

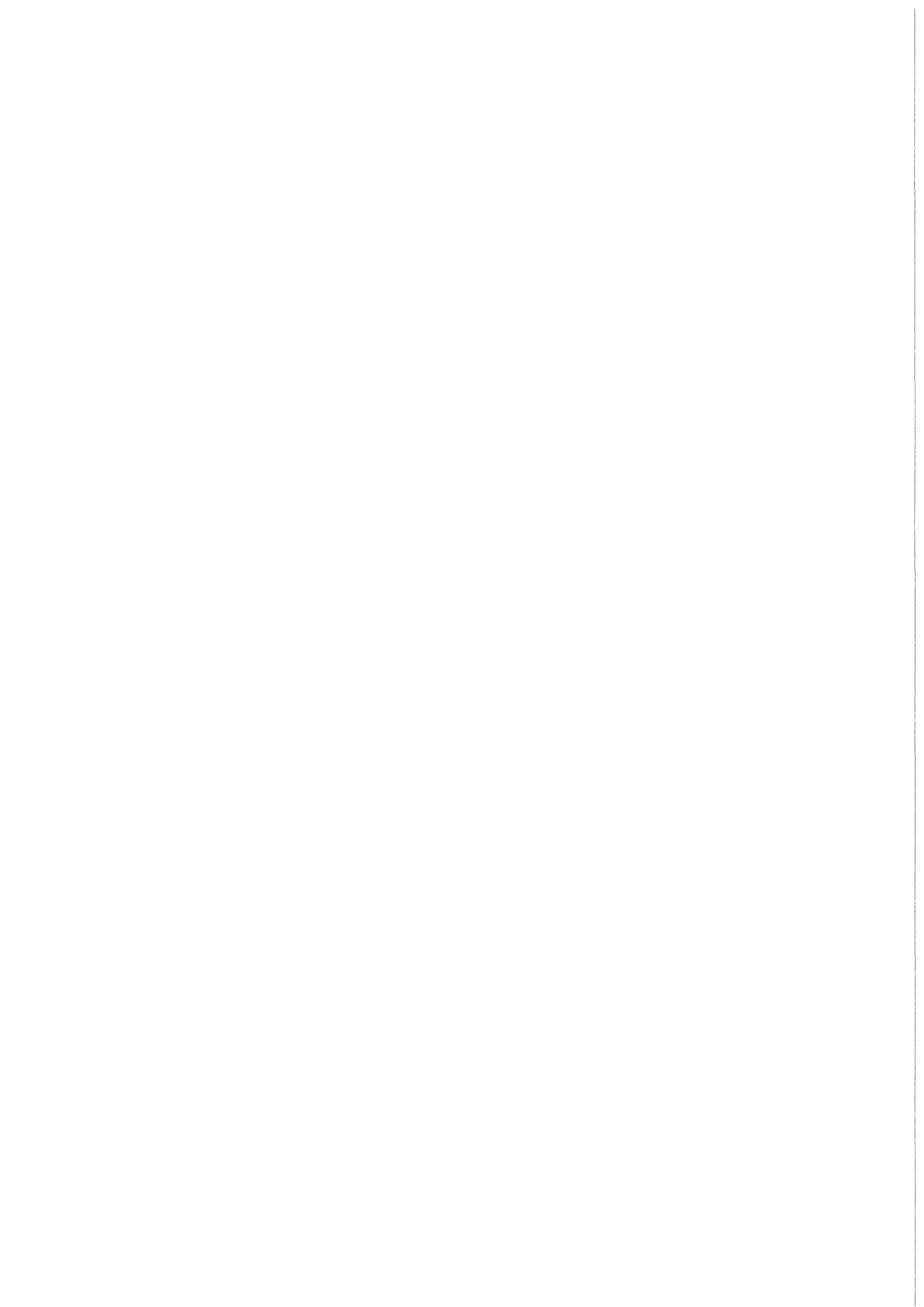
KfK 3947  
September 1985

# **Versuche zur Konditionierung von Brennelementhülsen und Strukturteilen durch Kaltpressen**

**Ein alternatives Konzept zum Zementieren  
von Hülsen**

**W. Bähr, S. Kunze  
Institut für Nukleare Entsorgungstechnik  
Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



K E R N F O R S C H U N G S Z E N T R U M   K A R L S R U H E

Institut für Nukleare Entsorgungstechnik  
Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung

KfK 3947

PWA 47/85

Versuche zur Konditionierung von Brennelementhülsen und Strukturteilen  
durch Kaltpressen

(Ein alternatives Konzept zum Zementieren von Hülsen)

von

W. Bähr, S. Kunze

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Jährliches Aufkommen an Brennelementhülsen und Strukturteilen in einer Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Durchsatz von 350 t Schwermetall	
3. Behandlung und Konditionierung von Brennelementhülsen und Strukturteilen	2
3.1 Bisherige Verfahrensweise in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)	
3.2 Praktiken in anderen Ländern	3
3.3 Referenzverfahren WA Wackersdorf	
4. Alternatives Konditionierungsverfahren für Brennelementhülsen und Strukturteile	4
4.1 Experimentelle Ergebnisse	5
4.1.1 Beschreibung des Preßautomaten	
4.1.2 Verpressen von BE-Hülsen mit einer Bleiummantelung	7
4.1.2.1 Durchführung der Versuche	
4.1.2.2 Versuchsergebnisse	10
4.1.3 Verpressen von BE-Hülsen in vorgefertigten Stahl- bzw. Bleibehältern	14
4.1.3.1 Durchführung der Versuche	
4.1.3.2 Versuchsergebnisse	
4.1.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	23
4.2 Vorschlag für die verfahrenstechnische Auslegung einer Anlage zum Kaltpressen von Brennelementhülsen und Strukturteilen	24
4.2.1 Sicherheitstechnische Auslegungsmerkmale	30
4.2.2 Notwendige Einrichtungen und Instandhaltungskonzept	
4.2.3 Wirtschaftliche Betrachtungen	31
4.3 Volumen und Aktivitätsinventar der endzulagernden gepreßten Hülsensprodukte	32
4.4 Qualität der endzulagernden Gebinde	33
4.4.1 Das Auslaugverhalten von Zircaloy-Hülsen	34
4.4.2 Das Korrosionsverhalten von Behältermaterialien	36
5. Endlagerung der Hülsengebinde	36
6. Literaturverzeichnis	39

## Zusammenfassung

In dem vorliegenden Bericht wird über ein alternatives Konditionierungsverfahren von Brennelementhülsen und Strukturteilen durch Kaltpressen berichtet. Zunächst werden kurz alle Verfahren zur Behandlung und Konditionierung von Brennelementhülsen und Strukturteilen beschrieben, die in Wiederaufarbeitungsanlagen in Deutschland und anderen Ländern zur Zeit zur Anwendung kommen.

An einem halbtechnischen Preßautomaten konnte inaktiv die technische Durchführbarkeit des Kaltpressens demonstriert und bei einem Druck von 160 MPa eine Volumenreduktion um den Faktor 5 nachgewiesen werden. Es wurden zwei Verfahrensvarianten untersucht:

- Herstellen von Preßlingen durch einmaliges Zusammenpressen eines mit Hülsen befüllten, dünnwandigen Blei- bzw. Zinninnenbehälters oder
- Herstellen von Preßlingen durch abwechselndes Befüllen und Zusammenpressen von Hülsen in einem Stahlbehälter.

Der verfahrenstechnische Ablauf des Kaltpressens von Brennelementhülsen und Strukturteilen wird beschrieben. Die wichtigsten Kenndaten über Mengenströme von DWR- und SWR-Brennelementen werden angegeben sowie Volumen und Aktivitätsgehalte mit Zement verfestigter Hülsen im Vergleich mit durch Kaltpressen konditionierter Hülsen gegenübergestellt.

Erste Angaben erfolgen über das Korrosionsverhalten der endzulagernden Gebinde. Ein Vorschlag zur Endlagerung der Hülsengebinde wird zur Diskussion gestellt.

Die technische Demonstration des Kaltpressens ohne Weichmetallzugabe bis zu Drücken von 400 MPa wird von der Abteilung Ingenieurtechnik des KfK untersucht sowie ein erstes Konzept für den Heißzellen-Betrieb.

## Abstract

Investigations of conditioning of fuel element hulls and structural parts by means of cold pressing

(An alternative concept on conditioning of hulls in concrete)

---

This report contains an outline of an alternative method of conditioning of fuel element hulls and structural parts by means of cold pressing. Initially, a brief account is given of all methods existing for the treatment and conditioning of fuel element hulls and structural parts at present in use in reprocessing plants in Germany and other countries.

A semi-technical scale automatic pressing machine was used to demonstrate, under non-radioactive conditions, the technical feasibility of cold pressing and proved to achieve a volume reduction by a factor of 5 at a pressure of 160 MPa. Two variants of the process were investigated:

- Production of compacts by compressing, in one step, a thin-walled inner container of lead and tin, respectively, filled with hulls, or
- production of compacts by alternate filling and pressing of hulls in a steel container.

The technical process of cold pressing of fuel element hulls and structural parts is described. The most important data of the quantities of PWR and BWR fuel elements are indicated and the volumes and radioactivity contents of hulls solidified with cement are contrasted with the corresponding data of hulls conditioned by cold pressing.

Some preliminary information is presented on the corrosion behaviour of the barrels to be put into repository. A proposal on the repository storage of barrels containing hulls is put up for discussion.

The technical demonstration of cold pressing without the addition of soft metal up to pressures of 400 MPa is being studied by the Engineering Department of KfK together with a first concept of operation in hot cells.

## Konditionierung von Brennelementen und Strukturteilen

### 1. Einleitung

Bei der Wiederaufarbeitung von bestrahlten Kernbrennstoffen werden die Brennelemente nach der mechanischen Zerlegung in Stücke zerschnitten und danach die Kernbrennstoffe mit den Spaltprodukten zusammen in Salpetersäure gelöst. Die verbleibenden Hülsen und Strukturmaterialien, die infolge von Neutronenaktivierung und Kontamination stark radioaktiv sind, müssen in eine Endlager-gerechte Gebindeform überführt werden, die sowohl beim Transport zum Endlager als auch bei der Einlagerung ins Endlager nach sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Kriterien optimiert wurde.

### 2. Jährliches Aufkommen an Brennelementhülsen und Strukturteilen in einer Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Durchsatz von 350 t Schwermetall

In der geplanten Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf sollen Brennelemente, die zu etwa 70% aus Druckwasserreaktoren und zu etwa 30% aus Siedewasserreaktoren stammen, wiederaufgearbeitet werden.

Bei einem mittleren Durchsatz von 350 t Schwermetall pro Jahr werden etwa 567 t Brennelemente aufgearbeitet, wobei ca. 128 t Hülsen- und Strukturteile (H+S) sowie etwa 16,5 t Kopf- und Fußstücke (K+F) zur Konditionierung gelangen. Die Mengenströme sind in Tabelle 1 zusammengestellt.



Tabelle 1: Mengenströme von DWR- und SWR-Brennelementen einer Wiederaufarbeitungsanlage mit 350 t Durchsatz

	DWR /1/	SWR /1/
Anteil an BE	70%	30%
<u>Gewicht eines BE</u>	0,831 t	0,323 t
Gewicht H+S	0,198 t	0,059 t
Gewicht K+F	0,028 t	0,006 t
Gewicht UO <sub>2</sub>	0,604 t	0,209 t
Gewicht U	0,533 t	0,185 t
Gesamtanzahl an BE/a	460	568
Gesamtgewicht BE/a	383 t	184 t
Gesamtgewicht H+S/a	91 t	38 t
Gesamtgewicht K+F/a	13 t	3,5 t
Gesamtvolumen H+S/a *)	95 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>
Gesamtvolumen K+F/a	11 m <sup>3</sup>	3 m <sup>3</sup>
Gesamtgewicht UO <sub>2</sub> /a	278 t	119 t
Gesamtgewicht U/a	245 t	105 t

\*) angenommene Schüttdichte Zircaloy-Hülsen + Strukturteile 0,95 t/m<sup>3</sup>

### 3. Behandlung und Konditionierung der Brennelementhülsen und Strukturteile

#### 3.1 Bisherige Verfahrensweise in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)

In der WAK werden die Kopf- und Fußstücke von den Brennelementen abgetrennt und die Brennstäbe einzeln mit einer Stabschere in 50 mm lange Abschnitte zerschnitten. Nach der Auflösung des Brennstoffes werden die ausgelaugten Hülsen zusammen mit den Kopf- und Fußstücken in 170 l Stahlfässer verpackt und zunächst für die Zwischenlagerung mit Wasser gefüllt. Die Konditionierung erfolgt erst dann, wenn mehrere Fässer so vorbereitet sind. Nachdem das Wasser aus den Behältern abgepumpt ist, werden die Hülsen und andere Brennelementkomponenten mit dünnflüssigem Zementbrei übergossen und gänzlich verfüllt. Nach dem Abbinden des Zements werden die zementierten Innenbehälter in 200 l-Rollreifensäcke eingesetzt und in einem Lager für mittelaktive Abfälle zwischengelagert /2/.

