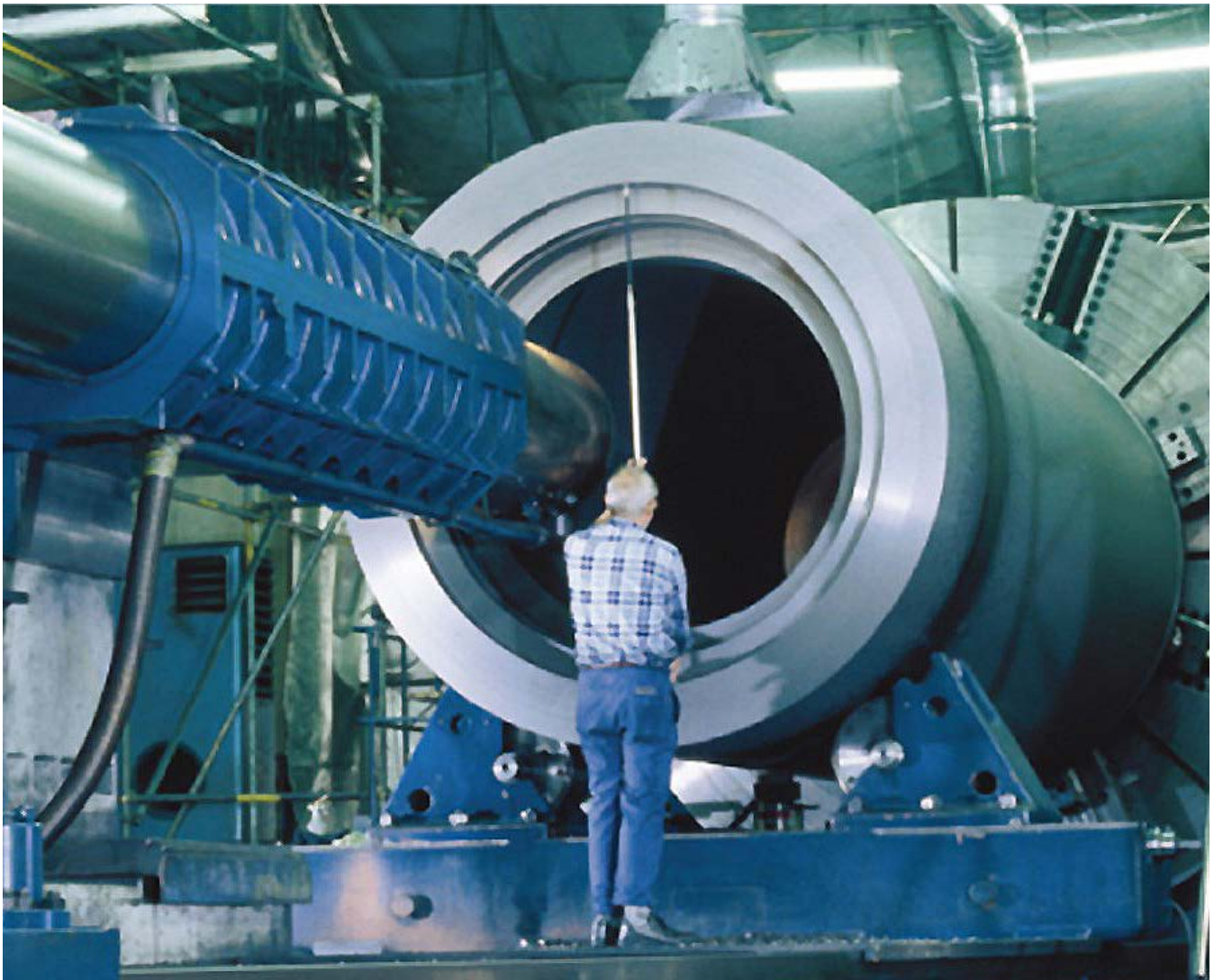


Dr. Wolfgang Steinwarz, Roland Hüggenberg, Prof. Ernst P. Warneke

## **CASTOR<sup>®</sup>, ein High-tech-Produkt aus duktilem Gusseisen**





# CASTOR<sup>®</sup>, ein High-tech-Produkt aus duktilem Gusseisen

Wenn heutzutage in Deutschland öffentlich vom CASTOR<sup>®</sup> die Rede ist, steht meist die gesellschaftspolitische Debatte rund um die Nutzung der Kernenergie im Vordergrund. Bilder von Demonstrationen bei Großtransporten per Bahn (Bild 1) und heiße Diskussionen über die Entsorgung nuklearen Abfalls sind allgegenwärtig. Zur Versachlichung sollen im vorliegenden Beitrag Konstruktion und Aufbau des weltweit meist genutzten Transport- und Lagerbehälters für abgebrannte Brennelemente aufgezeigt sowie der äußerst komplexe Fertigungsprozess und die zugehörigen Qualitätssicherungsmaßnahmen erläutert werden. Dies liefert letztlich die Basis zum Verständnis dieses gießtechnischen Produkts mit großen Sicherheitsreserven.

