

Technologische Lösungen der Lagerung abgebrannter Brennelemente in der Welt

1. AKTUELLE TRENDS IN DER BEHANDLUNG ABGEBRANNTER BRENNNELEMENTE

In den letzten Jahrzehnten sammelte die Kernkraftindustrie eine Menge von Erfahrungen aus dem Betrieb der Kernkraftanlagen und auch eine Menge abgebrannter Brennelemente. Im Laufe der letzten 50 Jahre wurde der größte Teil der abgebrannten Brennelemente in nassen Zwischenlagern sicher aufbewahrt. Neue Herausforderungen zur Verlängerung der Nutzungsdauer der bestehenden und der neuen Lagereinrichtungen fordern, eine sichere Lagerung für eine viel längere Zeit sicherzustellen, als ursprünglich geplant wurde, d. h. für 100 und mehr Jahre.

Die Nasslagerung abgebrannter Brennelemente hält man für eine fortgeschrittene Technologie. Die Trockenlagerung entwickelte sich intensiv insbesondere in den letzten Jahrzehnten und wird in der Gegenwart als eine fortgeschrittene Lagerungstechnologie angesehen.

In der Gegenwart gibt es verschiedene Lizenzlagersysteme, die in einem immer größeren Ausmaß auf dem europäischen als auch auf dem amerikanischen Kontinent ausgebaut werden.

2. BESCHREIBUNG DER BEHANDLUNG ABGEBRANNTER BRENNNELEMENTE IN EINIGEN AUSGEWÄHLTEN EU-MITGLIEDSTAATEN UND IN EINIGEN MITGLIEDSTAATEN DER INTERNATIONALEN ATOMENERGIE-ORGANISATION (IAEA)












Auswahl der betreffenden Länder und Auswahlbegründung

Für die Auswahl von zehn Staaten, die EU-Mitglieder, bzw. IAEA-Mitglieder sind, wurden für die Recherche mit Rücksicht auf den Vergleich mit der akzeptierten Strategie der Behandlung abgebrannter Brennelemente in der Slowakischen Republik folgende Kriterien ausgewählt:

- wirtschaftlicher Fortschritt und Größe des gegebenen Landes;
- Größe des Atomprogramms;
- Erfahrungen mit dem Brennstoff von dem Typ VVER-440, bzw. mit anderem LWR-Brennstoff-Typ.

Aufgrund der angeführten Kriterien wurden 5 EU-Mitgliedstaaten und weitere 5 Länder, die IAEA-Mitglieder sind, ausgewählt und beschrieben. Die Länder sind in der folgenden Tabelle mit einer kurzen Beschreibung angeführt. Die Länder, die Erfahrungen mit dem Brennstoff-Typ VVER-440 haben, sind in der Tabelle farbig hervorgehoben.

Anlage Nr. 4

EU			IAEA		
Kernkraftblöcke in Betrieb 65		stillgelegte Blöcke 7	Kernkraftblöcke in Betrieb 84		stillgelegte Blöcke 12
AR Nasslagerung	FRANKREICH 		AR Nasslagerung	USA 	
	Verarbeitung			direkte Lagerung	
Kernkraftblöcke in Betrieb 8		stillgelegte Blöcke 11	Kernkraftblöcke in Betrieb 35		stillgelegte Blöcke 4
AR Nasslagerung	DEUTSCHLAND 		AR Nasslagerung	RUSSLAND 	
	Tieflagerung			Verarbeitung/ Tieflagerung	
Kernkraftblöcke in Betrieb 6		stillgelegte Blöcke 0	Kernkraftblöcke in Betrieb 15		stillgelegte Blöcke 0
AR Nasslagerung	TSCHECHIEN 		AR Nasslagerung	UKRAINE 	
	Tieflagerung			direkte Lagerung	
Kernkraftblöcke in Betrieb 4			stillgelegte Blöcke 2		
AR Nasslagerung	SLOWAKEI 				AFR Nasslagerung
	Tieflagerung				
Kernkraftblöcke in Betrieb 4		stillgelegte Blöcke 0	Kernkraftblöcke in Betrieb 2		stillgelegte Blöcke 4
AR Nasslagerung	UNGARN 		AR Nasslagerung	BULGARIEN 	
	geplante Tieflagerung			Tieflagerung	
Kernkraftblöcke in Betrieb 4		stillgelegte Blöcke 0	Kernkraftblöcke in Betrieb 1		stillgelegte Blöcke 0
AR Nasslagerung	FINNLAND 		AR Nasslagerung	ARMENIEN 	
	direkte Lagerung			direkte Lagerung	

Tab. 1 Ausgewählte Länder und ihre kurze Beschreibung nach gewählten Kriterien

2.1 Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente in ausgewählten EU-Mitgliedstaaten

2.1.1 Frankreich

2.1.1.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

Frankreich verfügt über 65 aktive Reaktoren, wobei die meisten von dem Typ PWR sind mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistungsabgabe von ca. 1 190 MW. Eine Ausnahme bildet die Kernkraftanlage Phénix, im Südosten des Landes situiert, die einen Reaktor von dem Typ FBR mit einer Kapazität von 233 MW besitzt.

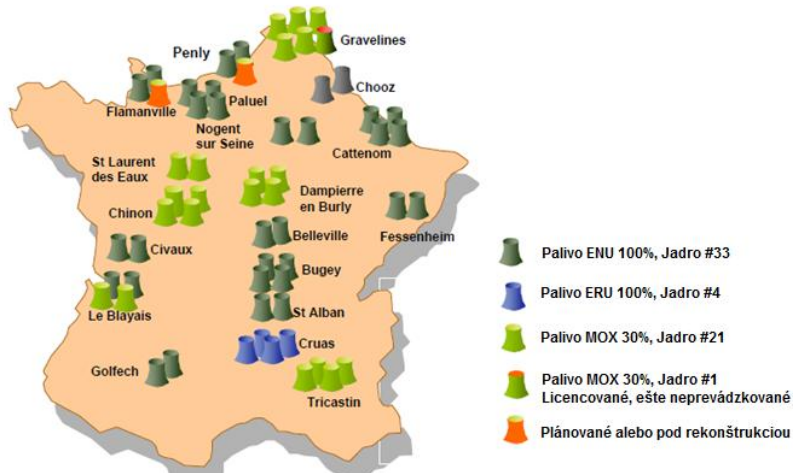


Bild 1 Kernkraftanlagen in Frankreich (AREVA, 2010)

Legende:

ENU-Brennstoff 100%, Atom #33

ERU-Brennstoff 100%, Atom #4

MOX-Brennstoff 30%, Atom #21

MOX-Brennstoff 30%, Atom #1

lizenziert, noch nicht betrieben

geplant oder rekonstruiert

2.1.1.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Abgebrannte Brennelemente werden nach ihrer Entladung aus den Reaktoren mindestens drei Jahre lang in Wasserbecken gekühlt, befindlich in den Reaktorhallen. Danach werden abgebrannte Brennelemente mit der Eisenbahn und über Straßenwege in den Verarbeitungsbetrieb in La Hague abtransportiert. Vor der Verarbeitung werden hier abgebrannte Brennelemente wieder ein paar Jahre in massiven Kühlungsbecken aufbewahrt. Nach der Verarbeitung werden abgebrannte Brennelemente in drei Hauptprodukte eingeteilt: Uran, Plutonium und hochradioaktive Abfälle. Die hochradioaktiven Abfälle werden im trockenen Zwischenlager in La Hague aufbewahrt.