### 3.2 Praktiken in anderen Ländern

In der französischen Wiederaufarbeitungsanlage in Cap La Hague werden die Zircaloy-Hülsen, Kopf- und Fußstücke sowie andere Brennelementteile aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen aus Leichtwasserreaktoren in einem mit Wasser gefüllten und mit Edelstahl ausgekleideten Betonsilo gelagert. Das Fassungsvermögen dieses Silos beträgt 1500 m<sup>3</sup>. In ihm lagern Brennelementteile aus der Wiederaufarbeitung von etwa 900 t/SM. Das Silo ist für die Rückholung dieser Teile ausgerüstet. In Sellafield, UK wird bei der Lagerung von Zircaloy-Hülsen ähnlich vorgegangen. In Mol, Belgien werden Zircaloy-Hülsen unter Wasser in verschlossenen, mit Wasser gefüllten Edelstahlbehältern gelagert, während in Tokai Mura, Japan die Zircaloy-Hülsen und Strukturteile getrennt aber auf sonst ähnliche Weise gelagert werden.

In den USA wird in Wiederaufarbeitungsanlagen für militärische Zwecke, wie Hanford, Savannah-River und Idaho, das Hülsenmaterial fast ausschließlich chemisch aufgelöst und die Lösung meistens zusammen mit dem HAWC in flüssiger Form gelagert.

Lediglich Nuclear Fuels Services Plant in West Valley hat in den 6 Betriebsjahren seiner Aufarbeitung von Kernbrennstoff aus Leistungsreaktoren die angefallenen Zircaloy-Hülsen in Metallbehälter von etwa 60 l abgefüllt, ohne Fixierung in 120 l fassende Abfallfässer eingesetzt und in 15 m tiefe Gruben vergraben.

### 3.3 Referenzverfahren WA-Wackersdorf

In der WA-Wackersdorf sollen ähnlich wie in der WAK eine bestimmte Menge an Brennelementhülsen, Strukturteilen und Endstücken in 330 l-Fässer eingebracht werden. Die so vorbereiteten Innenfässer werden anschließend der Zementierung zugeführt /3/.

Der in einem Durchlaufmischer hergestellte Zementmörtel wird in die mit Hülsen, Strukturteilen und Endstücken gefüllten Innenfässer gepumpt. Das Übergießen des Konditionierungsgutes mit Zementmörtel erfolgt auf einem Rütteltisch, um ein lückenloses Verfüllen der Hohlräume zu gewährlei-

sten. Danach wird das 330 l-Innenfaß über eine Doppeldeckelschleuse in ein 400 l-Rollreifenfaß eingesetzt und verschlossen. Die Endlagerung der so konditionierten Hülsenfässer erfolgt in Bohrlöchern eines Salzbergwerkes.

Auf der Basis dieser Verfahrensweise ist bei einer Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Durchsatz von 350 t Schwermetall mit etwa 450 Endlagergebunden mit einem Gesamtvolumen von rund 230 m<sup>3</sup> pro Jahr zu rechnen.

In Tabelle 2 sind die wesentlichen Merkmale von zementierten Hülsen- und Strukturteilen zusammengestellt.

Volumenstrom	l/Faß	330
Dichte	kg/l	1
Abfall	kg/Faß	330
Alphaaktivität (Aktiniden)	Bq/Geb.	1,6 E+12
Betaaktivität (Spaltprodukte)	Bq/Geb.	6,5 E+13
Betaaktivität (Spalt- und Aktivierungsprodukte)	Bq/Geb.	3,6 E+14
Pu-Gehalt	g/Faß	36
U-Gehalt	g/Faß	3680
Wärmeleistung	W/Faß	85

Tabelle 2: Charakterisierung von Endlagergebunden mit zementierten Hülsen- und Strukturteilen

#### 4. Alternatives Konditionierungsverfahren für Brennelementhülsen und Strukturteile

Ziel eines alternativen Verfahrens zur Behandlung und Konditionierung von Brennelementhülsen und Strukturteilen ist

- eine möglichst hohe Volumenreduktion verbunden damit
- eine Verringerung des Transportaufkommens
- eine Einsparung an Bohrlochkapazität im Endlager und schließlich
- eine Verbesserung der Eigenschaften der Endlagergebinde.

Im Gegensatz zum Referenzverfahren sollen bei dem hier vorgestellten alternativen Verfahren die mit Spaltprodukten und Aktiniden kontaminierten, tritiumhaltigen Hülsen und Strukturteile aus Zircaloy, separat von den abgetrennten aus Edelstahl bestehenden Kopf- und Fußstücken konditioniert werden. Die Hülsen- und Strukturteile sollen bei hohen Drucken gepreßt, die Preßlinge in ein stabiles, dickwandiges Behältnis eingesetzt und - ohne zusätzliche Verfestigungsmatrix - nach Verschweißen des Behälters in das Endlager abgegeben werden /4/.

Die sperrigen Kopf- und Fußstücke aus Edelstahl, deren Anteil an der Gesamtwärmeleistung von BE-Komponenten nur noch etwa 15% beträgt und die weder Tritium enthalten noch mit Spaltprodukten oder Kernbrennstoffen kontaminiert sind, können entweder zusammen mit anderem Edelstahlschrott durch Schmelzen in ihrem Volumen eingeeengt, oder aber wie andere aktivierte Reaktorkomponenten konditioniert werden.

#### 4.1 Experimentelle Ergebnisse

##### 4.1.1 Beschreibung des Preßautomaten

Für die Preßversuche wurde ein Preßautomat (Abb. 1) verwendet, der aus folgenden Hauptteilen zusammengesetzt ist:

- Pressenteil mit Ölstromverteilterventilen,
- mechanische Stempelwegverstellungen und elektrisches Steuerpult,
- Fülleinrichtung mit Zufuhr und Dosieraggregaten,
- Elektroschaltschrank zur Aufnahme der elektrischen Schaltelemente für die verschiedenen Arbeitsprogramme,
- Hochleistungspumpe mit Leistungsregler, Ölbehälter, Ölfilter und den Öldruckeinstellventilen.

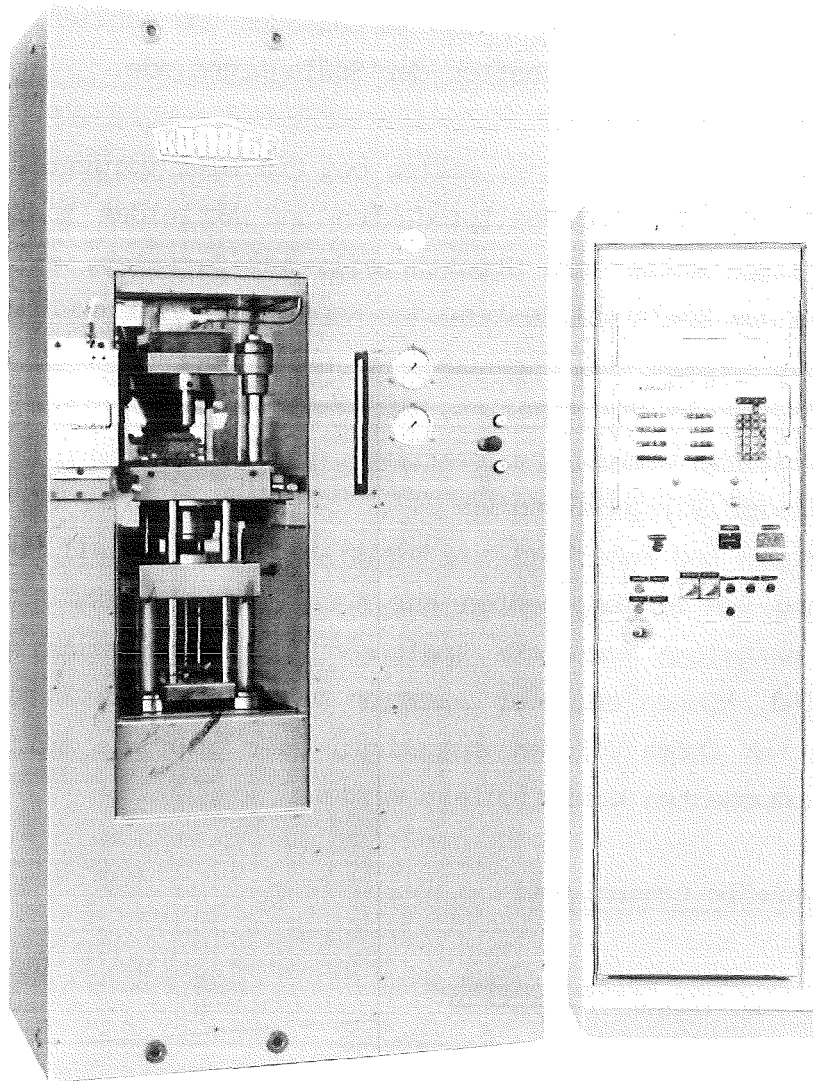


Abb. 1: Komage Preßautomat, S-Serie

Durch die verschiedenen vorwählbaren Arbeitsprogramme kann der Preßautomat genau auf die geforderten Stempelhübe, Stempelgeschwindigkeiten, Druckverläufe, Füll- und Abnahmebewegungen eingestellt werden.

Es können folgende Preßprogramme (Abb. 2) ausgeführt werden:

- einseitiges Pressen von oben
- einseitiges Pressen von unten
- doppelseitiges Pressen gleichmäßig und gleichzeitig
- doppelseitiges Pressen ungleichmäßig und nacheinander.

#### 4.1.2 Verpressen von BE-Hülsen mit einer Bleiummantelung (hergestellt aus Bleispänen)

##### 4.1.2.1 Durchführung der Versuche

Mittels der unter 4.1.1 beschriebenen Preßprogramme wurden aus Bleispänen vorgepreßte Behälter (Abb. 3) hergestellt. Mit diesen vorgepreßten Behältern wurden zwei Versuchsvarianten durchgeführt:

- über eine Fülleinrichtung wurden unkompaktierte BE-Hülsen in die vorgepreßten Behälter eingefüllt und bis 30 MPa zusammengepreßt, anschließend entspannt und der noch freie Raum im Behälter wieder mit BE-Hülsen gefüllt und zusammengepreßt, bis die gewünschte Füllhöhe erreicht war.
- bis zu 150 MPa vorgepreßte BE-Hülsen wurden in einen Drahtkorb gefüllt und in einen vorgepreßten Behälter eingesetzt.

In beiden Fällen wurde der noch freie Behälterraum mit Bleispänen gefüllt und anschließend auf den Enddruck von 150 MPa zusammengepreßt.