## 1 Die CASTOR<sup>®</sup>-Familie

### 1.1 Behälterbauarten

Im Zusammenhang mit der Entsorgung der deutschen Kernkraftwerke wurden seit Anfang der achtziger Jahre etwa 900 Transport- und Lagerbehälter vom Typ CASTOR<sup>®</sup> (CAsk for Storage and Transport Of Radioactive material) entwickelt, erprobt, zugelassen und gefertigt. Nahezu alle Behälter dieser Baureihe haben einen Behälterkörper aus duktilem Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS). Ein Doppeldeckelsystem verschließt den Innenraum und dichtet diesen langzeitbeständig mit Metalldichtungen ab.

Nachdem das Wiederaufarbeiten von abgebrannten Brennelementen in den entsprechenden Anlagen der Firmen COGEMA in Frankreich beziehungsweise BNFL in Großbritannien durch die so genannte Konsensvereinbarung zwischen der Bundesregierung und den deutschen EVUs ab dem 1. Juli 2005 gestoppt wurde, ist das langjährige trockene Zwischenlagern der Brennelemente in Transport- und Lagerbehältern mit anschließendem Einbringen in ein Endlager der verbleibende Entsorgungsweg. Das Zwischenlagern in Transport- und Lagerbehältern ist erforderlich, weil einerseits die Wärmeleistung der Brennelemente für eine Endlagerung unmittelbar nach Einsatzende noch zu hoch ist und andererseits noch kein Endlager zur Verfügung steht.

Entsprechend den aktuellen Anforderungen und Bedürfnissen der deutschen Energieversorgungsunternehmen (EVU) als Kernkraftwerksbetreiber werden gegenwärtig folgende Behälterbauarten des



Bild 1: CASTOR<sup>®</sup>-Großtransport per Bahn

CASTOR<sup>®</sup>-Typs zur Zwischenlagerung an den Kraftwerksstandorten beziehungsweise in den Transportbehälterlagern eingesetzt:

#### a) Behältergruppe CASTOR<sup>®</sup> V

Die Behältergruppe CASTOR<sup>®</sup> V wurde für die Aufnahme von abgebrannten Druckwasserreaktor(DWR)- und Siedewasserreaktor(SWR)-Brennelementen aus den deutschen Kernkraftwerken mit einer Abklingzeit bei Beladung von etwa fünf Jahren (römisch: V) entwickelt. Bei der Auslegung wurden die internationalen Vorschriften der IAEO (Internationale AtomEnergie-Organisation) für Versandstückmuster vom so genannten Typ B(U)F mit definierten Anforderungen zugrunde gelegt, so dass der Behälter entsprechend den internationalen Anforderungen für den öffentlichen Transport auf der Straße, der Schiene und mit dem Schiff geeignet ist. Darüber hinaus wurden bei der Konzeption die besonderen Lageranforderungen hinsichtlich Dichtigkeit, Dichtheitsüberwachung sowie Langzeitbeständigkeit der Komponenten für ein deutsches Zwischenlager berücksichtigt. Die Eignung der Behälterbauart wurde sowohl durch die verkehrsrechtliche Zulassung als auch durch Aufnahme in die individuellen Lagergenehmigungen durch Gutachter geprüft und vom Bundesamt für Strahlenschutz (Bfs) bescheinigt.

Der Behälter CASTOR<sup>®</sup> V/19 ist für die Aufnahme von 19 abgebrannten Brennelementen aus Druckwasserreaktoren mit 1300 MW-Reaktornennleistung und einem maximalen Wärmeinventar von 39 KW ausgelegt (Bild 2).

Für die Brennelemente aus Siedewasserreaktoren wird der Behälter CASTOR<sup>®</sup> V/52 eingesetzt. Dieser Behälter nimmt mit 52 Brennelementen eine größere Anzahl der kleineren SWR-BE auf. Die Brennstoffmenge entspricht aber in etwa dem des CASTOR<sup>®</sup> V/19.

#### b) Behältergruppe CASTOR<sup>®</sup> HAW

Im Zusammenhang mit der bis 2005 durchgeführten Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen wurden in den entsprechenden Anlagen der COGEMA in Frankreich und der BNFL in Großbritannien hochaktive Abfälle erzeugt. Die Aktivität wurde in eine feste Glasmatrix eingebunden und steht in Form von so genannten HAW-Glaskokillen (HAW = High Active Waste) zur Entsorgung bereit. Aufgrund internationaler Verträge ist der Rücktransport dieser HAW-Glaskokillen nach Deutschland zur Zwischenlagerung in Gorleben erforderlich. Für diesen Zweck wurde die Behälterbauart CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG entwickelt und genehmigt. Zwei unterschiedliche Tragkorbbauarten ermöglichen die Aufnahme von 20 oder 28 Kokillen mit verglasten hoch radioaktiven Abfällen, die in vier Ebenen übereinander angeordnet sind.

#### c) Sonstige CASTOR<sup>®</sup>-Varianten

Neben diesen Standardversionen wurden für den osteuropäischen Markt spezielle Varianten unter den Bezeichnungen WWER 440/84 und RBMK entsprechend den jeweiligen Reaktortypen entwickelt und zum Einsatz gebracht.

