

# **Behandlung der radioaktiven Betriebsabfälle aus dem Kernkraftwerk Mühleberg sowie zukünftige Änderungen aufgrund der Inbetriebnahme des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen (ZWILAG)**

von Gunten A., Weber Ch.

(BKW FMB Energie AG, Kernkraftwerk Mühleberg)

Für die im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) regelmässig anfallenden Betriebsabfälle sind Entsorgungspfade zu deren endlagergerechten Konditionierung gegeben. Für diese Entsorgungspfade liegen Spezifikationen vor. Während die mengenmässig und die von ihrer Aktivität bedeutsamsten Abfälle (Ionenaustauscherharze bzw. aktivierte Reaktoreinbauten) auf dem Areal des KKM endlagergerecht in 200-l-Fässer einzementiert werden, erfolgt die Konditionierung der kontaminierten Mischabfälle aus der kontrollierten Zone an externen Konditionierungsorten. Dies findet mit Ausnahme der hochdruckverpressbaren Abfälle, welche seit 1988 auf dem Areal des Kernkraftwerks Leibstadt konditioniert werden, im Paul Scherrer Institut statt. Nach erfolgter Verarbeitung werden die endlagerfähigen Abfallbinde zurück ins KKM transportiert. Zukünftig wird die Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) die Aufgabe eines zentralen Konditionierungsortes für die Verarbeitung von radioaktiven Abfällen übernehmen. Die ZWILAG wird mit den bereits heute extern durchgeführten Konditionierungsschritten beauftragt, wobei im Unterschied zum heute praktizierten Verfahren die endkonditionierten Abfälle bis zum Abtransport in ein Endlager in der ZWILAG verbleiben werden.

## **1. Einleitung**

Durch den Betrieb des Kernkraftwerkes Mühleberg (KKM), das 1972 die kommerzielle Stromproduktion aufgenommen hat und heute über eine Leistung von 355 MW netto verfügt, fallen unterschiedliche radioaktive Abfälle an, welche je nach radiologischer und physikalischer Beschaffenheit mittels geeigneter Methoden zu handhaben und zu konditionieren sind. Für die bisher angefallenen und die noch anfallenden Abfälle sind Methoden für die interne oder externe Verarbeitung entwickelt und eingeführt. Ziel dieser Verarbeitung ist die Umwandlung der Rohabfälle in endlagerfähige, einfach transportier- und handhabbare Produkte.

Eine wichtige Randbedingung bei der endlagergerechten Konditionierung von radioaktiven Abfällen ist die optimale Volumenausnutzung unter gleichzeitiger Einhaltung der geforderten Abfallbindeigenschaften. Obwohl für die im KKM anfallenden Abfälle Konditionierungsmethoden und Entsorgungspfade festgelegt sind, wird zukünftig eine grössere Veränderung in der Behandlung der radioaktiven Mischabfälle eintreten. Diese Veränderung beruht vor allem auf der Inbetriebnahme des zentralen Zwischenlagers der Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG), welches neu die Verarbeitung dieser Abfälle übernehmen wird. Aufgrund dieser neuen Abfallbehandlungsanlagen der ZWILAG werden seitens des KKM eine Neueinteilung der bisherigen Mischabfälle und eine Anpassung der Sortiervorgaben erfolgen.

## **2. Betriebliche Quellen radioaktiver Abfälle**

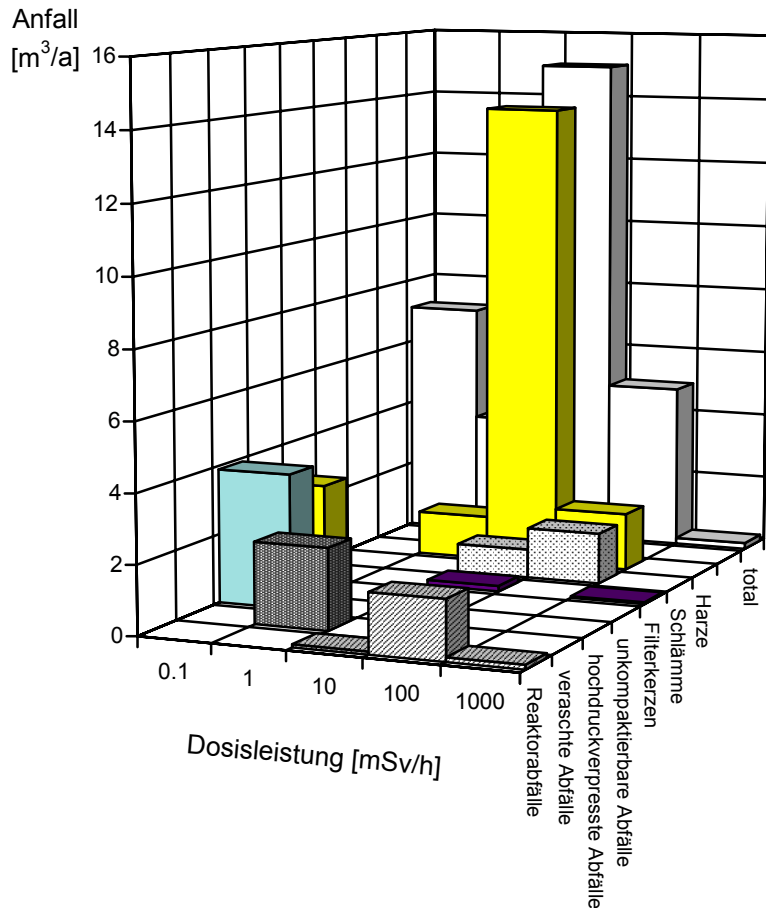
In Abb.1 sind die durch den Betrieb des KKM jährlich verursachten radioaktiven Betriebsabfälle dargestellt. Alle Abfallmengen sind umgerechnet in verfestigtes, endlagerfähiges Abfallvolumen und klassifiziert nach Oberflächendosisleistung und Abfallquelle.