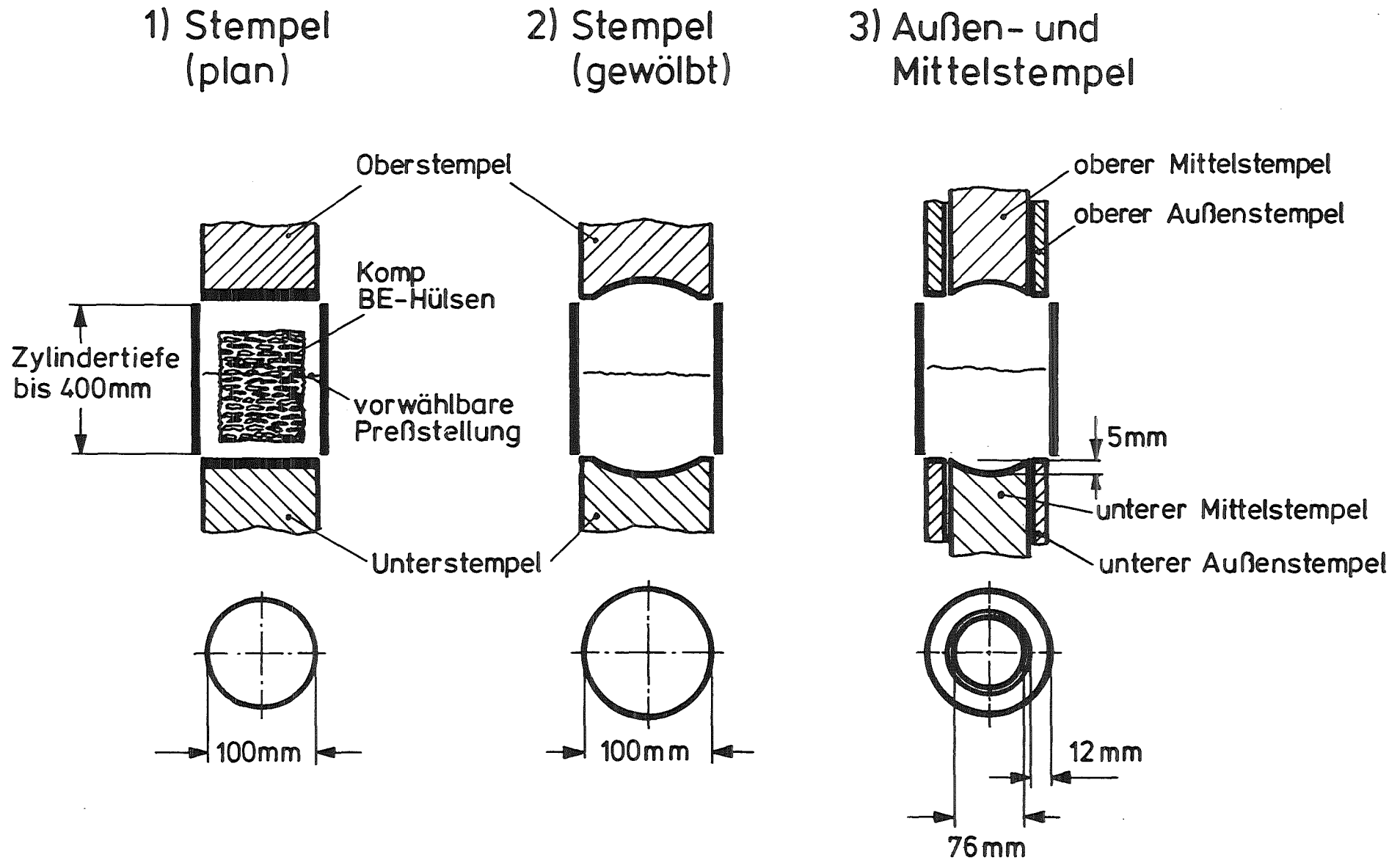


Abb. 2: Formen der Preßstempel für den Komage Preßautomaten S-Serie

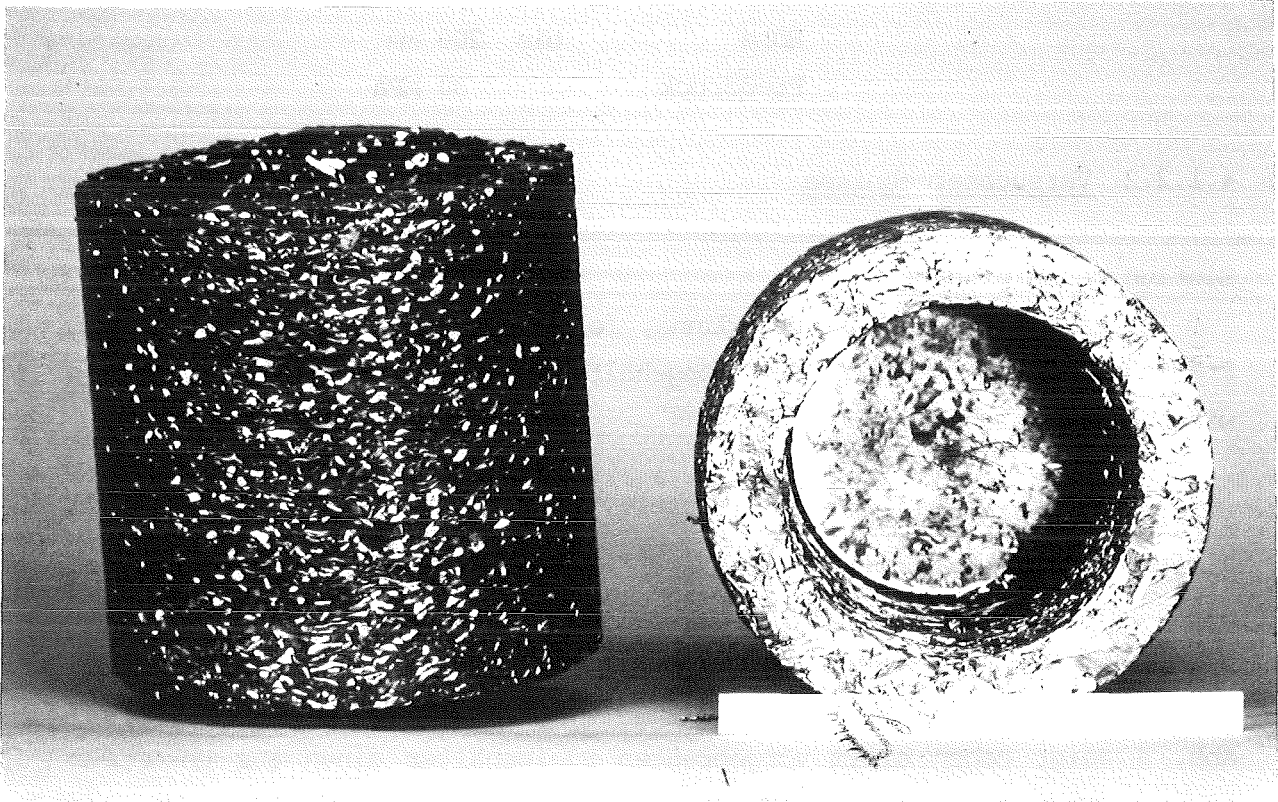


Abb. 3: Vorgepreßte Bleibehälter aus Bleispänen, Preßdruck 30 MPa



Für die Preßversuche wurden Abfallspäne vom Fräsen, Hobeln bzw. Drehen bis zu 4 Gew.-% Antimongehalt verwendet.

Vorgepreßte Bleibehälter:	Außendurchmesser	100 mm
	Wandstärke	15 mm
	Höhe	bis 200 mm
	Preßdruck	30 MPa

#### 4.1.2.2 Versuchsergebnisse

##### Einfluß der Bleispäne

Zum Verpressen sind am besten dünne, folienartige Abfallspäne, die beim Fräsen anfallen, geeignet. Antimongehalte bis 4 Gew.-% in den Bleispänen wirkten sich nicht negativ aus.

##### Einfluß des Preßdruckes

Rißfreie Preßlinge konnten praktisch nicht hergestellt werden, obwohl die Verdichtung von kompaktierten Hülsen in vorgepreßten Bleibehältern bis zu 150 MPa vorgenommen wurde.

Abb. 4 zeigt neben einem vorgepreßten Bleibehälter einen aus unkompaktierten BE-Hülsen unter 66 MPa Enddruck hergestellten Preßling. Die erreichte Dichte liegt bei 40% der theoretischen und die erzielte Volumenreduktion bei 3,1.

Abb. 5 zeigt einen Schnitt durch einen Preßling, der bei 130 MPa Enddruck hergestellt wurde. Dieser Preßling enthält einen Drahtkorb, der mit kompaktierten BE-Hülsen (ebenfalls 130 MPa) gefüllt wurde. Die erreichte Dichte liegt bei 56% der theoretischen und die erzielte Volumenreduktion bei 4,4.

Tabelle 3 zeigt den Einfluß von Preßdruck sowie Größe der Preßlinge auf das Volumenverhältnis.

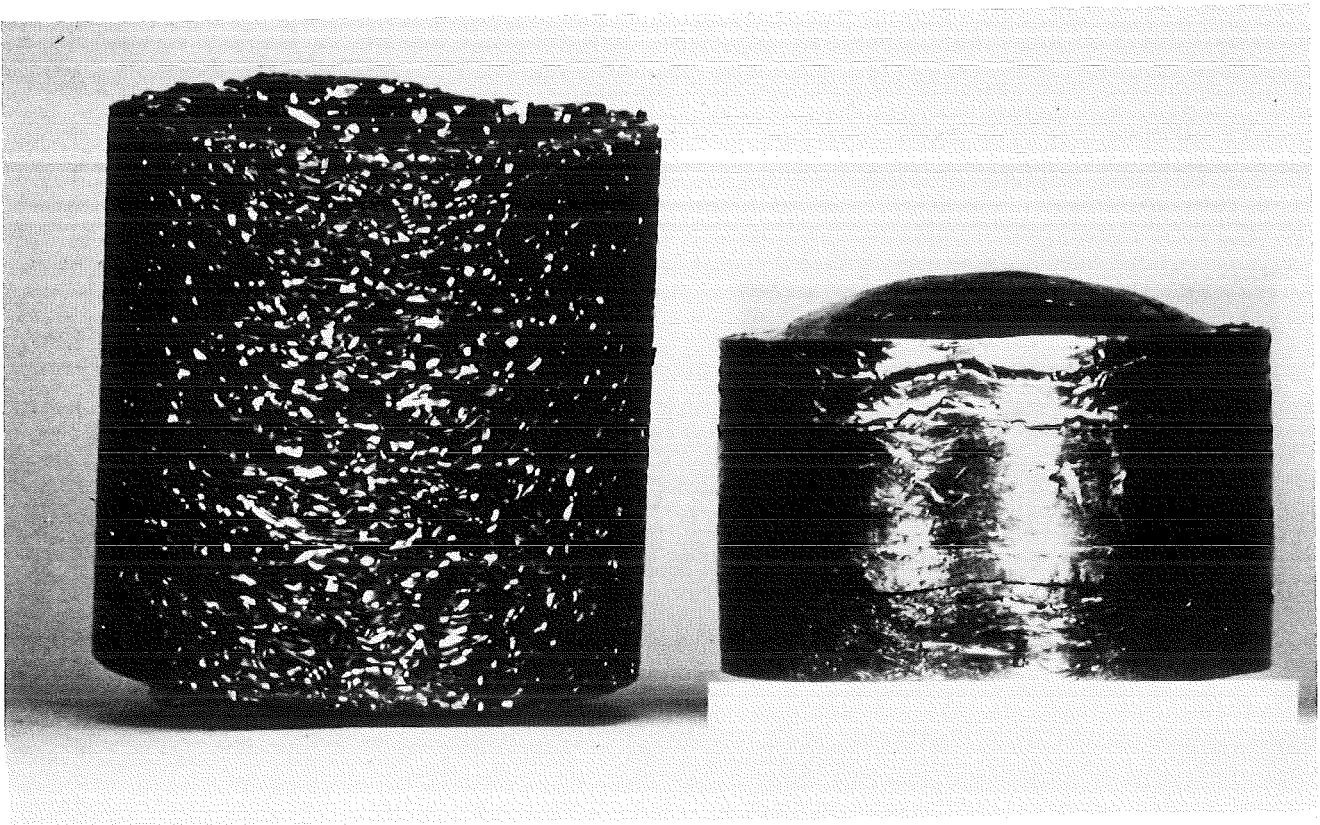


Abb. 4: Größenvergleich von vorgepreßten Bleibehältern (Preßdruck 30 MPa) mit BE-Hülsen gefültem Preßling (Preßdruck 66 MPa)