Die Hauptdaten der wesentlichen CASTOR<sup>®</sup>-Typen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

<sup>1)</sup> Dr.-Ing. W. Steinwarz, Siempelkamp Nukleartechnik GmbH, Krefeld, Dipl.-Ing. R. Hüggenberg, GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, Prof. Ernst P. Warnke, Siempelkamp Giesserei GmbH, Krefeld; www.siempelkamp.com



Tabelle 1: Hauptdaten der wesentlichen CASTOR®-Typen

CASTOR® - Typ	Beladepazität [BE/Kokillen]	Gesamthöhe [mm]	Außendmr. [mm]	Schachthöhe [mm]	Schachtdmr. [mm]	Gewicht [t]	
CASTOR® V/19	19 (DWR)	5862	2436	5025	1480	106,4	124,7
CASTOR® V/52	52 (SWR)	5451	2436	4550	1480	103,8	122,8
CASTOR® HAW 20/28 CG	20 bzw. 28	6110	2480	5180	1350	100,0	112,0
CASTOR® 440/84	84	4080	2660	3260	1800	95,0	116,0

## 1.2 Konstruktiver Aufbau

Wie ist nun der CASTOR® aufgebaut?

Hauptelemente – hier am Beispiel des HAW 20/28 CG (**Bild 3**) – sind ein dickwandiger zylindrischer Behälterkörper aus Gusseisen mit Kugelgraphit und ein Doppeldeckelsystem, die gemeinsam die dichte Umschließung bilden und ein Abschirmen der  $\gamma$ -Strahlung gewährleisten.

Zur Neutronenabschirmung sind in gleichmäßig verteilten Bohrungen in der Behälterwand so genannte Moderatorstäbe sowie im Bodenbereich und an der Unterseite des Sekundärdeckels Platten aus Polyethylen angeordnet. An der boden- und deckelseitigen Mantelfläche des Behälterkörpers ist zum Anbringen von Handhabungseinrichtungen jeweils ein Tragzapfenpaar angeschraubt.

Der Tragkorb ist für die Aufnahme der Brennelemente als Schweißkonstruktion ausgeführt (**Bild 4**). Er gewährleistet die kritikalitätssichere Anordnung der Brennelemente. Dies geschieht durch ein spezielles räumliches Positionieren sowie das Verwenden von Neutronen absorbierenden Materialien wie mit Bor legiertem Stahl.