Es ergeben sich insgesamt rund  $31 \text{ m}^3$  Abfallvolumen je Jahr, entsprechend etwa 145 200-l-Fässern. Im Vergleich zu den 1996 publizierten Abfallmengen [1] hat sich seither der Anfall um rund 50 Fässer, entsprechend ca.  $10 \text{ m}^3$ , verringert.

Mit ca. 55 % der Gesamtmenge Abfall sind die Harze aus der Reinigung des Wasser- Dampf-Kreislaufes der mit Abstand mengenmässig grösste Abfallstrom. Rund 31% entfallen auf die üblichen Mischabfälle wie Brennbare, Verpressbare und weder Verbrenn- noch Verpressbare. 6% der Abfälle sind aktivierte Reaktorabfälle und die restlichen 8% entfallen auf Schlämme und Filterkerzen. Unter radiologischen Aspekten betrachtet sind etwa  $\frac{1}{4}$  der jährlich endkonditioniert anfallenden Abfallgebilde mit einer Dosisleistung von weniger als  $1 \text{ mSv/h}$  völlig unproblematisch und rund  $\frac{3}{4}$  mit einer Dosisleistung von einigen zehn  $\text{mSv/h}$  mit in der Kerntechnik standardmässig vorhandenen Einrichtungen problemlos handhabbar. Weniger als ein halbes Prozent der Abfallgebilde erfordern aufgrund von sehr hohen Dosisleistungen ( $>1 \text{ Sv/h}$ ) zu ihrer Bewirtschaftung besondere Massnahmen.

Während Abb.1 lediglich eine grobe Einteilung unter Berücksichtigung der wesentlichen Eigenschaften Oberflächendosisleistung, Menge und Herkunft zeigt, sind für die operativen Aspekte der Abfallbehandlung, im folgenden Abfallbewirtschaftung genannt, detailliertere Analysen der Entstehungsorte und der physikalischen Beschaffenheit der Abfälle notwendig. Dies auch im Hinblick auf eine Kategorisierung und Zuordnung der konditionierten Abfälle in einem Endlager.

Zur Optimierung der Abfallbewirtschaftung sind im KKM alle in der Vergangenheit angefallenen sowie auch die zukünftig anfallenden oder möglicherweise anfallenden Abfälle erfasst und entsprechend dem jeweils anzuwendenden Behandlungsverfahren einer Abfallsorte zugeordnet. Dabei sind die Abfallsorten im wesentlichen dem im modellhaften Inventar der radioaktiven Abfälle der Schweiz [2] entnommen. Tab. 1 gibt einen generellen Überblick über die anfallenden Rohabfälle sowie die möglichen Behandlungspfade zu deren endlagerechten Konditionierung. Mittels der Übersicht kann auf einfache Weise überprüft werden, ob für einen erstmalig anfallenden Abfall ein Entsorgungspfad vorhanden ist oder ob besondere Massnahmen zu treffen sind. So kann z.B. bei Überlegungen zur Einführung neuer Dekontaminationsmethoden die Behandlung des anfallenden Sekundärabfalles und dessen mögliche Integration in bereits vorhandene Abfallströme ausschlaggebend sein für die am Ende getroffene Entscheidung.



**Abb.1** Mengenmässige Klassifizierung der endkonditioniert im KKM jährlich anfallenden Betriebsabfälle; Oberflächendosisleistung der einzelnen Abfälle eingeteilt in logarithmische Klassen

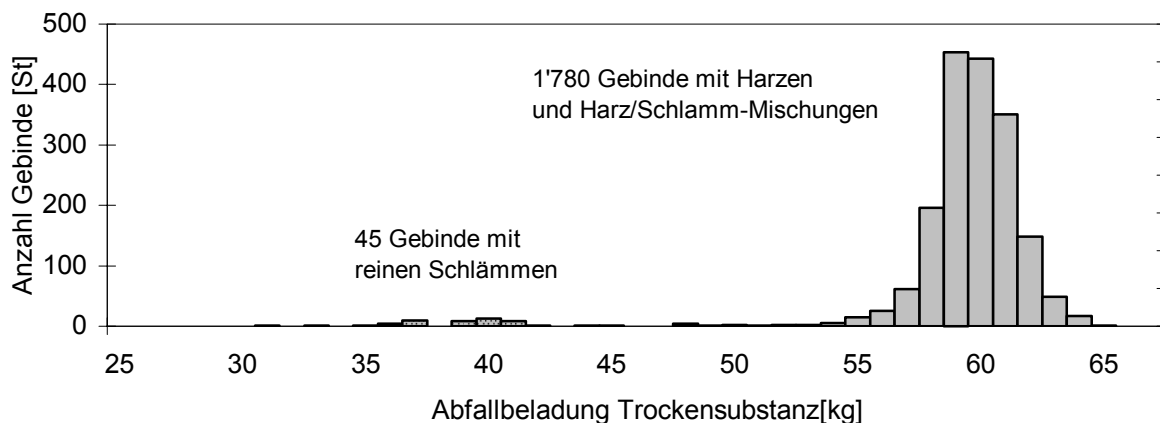
**Tab.1** Aus den betrieblichen Abfallquellen des KKM entstehende Abfallarten und deren den Konditionierungsverfahren entsprechende Zuordnung zu Abfallsorten. Die Verfahren sind mit Pfeilen dargestellt, bestehende Verzweigungen sind mit geschlossenen, künftige mit offenen Punkten markiert. BA-1 Harze; BA-2 Schlämme; BA-3 Filterkerzen; BA-5 feste Abfälle; BA-6 veraschte Abfälle; RA Reaktorabfälle.