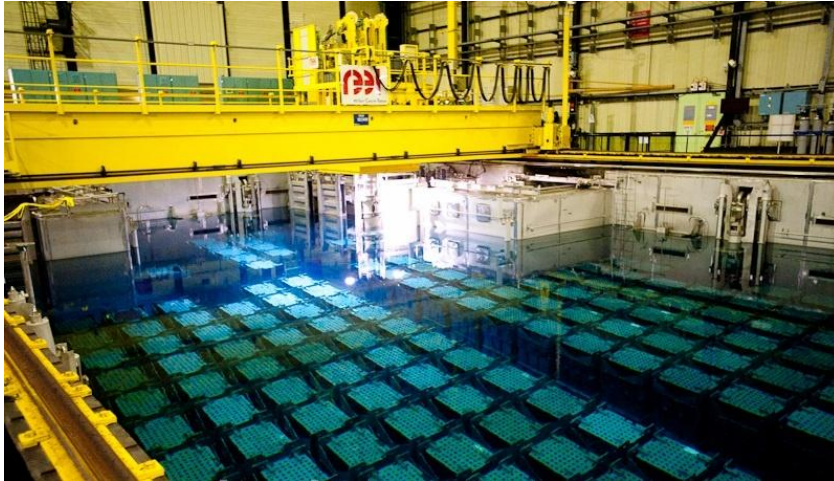


Bild 2 Lagerbecken im Verarbeitungsbetrieb in La Hague (AREVA, 2011)

2.1.2 Deutschland

2.1.2.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

Deutschland hat in der Gegenwart acht aktive Kernkraftreaktoren, wobei PWR-Reaktoren mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von 1 390 MW überwiegen. Es verfügt auch über vier BWR-Reaktoren mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von 840 MW. Man muss das Kernkraftwerk Greifswald erwähnen, welches von 1974-1990 aus Kernkraftenergie Elektroenergie produzierte. *Hier gab es vier VVER-440/V230-Reaktoren und einen VVER-440/V213-Reaktor.*

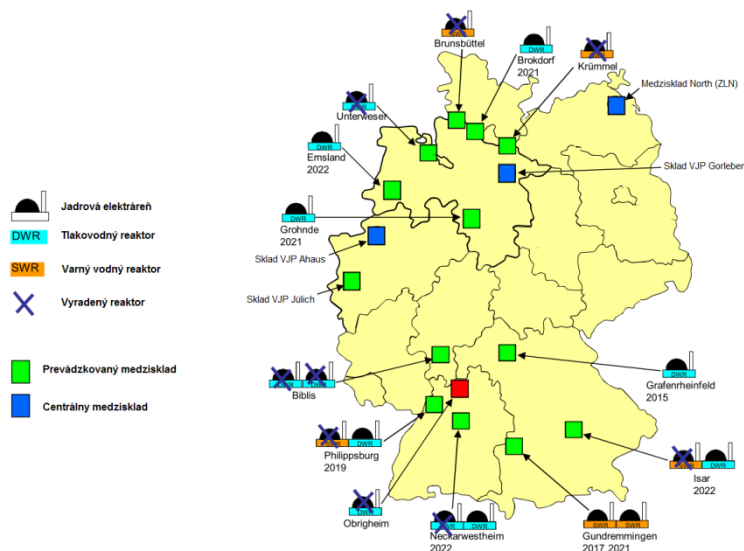


Bild 3 Kernkraftanlagen in Deutschland (Center, 2006)

Legende:

Kernkraftwerk

Druckwasserreaktor

Siedewasserreaktor

stillgelegter Reaktor

betriebenes Zwischenlager

zentrales Zwischenlager

2.1.2.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Abgebrannte Brennelemente werden nach ihrer Entladung aus dem Kernreaktor in das Zwischenlager eingetaucht, das ein mit Wasser gefülltes Becken darstellt. Hier wird der Kernbrennstoff mindestens 3 Jahre aufbewahrt. Die Brennstoff-Kassetten werden in den Zwischenlagern in CASTOR-Containern (HAW28M und V/19 von GNS) oder TN-Containern (85 und 24E von AREVA Transnuclear) platziert, wobei sie die ganze Zeit von der Raumluft gekühlt werden.



Bild 4 Lager für abgebrannte Brennelemente in Gorleben (GNS, 2010)

2.1.3 Tschechien

2.1.3.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

In Tschechien befinden sich zwei Kernkraftwerke:

- Kernkraftwerk Dukovany: befindet sich im Süden der Republik unweit der Gemeinde Dukovany und verfügt über vier VVER 440/V213-Reaktoren mit einer Kapazität von 500 MW;
- Kernkraftwerk Temelín: ist im Südwesten des Landes in der Nähe von der Gemeinde Temelín situiert, in zwei Blöcken (Temelín 1 und Temelín 2) ist je ein VVER 1000/V320 PW-Reaktor mit einer Kapazität von 1013MW.

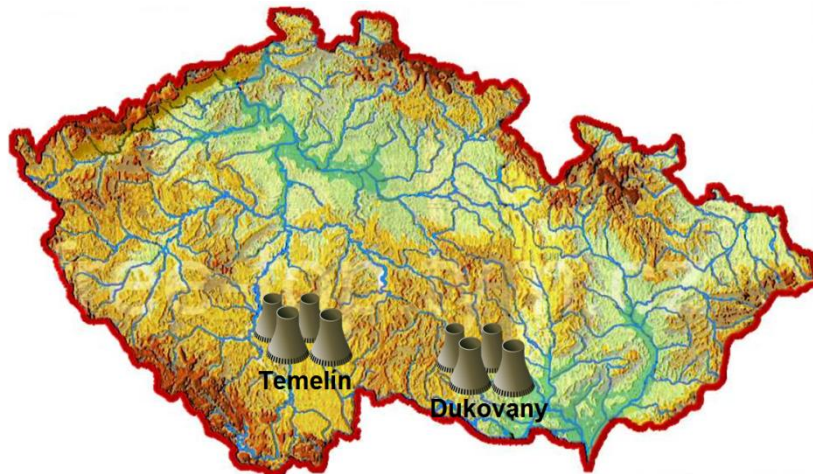


Bild 5 Kernkraftanlagen in Tschechien (ZTS VVÚ Košice a.s., 2014)

2.1.3.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Nachdem die abgebrannten Brennelemente aus dem Reaktor herausgenommen werden, werden sie unter dem Wasserspiegel durch einen Kanal in das Zwischenlagerbecken abtransportiert, das sich in der Reaktorhalle neben dem Reaktor befindet. Dort werden die Brennstoffelemente einige Jahre unter dem Wasser aufbewahrt (mindestens 3 Jahre lang). Danach werden die Brennelemente in metallische CASTOR-Transport- und Lagerbehälter (der Firma GNS) eingelegt und in das trockene Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente abtransportiert.