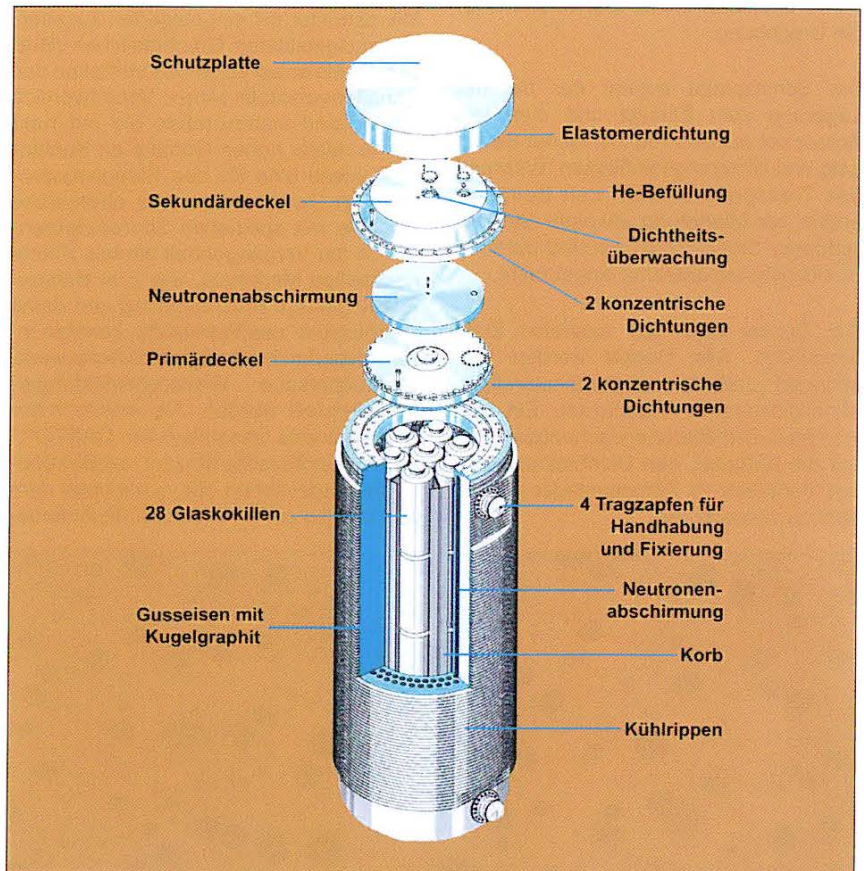


Bild 3: Konstruktiver Aufbau des CASTOR® am Beispiel des Typs HAW 20/28 CG

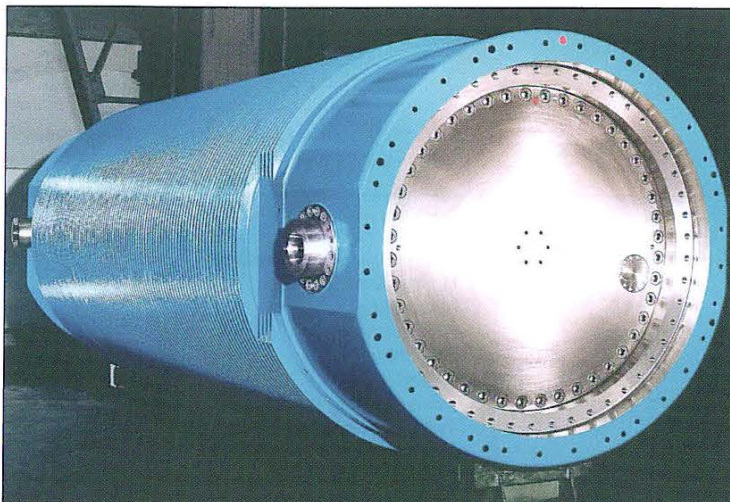


Bild 2: CASTOR®- Behälter vom Typ V/19

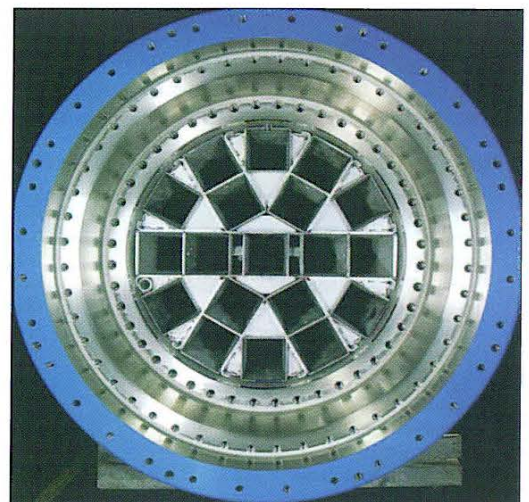


Bild 4: Tragkorb eines CASTOR® V/19



Die Wärme wird von den Brennelementen durch Wärmestrahlung an den Tragkorb übertragen. Spezielle Wärmeleitbleche sowie Konvektion und Wärmestrahlung sorgen für den weiteren Wärmetransport durch den Tragkorb an die Behälterinnenoberfläche. Nach der Wärmeableitung durch die Behälterwand wird die Wärme konvektiv an die Umgebungsluft abgeführt. Kühlrippen sorgen für eine Vergrößerung der Zylinderoberfläche und damit für eine effiziente Wärmeabfuhr an die Umgebung.

Die Schutzplatte kommt nur bei der Lagerung zum Einsatz und dient als Schutz vor äußerer mechanischer Belastung und Witterungseinflüssen. Während des Transports sind an den Behälterenden zur Minderung etwaiger Stoßbelastungen Stoßdämpfer aus Holz mit einer Stahlblechummantelung angebracht.

Die Deckel sind aus rostfreiem Stahl ausgeführt. Alle Deckel werden verschraubt und mit langzeitbeständigen Metalldichtungen abgedichtet. Ein aufwändiges Behälterüberwachungssystem hat die Aufgabe, den Dichtheitszustand des Behälters im Zwischenlager permanent zu überwachen.

## 2 Die Werkstoffe und ihre Kenndaten

Beim CASTOR® handelt es sich um einen Behälter, der Anforderungen aus Transport und Lagerung erfüllen muss. Hieraus ergeben sich besondere Qualifikationsmerkmale für den Werkstoff, die in vollem Umfang durch Gusseisen mit Kugelgraphit der Sorte GJS-400-15C nach DIN EN 1563 erfüllt werden. Die ferritische Mikrostruktur mit eingelagerten kugelförmig ausgebildeten Graphitteilchen (**Bild 5**) stellt ein entsprechendes Verhalten des Behälterwerkstoffs sicher. Verantwortlich hierfür sind insbesondere die mit rund 3,6 % relativ hohen Gehalte an Kohlenstoff sowie eine für den Fertigungsprozess im Detail ausgefeilte chemische Analyse mit speziellen Spurenelementen. In der Vergangenheit oftmals zitierte nachteilige Merkmale, wie zum Beispiel relativ geringe Bruchdehnung und damit „Sprödigkeit“ des Werkstoffs, konnten inzwischen durch ständige detaillierte werkstofftechnische Weiterentwicklungen kompensiert werden. Als wesentlicher Vorteil für das Gesamtsystem CASTOR® ist die monolithische Struktur des Behälterkörpers anzusehen, die quasi unter dem Motto „alles aus einem Guss“ die Anforderungen des sicheren Einschusses sowie der Abschirmfunktion ohne zusätzliche Nahtstellen abdeckt.