Abfallsorte endkonditioniert	Abfallart Halbfabrikat	Beschreibung der Abfallart bzw. der Abfallsorte (nur für BA-5 und BA-6)
BA-1a	H-P1	Pulverharze aus KRA sowie Apparate- und Gebäudeentwässerung
BA-1b	H-P2	Pulverharze aus Reaktorwasser- und Brennelementlagerbeckenreinigung
BA-1c	H-KU	Kugelharze aus Mischbettfilter in Abwasserstrasse
BA-2a	R-WS	Wäschereischlämme
BA-2b	R-SL	Sumpf- und sonstige Schlämme
BA-2c	R-GP	Nassstrahlperlen
	R-QS	Quarzsand
	R-AK	Altöl / Kaltreiniger
BA-3a	F-FW	Filterkerzen aus Anschwemmfiltern in Wasserkreisläufen
BA-3b	F-FB	Filtereinsätze aus Unterwasserfilter (balduf-Filter)
BA-3c	F-SG	Filtereinsätze aus Unterwassersauger
BA-3d	F-SC	Filtereinsätze aus Unterwasserschere
	F-CF	Steuerstabantriebsfilter
	A-LF	Abluftfilter
	A-VF	Vorfilter
	A-AF	Absolutfilter
	M-MA	Mischabfall, unsortiert
	M-MB	Mischabfall, verbrennbar
	M-MS	Mischabfall, verschlackbar (ZWILAG)
	M-MP	Mischabfall, verpressbar
	M-NN	
	M-VA	Veraschungsrückstände
	M-RP	Rückstellproben
	M-SO	sonstige feste Abfälle
	G-SB	Steine, Beton
	G-BF	Beläge, Farben
	E-	Isolationsmaterial
	IS	Asbest
	E-AS	Asbest
	E-ME	Metall
	E-NM	Nichtmetalle
	K-KG	Komponenten, Geräte
	K-TK	Teile von Komponenten bzw. Geräten
	K-TL	Teile von Komponenten, lose
BA-5a		feste Abfälle, weder verbrenn-, verschlack- noch verpressbar
BA-5b		hochdruckverpresste Abfälle
BA-6a		Asche
BA-6b		Filterkerzen aus Ofenabgasreinigung
BA-6c		verschlackte Abfälle (ZWILAG)
RA-1	C-CR	Steuerstäbe
RA-2	C-NQ	Neutronenquellen
RA-4	C-VB	Vergiftungsbleche
RA-6	C-BK	Brennelementkästen
RA-7a	C-LA	Instrumentierungslanzen, aktivierte Teile
RA-7b	C-LS	Instrumentierungslanzen, schwachaktivierte Teile
RA-8a	C-KT	Kleinteile aus Reaktordruckbehälter
RA-8b	C-SO	sonstige Teile aus Reaktordruckbehälter

### 3. Verarbeiten der Harze und Schlämme

Die gesamte Wasseraufbereitung erfolgt im KKM über Ionenaustauscherharze, was auch Ursache für die relativ grosse Menge dieser Abfälle ist (vgl. Abb. 1). Durch Optimierung in der Harzbewirtschaftung, aber insbesondere auch durch den Austausch der Kondensatorrohre aus Messing gegen solche aus Titan sowie der Sanierung der Filterstrassen für die Kondensatreinigung, konnte die jährlich anfallende Harzmenge von im Mittel 6.5 t auf weniger als 4 t Trockengewicht reduziert werden.

Signifikante Harzmengen werden erst seit 1995 verfestigt. Aus den Betriebszyklen von 1972 bis 1995 waren noch rund 150 t Altharze (Trockengewicht) in knapp 3'000 200-l-Fässern im Zwischenlager für radioaktive Abfälle aufbewahrt. Zur Konditionierung dieser sowie der im laufenden Betrieb anfallenden Harze und Schlämme ist im bestehenden Aufbereitungsgebäude eine Verfestigungsanlage installiert.



**Abb. 2** Beladung der bis Ende 2000 mit der Verfestigungsanlage CVRS hergestellten Abfallgebände

Das Verfestigungsverfahren umfasst die Aufbereitung der Rohabfälle, eine thermische Behandlung der Harze sowie eine volumenoptimierte Einbindung in Zement. Mittels dieser Methode kann eine Beladung von 300 kg Trockensubstanz je m<sup>3</sup> Abfallmatrix für Harze bzw. 200 kg Trockensubstanz je m<sup>3</sup> Abfallmatrix für Schlämme erreicht werden. Im Jahr 2000 sind insgesamt rund 35 t Harze verarbeitet worden, wobei 588 Abfallgebände produziert wurden. Die Verfestigungsanlage wurde bereits früher ausführlich vorgestellt [3]. In Abb. 2 ist der Stand der bis Ende 2000 erfolgten Konditionierungsarbeiten gegeben.

### 4. Behandeln und fraktionieren von festen Abfällen aus der kontrollierten Zone

Aufgrund von Revisions-, Unterhalts- und Umbauarbeiten in der kontrollierten Zone sowie durch die Abfallbehandlung selbst fallen unterschiedliche Mischabfälle an, welche vor der Weiterbehandlung zuerst zu sortieren sind. Der erste Schritt ist dabei immer das Aussortieren des inaktiven Anteiles und

**Tab. 2** Zwischen 1991 und 2000 angefallene Mischabfälle aus der kontrollierten Zone

Abfallfraktion		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
verbrennbar	[t]	8.7	10.0	7.6	7.1	6.7	7.5	10.2 <sup>1</sup>	10.0 <sup>1</sup>	8.7 <sup>1</sup>	7.7
verpressbar	[t]	4.7	6.9	4.6	3.6	2.9	2.9	5.2 <sup>2</sup>	5.8 <sup>2</sup>	4.1 <sup>2</sup>	4.4
weder verbrenn- noch verpressbar											
Farben etc.	[t]	0.7		0.2	0.4	0.6	0.2	0.1		0.2	
Bauschutt	[t]	2.9	0.8	2.8 <sup>3</sup>	2.8 <sup>3</sup>	0.7	0.6	1.0	2.5	1.0	2.2
Metalle	[t]	1.5		1.0	1.4	0.7	0.2	0.2		3.3 <sup>4</sup>	16.9 <sup>4</sup>
Summe tot.	[t]	<b>18.5</b>	<b>17.7</b>	<b>16.2</b>	<b>15.3</b>	<b>11.6</b>	<b>11.4</b>	<b>16.7</b>	<b>18.3</b>	<b>17.3</b>	<b>31.2</b>