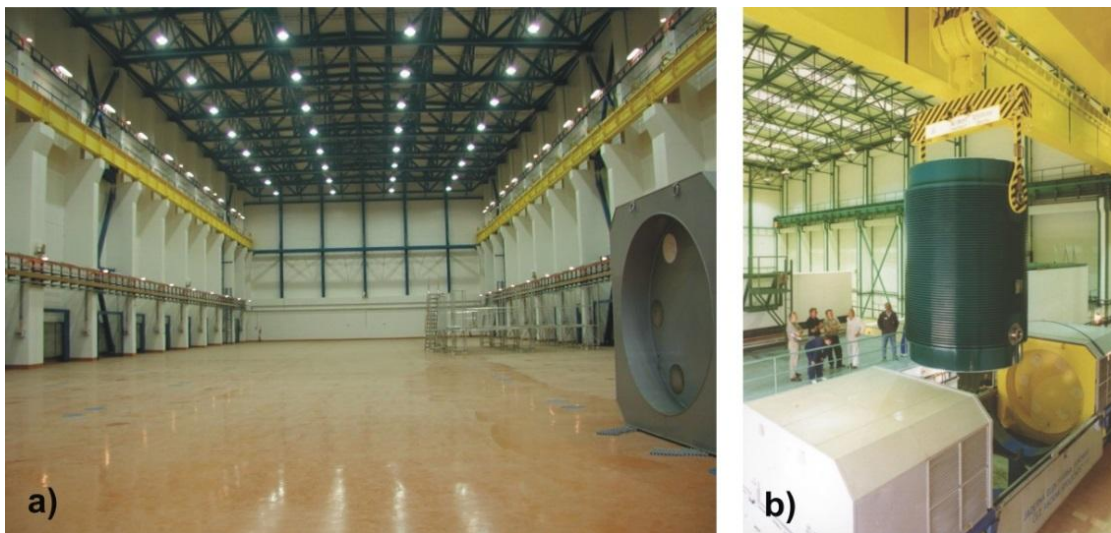


Bild 6 Trockenes Zwischenlager in der Kernkraftanlage Dukovany (ČEZ, 2012)

2.1.4 Ungarn

2.1.4.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

In Ungarn befindet sich ein einziges Kernkraftwerk in der Stadt Paks, die in der Gau Tolna ungefähr im Zentrum des Landes liegt. Es verfügt über vier aktive Blöcke je mit einem VVER

440/V213-Reaktor mit einer Höchstkapazität von 500 MW. In Zukunft ist der Bau von zwei weiteren Blöcken geplant.



Bild 7 Kernkraftanlagen in Ungarn (ZTS VVÚ Košice a.s., 2014)

2.1.4.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Das trockene Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente wurde im Jahr 1997 in Betrieb genommen und ist am Betriebsgelände des Kernkraftwerkes Paks situiert, an seine südliche Seite angrenzend. Nach seiner Abtrennung kommt der Kernbrennstoff in ein Becken neben den Reaktor, wo er mindestens 3 Jahre lang bleibt. Danach werden die Kassetten in ein trockenes Zwischenlager abtransportiert, wo sie nach der Austrocknung in hermetisch verschlossene Kassetten aus Stahl kommen. Die ausgestrahlte Wärme wird durch ein Ventilationssystem abgeführt. In Paks wird ein vertikales System zur Trockenlagerung verwendet (MVDS von der Gesellschaft GEC ALSTHOM).



Bild 8 Zwischenlager in der Kernkraftanlage Paks (RHK, 2009)

2.1.5 Finnland

2.1.5.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

Finnland besitzt vier aktive Reaktoren, davon zwei VVER 440/V213-Reaktoren (sie liefern eine elektrische Leistung von 510 MW) und zwei BWR-Reaktoren mit einer Kapazität von 860 MW.

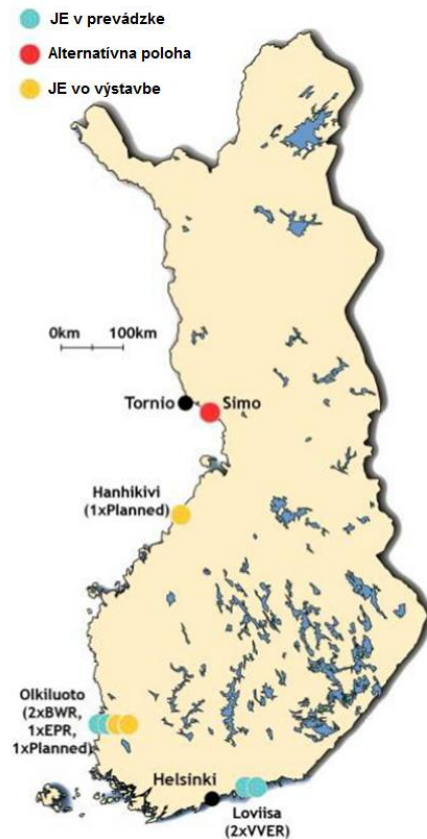


Bild 9 Kernkraftanlagen in Finnland (POSIVA, 2012)

Legende:

Kernkraftwerk im Betrieb

alternativer Standort

Kernkraftwerk im Bau

2.1.5.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Nachdem die Brennstoff-Kassetten aus dem Reaktor herausgenommen werden, kommen sie in Becken in der Reaktorhalle, wo sie ein paar Jahre (mindestens 3 Jahre lang) bleiben. Anschließend werden sie in Transportbehältern ins Zwischenlager abtransportiert, wo sie in mit Wasser gefüllten Becken ungefähr 40 Jahre lang aufbewahrt werden.

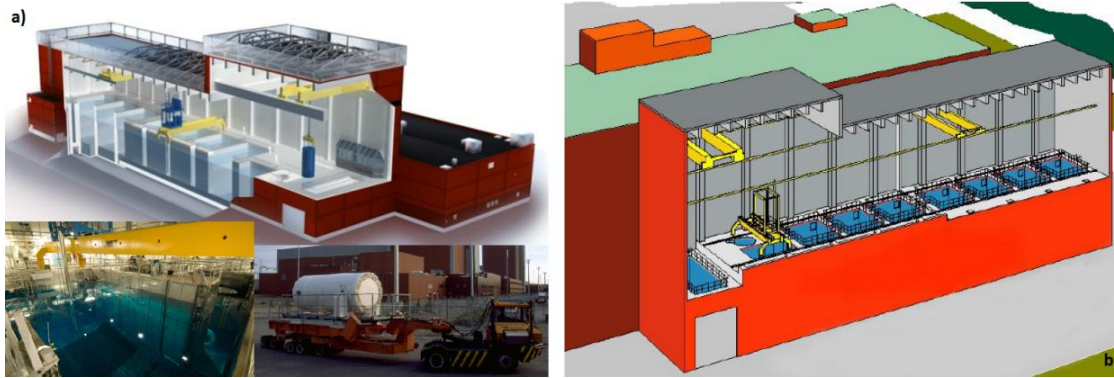


Bild 10 Zwischenlager in der Kernkraftanlage Olkiluoto (links) und in der Kernkraftanlage Loviisa (rechts) (POSIVA, 2013)

2.2 Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente in ausgewählten IAEA-Mitgliedstaaten

2.2.1 Vereinigte Staaten von Amerika

2.2.1.1. Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

Die Vereinigten Staaten verfügen über insgesamt 84 aktive Reaktoren. Dabei überwiegen PWR-Reaktoren mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von 1 050 MW, an der zweiten Stelle stehen BWR-Reaktoren mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von 957 MW und im Kernkraftwerk Hope Creek im Staat New Jersey wird ein GE-5-Reaktor mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von 1059 MW betrieben.