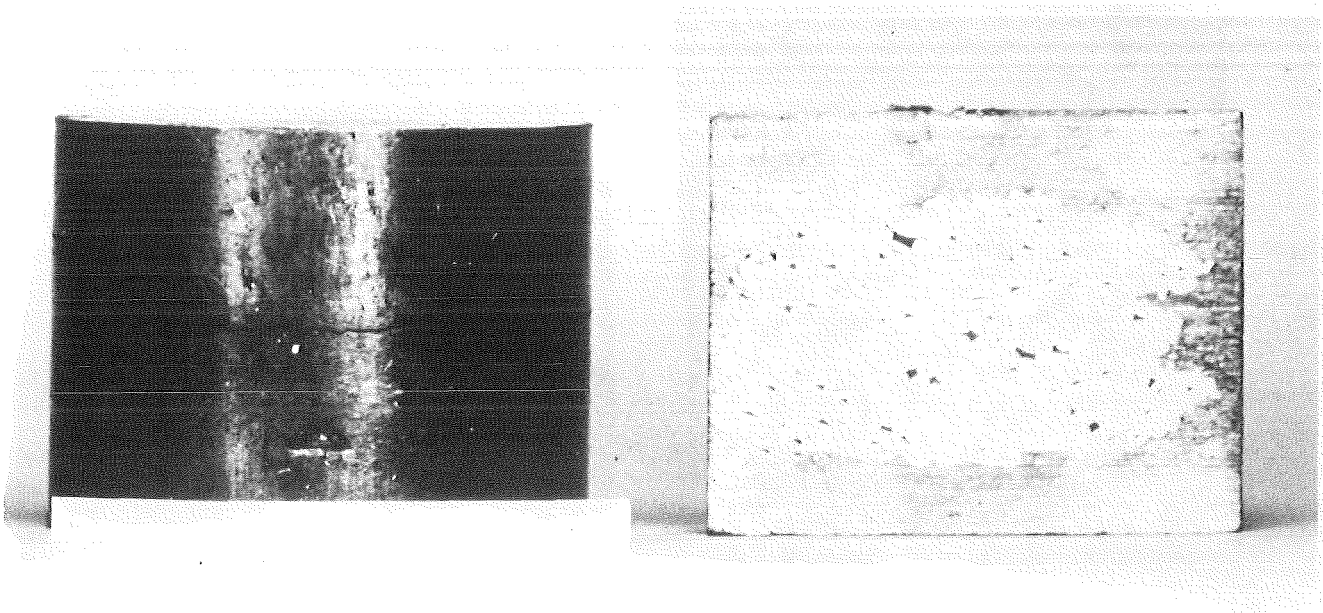


Abb. 5: Verteilung von kompaktierten BE-Hülsen im Preßling,  
Preßdruck 130 MPa

Enddruck MPa	Volumenverhältnis = $\frac{V \text{ unkomp. Zircaloy-4 H\u00fclsen}}{V \text{ Pre\u00dfling (H\u00fclsen mit Bleiummantelung)}}$		
	Au\u00dfen $\varnothing$ = 100 mm Innen $\varnothing$ = 76 mm H\u00f6he = 200 mm	Au\u00dfen $\varnothing$ = 300 mm Innen $\varnothing$ = 276 mm H\u00f6he = 300 mm	Au\u00dfen $\varnothing$ = 420 mm Innen $\varnothing$ = 396 mm H\u00f6he = 400 mm
44	<u>1,3</u> 1	<u>2,0</u> 1	<u>2,2</u> 1
66	<u>1,6</u> 1	<u>2,4</u> 1	<u>2,6</u> 1
88	<u>1,8</u> 1	<u>2,7</u> 1	<u>2,9</u> 1
110	<u>2,0</u> 1	<u>3,1</u> 1	<u>3,3</u> 1

Tabelle 3: Volumenverh\u00e4ltnisse von unkompaktierten Zircaloy-4 H\u00fclsen zum Pre\u00dfling (H\u00fclsen mit Bleiummantelung)

Das Volumenverh\u00e4ltnis

- nimmt bei gleichgro\u00dfen Pre\u00dflingen mit steigendem Pre\u00dfdruck zu,
- nimmt bei gr\u00f6\u00dferen Pre\u00dflingen (300 bis 400 mm Durchmesser) nur noch geringf\u00fcgig (2,0 bis 2,2) zu.

#### 4.1.3 Verpressen von BE-Hülsen in vorgefertigten Stahl- bzw. Blei- behältern

##### 4.1.3.1 Durchführung der Versuche

Mittels der unter 4.1.1 beschriebenen Preßprogramme wurde der Behälter mit unkompaktierten BE-Hülsen gefüllt und zusammengepreßt, entspannt und der noch freie Raum im Behälter wieder mit BE-Hülsen gefüllt und erneut zusammengepreßt. Nachfüllen und Pressen wurde solange fortgesetzt, bis noch ca. 5 mm im Behälter ungefüllt waren. Anschließend wurde eine Blei-abdeckscheibe aufgelegt und bis 40 MPa Enddruck angepreßt.

Für die Preßversuche wurden

Stahl- bzw. Bleibehälter:	Außendurchmesser	96 $\pm$ 1 mm
	Wandstärke	5 mm
	Höhe	60 - 95 mm

Bleiabdeckscheiben:	Durchmesser	84 $\pm$ 1 bzw. 96 mm
	Wandstärke	5 mm

verwendet.

##### 4.1.3.2 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Preßversuche sind in den Tabellen 4 bis 6 zusammengefaßt und in den Abbildungen 6 bis 9 dargestellt.

In Tabelle 4 sind die Dichte der kompaktierten BE-Hülsen und die Volumenreduktion in Abhängigkeit vom Preßdruck zusammengestellt. Die Ergebnisse zeigen, daß bei Steigerung des Preßdruckes um fast das 4-fache (von 44 auf 160 MPa) die Dichte der kompaktierten BE-Hülsen von 33,6 auf 61% der theoretischen Dichte und die Volumenreduktion von 2,6 auf 4,7, d.h. um fast das Doppelte steigen.

Preßdaten				Dichte $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$		% der theor. Dichte		Volumenreduktion
Außenstempel- durchmesser mm	Mittelstempel- durchmesser mm	Füllhöhe mm	Enddruck MPa	unkompaktierte Hüllrohrschütt- dichte $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	kompaktiert $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	unkomp.	komp.	<u>Dichte komp. Hülsen</u> Dichte unkomp. Hülsen
100	76	200	44	0,85	2,2	13	33,6	2,6
100	76	200	66	0,85	2,6	13	39,7	3,1
100	76	200	88	0,85	3,0	13	45,8	3,5
100		200	110	0,85	3,4	13	51,9	4,0
100		200	130	0,85	3,7	13	56,5	4,4
100		200	160	0,85	4,0	13	61,0	4,7

Tabelle 4: Preßversuche mit unbestrahlten Zircaloy-4 Hülsen

Charakterisierung der Zircaloy-4 Hüllrohre: Außendurchmesser = 10,75 mm  
Wandstärke = 0,72 mm  
Länge = 50 mm

theoret. Dichte =  $6,55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Die für diese Preßversuche verwandten und auch für größere Preßflächen notwendigen Preßkräfte sind in Abb. 6 zu ersehen. Für die Durchführung der Preßversuche stand ein Preßautomat bis 800 kN Preßkraft zur Verfügung.

Tabelle 5 zeigt den Einfluß von Preßdruck sowie Behältergröße auf das Volumenverhältnis von unkompaktierten BE-Hülsen zu kompaktierten Hülsen einschließlich Behälter.

Das Volumenverhältnis lautet:

$$\frac{V \text{ unkompaktierte BE-Hülsen}}{V \text{ kompaktierte BE-Hülsen + Behälter}}$$

Das Volumenverhältnis

- ist fast doppelt so groß (2,0 zu 3,6), wenn bei gleichem Durchmesser des Preßlings die Preßkraft vervierfacht wird (von 44 auf 160 MPa),
- nimmt bei größeren Preßlingen (von 100 auf 420 mm Durchmesser) wegen des geringer werdenden Beitrags des Eigenvolumens des Behälters nur noch geringfügig zu (von 3,6 auf 4,3).

Aufnahmen senkrechter Schnitte durch die Achse von Bleibehältern, Bleizylindern und Stahlbehältern mit kompaktierten Zircaloy-4 Hülsen sind in Abb. 7 dargestellt.

Im Bleibehälter wurden die BE-Hülsen mit 88 MPa zusammengepreßt und der gefüllte Behälter mit einer Bleiabdeckscheibe abgedichtet. Die erreichte Dichte liegt bei 45,8% der theoretischen und die erzielte Volumenreduktion bei 3,5.

Beim Verpressen von BE-Hülsen im Bleizylinder wurden Enddrücke bis 110 MPa angewandt. Die erreichte Dichte liegt bei 51,9% der theoretischen und die erzielte Volumenreduktion bei 4,0.

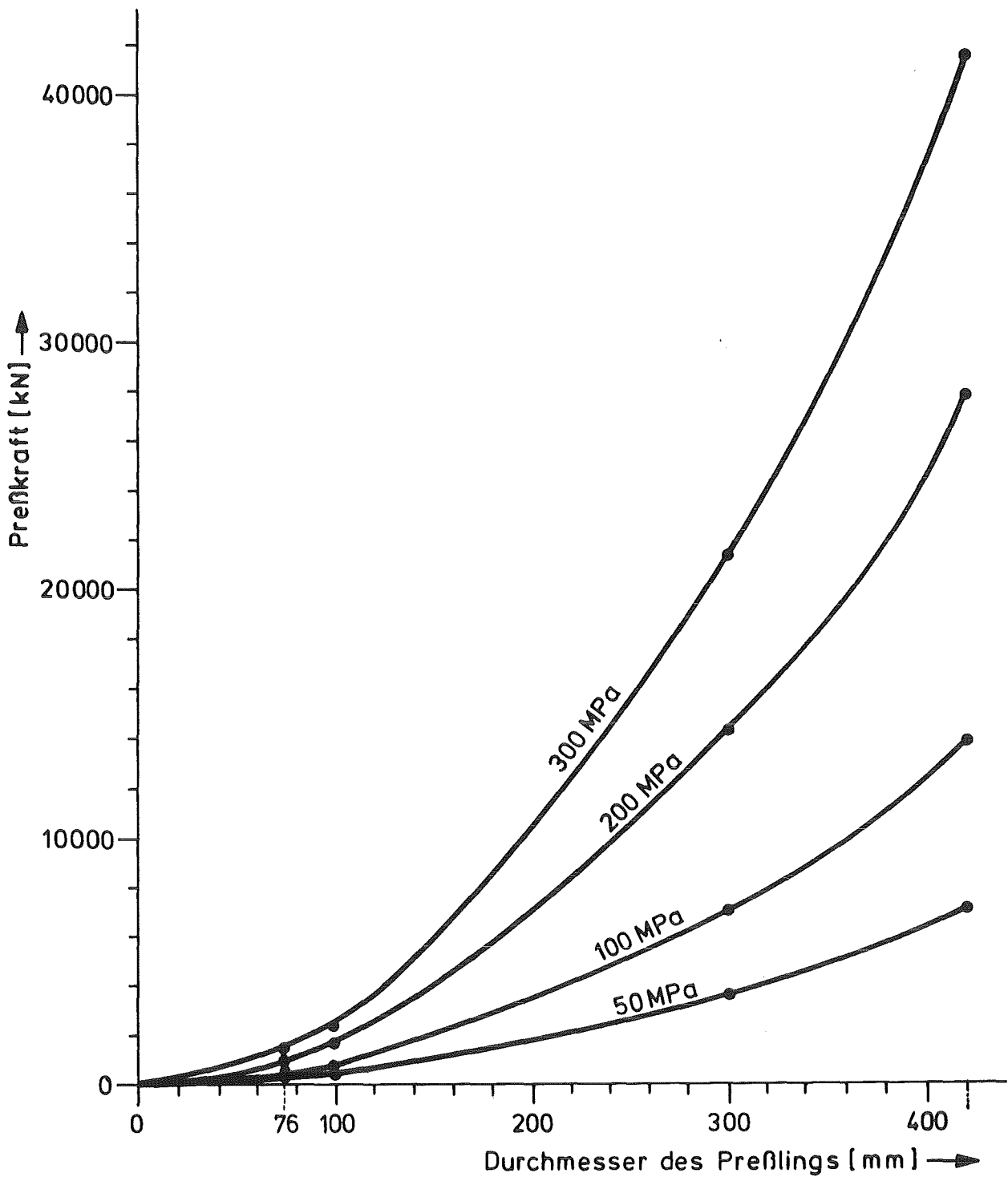
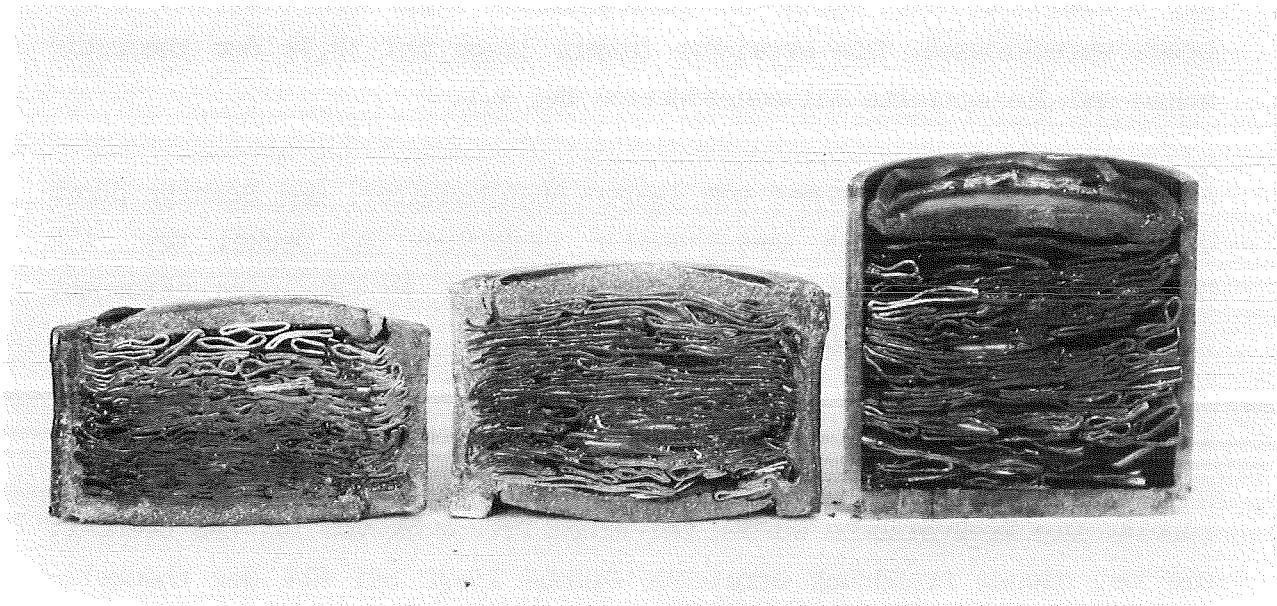