<sup>1</sup> 1997: Sanierung Filterstrassen; 1998 und 1999 Austausch Kondensator A bzw. B; <sup>2</sup> Altharzfasser werden zerlegt; <sup>3</sup> Einbau der Verfestigungsanlage im Aufbereitungsgebäude; <sup>4</sup> Strahlgut aus der Kondensatordekontamination

dessen konventionelle Entsorgung. Die zurückbleibenden radioaktiven Abfälle werden anschliessend in die Fraktionen verbrennbare, verpressbare und weder verbrenn- noch verpressbare Abfälle separiert. Wo sinnvoll, werden Verbundmaterialien in die verschiedenen Fraktionen zerlegt (z.B. Absolutfilter in inaktiven, verbrennbaren und verpressbaren Anteil). Tab. 2 zeigt eine Aufstellung der seit 1992 angefallenen Mengen dieser Abfälle. Je nach den im jeweiligen Betriebsjahr durchgeführten Arbeiten schwanken die Abfallmengen. Pauschal kann jedoch abgeschätzt werden, dass aus dem Betrieb rund 9 t verbrennbare, 4 t verpressbare und ca. 2 t weder verbrenn- noch verpressbare Abfälle anfallen. Inaktiv werden etwa 5 t je Jahr aussortiert und nach der Freigabe durch die Behörde konventionell entsorgt.

#### 4.1 Aussortieren der inaktiven Fraktion und Dekontamination von Komponenten

Im Zusammenhang mit der Sortierung der Mischabfälle in die Fraktionen verbrennbare, verpressbare und weder verbrenn- noch verpressbare Stoffe werden ohne grösseren Zusatzaufwand zuerst die inaktiven Stoffe aussortiert und anschliessend konventionell entsorgt. Dies führt zu einem zur Verringerung des Abfallvolumens und spart zum anderen die im Vergleich zum Sortieraufwand wesentlichen höheren Verarbeitungskosten ein. Die aussortierte Menge ist zwar abhängig von speziellen Nacharbeiten oder Kampagnen, welche mit einem erhöhten Materialanfall verbunden sind. Es lässt sich jedoch grob angeben, dass im Mittel etwa 5 - 6 t Mischabfall je Betriebsjahr aussortiert und inaktiv entsorgt werden (s. Tab. 3). Dieser inaktive Abfall setzt sich zusammen aus ca. 60 % brennbaren, 25 % verpressbaren und 15 % weder verbrenn- noch verpressbaren Stoffen, welche insgesamt zu einer Einsparung von rund 200'000 Fr. Betriebskosten führen.

**Tab. 3** Zwischen 1991 und 2000 inaktiv aussortierte bzw. dekontaminierte Abfälle aus dem Kernkraftwerk Mühleberg

Jahr	aussortiert (Mischabfall)	zerlegt und dekontaminiert (ausgetauschte Komponenten)	
1991	5.2 t		
1992	5.0 t	7 t 6 t	Isolationsmaterial Eisen / Stahl
1993	5.4 t	22 t	Stahl
1994	8.5 t	24.3 t 1.8 t 40 t	Stahl Kabel Beton
1995	4.2 t	10.4 t 38 t 40 m <sup>3</sup>	Stahl Turbinenöl Isolationsmaterial
1996	5.5 t	5.2 t 2.0 t 0.9 t 1.8 t 3.0 t 9.3 t	Altfässer Krannteile Steinwolle Bleche Eisen / Stahl Vorwärmer
1997	5.0 t	23 t 4.5 t	Vorwärmer Kernbohrung
1998	5.4 t	21 t 2.7 t 8 t 2 t	Vorwärmer KRA-Filter etc. Holz Isolationsmaterial
1999	8.1 t	155.2 t	Stahl, Messing und Verpackung
2000	8.4 t	90.1 t 41.6 t 6.3 t	Messing Stahl u. sonst. Metalle Korund

Durch das Zerlegen und Dekontaminieren von Komponenten und sonstigen Materialien wird eine weitere, sehr bedeutende Materialmenge so behandelt, dass eine inaktive Entsorgung möglich ist. Teilweise, wie bei den Messingrohren aus den Kondensatoren geschehen, ist sogar eine kommerzielle Weiterverwendung und Rückführung in den Wertstoffkreislauf möglich.

Insbesondere bei Dekontaminationsverfahren ist jedoch sehr sorgfältig zu prüfen, ob die angewendeten Methoden nicht zu Sekundärabfällen führen, welche wesentlich problematischer hinsichtlich der Konditionierung und Endlagerfähigkeit sind, und ob solche evtl. resultierenden Nachteile durch das eingesparte Abfallvolumen gerechtfertigt werden.

KONTEC 2001, 5. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ Berlin, 28.-30. März 2001

## 4.2 Verbrennbare Mischabfälle

Typische im KKM anfallende verbrennbare Mischabfälle sind in mengenmässig abnehmender Reihenfolge Plastikfolie, Zellstofftücher (Windeln), Stoff (Lappen, Überkleider, Überschuhe), Holz, Papier/Pappe (Verpackungsmaterial, Filterpapier aus Maskenfiltern und Absolutfiltern), Zonenschuhe sowie Fasern und Flusen aus der Wäschereizentrifuge. Des Weiteren werden auch geringe Mengen eingedickte Zitronensäure aus der Dekontamination von Komponenten, Stofflappen aus der Altölfiltrierung und die Nylonwicklung der Filterkerzen aus der Kondensatreinigung verbrannt. Da für das Anfeuern der Verbrennungsanlage im Paul Scherrer Institut (PSI) Holz verwendet wird, wird dieses – soweit kontaminiert und wo zweckmässig – getrennt von den anderen Abfällen verpackt und entsprechend gekennzeichnet.