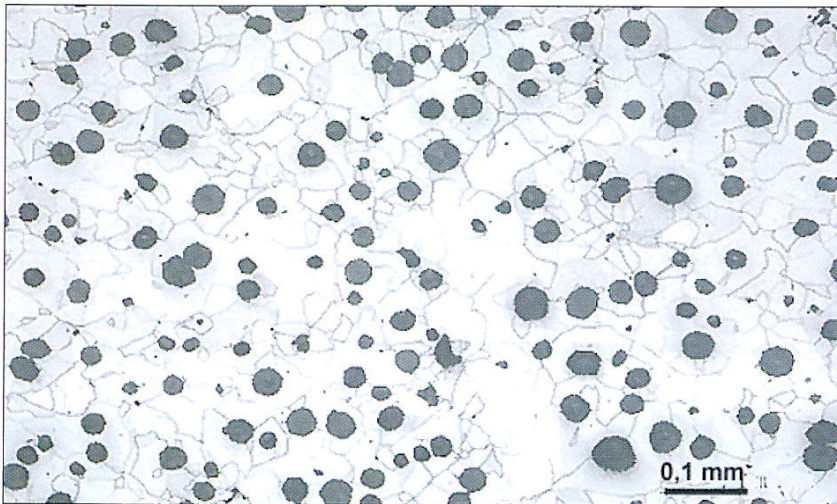


Bild 5: Mikrostruktur des CASTOR®-Werkstoffs GJS-400-15C

Tabelle 2: Garantierte Werkstoffkennwerte für CASTOR®-Behälterkörper

Eigenschaft	Garantierter Wert
Zugfestigkeit $R_m$	$\geq 300 \text{ N/mm}^2$
0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$	$\geq 230 \text{ N/mm}^2$
Bruchdehnung $A_5$	$\geq 8 \%$

rungen des sicheren Einschusses sowie der Abschirmfunktion ohne zusätzliche Nahtstellen abdeckt.

Die Eignung des Werkstoffes wird im Rahmen von Sicherheitsanalysen sowohl als Festigkeits- als auch bruchmechanischer Nachweis geführt. Dabei werden die von der IAEO definierten Unfall-Beförderungsbedingungen (zum Beispiel Fall aus 9 m Höhe auf unnachgiebigen Untergrund, 1 m Fall auf einen Dorn und anschließende Erhitzungsprüfung) als Vorgaben für die Auslegung festgelegt. Entsprechende Nachweise sind im Rahmen der verkehrsrechtlichen Genehmigungsverfahren zu erbringen und konnten auch immer problemlos geführt werden.

Die für den CASTOR®-Behälterkörper zu garantierenden mechanischen Werkstoffkennwerte sind in der **Tabelle 2** zusammengefasst. Sie werden an Hohlbohrproben, die aus der Mitte der Zylinderwand entnommen sind, bestimmt.

Da bei der Fertigung die Formgebung des Behälterkörpers in einem Arbeitsvorgang beim Gießen reproduzierbar erzeugt wird, ergeben sich besondere Vorteile hinsichtlich der Produktionskosten. Als besondere technologische Eigenschaft des Gusseisens mit Kugelgraphit ist das günstige Zerspanungsverhalten anzumerken. Im Gegensatz zu Stahl brechen die Späne sehr kurz und sind leicht zu beseitigen, was besonders beim Einsatz automatischer Maschinen von Bedeutung ist. Duktiles Gusseisen ist auch schweißbar, allerdings sind spezielle aufwändige Verfahrenstechniken erforderlich.

Die für weitere wesentliche Systemelemente eingesetzten Werkstoffe und ihre Funktionen sind in der **Tabelle 3** zusammengestellt.

Tabelle 3: Am CASTOR® eingesetzte wesentliche Werkstoffe

Systemelement	Werkstoff	Funktionen	
Behälterkörper	Gusseisen (GJS)	Einschluss, $\gamma$ -Abschirmung	
Primär-/Sekundärdeckel	Edelstahl	Dopperverschluss	
Dichtungen	Primärdeckel	Silber	Abdichtung
	Sekundärdeckel	Aluminium	Abdichtung
	Sonstiges	Elastomer	Abdichtung
Tragzapfen	Schmiedestahl	Handhabung	
Tragkorb	borierter Edelstahl	Positionierung der Brennelemente	
Wärmeleitbleche im Tragkorb	Aluminium, Kupfer	Wärmeabtransport	
Moderatorstäbe	Polyethylen	Neutronen-Abschirmung	
Schrauben, Kleinteile	ferritischer Stahl	Diverse Fügefunktionen	
Stoßdämpfer	Holz, Stahl	Energieabsorption beim Transportunfall	
Schutzplatte	Edelstahl	Allgemeiner äußerer Schutz bei Lagerung	



# 3 Der Fertigungsprozess

## 3.1 Gussfertigung

Hier liegt ein breites Spektrum an Erfahrungen aus Planung, Fertigung und betrieblichem Einsatz vor. Trotzdem handelt es sich beim CASTOR® nicht im eigentlichen Sinne um ein Serienprodukt. Jeder Behälter ist ein High-tech-Erzeugnis, das jeweils pro Auftrag in kleinen Stückzahlen mit aller notwendigen Konsequenz in gesicherter Qualität hergestellt wird. Mit seinen etwa 160 t Flüssigeisen beim Gießprozess als Folge der notwendigen großen Abschirmwandstärke zählt der Behälterkörper zudem zu den wirklich großen Gussstücken, deren Fertigung auch weltweit im Handformguss nur von wenigen Herstellern unter den hohen Qualitätsmaßstäben beherrscht wird.