Abb. 6: Preßkraft in Abhängigkeit von Preßdruck und Preßfläche



Enddruck MPa	Volumenreduktion der BE-Hülsen durch Pressen	Volumenverhältnis = $\frac{\text{unkomp. BE-Hülsen}}{\text{komp. BE-Hülsen + Behälter}}$		
		Blei- bzw. Stahlbehälter		
		Außen $\varnothing$ = 100 mm Höhe = 200 mm Volumen = 1,57 l	Außen $\varnothing$ = 300 mm Höhe = 300 mm Volumen = 21,2 l	Außen $\varnothing$ = 420 mm Höhe = 400 mm Volumen = 55,4 l
44	2,6	$\frac{2,0}{1}$	$\frac{2,3}{1}$	$\frac{2,4}{1}$
66	3,1	$\frac{2,4}{1}$	$\frac{2,8}{1}$	$\frac{2,9}{1}$
88	3,5	$\frac{2,7}{1}$	$\frac{3,1}{1}$	$\frac{3,2}{1}$
110	4,0	$\frac{3,1}{1}$	$\frac{3,6}{1}$	$\frac{3,7}{1}$
130	4,4	$\frac{3,3}{1}$	$\frac{4,0}{1}$	$\frac{4,2}{1}$
160	4,7	$\frac{3,6}{1}$	$\frac{4,2}{1}$	$\frac{4,3}{1}$

Tabelle 5: Volumenverhältnisse von unkompaktierten BE-Hülsen einschließlich des Behälters



BE-Hülsen im  
Bleibehälter

- kompaktiert mit  
88 MPa

- abgedichtet mit  
Bleiabdeckscheibe  
(84 mm  $\varnothing$ )

BE-Hülsen im  
Bleizylinder

- kompaktiert mit  
110 MPa

- abgedichtet mit  
Bleiboden und  
Bleiabdeckscheibe  
(84 mm  $\varnothing$ )

BE-Hülsen im  
Stahlbehälter

- kompaktiert mit  
66 MPa

- abgedichtet mit  
Bleiabdeckscheibe  
(96 mm  $\varnothing$ )

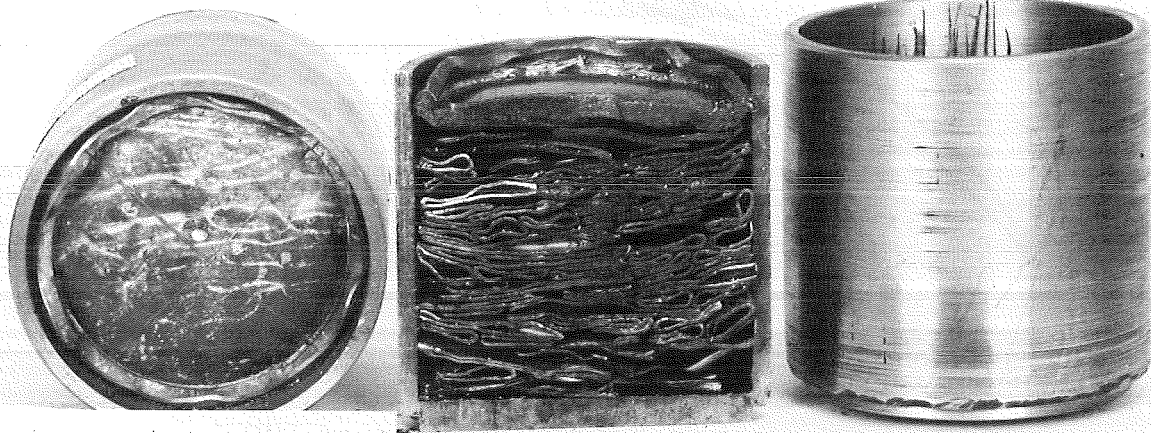
Abb. 7: Verpressen von BE-Hülsen in Bleibehälter, Bleizylinder  
und Stahlbehälter

Die BE-Hülsen im Stahlbehälter wurden mit 66 MPa zusammengepreßt. Mit einer Bleiabdeckscheibe wurde der Stahlbehälter unter Anwendung von 40 MPa Druck verschlossen. Die erreichte Dichte liegt bei 39,7% der theoretischen und die erzielte Volumenreduktion bei 3,1.

Abbildung 8 zeigt Aufnahmen vom leeren Stahlbehälter, den Schnitt durch einen Stahlbehälter mit kompaktierten BE-Hülsen und Deckel bzw. mit Deckelverschluß. Die Verpressung von BE-Hülsen in Behältern erfordert den geringsten Aufwand an Preßtechnik.

In der Abb. 9 ist die erzielte Dichte und in der Abb. 10 die Volumenreduktion in Abhängigkeit vom Preßdruck dargestellt. Die Kurven ähneln Parabeln. Die Preßversuche wurden bei einem Preßdruck von 160 MPa beendet. Die bei diesem Preßdruck erreichte Dichte liegt bei 61% der theoretischen und die Volumenreduktion bei 4,7.

Die von J. Broothaerts et al. /5/ aus den Daten von Versuchen mit Zircaloy-4 Hülsen ermittelten Kurven liegen etwas höher.



Bleideckel mit  
40 MPa  
eingepreßt

BE-Hülsen mit  
66 MPa  
kompaktiert

Stahlbehälter  
leer

Abb. 8: Verpressen von BE-Hülsen im Stahlbehälter

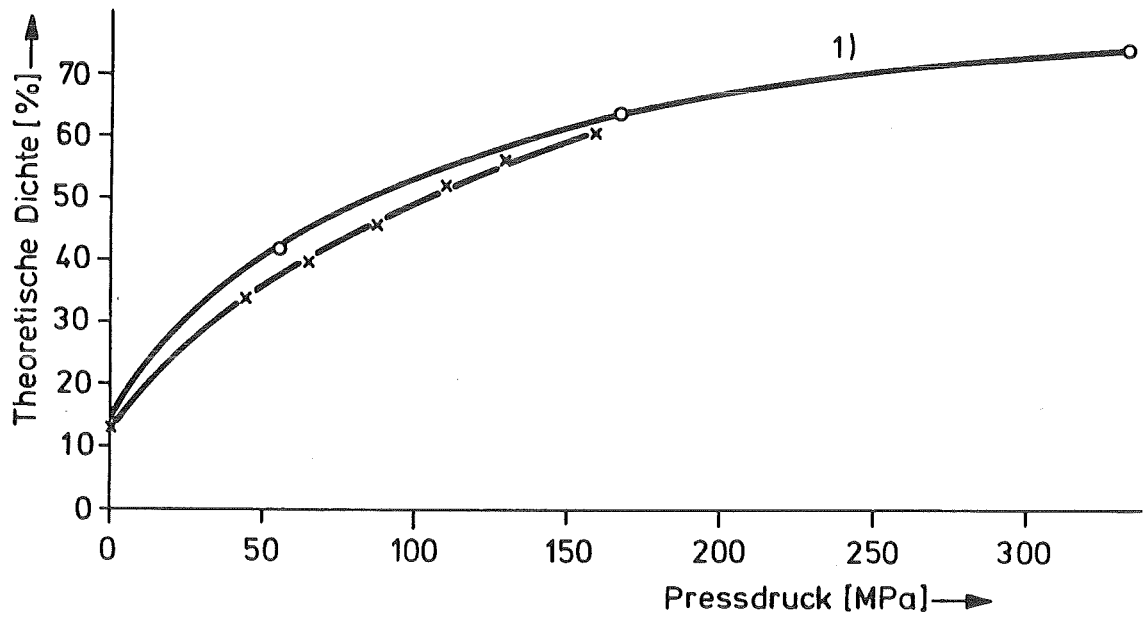


Abb. 9: Erzielte Dichte von unbestrahlten Zircaloy-4 Hülisen in Abhängigkeit vom Preßdruck

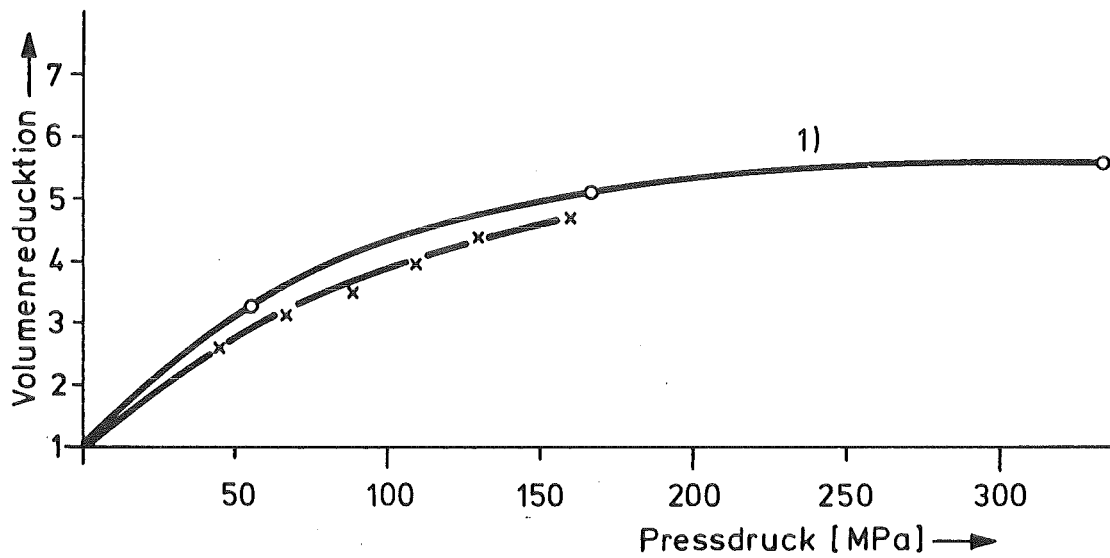


Abb. 10: Volumenreduktion von unbestrahlten Zircaloy-4 Hülisen in Abhängigkeit vom Preßdruck

1) Kurven von J. Broothaerts et al /5/

#### 4.1.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

BE-Hülsen können durch Verpressen in Bleiummantelung (hergestellt aus Bleispänen), Stahlbehältern bzw. Bleibehältern in ihrem Volumen um den Faktor 4,7 eingeengt und so in eine endlagerfähige Form gebracht werden.

Die Preßversuche wurden mit einem zur Verfügung stehenden Preßautomaten bis zu einem Preßdruck von 160 MPa durchgeführt.