Der verbrennbare Abfall wird so zerkleinert (zerschnitten), dass er in die vorgesehenen Plastikbeutel mit einem Fassungsvermögen von ca. 35 l abgefüllt werden kann. Beim Abfüllen wird darauf geachtet, dass eine lockere, gut brennbare Mischung aus verschiedenen Abfällen hergestellt wird.

Die Vorgaben für die Verpackung der verbrennbaren Abfälle resultieren aus den Erfahrungen des Personals der Verbrennungsanlage des PSI, welches heute die in der Schweiz anfallenden verbrennbaren radioaktiven Abfälle verarbeitet. Aufgrund der Auslegung des Ofens sind nicht alle aus grundsätzlich brennbaren Materialien bestehenden Abfälle zur Verbrennung zugelassen. Ein Teil durchaus brennbarer Materialien, bei deren Verbrennung es zu gesundheitsschädlichen Emissionen kommen kann, oder solche, deren Verbrennung den Betrieb des Verbrennungsofens beeinträchtigen würden, sind darum anderen Abfallströmen zugeteilt (s.z.B. hochdruckverpressbarer Abfall; die in Tab. 4 kursiv gekennzeichneten Materialien sind grundsätzlich brennbar).

Für den Transport zum Verbrennungsofen werden die mit ca. 2 - 3 kg Abfall gefüllten Plastiksäcke in 200-l-Fässer verbracht. Im Mittel enthält ein solches Fass etwa 17 kg Abfall. Da die Verarbeitungsschritte im wesentlichen von Hand durchzuführen sind, sind neben Eigenschaften wie gute Verbrennbarkeit auch radiologische Randbedingungen zu beachten. So soll die Oberflächendosisleistung der befüllten Fässer – ohne Berücksichtigung eines evtl. vorhandenen hot spots – nach Möglichkeit 2 mSv/h nicht wesentlich überschreiten. Beträgt die Oberflächendosisleistung eines Behälters mehr als 0.5 mSv/h ist dieser mit einem weissen Klebestreifen zu kennzeichnen. Hot spots, deren Wert die vorherrschende Oberflächendosisleistung deutlich übersteigen, sind an der betreffenden Stelle mit einem roten Kleber von mindestens 5 cm Durchmesser zu markieren. Hot spots dürfen den Wert von 5 mSv/h nicht überschreiten.

Die durch das Verbrennen entstehenden Aschen werden im PSI gemäss den werkspezifischen Spezifikationen verfestigt und gemeinsam mit den, ebenfalls zementierten, bei der Verbrennung als Sekundärabfälle anfallenden Keramik-Filterkerzen zurück ins KKM transportiert. Im Mittel werden je Betriebsjahr etwa 10 konditionierte, endlagerfähige Abfallgebände mit Aschen und Filterkerzen zurückgenommen, welche aus den rund 9 t Rohabfällen entstehen. Bis Ende 2000 sind 176 solche Abfallgebände im Zwischenlager des KKM gelagert, welche zwischen 1984 und 2000 angefallen sind.

## 4.3 Hochdruckverpressbare Mischabfälle

Ab 1988 werden Mischabfälle auch in eine hochdruckverpressbare Fraktion separiert, verpresst und in 200-l-Fässer einzementiert. Analog den Vorgaben für die verbrennbaren sind die verpressbaren Abfälle so zu sortieren, dass bei der Verarbeitung eine gute Volumenreduktion erreicht wird (s. Tab. 4). Des Weiteren gelten Einschränkungen für die Dosisleistung der Abfallstücke. Abfallstücke mit hoher Dosisleistung (kleine Teile mit max. 50 mSv/h) werden zentral in den Presstrommeln positioniert, so dass durch das umgebende Material eine Abschirmwirkung erreicht wird. Um ein problemloses Handhaben und Transportieren der gefüllten Presstrommeln zu gewährleisten, soll die an der Fassoberfläche gemessene Dosisleistung nicht mehr als 2 mSv/h betragen und darf an keiner Presstrommel den Wert von 10 mSv/h überschreiten.

Hochdruckverpressungen werden seit 1988 kampagnenweise mit einer angemieteten 2'000-t-Pressen für alle schweizerischen Abfallproduzenten an einem zentralen Konditionierungsort durchgeführt. Die durch das Verpressen entstehenden Pellets werden in 200-l-Fässer gefüllt und die Zwischenräume mit Zementmörtel vergossen. Nach dem Aushärten des Mörtels werden die Gebände zum Abfallproduzenten zurücktransportiert.

1995 wurde die dritte und bisher letzte Kampagne durchgeführt, so dass bis heute im Kernkraftwerk Mühleberg bereits wieder über 400 gefüllte Presstrommeln für eine Verpressung bereitstehen (s.Tab. 4).

Die Materialbezeichnungen für die verpressbaren Abfälle sind "historisch" gewachsen und - da den Sortierern vertraut - beibehalten worden. Für die Materialangabe in den konditionierten Gebinden werden diese Bezeichnungen mittels einer Umrechnungsmatrix in die für die Beurteilung von Materialeigenschaften benötigte Nomenklatur umgewandelt. Durch die Vermischung von unterschiedlich gut kompaktierbaren Abfällen wird im KKM eine Verdichtung auf 1'200 bis 3'400 kg/m<sup>3</sup>, im Mittel 2'000 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Dies bedeutet eine Abfallbeladung von ca. 230 kg kontaminierter oder leicht aktivierter radioaktive Stoffe je verfestigtem Abfallgebände oder 3.8 hochdruckverpresste Pellets je Fass.

**Tab. 4** Inhalt (Materialvektor) der zwischen Mai 1995 und Ende 2000 gefüllten Presstrommeln. Zum Vergleich ist der auf der Auswertung der bis 1994 angefallenen hochdruckverpressbaren Materialien basierende und in der Typenspezifikation deklarierte Materialvektor aufgeführt. Die gute Übereinstimmung mit dem spezifizierten Mittelwert zeigt, dass der Materialvektor mit seiner Bandbreite für hochdruckverpressbare Mischabfälle aus dem KKM sehr konstant ist.