Bild 11 Kernkraftwerke in den USA (WNA, 2013)

2.2.1.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

In den Vereinigten Staaten werden abgebrannte Brennelemente als Atommüll betrachtet. In der Gegenwart bleibt fast gesamter abgebrannter Kernbrennstoff am Betriebsgelände des Kernkraftwerkes. Wenn die Kühlungsbecken des Kernkraftwerkes vollständig gefüllt werden,

werden die ältesten Brennstoff-Kassetten in luftgekühlte Lagerbehälter umgeladen, die anschließend auf einem offenen Gelände platziert werden.



Bild 12 Offenes Zwischenlager im Kernkraftwerk Vermont Yankee (Toby Talbot/AP/File, 2010)

2.2.2 Russland

2.2.2.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

Russland besitzt 35 aktive Kernreaktoren, von denen 6 VVER-440-Reaktoren (zwei V230, zwei V213 und zwei V179) sind. Weitere 11 Reaktoren sind VVER-1000-Reaktoren, und die restlichen Reaktoren sind RBMK-1000-, BN-600- und GBWR-12- Reaktoren bzw. Reaktoren mit der Bezeichnung EGP-6.

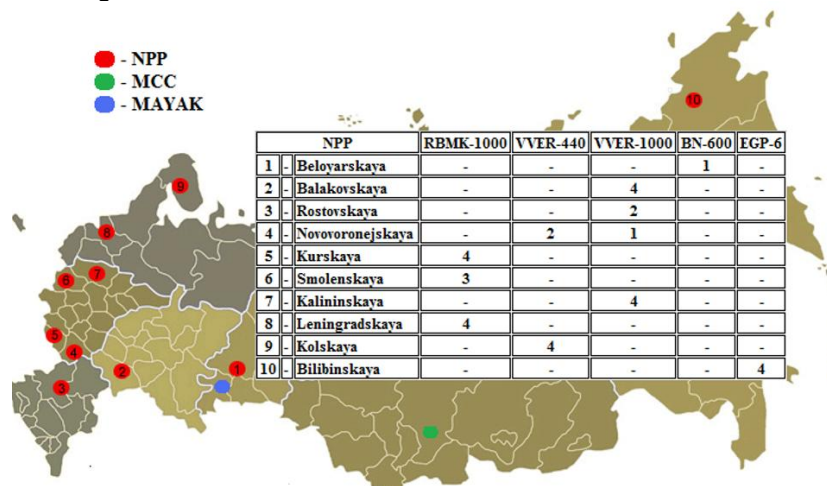


Bild 13 Kernkraftwerke in Russland (IAEA, 2006)

2.2.2.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Nach dem Ausbrennen kommen die abgebrannten Brennelemente in ein Becken neben dem Reaktor, wo sie mindestens 3 Jahre lang aufbewahrt werden. Anschließend werden abgebrannte Brennelemente aus den VVER-440-, BN-350- und BN-600-Reaktoren in den

Verarbeitungsbetrieb transportiert. Nach der Verarbeitung wird Uran gewonnen, das in thermischen Neutronreaktoren (VVER-440, VVER-1000, RBMK-1000) verwendet wird und Plutonium, das in schnellen Neutronreaktoren (BN-350, BN-600) genutzt wird. Radioaktive Abfälle werden nach ihrer Konditionierung in ein Tieflager abtransportiert. Ein anderer Prozess verläuft bei abgebrannten Brennelementen aus den RBMK-1000-Reaktoren, die nach einer mindestens 3-jährigen Kühlung in Wasserbecken neben den Reaktoren in die Zwischenlager abtransportiert werden.



Bild 14 Verarbeitungsbetrieb RT-1 (Rosatom, 2009)

2.2.3 Ukraine

2.2.3.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

Die Ukraine besitzt 15 aktive Reaktoren, wobei die VVER-1000-Reaktoren überwiegen. Das Kernkraftwerk Rivne im Nordwesten des Landes arbeitet mit zwei VVER-440-Reaktoren (der eine arbeitet mit einer Kapazität von 361 MW und der zweite 384 MW).



Bild 15 Kernkraftanlagen in der Ukraine (INS, 1999)

Legende:

RBMK

VVER-440/213

VVER-1000

stillgelegter Reaktor

2.2.3.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Im Kernkraftwerk Zaporizhzie bleiben die abgebrannten Brennelemente mindestens 3 Jahre lang in Lagerbecken, woher sie in gelüftete vertikale Lagerbehälter aus Beton transportiert werden, die auf einem Betonfundament platziert sind. Abgebrannte Brennelemente aus dem VVER-440-Reaktor, im Kernkraftwerk Rivne produziert, werden nach Russland zur weiteren Verarbeitung abtransportiert. Die Brennstoff-Kassetten aus den VVER-1000-Reaktoren aus den Kernkraftwerken Chmelnicky, Rivne und Južná Ukrajina werden in Russland gelagert, was die Ukraine jährlich circa 100 Millionen Dollar kostet. Aus diesem Grund ist man auf den Bau eines zentralen trockenen Zwischenlagers in Tschernobyl eingegangen.



Bild 16 Zwischenlager im Kernkraftwerk Zaporizhzia (Energoatom, 2010)

2.2.4 Bulgarien

2.2.4.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

In der Gegenwart besitzt Bulgarien ein einziges funktionierendes Kernkraftwerk Kozloduj im Norden des Landes mit zwei betriebenen VVER-1000-Reaktoren. Bulgarien besitzt auch vier VVER-440-Reaktoren, die momentan außer Betrieb sind.



Bild 17 Das Kernkraftwerk in Bulgarien (INS, 1999)

2.2.4.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

Im Mai 2011 wurde im Kernkraftwerk Kozloduy ein trockenes Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente eröffnet. Nach der Entladung abgebrannter Brennelemente aus dem Lagerbecken in den Kernkraftblöcken (nach mindestens 3 Jahren) werden sie in das Zwischenlager abtransportiert, wo sie 50 Jahre lang in CONSTOR-Behältern aufbewahrt werden.



Bild 18 CONSTOR-Behälter im Zwischenlager Kozloduy (IAE, 2005)

2.2.5 Armenien

2.2.5.1 Kurze Beschreibung des Kernkraftprogramms

Armenien besitzt ein Kernkraftwerk Medzamor im Westen des Landes mit zwei VVER-440-Reaktoren, von denen einer noch im Jahr 1989 stillgelegt wurde.



Bild. 19 Das Kernkraftwerk in Armenien (INS, 1999)

2.2.5.2 Kurze Beschreibung der Behandlung abgebrannter Brennelemente

In dem Kernkraftwerk Medzamor ist ein trockenes Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Betrieb. Die Brennstoff-Kassetten, die in hermetischen metallischen Kanistern aufbewahrt werden, werden aus den Kühlungsbecken in der Reaktorhalle in Lagermodule aus Beton abtransportiert.