Der Produktionsprozess beginnt mit dem Rohguss des Behälterkörpers und wird dann durch die mechanische Bearbeitung – gegebenenfalls mit dem Zwischenschritt Vernickeln – fortgesetzt. Die Arbeitspakete werden durch die Beistellung von Kleinteilen komplettiert. Dann erfolgen die Montage und die abschließende Qualitätssicherung vor dem Versand zum Einsatzort.

Die Gießform besteht aus einer ein- oder zweiteiligen Kokille als äußeres Formteil und einem Sandkern als Verdrängungskörper für den Behälterschacht im Inneren (**Bild 6**). Der Abguss aus der Pflanne erfolgt über den Gießback, der die Schmelze über ein Fallrohr dem Unterkasten und damit der Gießform von unten her zuführt. Durch das so genannte steigende Gießen wird die Form turbulenzarm und gleichmäßig gefüllt. Die Sauerstoffaufnahme durch die Schmelze wird dadurch reduziert. Eventuelle Störkörper, wie Schlackepartikel, werden an der Gussoberseite aufgeschwemmt und können dort leicht zugänglich abgearbeitet werden. Kern und Mantelkokille umschließen die Schmelze und sorgen für die Formgebung des Gussteils.

Die Formoberflächen werden während des Aufbaus der Gießformvorrichtung mit einer feuerfesten Suspension (Schlichte) überzogen. Deren Hauptaufgaben sind:

- Verringern des Wärmeaustausches zwischen Schmelze und Form mit dem Ziel, die Temperaturbeständigkeit des Formsystems zu erhöhen.
- Oberflächenglättung am Gussteil,
- Verhindern des Eindringens der Schmelze in die Formwand.



Bild 6: Giessaufbau beim CASTOR®-Abguss (Giessback – Fallrohr - Kokille)

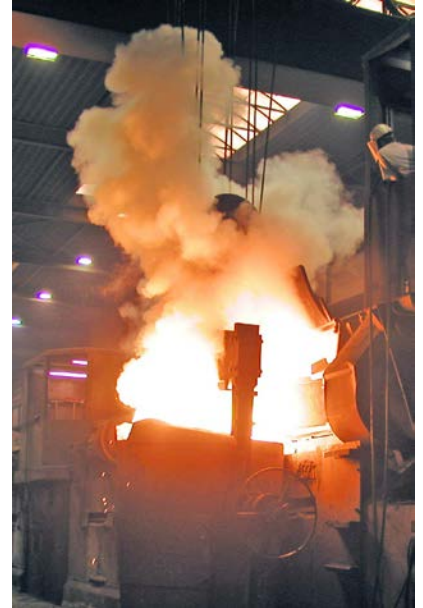


Bild 7: Magnesiumbehandlung



Bild 8: CASTOR®-Abguss



Bild 7 zeigt die zur Ausbildung der sphärolitischen Graphitkristallform grundlegende Magnesiumbehandlung. Die Abkühlungsgeschwindigkeit der Schmelze in der Pfanne beträgt etwa 4 bis 6 K/min. Eine der wichtigsten Aufgaben beim Fertigungsprozess ist daher die zeitliche Koordinierung der in mehreren Pfannen (im allgemeinen 2 bis 3 Stück) portionierten Schmelze zum Erreichen der Ziel-Mischtemperatur für den Abguss von ca. 1320 °C (Bild 8). Dabei liegen die Gießtemperaturen der einzelnen Pfannen in der Regel etwa 10 bis 20 K auseinander. Mit dem Gießvorgang, der selbst nur wenige Minuten benötigt, und dem dabei erzeugten Behälterrohling ist die Basis für alle weiteren Fertigungsschritte vorgegeben.

### 3.2 Mechanische Bearbeitung

Etwa zwei Tage nach dem Abguss werden die Kokillen gezogen. Nach einer Woche in der Grube zum weiteren Abkühlen wird das Gussteil in die Putzerei gebracht, wo es etwa eine Woche gereinigt und vorbereitet wird. An dem geputzten Rohling werden erste Qualitätstests, wie Überprüfen von Wandstärke, Oberflächenstruktur, Ultraschall(US)-Vorprüfung und Gefügeuntersuchungen an Schlißproben durchgeführt.

Das mechanische Bearbeiten auf einer Großdrehmaschine erfolgt im nächsten Fertigungsschritt (Bild 9). Insgesamt werden auf dieser Maschine vom Behälterkörper rund 50 mm der Wanddicke abgedreht und der Durchmesser von vorher 520 auf 470 mm verringert, um unvermeidbare durch den Gießprozess bedingte oberflächliche Ungenzen sicher abzuarbeiten. Dieser Bearbeitungsschritt erfolgt in zwei Phasen: Einstellung der



Bild 9: Mechanische Bearbeitung auf der Großdrehmaschine

Hauptabmessungen mit anschließender Ultraschall-Hauptprüfung und weitere Feinbearbeitung (Zeitbedarf jeweils etwa 1 bis 1,5 Wochen).