Material	Menge [kg]	verteilt auf Gebinde [St]	Anteil [%]	1994 spezifizierter mittlerer Anteil [%]	spezifizierte Bandbreite [%]
Aluminium	247	103	1.0	1.0	0 - 6
Asbest	47	10	0.2	0.2	0 - 3
Dichtungen	606	58	2.4	2.5	0 - 18
Eisen/Stahl	8614	403	34.6	40.0	0 - 83
Filz	317	99	1.3	1.5	0 - 10
Glas & Glasfaser	695	121	2.8	1.6	0 - 10
Glas- & Steinwolle	1645	181	6.6	7.2	0 - 30
<i>Gummi</i>	1630	139	6.6	4.1	0 - 26
Kabel	421	53	1.7	2.5	0 - 18
<i>Klebeband</i>	3075	304	12.4	11.9	0 - 49
<i>Kunststoff halogenfr.</i>	2538	254	10.2	5.2	0 - 25
<i>PVC</i>	666	84	2.7	3.8	0 - 18
Staubsaugersäcke	2389	311	9.6	7.5	0 - 24
<i>Stiefeleinl., Teleds, etc.</i>	1984	195	8.0	10.1	0 - 40
sonstiges	-	-	-	10.0	0 - 20
Total	24'874	411	100	100	
mittel je Presstrommel	60.52				

#### 4.4 Unkompaktierbare Abfälle

Der nach dem Aussortieren der inaktiven sowie dem Verpacken der verbrennbaren und der verpressbaren Abfälle zurückbleibende Rest der Abfälle besteht vor allem aus grösseren, nicht dekontaminierbaren Metallstücken, Rückständen aus Eingriffen in die Betonstruktur und Dekontanstrichen, welche im Rahmen von Sanierungsarbeiten anfallen. Diese Abfälle werden entweder mit Zementmörtel vermischt (homogenes Abfallprodukt) oder durch Einzementieren in ein 200-l-Fass (quasihomogenes Abfallprodukt) verfestigt. Diese Arbeiten werden, wie die Verbrennung der Mischabfälle, ebenfalls im PSI durchgeführt.

#### 5. Sonstige feste und flüssige Abfälle

Sonstige Abfälle sind z.B. Säurebäder aus der Dekontamination, Rückstände aus der Wäschereizentrifuge oder kontaminierte Öle, welche nicht für eine direkte Zementierung geeignet sind. Des weiteren zählen dazu Stoffe, welche in der Regel bei einmaligen Spezialaktionen anfallen und nicht einem der

bestehenden Abfallströme zugeteilt werden können (z.B. die Strahlmittel aus der abrasiven Dekontamination der Kondensatorberührung).

Durch geeignete Behandlung solcher Abfälle ist es in den meisten Fällen möglich, die Abfälle in eine Form zu bringen, welche erlaubt, die entstehenden Produkte doch noch einem bestehenden Entsorgungspfad zuzuführen. So werden die Rückstände aus der Zentrifuge der Aktivwäscherei getrocknet und die Flusen anschliessend zum Verbrennen verpackt. Altöl wird durch mehrere Stofflagen alter Zonenoveralls filtriert. Die Aktivität wird von den Stofflappen (verbrennbar) zurückgehalten und das filtrierte Öl ist gewöhnlich inaktiv. Zitronensäure aus der Nassdekontamination wird zuerst destilliert und der verbleibende, dickflüssige Rückstand wird weiter getrocknet und anschliessend ebenfalls verbrannt. Die hier aufgeführten Verfahren sind natürlich nur für kleine Mengen – einige hundert kg je Jahr – geeignet.

Ein hinsichtlich der Entsorgung besonderer Abfall stellen die gut 10 t Edelstahlgranulat aus der Kondensatorrohrreinigung dar. Da der Stahl mit Messingabrieb versetzt ist, kann eine direkte Zementierung nicht durchgeführt werden (Reaktion des Zinkanteils im alkalischen Medium unter Wasserstoff-freisetzung). Derzeit ist der Abfall, portioniert zu ca. 8 kg in 19 200-l-Fässer abgefüllt. Ziel ist es, diesen Abfall in der Verbrennungs- und Schmelzanlage der ZWILAG in Würenlingen einzuschmelzen, sobald sie betriebsbereit ist (s.a. Kap. 7).

## 6. Reaktorabfälle

Abfälle aus dem Reaktordruckbehälter sind z.B. ausgediente Brennelementkästen und Steuerstäbe, Instrumentierungslanzen und Filtereinsätze, anfallende Kleinteile sowie ausgetauschte Bolzen des Wasserabscheiders. Bei diesen Abfällen handelt es sich um aktivierte und kontaminierte Stoffe mit einer so hohen Dosisleistung, dass die Handhabung der Abfälle nur hinter Abschirmungen aus Blei oder Stahl bzw. im Brennelementlagerbecken unter Wasser durchführbar ist.

Im Rahmen von drei Konditionierungskampagnen sind, mit Ausnahme von Steuerstäben, solche Abfälle – wo möglich bzw. nötig mit Zerlegeeinrichtungen zerkleinert – in Körbe verpackt und in 200-Liter-Fässer einzementiert worden. Ein wesentlicher Teil der Einrichtungen zur Handhabung der Abfälle ist gemeinsames Eigentum der Kernkraftwerke Leibstadt und Mühleberg. Die Unterwasserschere für das Schneiden der Brennelementkästen wurde vom Kernkraftwerk Gundremmingen gemietet und von der Firma Noell-KRC, Würzburg, betrieben. Diese Komponenten und das Verfahren zum Schneiden der Brennelementkästen sind bereits beschrieben [4]. Für das Zerlegen der Bolzen des Wasserabscheiders wurde ein Sägeverfahren speziell für diesen Zweck optimiert (s. [5]). Die aus den bisher durchgeführten Kampagnen gewonnenen Erfahrungen sind ebenfalls publiziert ([5], [6]), weshalb hier lediglich die wesentlichen Informationen in Tab. 5 zusammengestellt sind.