Bild. 20 System NUHOMS in dem Kernkraftwerk Metsamor (AREVA, 2011)

3. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER TECHNOLOGIETYPEN DER TROCKENLAGERUNG ABGEBRANNTER BRENNELEMENTE

In diesem Kapitel werden zugängliche Lager- und Transportabfallgebinde verschiedener Ausfertigung beschrieben, die für die Trockenlagerung bestimmt sind und die nach Konstruktionstyp und Anwendungszweck sortiert werden. Alle Abfallgebinde müssen einen ausreichenden physischen Schutz vor äußeren Einflüssen, biologischen Schutz vor ionisierender Strahlung und Abführung der Nachverbrennungswärme sicherstellen, die gewöhnlich durch ein passives System, d. h. durch natürliche Zirkulation der Raumluft um die Kanisteroberfläche, bzw. um den Behälter herum erfolgt. In besonderen Fällen der unterirdischen Abfallgebinde wird die Luft in einem System von speziellen Kanälen geführt. In der folgenden Tabelle sind verschiedene häufige Trockenlagerungsweisen angeführt.

Typ	Wärmezufuhr	Abfallgebinde	Abschirmung	Anwendung	Beispiel
Metallbehälter (Faß)	durch die Wand des Körpers geführt	Doppeldeckel-System mit Metalldichtung und Inertgas im Faß	Metallwand	Doppelzweck-Abfallgebinde	CASTOR, TN,
Betonbehälter (Silo)	durch Luftströmung um den Kanister herum	geschweißte Kanister, Inertgas im Kanister	Eisenbeton, Beton mit Stahlmantelung	vertikale Lagerung der Brennstoff-Kassetten	TSC, CONSTOR, HI-STORM, HI-STAR
Betonmodul	durch Luftströmung um den Kanister herum	abgedichtete Kanister, Inertgas im Kanister	Betonwand	horizontale Lagerung der Brennstoff-Kassetten	NUHOMS, MPC-UMS, MAGNASTOR
Tresor (vault)	durch Luftströmung um das Gehäuse herum	Gehäuse, Inertgas im Gehäuse	Betonwand		MVDS, MACSTOR, CANSTOR
Tunnel (Kanal, Schacht, Bohrung)	durch den Erdboden geführt	Kanister mit Inertgas	Erdboden	unterirdische Lagerung	

Tab. 2 Typen der trockenen Abfallgebinde

Die grundlegenden Unterschiede gegenüber der Ausfertigung der Abfallgebinde in Europa und Amerika bestehen in der Erwägung einer möglichen Brennstoff-Bearbeitung. Aufgrund der Konstruktion dieser Abfallgebinde werden sie in folgende Behältertypen untergegliedert:

- auf der Basis von Kanistern – sie enthalten einen hermetisch verschlossenen Kanister, der Dichtheit und Beständigkeit und auch die Unterkritikalität sicherstellt, (Holtec – MPC-Systeme, NAC – TSC-Systeme, TN – DSC-Systeme);
- auf der Basis von Fässern (ohne Kanister) – sie enthalten einen offenen Brennstoff-Tragekorb, wobei die hermetische Dichtheit durch ein spezielles System der Behälterdeckel sichergestellt wird (GNS – CASTOR, CONSTOR).

Auf der folgenden Abbildung wird ein Transport- und Lagerbehälter auf der Basis von Fässern dargestellt (AREVA TN) und ein Transport- und Lagerbehälter auf der Basis von Kanistern (HOLTEC HI-STORM).

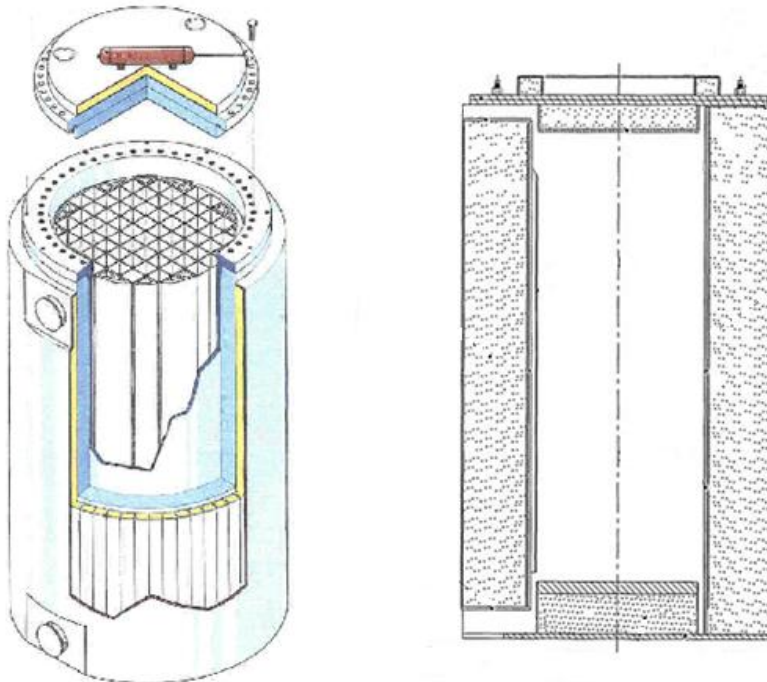


Bild 21 Vertikaler Lagerbehälter mit verschraubtem Deckel und mit geschweißtem Deckel

Systeme auf der Basis von geschweißten Kanistern haben im Vergleich mit Systemen auf der Basis von Fässern keinen Bedarf an Monitoring der Dichtheit des Kanisters während der Lagerung. Sie ermöglichen jedoch nicht einen leichten Zugang während der Kontrolle von Brennstoff-Kassetten, der zum Beispiel für den Fall einer Lagerung vor der Brennstoff-Verarbeitung benötigt wird.

Die Konstruktionsausführungen der Abfallgebindekörper als auch der Verschlusssysteme sind verschieden. Auf der folgenden Abbildung ist ein Beispiel der Lagerung der Kanister im horizontalen Lagermodul mit verschraubtem Deckel und im vertikalen Lagermodul mit geschweißtem Deckel dargestellt.

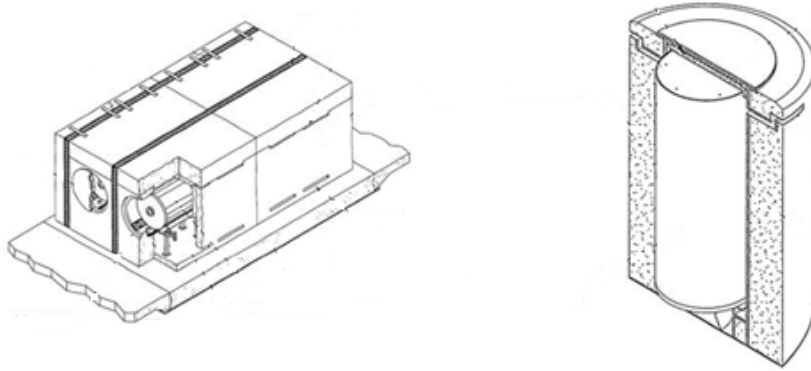


Bild 22 Lagermodul aus Beton mit verschraubtem und geschweißtem Deckel

3.1 Meistgebrauchte Abfallgebinde für Trockenlagerung abgebrannter Brennelemente

Im folgenden Text werden die aktuell meist verwendeten zertifizierten Abfallgebinde nach den einzelnen Herstellern beschrieben.