Zur Herstellung der Ummantelung sind am besten dünne, folienartige Bleispäne (Abfall vom Fräsen) geeignet. Antimongehalte bis 4 Gew.-% in den Bleispänen zeigten keine Schwierigkeiten beim Verpressen. Rißfreie Preßlinge konnten vermutlich wegen der Rückfederung der kompaktierten BE-Hülsen trotz Verwendung leicht gewölbter Stempel nicht hergestellt werden. Diese Versuche wurden bis 130 MPa Enddruck durchgeführt. Die erreichte Dichte liegt bei 56% der theoretischen und die erzielte Volumenreduktion bei 4,4.

Den geringsten Aufwand an Preßtechnik erfordert das Einpressen von BE-Hülsen in vorgefertigte Blei- bzw. Stahlbehälter. Die Versuche wurden bis 160 MPa Enddruck durchgeführt. Die erreichte Dichte liegt bei 60% der theoretischen und die erzielte Volumenreduktion bei 4,7. Die mit kompaktierten BE-Hülsen gefüllten Behälter zeigten keine Risse.

Das Volumenverhältnis von unkompaktierten BE-Hülsen zur Verpackung liegt bei den hier durchgeführten Versuchen bei den Blei- bzw. Stahlbehältern immer günstiger als bei der Bleiummantelung, da aus Festigkeitsgründen bei den Behältern Wandstärken von 5 mm im Vergleich zur Bleiummantelung von 12 mm gewählt wurden. Günstigere Volumenverhältnisse sind zu erreichen, wenn die Wandstärken der Verpackung reduziert werden!

Überschlagsrechnungen aus den Kurven der eigenen Versuchsergebnisse von 150 MPa mit denen von J. Broothaerts et al. bei 300 MPa ergeben, daß bei einer Verdoppelung des Preßdrucks sich die Dichten nur von 59 auf 73% der theoretischen und die Volumenreduktion nur von 4,6 auf 5,5 erhöhen.

Diese geringe Zunahme an Dichte bzw. Volumenreduktion erfordert in der Praxis z.B. bei Behältern mit 420 mm Durchmesser fast eine Verdoppelung der Preßkraft von 22750 auf 41500 kN.

#### 4.2 Vorschlag für die verfahrenstechnische Auslegung einer Anlage zum Kaltpressen von Brennelementhülsen und Strukturteilen

In einer Head-end-Zelle sollen Kopf- und Fußstücke von den Brennelementen getrennt und zusammen mit anderen BE-Kleinteilen aus Edelstahl weiter behandelt werden. Dies erfolgt entweder nur durch Verpacken dieser Teile in stabile Behälter oder durch Schmelzen der Teile und Abfüllen der Schmelze in HAW-Behälter.

Das Schmelzen sollte auf seine technische Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht werden.

Für die Konditionierung von Brennelementhülsen und Strukturteilen ist eine mechanische Volumeneinengung durch Pressen der aus Zircaloy bestehenden Teile vorgesehen. Ein Ablaufschema für diesen Prozeß ist in Abb. 11 dargestellt.

Das Einschleusen dieser Komponenten von der Auflöserzelle in die Kompaktierzelle kann auf zweierlei Arten erfolgen. Ein von KfK/IT vorgeschlagenes Konzept /6/ sieht das Einbringen der Hülsen über ein Silo-Fallrohr vor (Abb. 12). Im Gegensatz dazu hat SCK/CEN ein Konzept zum Einschleusen der Hülsen mit einem Behälter entwickelt (Abb. 13) /7/.

In der mit Inertgas gespülten Heißen Zelle werden die eingeschleusten Hülsen- und Strukturteile über eine Vibrationsrinne oder auch durch eine andere Dosiervorrichtung in einen dünnwandigen Behälter aus Blei oder Blech gefüllt. Hülsen samt Behältnis werden anschließend in eine Presse eingesetzt und gepreßt. Bei Verwendung von Blei als Behältermaterial ist das Volumen bzw. die Höhe des Behälters so zu bemessen, daß mit einer einzigen Befüllung ein Preßling entsteht, der richtig dimensioniert und somit leicht handhabbar ist. Vor dem Preßvorgang ist in den Behälter auf

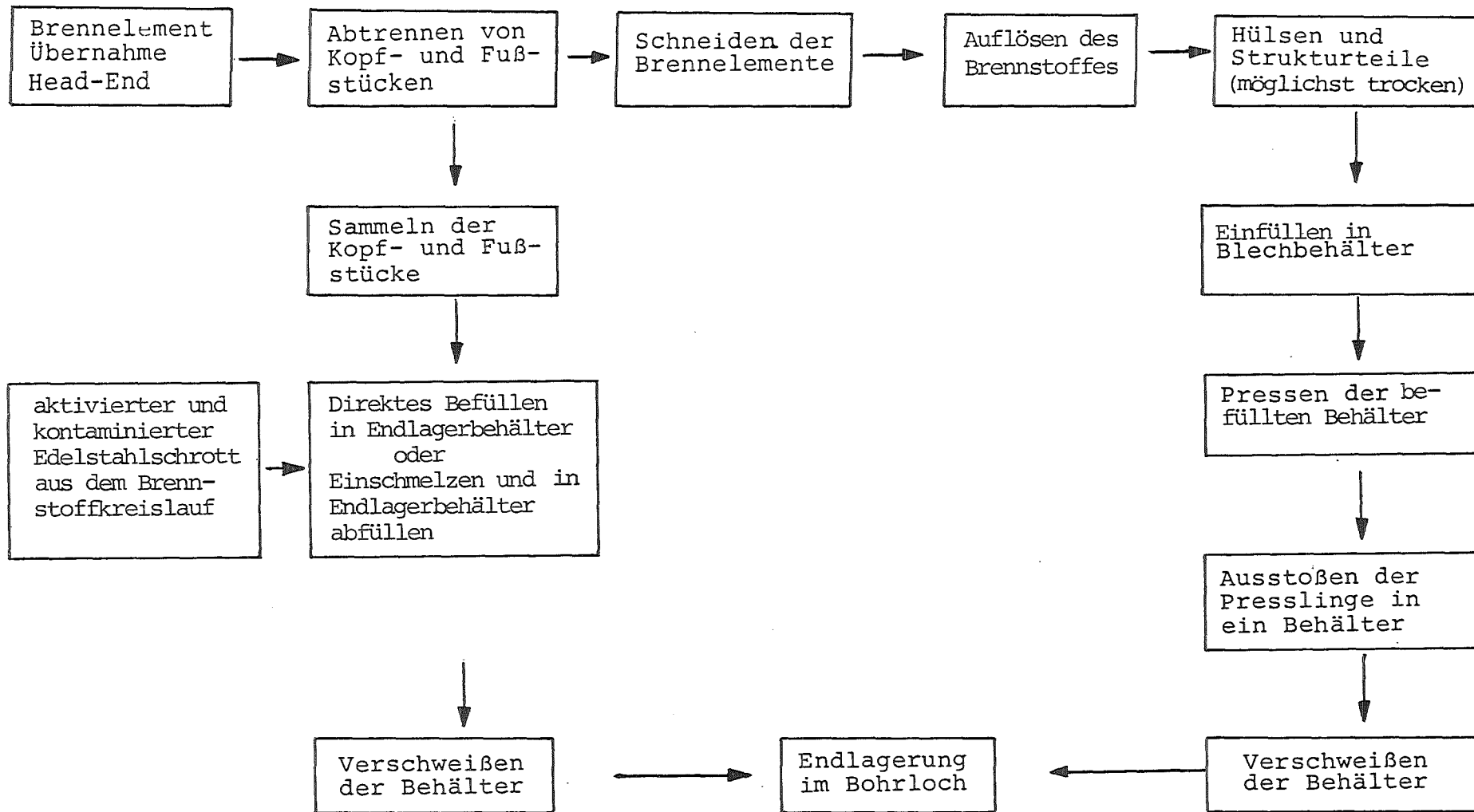


Abb. 11: Ablaufschema bei der alternativen Konditionierung von Hülsen- Struktur- und anderen Brennelementteilen



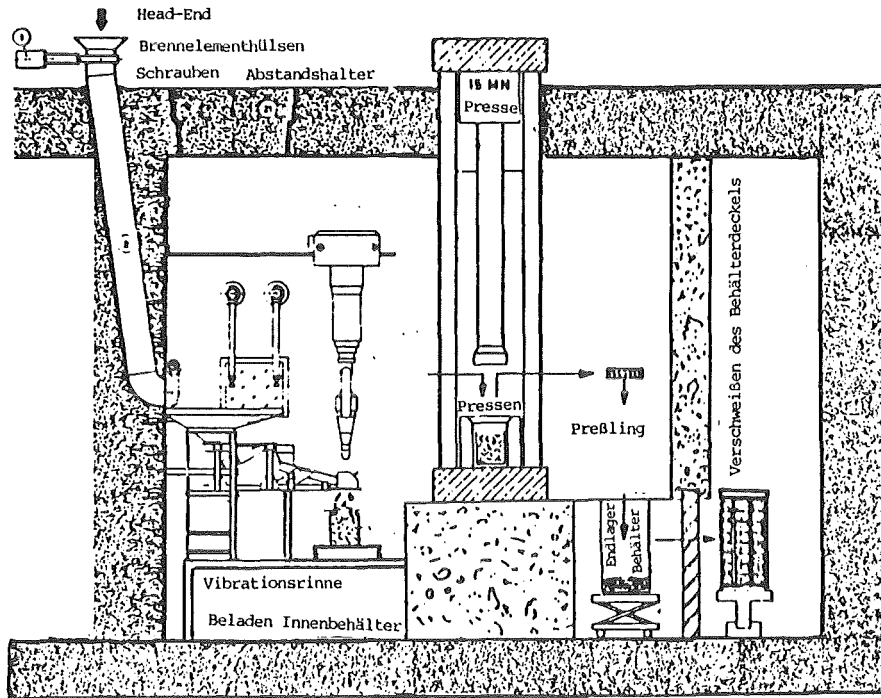


Abb. 12: Einschleusen und Kompaktieren von Hülisen  
(Eine Kombination von KfK/IT und SCK/CEN-Technik /6/)

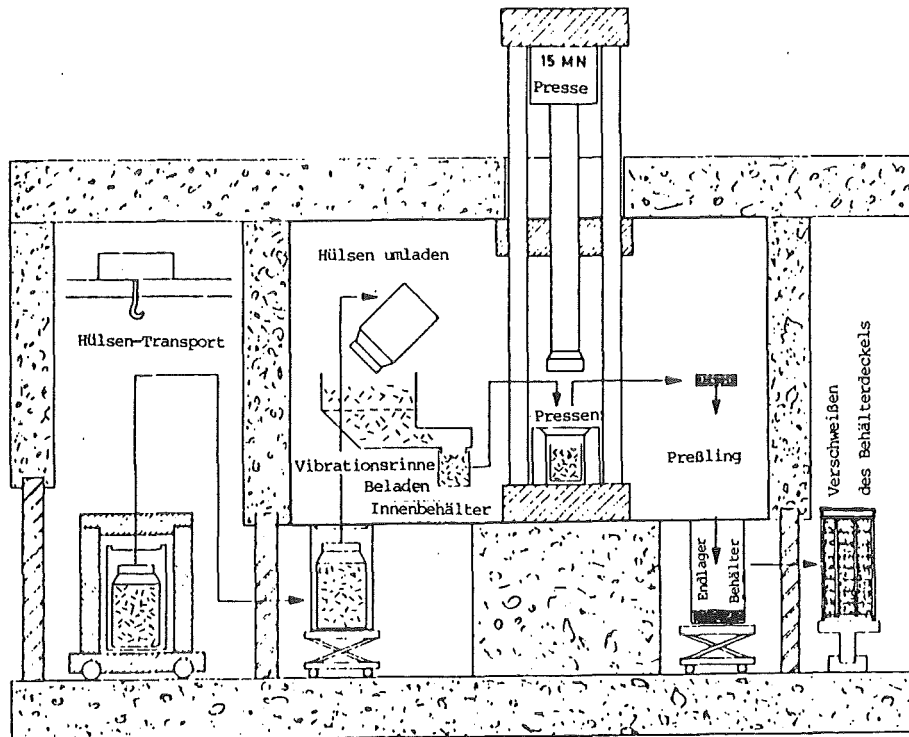


Abb. 13: Einschleusen und Kompaktieren von Hülisen  
(SCK/CEN-Konzept ohne das Einbetten in Blei) /7/

die Hülsen ein Deckel aus Bleiblech einzulegen, so daß nach dem Pressen zwar kein absolut dichtes Behältnis, aber ein insgesamt kompakter, allseits umschlossener Preßling entsteht.