**Tab. 5** Daten der im Rahmen der 3 Konditionierungskampagnen für die Entsorgung von Reaktorabfällen und Filterkerzen hergestellten Gebinde.

	Brennelementkästen			Filterkerzen	Messlanzen	Kleinteile	Wasserabscheiderbolzen
Kampagne	1991	1992	1998	1998	1998	1998	1998
Rohabfall gesamt	102	299	234	200 St	415 m	640 kg	52 St
Abfallbeladung je Gebinde	4.86 St	5.64 St	5.95 St	20 St	138 m	213 kg	4 St
Anzahl Gebinde [St]	21	53	39	10	3	3	13
Masse je Gebinde [kg]	599	622	630	481	662	671	907
DL <sub>γ</sub> (mSv/h) am Gebinde							
Mittelwert	570	820	660	690	39	960	5
Maximalwert	640	915	1'400	3'300	230	1'900	9



## 7. Auswirkung der Inbetriebnahme der ZWILAG auf die Abfallbehandlung

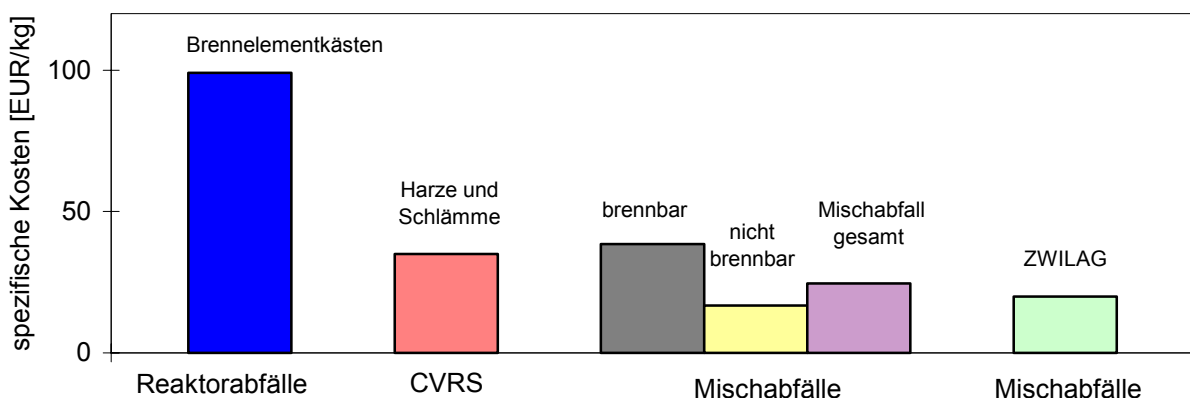
Die Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) ist eine Aktiengesellschaft der schweizerischen Kernkraftwerksbetreibergesellschaften. Zweck der Gesellschaft ist die Errichtung und der Betrieb von zentralen Entsorgungsanlagen für radioaktive Abfälle. In den Anlagen der ZWILAG können zukünftig alle Kategorien radioaktiver Rückstände schweizerischen Ursprungs zwischengelagert werden. Für die Konditionierung von schwach- und mittelaktiven Abfällen besitzt die ZWILAG Abfallbehandlungsanlagen für die Sortierung, Dekontamination, Zerlegung und Zementierung sowie eine Verbrennungs- und Schmelzanlage (V&S-Anlage), welche sowohl verbrennbare als auch schmelzbare Abfälle verarbeiten kann [7], [8].

In Bezug auf die Konditionierung von Betriebsabfällen aus dem KKM wird die ZWILAG künftig all die Arbeiten übernehmen, welche bis jetzt im PSI durchgeführt werden. Vor allem wird dies die Konditionierung der regelmässig anfallenden Mischabfälle aus der kontrollierten Zone, welche im Kap. 4 beschrieben sind, beinhalten. Darüber hinaus sollen auch Abfälle, für welche eine interne Konditionierung nicht zweckmässig ist, in der ZWILAG verarbeitet werden (z.B. 13 t der 1986 ausgetauschten Umwälzschleifen, Isolationsmaterial aus Asbest, Dekontabfälle wie Nassstrahlperlen etc.). Im Unterschied zu heute werden die konditionierten Abfälle nach der Verarbeitung nicht mehr zum Abfalllieferanten zurücktransportiert sondern in den Lägern der ZWILAG aufbewahrt. Das Eigentum an den Abfällen verbleibt jedoch beim Abfallverursacher.

Die grössten Umstellungen aus Sicht der Abfallsortierung werden mit der Inbetriebnahme der V&S-Anlage erfolgen. Dies, da der Materialvektor der zukünftig verbrennbaren Abfälle nicht nur Stoffe enthalten wird, welche für die Verbrennungsanlage des PSI aus Emissionsgründen verboten sind, sondern auch einen Anteil von bis zu 20 kg nicht brennbarer Materialien. Dadurch wird es voraussichtlich keine hochdruckverpressbare Abfallfraktion mehr geben.

Die Annahmebedingungen der ZWILAG für die V&S-Anlage erlauben eine breite Stoffmischung, welche alle heute entstehenden Abfälle umfasst. Lediglich das Gebindegewicht und die Gesamtaktivität sind aus handhabungstechnischen Gründen eingeschränkt. Die derzeit mit rund 17 kg Abfall befüllten Behälter dürfen zukünftig mit bis zu 200 kg verbrennbaren Abfällen beladen werden. Mit den vereinfachten Vorgaben werden der Sortier- und der Dokumentationsaufwand sowie die Anzahl der externen Transporte erheblich reduziert.