3.1.1 CANDU

MACSTOR – luftgekühltes Modullagersystem vom Silotyp für Brennstoff aus PHWR-Reaktoren für natürliches Uran. Es besteht aus verstärkten Eisenbetonmodulen in zwei Ausführungen – Modul 200 und Modul 400. Jedes Modul enthält 20 Metallgehäuse, in die 10 Behälter mit abgebrannten Brennelementen platziert werden können. Der Tragkorb besteht aus rostfreiem Stahl. Die projektierte Gebrauchsdauer des Moduls beträgt 50 bis 100 Jahre.

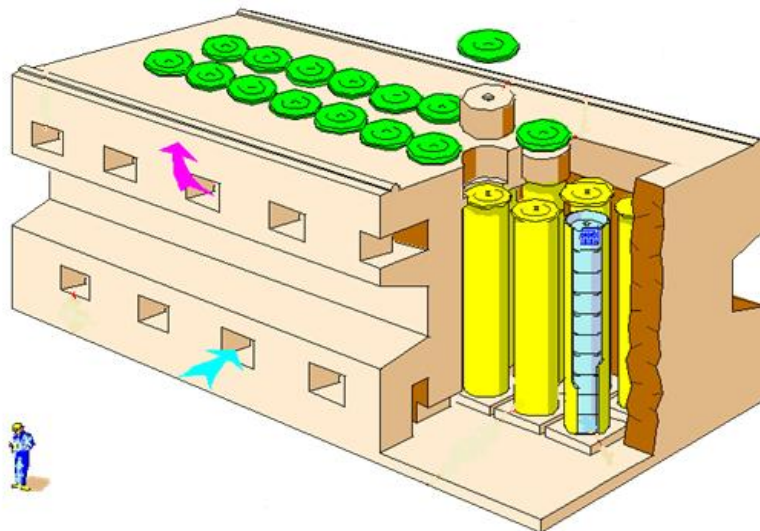


Bild 23 Prinzip des MACSTOR 400-Systems (CANDU, 2013)

3.1.2 Energy Solution

Im Jahr 2006 kaufte die Gesellschaft BNG FuelSolutions und wurde zum Lizenzinhaber für Kanister mit der Bezeichnung VSC-24. Diese werden in den USA verwendet. Es handelt sich um ein System von Betonbehältern für 24 Brennstoffbündel vom Typ PWR. Den Grund bildet

ein geschweißter Mehrzweckkanister aus Stahl, mit einem CarboZinc-Anstrich versehen, der stehend in einem Betonbehälter gelagert wird. Die Kühlung erfolgt durch natürliche Konvektion der Luft und wird von vier Eingangs- und vier Ausgangsöffnungen sichergestellt. Der Behälter gewährleistet ausreichenden biologischen Schutz.



Bild 24 VSC-VVER, Zaporožnaja – Ukraine

3.1.3 GEC ALSTHOM – (unter Lizenz von Foster Wheeler Energy)

MVDS ist ein System der vertikalen trockenen Brennstoff-Lagerung in hermetischen Lagerbehältern, die unter einem sog. Modulgewölbe mit Inertgas oder Aktivgas (Helium, Stickstoff, Kohlendioxid) gefüllt sind. Die Wärmeabfuhr wird durch Luftströmung sichergestellt, die durch einen Kanal hereinkommt und erwärmt durch einen Auslassschornstein herauskommt. Der biologische Schutz wird durch die Gewölbekonstruktion aus Beton sichergestellt.

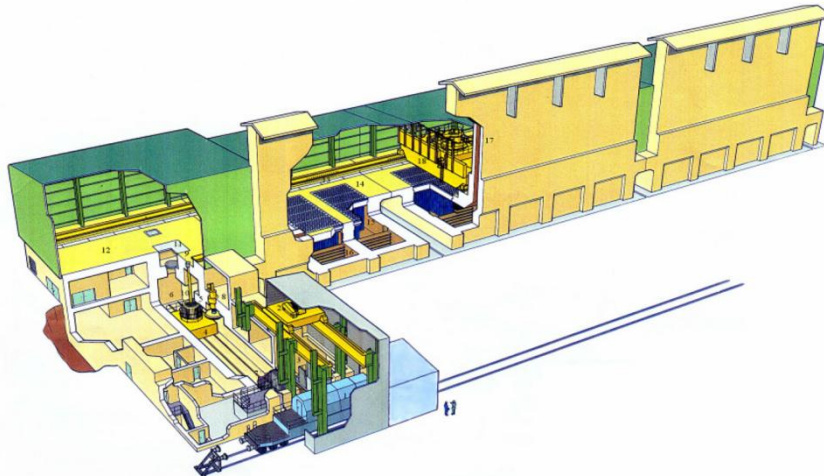


Bild 25 Prinzip des MVDS-Systems

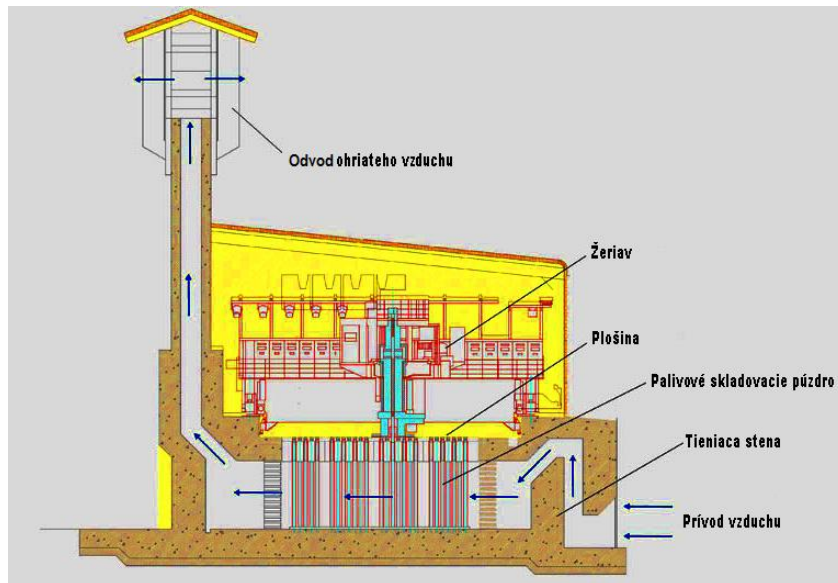


Bild 26 MVDS, Paks (RHK, 2008)

Legende:

Abfuhr der erwärmten Luft

Kran

Fläche

Brennstoff-Abfallgebinde

Abschirmungswand

Luftzufuhr

Die Konstruktion des MVDS-Systems wurde gleich von Anfang an so projektiert, dass sie eine Wärmebelastung erträgt, die ein Brennelement sofort nach seiner Entladung aus dem Reaktor produziert. Die Brennelemente können im MVDS-System schon nach einer fünfjährigen Kühlung in dem nassen Lager platziert werden und mindestens 100 Jahre lang aufbewahrt werden.

Die Brennstoff-Lagerbehälter, die für das MVDS-System verwendet werden, sind entweder als Container (FSC) für die Lagerung mehrerer Brennelementen (Großbritannien, die USA), oder als Röhren (FST) für Lagerung einer Brennstoff-Kassette (Ungarn) ausgeführt. Im Grunde genommen sind es kreisförmige Röhren aus Kohlenstoffstahl, deren beiden Enden mit Flanschen versehen sind, an die mit Hilfe von O-Ringen der obere und untere Deckel angeschlossen wird. An den oberen Deckel wird für den Fall der Manipulation ein Sicherheitsstopfen angebracht, der sich bei der Lagerung des Behälters in dem Lagermodul über dem Kanister befindet.