Bei der zerstörungsfreien Methode der Ultraschallprüfung werden die Oberflächen des Gusskörpers zum Nachweis der Integrität und damit des Fehlens von relevanten Werkstoffungenen, wie Lunken, Risse usw. von außen durchschallt. Die Schallwellen durchdringen das Gussteil und werden an seiner Rückwand reflektiert. Die dabei verwendeten US-Frequenzen liegen üblicherweise bei 1 bis 2 MHz. Bei bis zu 13 verschiedenen Prüfpositionen wird jedes Volumenelement aus drei Einschallrichtungen (radial, axial, tangential) erfasst. Auf diese Weise sind Ungenzen im niedrigen mm-Bereich eindeutig identifizierbar. Dieser Vorgang benötigt noch einmal etwa 1 bis 1,5 Wochen.

Der Zeitaufwand für die Tieflochbearbeitung liegt bei 2,5 Wochen. Hierbei werden zur Aufnahme der Neutronen-Moderatorstäbe bis zu hundert Längsbohrungen mit einer Tiefe bis zu 5500 mm in die Behälterwandung eingebracht. Die gleichzeitige Entnahme der Hohlbohrprobe erfolgt im Prinzip nach dem Kronenbohrverfahren. Dabei wird der in einem ersten Bohrgang generierte Stab über ein zur Kernmitte verfahrenes Werkzeug im zweiten Arbeitsgang in der gewünschten Länge abgetrennt. Der Durchmesser der Bohrung beträgt 80 mm. Die Hohlbohrprobe selbst hat einen Durchmesser von 25 mm. Sie dient zur Werkstoffanalyse.

Auf einem weiteren Bohrwerk werden auch die Bohrungen für die Verschraubung der Deckel und Tragzapfensitze

einschließlich kleinerer Fräsarbeiten (zum Beispiel Spiegelflächen der Tragzapfen) ausgeführt. Der Zeitbedarf hierfür liegt bei etwa 1,5 bis 2 Wochen.

In der sich anschließenden zweiten Drehbearbeitungsphase werden vor allem die Kühlrippen herausgearbeitet und die Deckelpartie und Dichtflächen endbearbeitet. Das dauert weitere 1,5 Wochen. Diese Bearbeitungsphase wird begleitet durch weitere Qualitätssicherungsmaßnahmen, wie Farbeindringprüfung und Maßkontrollen, wofür eine weitere Woche benötigt wird.

Hauptaufgabe des anschließenden Vernickeln des Schachtinnern und der Deckelsitze ist das Absichern eines ausreichenden Korrosionsschutzes für die spätere Unterwasserbelastung im Kernkraftwerk. Dabei wird der Behälterinnenraum mit Elektrolyt gefüllt und anschließend über einen Zeitraum von etwa einer Woche auf galvanischem Wege mit einer dünnen Nickelschicht überzogen. Die qualitätssichernden Maßnahmen beziehen sich hier vor allem auf die Haftung am Behälterkörper, Ebenheit, Dicke und Porenfreiheit. Die mechanische Bearbeitung der Nickelschicht mittels Drehen oder Schleifen im Deckeldichtsbereich nimmt abschließend nochmals etwa zwei Wochen in Anspruch.

### 3.3 Qualitätssicherung des Behälterkörpers

Wie bereits erwähnt, erfordert das High-tech-Produkt CASTOR® ein weitgreifendes, streng reguliertes Qualitätssicherungssystem mit von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) freigegebenen Prüfanweisungen.



Bild 10: Montageaktivitäten für den CASTOR®



Dies gilt für alle Bauelemente des CASTOR®, was nachfolgend etwas detaillierter am Beispiel des Behälterkörpers dargestellt werden soll.

Zur sicheren Prüfung der Werkstoffeigenschaften werden drei bis vier Hohlbohrproben, davon eine so genannte Rückstellprobe, für das Ermitteln der mechanisch-technologischen Kennwerte gezogen. Die Farbeindringprüfung wird vornehmlich an den Dichtflächenbereichen eingesetzt. Hierbei wird in einem ersten Schritt eine rote Farbe, der so genannte Penetrant, aufgesprüht und nach einer Einwirkzeit von etwa 30 Minuten wieder abgewaschen. Beim anschließenden Auftragen des Entwicklers, einer weißen Emulsion, werden eventuell vorhandene Fehlstellen, wie Mikroporen, sichtbar.

Weitere spezielle Tests erfolgen durch die BAM. Über die Ultraschallprüfungen wurde bereits berichtet. Hundertprozentige Maßkontrollen ergänzen das umfangreiche Prüfbild. Alle Abnahmen wie auch die Fertigung selbst erfolgen gemäß den von der BAM freigegebenen Fertigungsprüfplänen (FPP) und Prüfvorschriften (PV)/Spezifikationen. Als Ergebnis steht eine 50 bis 60 Unterlagen umfassende

de Dokumentation alleine für den Behälterkörper zur Verfügung. Abgerundet wird der Qualitätsnachweis durch die ebenfalls umfangreichen Herstellerqualifikationen nach DIN EN ISO 9000:2000, die BAM-Herstelleranerkennung für die Fertigung von Typ B-Verpackungen usw.