Um Behälter mit 200 kg verbrennbaren Abfälle zu füllen, ist die heutige Sortieranlage um eine Faspresse zu erweitern. Im Falle des KKM wird eine bereits vorhandene, zur Zeit nicht genutzte Presse umgebaut und auf einen Pressdruck von 30 t nachgerüstet. Damit werden die Abfälle im Fass verdichtet. Allerdings wird erwartet, dass – selbst unter Ausnutzung der erlaubten 20 kg nicht verbrennbaren Abfalls mit hoher Dichte – die Fässer höchstens mit 100 bis 150 kg Abfällen beladen werden können. Obwohl das höhere Gewicht der entstehenden Fässer deren Handhabung erschwert, überwiegen



**Abb. 3**

Spezifische Grenzkosten für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen aus dem KKM. "Cement Volume Reduction Solidification" (CVRS), Verfahren zum Verfestigen von Harzen und Schlämmen.

die Vorteile der neuen Verpackungsmethode. Zum einen wird der Lagerbedarf für die Abfälle reduziert und zum anderen sinkt die Zahl der externen Transporte von derzeit 10 bis 15 je Jahr auf 2 bis 3.

Da mit der Verdichtung der verbrennbaren Abfälle ein Produkt entsteht, welches im PSI nicht ohne weiteres behandelt werden kann, aber eine Verarbeitung der bislang hergestellten Halbfabrikate mit verbrennbaren Abfällen in der ZWILAG nicht ökonomisch ist, muss mit der Umstellung der Abfallvorbereitung solange zugewartet werden, bis definitiv absehbar ist, ab welchem Zeitpunkt die V&S-Anlage den aktiven Betrieb aufnimmt. Ein Umpacken von ZWILAG-gerecht verpackten Abfällen für eine Verarbeitung im PSI ist wegen der vorgenommenen Verdichtung nur sehr erschwert möglich.

Um die derzeitigen für die Verarbeitung der zu entsorgenden Abfälle anfallenden Kosten mit den zukünftigen Preisen der ZWILAG zu vergleichen, ist es erforderlich, die Grenzkosten zu betrachten. Darunter sind die Verarbeitungskosten ohne Berücksichtigung der Amortisation der benötigten Infrastruktur zu verstehen. In Abb. 3 sind die spezifischen Grenzkosten je kg verarbeitetem Abfall für einige Betriebsabfälle aufgetragen. Für die Konditionierung von 1 kg Mischabfall aus der kontrollierten Zone betragen die Grenzkosten ohne Endlagerung und der damit verbundenen Transporte heute rund € 25 (s. Abb. 3, "Mischabfall gesamt"). Die entsprechenden Kosten für die zukünftige Konditionierung in der ZWILAG sind nach gegenwärtigen Schätzungen um ca. 20 % günstiger (vgl. Abb.3).

Die Inbetriebnahme der ZWILAG, vor allem der Lager und der V&S-Anlage wird die Behandlung der Mischabfälle aus der kontrollierten Zone vereinfachen. Da ein Endlager für radioaktive Abfälle mittelfristig in der Schweiz nicht zur Verfügung steht, wird durch die neuen Lagerungsmöglichkeiten die Situation in den werkseitigen Zwischenlagern entspannt. Die Grenzkosten für die Verarbeitung der Abfälle sind nach heutigen Ansätzen etwas geringer und die Arbeiten zur Verpackung der Abfälle weniger aufwendig.

Eine Umstellung bewährter Methoden ist kurzfristig immer mit Mehraufwand verbunden. Dazu kommt die Unsicherheit über den richtigen Zeitpunkt um diese Änderungen umzusetzen (s. [9]). Trotz dieser Planungsunsicherheit ist zu erwarten, dass mit der Betriebsaufnahme der ZWILAG die Abfallbewirtschaftung in KKM mittel- und vor allem langfristig positiv beeinflusst wird.

## Literatur

- [1] SVA Vertiefungskurs vom 27-29.03.1996, Bewirtschaftung radioaktiver Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken. Vortrag 1.1 "Entstehung und Quellen radioaktiver Abfälle im Kernkraftwerk sowie Vorgehen zu deren Entsorgung" von Gunten, A.
- [2] Nagra Technical report 93-21 "Model Radioactive Waste Inventory of Swiss Waste Disposal Projects" Juni 1994
- [3] 3. Symposium Kontec '97 "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle " vom 19. bis 21.03.1997, Vortrag Sektion 1 "Behandlung von Harzen und Schlämmen im Kernkraftwerk Mühleberg" Dr. A. von Gunten, L. Trummer, Dr. Ch. Weber
- [4] Jahrestagung Kerntechnik '92 vom 05. - 07.05.1992, "Entsorgung von Brennelementkästen im Kernkraftwerk Mühleberg" von Gunten, A.
- [5] 4. Symposium Kontec '99 "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle " vom 15. bis 17.03.1999, Vortrag Sektion 2 "Radiologische Charakterisierung und Konditionierung von Betriebsabfällen aus dem Reaktordruckbehälter" Dr. A. von Gunten, L. Trummer, Dr. Ch. Weber, Dr. H. Maxeiner
- [6] 1. Symposium Kontec '93 "Konditionierung radioaktiver Betriebsabfälle am Entstehungsort" am 18. und 19.03.1993, Vortrag K "Erfahrungen mit der Konditionierung von Brennelementkästen im Kernkraftwerk Mühleberg" von Gunten, A.
- [7] 3. Symposium Kontec '97 "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle " vom 19. bis 21.03.1997, Vortrag Sektion 3 "ZWILAG - Anlagen zur Behandlung und Zwischenlagerung" J.P. Wenger
- [8] 4. Symposium Kontec '99 "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle " vom 15. bis 17.03.1999, Vortrag Sektion 1 "ZWILAG - Anlagen, Beschreibung Erstellung und Inbetriebsetzung" H.R. Lutz, A. Streichenberger, J.P. Wenger
- [9] 5. Symposium Kontec '01 "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle " vom 28. bis 30.03.2001, Vortrag Sektion 1 "ZWILAG - Der lange Weg bis zur Betriebsaufnahme" J.P. Wenger