3.1.4 General Nuclear Systems

CASTOR ist ein metallischer Doppelzweck- Transport- und Lagercontainer. Das dichtwandige Gefäß ist aus sphärolitischem Gusseisen mit einer Stärke von 25 bis 45 cm hergestellt. Es ist mit Hilfe von zwei rostfreien Deckeln abgedichtet, die mit einer elastomeren und metallischen Dichtung verschraubt sind. Die Abschirmung gewährleistet die Gusseisenwand zusammen mit

Anlage Nr. 4

Stäben aus Polyethylen, die in Containerwänden einlegt sind. Die äußere Oberfläche ist mit Rippen versehen, die eine bessere Wärmeübertragung sicherstellen. Das Innere enthält einen Tragekorb zur Lagerung von Brennstoff-Kassetten. Er ist aus rostfreiem Borstahl hergestellt. Die innere Oberfläche ist vernickelt und die äußere Oberfläche ist mit einem beständigen Epoxidanstrich versehen. Zur Manipulation werden vier Zapfen verwendet. Ein Bestandteil des Behälters ist auch das System der Druckablesung im Zwischenraum – zwischen dem primären und dem sekundären Deckel (Dichtheitsprüfung).

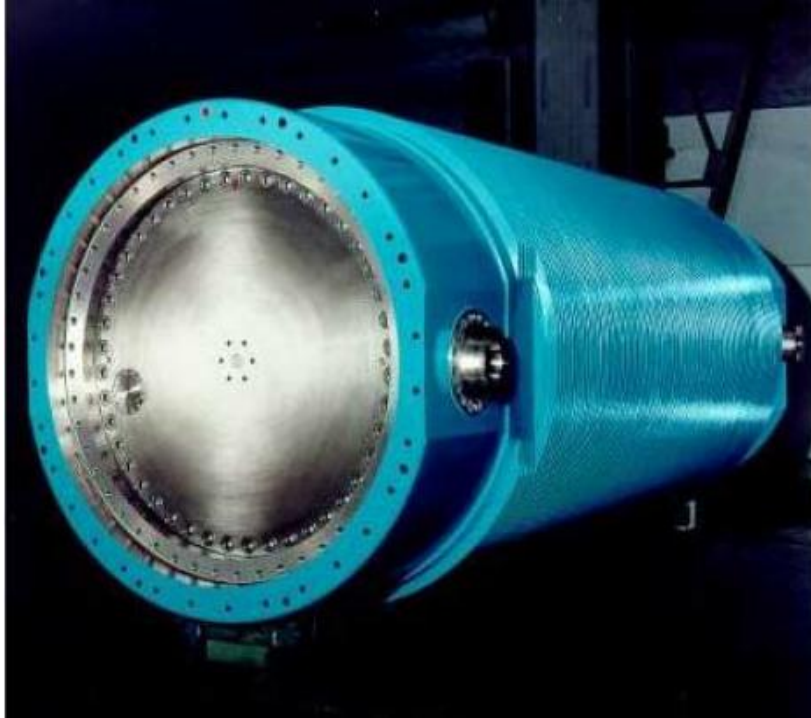


Bild 27 CASTOR® 440/84M (GNS, 2011)

CONSTOR basiert mit seiner Konzeption auf momentan billigeren Transport- und Lagerbehältern. Der Körper vom Sandwich-Typ hat eine Innenschicht aus rostfreiem Stahl, eine Außenschicht aus feinkörnigem Kohlenstoffstahl und der Zwischenraum ist mit schwerem Beton mit der Bezeichnung CONSTORIT (Zement + Metallgranulat) gefüllt. Der Tragekorb ist aus rostfreiem Stahl und Bor-Aluminium hergestellt. Das Verschlussystem besteht aus zwei Deckeln aus rostfreiem Stahl und der Raum zwischen ihnen ist mit Helium gefüllt. Wegen der hohen Wärmebelastung des Behälters und einer ausreichenden Wärmeleitung sind in der CONSTORIT-Schicht Aussteifungen für die Wärmeleitung auf die äußere Oberfläche des Behälters eingelegt.



BILD 28 CONSTOR® (GNS, 2011)



Bild 29 CASTOR® in dem Lager in Dukovany in der Tschechischen Republik (CEZ, 2011)

3.1.5 NAC International

STC – metallische Lagerbehälter sind aus einem mehrschichtigen Mantel hergestellt, wobei die innere (3,8 cm dicke) und äußere (6,7 cm dicke) Schicht aus rostfreiem Stahl hergestellt sind. Die Zwischenschicht bildet chemisches Blei mit einer Stärke von 8,1 cm. Der innere und der äußere Mantel sind an ihren Enden durch Dichtungsringe und Platten aus rostfreiem Stahl miteinander verbunden. Das obere Fassende wird mit Hilfe eines zerlegbaren verschraubten Deckel verschlossen.



Bild 30 NAC MPC-System in YANKEE ISFSI (Hoedeman, 2008)

3.1.6 Holtec International

Die Abfallgebinde basieren auf dem System eines Mehrzweckkanisters, der als MPC bezeichnet wird. Es handelt sich um einen geschweißten zylinderförmigen Kanister mit einem Tragekorb, der zur Lagerung des Brennstoffes dient. Er besteht aus einem Mantel, einer Grundplatte, einem Deckel und einem Verschlussring. Alle MPC-Bestandteile sind aus Aluminiumguss (Neutronenabsorbator) und aus rostfreiem Stahl hergestellt.

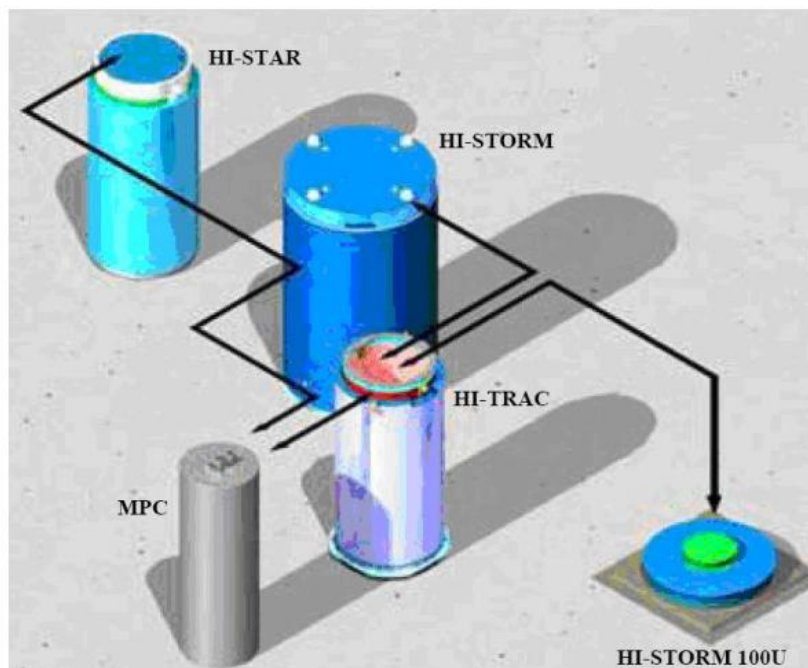


Bild 31 Holtec MPC-System (Holtec, 2011)

HI-STORM-System ist ein Lagerbehälter aus Beton, der zur Lagerung abgebrannter Brennelemente bestimmt ist, die stehend in dem Mehrzweckkanister (MPC) aufbewahrt werden. Der Mantel aus Stahlbeton gewährleistet biologischen Schutz sowie Schutz vor äußeren Einflüssen. Der Behälterdeckel enthält vier Ausgänge für die Kühlluft und der Körper enthält in seinem Unterteil vier Eingänge für die natürliche Zirkulation der Kühlluft. Das Abfallgebinde kann auf einer seismologisch beständigen Lagerfläche aus Beton platziert werden.