### 3.4 Montage und Endkontrolle

Bei der Montage werden Behälterkörper, Tragkorb, Moderatorstäbe, Tragzapfen, Deckel und die vielen diversen Kleinteile zu einem Gesamtprodukt zusammengeführt (Bild 10). Bei der folgenden Überlastprüfung werden die verschiedenen Verschraubungen und Lastanschlagspunkte mit der 1,5-fachen Last des maximal zulässigen Behältergewichts beaufschlagt. Vor und nach den Testreihen werden die Gewinde mit entsprechend kalibrierten Gewindelehndornen überprüft.

Mit der Dichtheitsprüfung können abschließend alle Dichtbarrieren des Behälters überprüft werden. Die maximal zulässige Leckagerate liegt bei  $10^{-8}$  Pa · m<sup>3</sup>/s. Nachdem nun alle Vorkehrungen für eine sichere Nutzung des CASTOR®s erfolgt sind, warten die fertigen Behälter auf ihren „Einsatz“.

## 4 Schlussbemerkung

Werden alle Zeitabschnitte des gesamten Fertigungsablaufs einschließlich der Vorbereitungszeiten für Kokillen- und Formenfertigung zusammenaddiert, so ergibt sich letztlich ein Projektzeitrahmen von etwa einem Jahr oder sogar mehr. Dies ist selbstverständlich um Zeitaufwendungen für Genehmigungen, Gutachten und Sicherheitstests insbesondere bei Einführung neuer Behälterbauarten oder bei wesentlichen konstruktiven Änderungen zu ergänzen.

Mit dem Einsatz im Kernkraftwerk (Bild 11) endet ein langer Weg der Fertigung mit vielen teils hochkomplexen Einzelschritten. Voraussetzung für einen reibungslosen Ablauf ist – und dies sollte auch hier erwähnt werden – neben der hohen fachlichen Qualifikation der beteiligten Institutionen und Firmen auch deren engagiertes und verantwortungsbewusstes Zusammenwirken. Es bleibt festzuhalten, dass der CASTOR® als notwendiges, aber auch sicheres Instrument für die Entsorgung radioaktiver Produkte eingestuft werden kann. Innovativen hochbelastbaren Gussteilen aus GJS kommt dabei eine bedeutende Rolle zu.

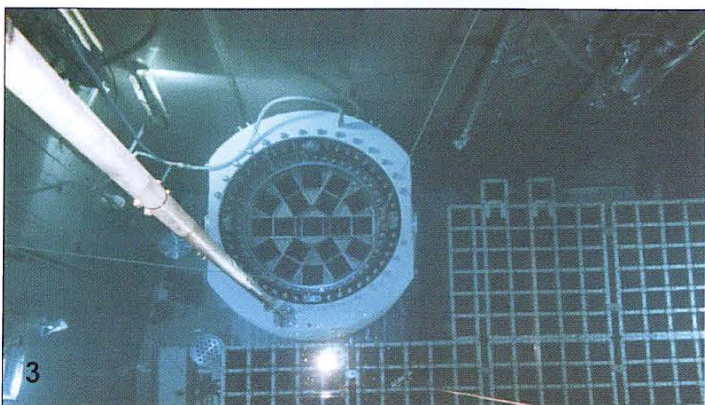
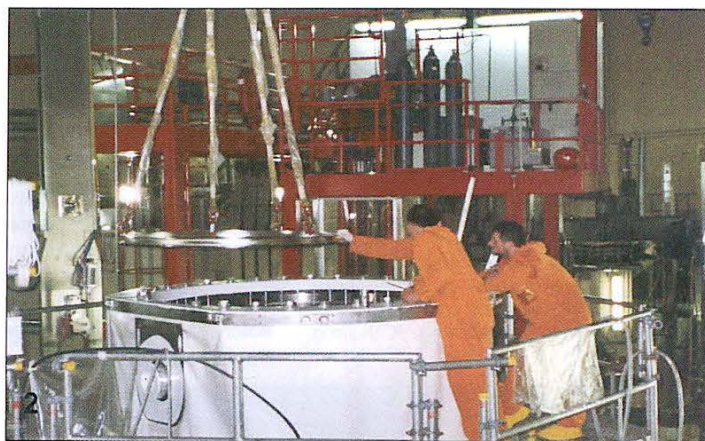


Bild 11: Einsatz des CASTOR® im Kernkraftwerk: Einschleusen (1), Vorbereitung zur Beladung (2), Beladung mit Brennelementen (3)





---

**GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH**  
Hollestr. 7 A - 45127 Essen  
[www.GNS.de](http://www.GNS.de)

Roland Hüggenberg  
Tel.: 0201 109 17 06 - Fax: 0201 109 11 00  
[Roland\\_hueggenberg@gns.de](mailto:Roland_hueggenberg@gns.de)

**Siempelkamp Nukleartechnik GmbH**  
Siempelkampstraße 45 - 47803 Krefeld  
[www.SIEMPELKAMP.com](http://www.SIEMPELKAMP.com)

Dr. Wolfgang Steinwarz  
Tel.: 02151 894 290 – Fax: 02151 894 457  
[wolfgang.steinwarz@siempelkamp.com](mailto:wolfgang.steinwarz@siempelkamp.com)