	Hantierungszeit in Stunden		
	Zen.-8	Dezen.-4	Dezen.-8
Pressen (205 min/BE) - Strukturteile zur Presse bringen - Kompaktieren - Preßlinge in Übergabeschacht füllen - Korb u. Übergabeschacht andocken - Preßlinge in Korb schieben - Korb u. Übergabeschacht abdocken - Korb ins Pufferlager stellen			
Beladen - 8 BE - Schürze einhängen - Büchsen und Korb in POLLUX stellen	1,5 (0,5) (1,0)	---	---
Vorbereiten zum Ausschleusen - Primärdeckel auflegen - Behälter abdocken - Primärdeckelschrauben anziehen - Behälter mit Helium füllen - Behälterdichtheitsprüfung	4,5 (0,5) (0,5) (1,0) (0,5) (2,0)	---	---
Ausschleusen - Ausschleusen mit Hängewagen - Andockring abmontieren - Behälter aus Hängewagen heben	2,0 (0,5) (0,5) (1,0)	---	---
Vorbereiten zum Abtransport - Sekundärdeckel verschweißen - Versandvorbereitung	30,0 (25,0) ⁴⁾ (5,0)	---	---
Krantransport - Transport vom Arbeitsplatz zum Waggon/LKW	1,0	---	---
Stoßdämpfer-Montage	1,0	---	---
Ausgangskontrolle	1,0	---	---
Gesamt POLLUX	82,5		
Gesamt CASTOR + POLLUX	110,5	---	---

D Hantierungspläne für das Endlager

Hantierungsschritt	Hantierungszeit in Stunden		
	Zen.-8	Dezen.-4	Dezen.-8
Eingangskontrolle	1,0	1,0	1,0
Stoßdämpfer-Demontage	1,0	1,0	1,0
Krantransport - Umsetzen vom Waggon/LKW auf innerbetrieblichen Plateauwagen	1,0	1,0	1,0
Einlagern - Schachttransport unter Tage - Transport zur Einlagerungs- strecke - Ablegen des Gebindes - Rückbau und Versatz	4,0 (1,0) (1,0) (0,5) (1,5)	4,0 (1,0) (1,0) (0,5) (1,5)	4,0 (1,0) (1,0) (0,5) (1,5)
Rückführen des Plateauwagens	2,0	2,0	2,0
Gesamt	<u>9,0</u>	<u>9,0</u>	<u>9,0</u>

Anmerkungen:

- 1) Die Zeiten sind unter Berücksichtigung parallel ablaufender Arbeitsschritte für das Zerlegen und das Pressen ermittelt
- 2) Die reinen Beladezeiten sind wegen der größeren Zahl an Hantierungen beim CASTOR größer als beim POLLUX
- 3) Die Trocknungszeit verdoppelt sich für dichtgepackte Brennstäbe und kompaktierte Strukturteile bei der POLLUX-8-Variante gegenüber der einfachen Brennelementverpackung im POLLUX-4
- 4) Für das Verschweißen des Sekundärdeckels des POLLUX im Kernkraftwerk ist ein höherer Zeitbedarf angesetzt als bei der Konditionierungsanlage:
Die alljährliche Reinstallation bzw. Rüstzeit für die Schweißstation ist beim KKW hinzugerechnet.