Die so erhaltenen Preßlinge werden in Edelstahlbehälter eingesetzt, die von den Abmessungen und der Manipulation her identisch mit den Kokillen für HAW-Gläser sind. Abbildung 14 zeigt die z.Zt. im Referenzkonzept WA Wackersdorf vorgesehene Endlagerkokille für HAW-Gläser, wie sie bei Cogema verwendet wird. Eine in den Abmessungen identische aber für den speziellen Zweck modifizierte Kokille, wie sie für gepreßte Hülsen und Strukturteile vorgeschlagen wird, ist in Abb. 15 ersichtlich.

Nach dem Befüllen des Endlagerbehälters wird der Deckel aufgesetzt und das Gebinde in die Verschweißstation transportiert, wo Deckel und Behälter verschweißt werden. Das Einsetzen der Preßlinge in den Endlagerbehälter sollte so erfolgen, daß der Behälter außen kontaminationsfrei bleibt.

Bei Verwendung eines Normalstahlbehälters als Innenbehälter muß das Befüllen in mehreren Schritten erfolgen, wobei nach jedem Auffüllen gepreßt wird. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis der Behälter gefüllt ist. Vor dem letzten Preßvorgang kann ein Deckel aus weichem Metall (Blei, Zinn etc.) aufgelegt werden, der nach dem Pressen bis zum Einsetzen in den Endlagerbehälter eine ausreichende Abdichtung gewährleistet. Etwa 3 bis 4 dieser befüllten Normalstahlbehälter können in einen Endlagerbehälter wie er Abb. 15 zeigt eingesetzt werden.

Bei diesem Preßverfahren für Hülsen und Strukturteile können Volumenreduktionsfaktoren von 5 und mehr erreicht werden; das entspricht mehr als 60% der theoretischen Dichte von Zircaloy ( $\rho = 6,55 \text{ g/cm}^3$ ).

Abbildung 16 zeigt schematisch dargestellt fertige Endlagerbehälter mit gepreßten Hülsen und Strukturteilen, die einmal durch Pressen in einem Bleiinnenbehälter, zum anderen durch Pressen in einem Stahlinnenbehälter hergestellt werden.

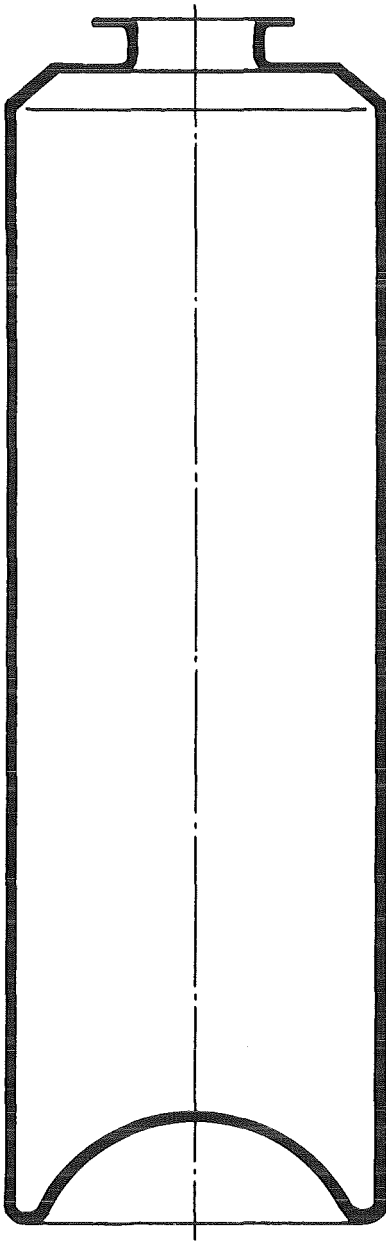


Abb. 14: Cogema-Kokille für HAW-Glas z.Zt. im Konzept für WA-350

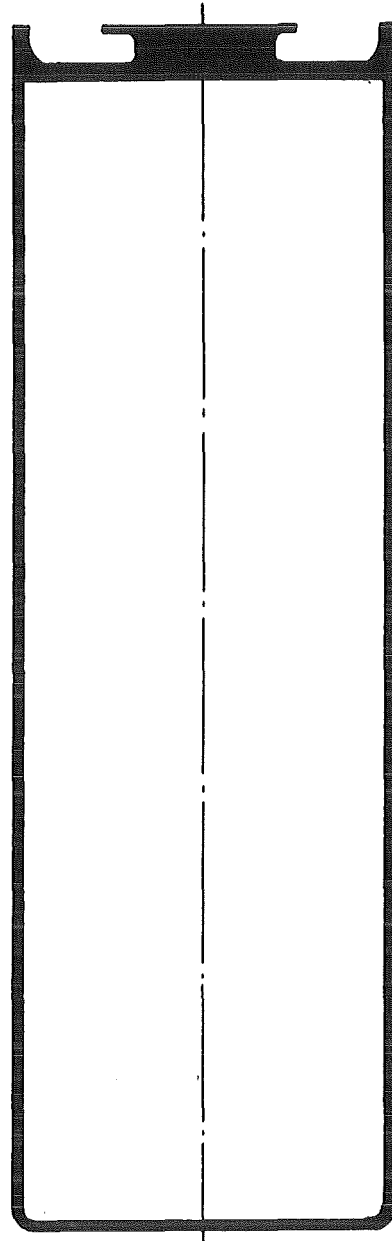
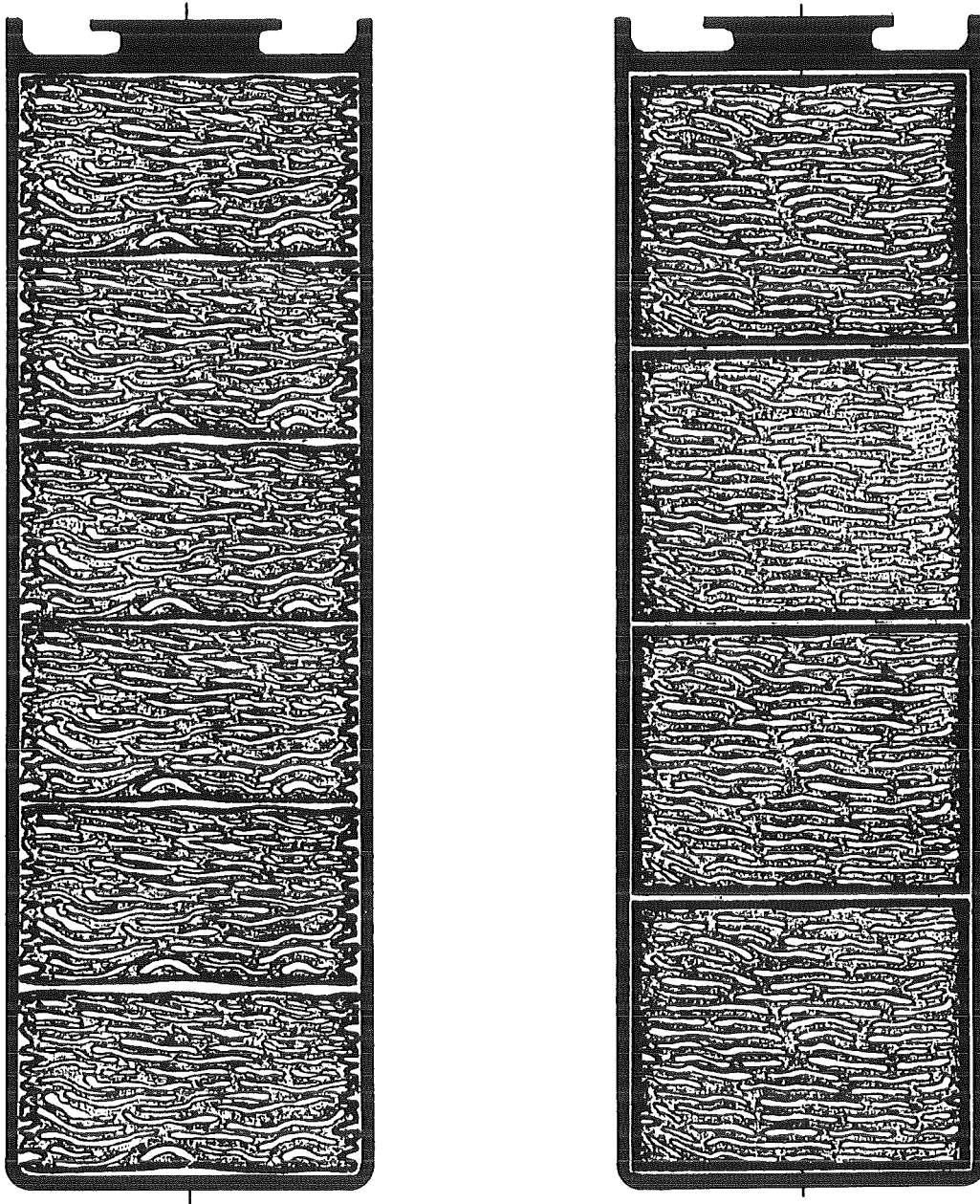


Abb. 15: Modifizierte Cogema-Kokille für Hülsen- und Strukturteile  
Vorschlag für WA-350



Preßlinge mit Blei- bzw. Blech-  
innenbehälter

Gepreßte Hülsen in Normalstahl-  
innenbehälter

Abb. 16: Endlagerbehälter mit gepreßten Hülsen und Strukturteilen

#### 4.2.1 Sicherheitstechnische Auslegungsmerkmale

Die Heiße Zelle, in der die Verfahrensschritte

- Einschleusen der Hülsen
- Abfüllen der Hülsen in spezielle Metallbehälter zum Pressen
- Pressen
- Einsetzen der Preßlinge in Endlagerbehälter

ablaufen, ist mit inerter Gasatmosphäre auszulegen, um einen Brand von Zircaloy-Spänen auszuschließen. Alle für Räume mit erhöhter Brandgefahr relevanten sicherheitstechnischen Einrichtungen müssen in der Kompaktierzelle installiert werden.

#### 4.2.2 Notwendige Einrichtungen und Instandhaltungskonzept

In einer Wiederaufarbeitungsanlage mit dem hier beschriebenen Hülsenkonditionierungskonzept sind folgende Einrichtungen erforderlich:

- hydraulische Presse für Hülsen und Strukturteile
- Verschweißmaschine für Behälter.

Beide Betriebsanlagen müssen in Heißen Zellen untergebracht werden. Bei diesem Konzept kann im Head-End die Zementiereinrichtung für die Hülsenabfälle entfallen.

Bei den Prozeßeinrichtungen hydraulische Presse und Verschweißmaschine handelt es sich um konventionelle Anlagen, die teilweise schon im Heißzellenbetrieb erprobt wurden. Für die genannten Einrichtungen ist ein fernbedienbares Instandhaltungskonzept erforderlich. Auch der Austausch kompletter Prozeßeinheiten soll fernbedienbar möglich sein.

#### 4.2.3 Wirtschaftliche Betrachtungen

Für eine erste grobe Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollen ohne konkrete Zahlen zu nennen, folgende Kosten beim Referenzkonzept und beim alternativen Konzept angenommen und gegenübergestellt werden.

- Investitionskosten
- Materialkosten
- Transportkosten
- Endlagerkosten
- Personalkosten.

Bezüglich des Zellenvolumens wird auf der einen Seite Zellenraum für Presse und Schweißanlage benötigt, auf der anderen Seite Raum für das Abstellen von mit Hülsen befüllten Innenfässer, Platz für eine Rüttelvorrichtung zum Überzementieren der Hülsen im Faß und schließlich den notwendigen Abstellplatz zum Abbinden des Hülsen-Zement-Produkts. Der Bedarf an Zellenvolumen ist im letzteren Falle sicherlich höher einzusetzen.

Material- und Betriebskosten dürften bei beiden Verfahren in etwa gleich sein. Den höheren Kosten für die Edelstahlbehälter, deren Anzahl um ein Drittel geringer ist, stehen die Kosten für eine größere Anzahl an billigeren Innenbehältern und Außenfässern gegenüber.

Ähnlich dürften die Verhältnisse bei den Personalkosten liegen.