Bild 32 HI-STORM 100 in ASCO NPP (Holtec, 2013)

HI-STAR – Transport- und Lagerbehälter für einen Mehrzweckkanister (MPC). Es handelt sich um ein dickwandiges geschmiedetes Gefäß mit geschweißtem Boden. Die inneren Flächen haben eine spezifische Form, die eine sichere Lagerung des Kanisters gewährleistet. Der Behälter ist mit Helium gefüllt und wird mit einem verschraubten Deckel verschlossen.



Bild 33 HI-STAR, Dresden – Vereinigte Staaten

3.1.7 Transnuclear Inc. (AREVA)

Die Metallbehälter, die mit der Abkürzung TN (TN-24, TN-32, TN-40, TN-68) bezeichnet werden, sind metallische Transport- und Lagerbehälter zur Lagerung von PWR- und BWR-Brennstoff-Kassetten. Sie sind auf dem Prinzip der Doppelzweck-Abfallgebinde konstruiert. Der Behälterkörper besteht aus einem Gefäß mit verschraubtem Deckel, einem Tragekorb, einer Abschirmungsschicht, Zapfen, einem Druck-Monitoring und einer Schutzhülle. Die untere Schicht des Körpers stellt geschweißte Stahlkonstruktion dar, um die herum eine äußere Umhüllung aus Kohlenstoffstahl ist.

Ab 2014 werden in der Schweiz metallische Lagerbehälter vom passiven Typ mit vertikaler Lagerung von verschlossenen geschweißten Kanistern mit der Bezeichnung TN® NOVA vertrieben. Es handelt sich um ein neues patentiertes System mit einer Metallmatrix (Bestandteil mit der Bezeichnung MMC) und mit der Abschirmung aus Stahlblechen und Bitumenplatten. In der Gegenwart wird ein weiterer Typ vom Metallbehälter TN® DUO entwickelt.

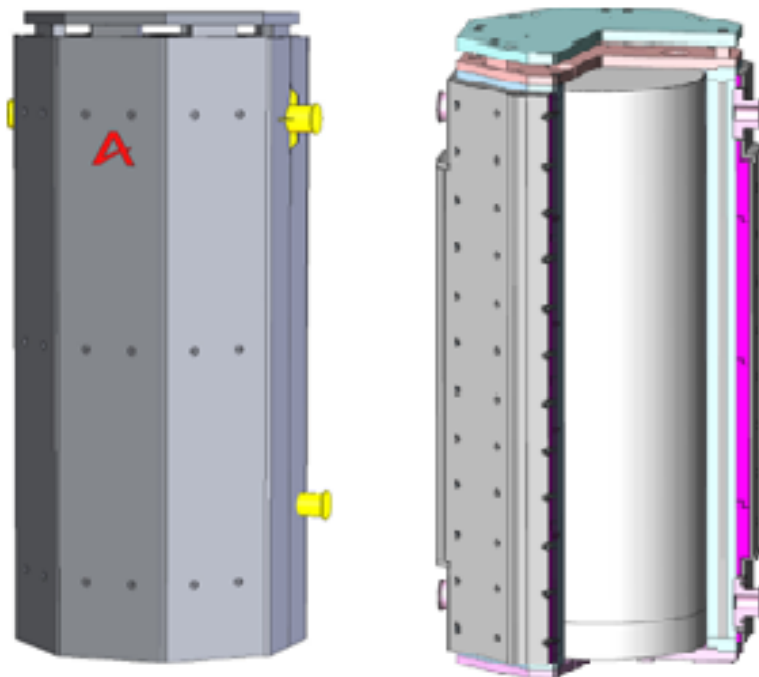


Bild 34 TN® NOVA (AREVA, 2013)

Das NUHOMS Lagersystem ist eine Technologie der Trockenlagerung vom PWR-, BWR- und VVER-Brennstofftyp in horizontalen Betonmodulen. Der Hauptbestandteil ist ein trockener Abschirmungskanister (DSC) aus rostfreiem Stahl, mit einem inneren Tragekorb, horizontaler Lagermodul (HSM), der physischen und biologischen Schutz sicherstellt und Transportumhüllung, die für den Transport von DSC zu HSM dient.

DSC besteht aus einem Gehäuse mit einer integrierten unteren Deckplatte, aus einem unteren Abschirmungsverschluss, einem Führungsring, einem oberen Abschirmungsverschluss, einer oberen Deckplatte und einem Tragekorb, der Unterkritikalität und Halt bei der Beladung mit

Brennstoff-Kassetten gewährleistet. Der HSM ist eine Einheit aus Stahlbeton mit Öffnungen in dem Ober- und Unterteil, die für die Luftströmung bestimmt sind.

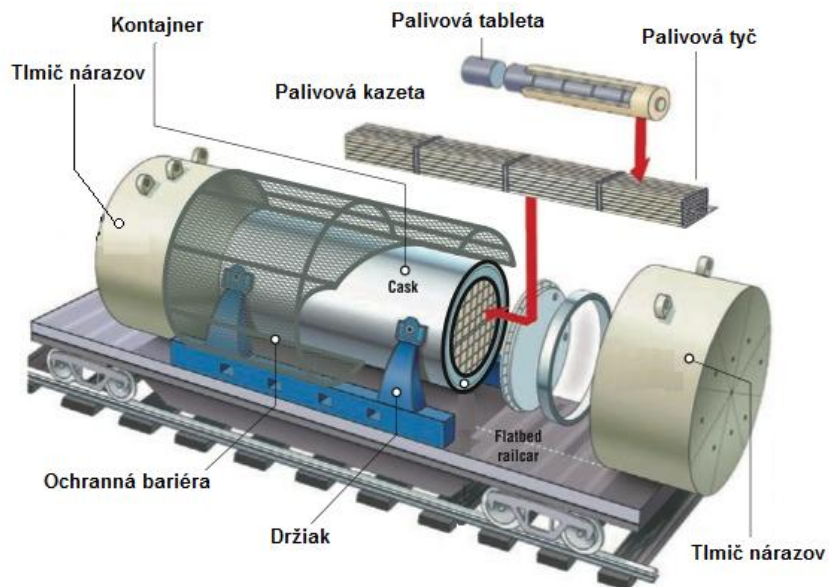


Bild 35 Schema des HSM-Systems (Transnuclear, 1998)

Legende:

Container

Brennstoff-Kassette

Brennstoff-Tablette

Brennstoff-Stange

Stoßdämpfer

Halter

Schutzbarriere