Ein auf lange Sicht ins Gewicht fallender Kostenfaktor sind die Kosten für den Transport und das Endlager. Hier liegt sicher der Vorteil auf seiten des hier beschriebenen Verfahrens. So ist beispielsweise das Bohrlochvolumen, das für die Endlagerung von Hülsen im Salzgebirge bereitgestellt werden muß, beim Referenzkonzept um den Faktor 5 höher als bei diesem Konzept.

#### 4.3 Volumen und Aktivitätsinventar der endzulagernden gepreßten Hülsenprodukte

Bei einem Gesamtvolumen von rund 130 m<sup>3</sup> an Hülsen und Strukturteilen würden nach dem Kompaktieren etwa 26 m<sup>3</sup> an gepreßtem Hülsenmaterial entstehen, wenn man einen Einengungsfaktor von 5 zugrunde legt. Nach dem Verpacken der in Innenbehälter gepreßten Hülsen in stabile Endlagerbehälter aus Edelstahl mit einem Gebindevolumen von 190 l und einem effektiven Nutzvolumen für gepreßte Hülsen von etwa 170 l würden rund 160 Gebinde bzw. 30 m<sup>3</sup> an Endlagerprodukten entstehen. Das Gewicht eines mit gepreßten Hülsen verschweißten Endlagergebindes würde etwa 1 t betragen. Das Aktivitätsinventar dieser Gebinde liegt um den Faktor 3 höher als das Aktivitätsinventar eines mit Hülsen zementierten 400 l-Fasses, da etwa dreimal soviel Hülsen untergebracht sind. Die Wärmeleistung der kompaktierten Hülsen und Strukturteile ist ebenfalls um den Faktor 3 höher als bei den Hülsen-Zement-Produkten des Referenzkonzeptes.

Auf der Basis dieses alternativen Konditionierungsverfahrens für Hülsen und Strukturteile wären bei einer Wiederaufarbeitungsanlage mit 350 t Jahresdurchsatz folgende Endlagergebinde zu erwarten.

Anzahl der Gebinde/a	etwa	160 Stück
Volumen der Kokille	etwa	190 l
effekt. Nutzvolumen für H+S	etwa	170 l
Gewicht der H+S	etwa	815 kg
Gewicht der Kokille (5 mm Wandstärke)	etwa	85 kg
Gewicht der Innenbehälter	etwa	65 kg
Gesamtgewicht des Gebindes	etwa	965 kg
Alpha-Aktivität je Gebinde	etwa	5 E+12 Bq
Beta-Aktivität (Spaltprodukte)/Gebinde	etwa	1,9 E+14 Bq
Beta-Aktivität (Spalt- u. Aktivierungs- produkte)/Gebinde	etwa	1 E+15 Bq
Pu-Gehalt/Gebinde	etwa	100 g
U-Gehalt/Gebinde	etwa	10 kg
Wärmeleistung/Gebinde	etwa	250 W
Gesamtgewicht aller Gebinde	etwa	155 t
Gesamtvolumen	etwa	30 m <sup>3</sup>

Tabelle 6: Charakterisierung der Endlagergebände hergestellt durch mechanisches Pressen der Hülsen und Strukturteile

#### 4.4 Qualität der endzulagernden Gebinde

Für die Beurteilung der Endlagerfähigkeit der gepreßten, in Endlagerbehälter verpackten Hülsen, sind folgende Kriterien von Bedeutung:

- chemische Beständigkeit
- mechanische Stabilität
- Strahlenbeständigkeit

Die nach dem beschriebenen Verfahren hergestellten Produkte erfüllen hohe Qualitätsansprüche. Hervorzuheben sind besonders



- keine Radiolysegasbildung
- keine Tritiumfreisetzung
- hohe mechanische Stabilität
- hohe thermische Stabilität

Es stellt sich praktisch nur die Frage nach der chemischen Beständigkeit der Produkte unter Endlagerbedingungen und im besonderen beim Störfall wie beispielsweise einem Wassereintrich in das Salzbergwerk.

Die Barrieren des fertigen Hülseengebindes sind

- die kompaktierten Hülsen selbst
- der Außenbehälter
- der Innenbehälter.

Im folgenden wird das Korrosionsverhalten dieser drei Barrieren unter Störfallbedingungen kurz zusammengefaßt.

#### 4.4.1 Das Auslaugverhalten von Zircaloy-Hülsen

Zur Ermittlung des Auslaugverhaltens von Zircaloy-Hülsen wurden unconditionierte Hülsen und mit Zement verfestigte Hülsen aus dem aktiven Betrieb der WAK in Wasser bzw. quinärer Salzlauge bei 20°C und 90°C über längere Zeiträume ausgelaugt. Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen.

In Tab. 7 sind die bisherigen Ergebnisse der Auslaugversuche zusammengestellt /8/. Leider gestatten sie noch keinen direkten Vergleich beispielsweise zwischen dem Auslaugverhalten von zementierten Hülsen bei 90°C in quinärer Lauge und den nicht konditionierten Hülsen im gleichen Medium. Das Auslaugverhalten dieser beiden Produkte in Wasser und quinärer Salzlauge bei Zimmertemperatur ist wenig aussagekräftig, da Bedingungen, wie sie beispielsweise bei Störfällen vorliegen, nicht gänzlich wiedergegeben werden.

Radionuklidauslaugung von unkonditionierten Zircaloy-Hülsen in Wasser und Q-Lauge bei RT und 90°C nach 1 Jahr

Nuklid	H <sub>2</sub> O (20°C) a <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> Ci/Ci	H <sub>2</sub> O (90°C) a <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> Ci/Ci	QL (20°C) a <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> Ci/Ci	QL(90°C) a <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> Ci/Ci
HTO	10 <sup>-6</sup>	4·10 <sup>-4</sup>		8·10 <sup>-4</sup>
U,Pu,Am,Cm	5·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-1</sup>		4·10 <sup>-1</sup>
Ru-106	9·10 <sup>-2</sup>	7,8·10 <sup>-2</sup>	Versuche	9,2·10 <sup>-1</sup>
Sb-125	2,5·10 <sup>-2</sup>	2,9·10 <sup>-2</sup>	laufen	7,8·10 <sup>-2</sup>
Cs-134	2,8·10 <sup>-1</sup>	1,9·10 <sup>-2</sup>		1,8·10 <sup>-1</sup>
Cs-137	2·10 <sup>-1</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>		1,7·10 <sup>-1</sup>
Eu-154	1·10 <sup>-1</sup>	-		-
Co-60	1,4·10 <sup>-3</sup>	-		-

Radionuklidauslaugung von zementierten Zircaloy-Hülsen in Wasser und Q-Lauge bei RT und 90°C nach 1 Jahr

HTO	7·10 <sup>-6</sup>		9·10 <sup>-6</sup>	
U,Pu,Am,Cm	3,5·10 <sup>-6</sup>		5·10 <sup>-4</sup>	
Ru-106	1,1·10 <sup>-2</sup>	Versuche	1,2·10 <sup>-2</sup>	Versuche
Sb-125	8·10 <sup>-4</sup>	laufen	7,7·10 <sup>-4</sup>	laufen
Cs-134	2,5·10 <sup>-1</sup>		6,6·10 <sup>-2</sup>	
Cs-137	2,1·10 <sup>-1</sup>		5,6·10 <sup>-2</sup>	
Eu-154	1,1·10 <sup>-3</sup>		1,1·10 <sup>-3</sup>	
Co-60	-		-	

Tabelle 7: Auslaugverhalten von Radionukliden aus unkonditionierten Zircaloy-Hülsen und aus mit Zement konditionierten Zircaloy-Hülsen /8/

#### 4.4.2 Das Korrosionsverhalten von Behältermaterialien

Bei den Sicherheitsbetrachtungen eines Endlagers kommt der Standzeit eines Abfallbehälters eine beträchtliche Bedeutung zu. Wie bereits im Abschnitt 4.1 beschrieben, sollen die Hülsen zunächst in Behältnissen aus Stahl oder Blei gepreßt und anschließend in Stahlbehältern, wie sie für die Endlagerung von verglastem HAWC Verwendung finden, eingesetzt werden.

Für die Auslegung von HAW-Behältern als Barriere im Endlager wurden bereits zahlreiche Materialien auf ihre Korrosionsbeständigkeit untersucht /9/, /10/. In Tab. 8 sind die Korrosionsraten und die sich daraus ergebenden Standzeiten einiger Behältermaterialien in quinärer Salzlauge bei 90°C zusammengestellt, die zur Konditionierung von Hülsen durch Kaltpressen in Frage kommen. Eine zusätzliche Barrierenfunktion könnte der Innenbehälter übernehmen, wobei dieser primär der Formgebung des Preßlings dient und daher aus minderwertigen Materialien mit geringerer Korrosionsbeständigkeit bestehen kann.

Eine Ausnahme könnte Blei oder Zinn sein, deren Korrosionsbeständigkeit in quinärer Salzlauge günstiger ist.

Bei Verwendung von Baustahl mit 7 mm Wandstärke als Endlagerbehälter und eines Bleiinnenbehälters von 3 mm für die Herstellung der Preßlinge ließe sich beispielsweise eine Standzeit der Hülsengebinde in einem Salzlager zwischen 200 und 300 Jahren erreichen.

#### 5. Endlagerung der Hülsengebinde

Die verschweißten Hülsengebinde können auf Grund ihrer gleichen Abmessungen wie die HAW-Kokillen nach der gleichen Bohrlochtechnologie eingelagert werden. Es ist beispielsweise denkbar, die Wärmebelastung des Salzes bei der Einlagerung von HAW-Kokillen in der unmittelbaren Umgebung der Bohrlöcher dadurch zu reduzieren, daß man abwechselnd HAW-Kokillen und Hülsenbehälter in ein und dasselbe Bohrloch einlagert. Bei einer WA mit 350 t Jahresdurchsatz fallen pro Jahr etwa 300 HAW-Kokillen mit ei-

Material	angenom. Behälter- wandstärke mm	angenom. Lager- temperatur °C	Korrosionsrate (Flächenabtrag) mm/a	Standzeit der Behälter a
St 1303 bzw. 1203 /11/ (Faßmaterial)	2	90	1	2 (40 durch Anstrich)
Baustahl	7	90	0,05	140
Hastelloy C 4	5	90	0,0003	20000
Blei /12/ (Innenbehälter)	3	90	0,019	150

Tabelle 8: Korrosionsraten einiger Behältermaterialien in quinärer Salzlauge bei 90°C und ihre Standzeiten bei vorgegebenen Behälterwandstärken

ner Wärmeleistung von rund 2500 W/Gebinde an. Die Anzahl an Behältern mit gepreßten Hülsen beträgt wie aus Abschnitt 4.3 hervorgeht etwa 160 pro Jahr mit einer durchschnittlichen Wärmeleistung von 250 W/Gebinde. Danach könnten abwechselnd zwei HAW-Kokillen und ein Hülsenbehälter in das Bohrloch eingelagert werden. Neben der geringeren Wärmebelastung des Salzes ist der Vorteil dieser Verfahrensweise noch der, daß dadurch nur eine Bohrlochtechnologie notwendig ist, vor allem dann, wenn es gelingt, den FKS zusammen mit dem HAW zu verglasen.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ Kenndaten über DWR und SWR-Brennelemente von KWU,  
private Mitteilung
- /2/ G. Boehme, et al.  
CEC-Study on methods for conditioning and storage of spent fuel  
element hulls  
EUR 8250 p. 57
- /3/ Kurzbeschreibung der Wiederaufarbeitungsanlage WA-Wackersdorf  
vom August 1983, Herausgeber DWK
- /4/ W. Bähr, G. Baumgärtel  
Systemstudie "Andere Entsorgungstechniken"  
Technischer Anhang, 14. Aug. 1984,  
Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /5/ J. Broothaerts et al.  
Conditioning of cladding waste: Press compaction and encapsula-  
tion by low melting alloys.  
EUR 8250 p. 117
- /6/ EUR 8250 p. 206
- /7/ EUR 8250 p. 223
- /8/ H. Gräbner, KfK/IT, private Mitteilung  
Bericht in Vorbereitung
- /9/ Ergebnisberichte über Forschungs- und Entwicklungsarbeiten 1984  
Institut für Nukleare Entsorgungstechnik  
KfK-Bericht 3886
- /10/ E. Smailos et al.  
Korrosionsuntersuchungen an Verpackungsmaterialien für hochakti-  
ve Abfälle  
EUR 8657
- /11/ W. Kluger, private Mitteilung
- /12/ S. Kunze, private Mitteilung