

mengen und herkunft radioaktiver abfälle

für die geologische
tiefenlagerung

nagra ● aus verantwortung



Mengen und Herkunft radioaktiver Abfälle

Für die geologische Tiefenlagerung werden bis Mitte dieses Jahrhunderts rund 92 200 m³ endlagergerecht verpackte Abfälle erwartet. 79 % dieses Volumens entstehen aus 60 Jahren Betrieb und anschliessend vom Abbruch der bestehenden Schweizer Kernkraftwerke (47 Jahre für Kernkraftwerk Mühleberg) und 21 % stammen aus Medizin, Industrie und Forschung. Die hochaktiven Abfälle enthalten den weitaus grössten Anteil der Radioaktivität (99,5%), beanspruchen aber nur 10,2 % des Volumens.



Vorbereiten eines beladenen Lagerbehälters zum Transport aus dem Kernkraftwerk Leibstadt ins ZWILAG (Foto: © Comet Photoshopping, Dieter Enz)

Als eine Dienstleistung für die Abfallverursacher wird von der Nagra das zentrale Inventar der radioaktiven Abfälle und Materialien geführt. Dieses umfasst alle Abfallgebinde, die im ZWILAG in Würenlingen (Lager der «Zwischenlager Würenlingen AG»), im Bundeszwischenlager (BZL) in Würenlingen und bei den Kernkraftwerken eingelagert sind. Für die Lagerbewirtschaftung, die Kostenstudien, Entsorgungsprogramme und Lagerprojekte der Nagra müssen zusätzlich die noch zu erwartenden Abfallmengen möglichst realistisch abgeschätzt werden. Die Prognosen wurden aufgrund von Produktionsszenarien mit den Betreibern der Kernkraftwerke im Jahr 2016 neu erarbeitet. Dabei wurden folgende Annahmen gemacht:

- 60 Jahre (47 Jahre für KKW Mühleberg) Betrieb für die bestehenden Schweizer Kernkraftwerke
- Wiederaufarbeitung auf Basis bestehender Verträge

Tabelle 1 Kategorien verschiedener Abfälle

HAA	Stahlflaschen mit hochaktivem Abfallglas («Kokillen») aus der Wiederaufarbeitung
BE	verbrauchter Kernbrennstoff («abgebrannte Brennelemente»)
BA-KKW	Betriebsabfälle der Kernkraftwerke (Filter, Harze, Schlämme etc.)
RA-KKW	Reaktorabfälle (aktivierte Komponenten aus dem Reaktor)
SA-KKW	Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke (fallen erst beim Rückbau an)
WA-KKW	Wiederaufarbeitungsabfälle
BA-ZWI	Betriebsabfälle des ZWILAG
SA-ZWI	Stilllegungsabfälle des ZWILAG
BA-MIF	Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) inkl. Abfälle des Paul Scherrer Institutes (PSI-Ost)
SA-MIF	Stilllegungsabfälle des Paul Scherrer Institutes (PSI-West) und des CERN
BEVA	Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Oberflächenanlagen

Mengen hochaktiver Abfälle (HAA)



Lagerhalle im ZWILAG für das Abkühlen hochaktiver Abfälle
[Foto: © Comet Photoshopping, Dieter Enz]



Endlagerbehälter für verglaste hochaktive Abfälle



Endlagerbehälter für verbrauchte Brennelemente

Brennstoffverbrauch
Ungefähr 99,5% der Radioaktivität aus Kernreaktoren bleiben im verbrauchten Uranbrennstoff eingeschlossen. Für 60 Jahre (47 Jahre für Mühleberg) Betrieb der Schweizer Kernkraftwerke rechnen die Betreiber mit rund 4070 Tonnen abgebranntem Brennstoff.

Rund 1140 Tonnen Uran wurden für das Recycling im Ausland wiederaufgearbeitet. Die chemisch abgetrennten Lösungen der Spalt- und Aktivierungsprodukte wurden verglast oder verdichtet und in

Stahlflaschen – «Kokillen» oder Flasks genannt – zurück in die Schweiz transportiert. Bei der Wiederaufarbeitung fallen auch schwach- und mittelaktive Abfälle an. Ein Teil davon – in der Kernenergieverordnung alphatoxische Abfälle (ATA) genannt – enthält erhöhte Gehalte radiotoxischer Nuklide (Alphastrahler). Statt Hunderte von Kubikmetern dieser Abfälle wird die äquivalente Radioaktivitätsmenge in Form von wenigen zusätzlichen «Kokillen» zurück geliefert («Substitution»). Die Rücklieferungen wurden 2016 abgeschlossen.

Tabelle 2 – Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA)

Volumen einer einzelnen Stahlflasche	0,18 m ³
Gewicht einer einzelnen Stahlflasche	489 kg
Anzahl Stahlflaschen («Kokillen»)	^a 632
Volumen aller Stahlflaschen	114 m ³
Einzelvolumen des Endlagerbehälters	1,89 m ³
Gesamtvolumen verpackt in Endlagerbehälter	398 m ³

Tabelle 3 – Verbrauchte Brennelemente (BE) aus Siedewasserreaktoren (SWR)

Anzahl Brennelemente SWR	^b 8667
Anzahl Endlagerbehälter BE-SWR ^c	874
Einzelvolumen des Endlagerbehälters BE-SWR ^d	5,34 m ³
Gesamtvolumen verpackt in Endlagerbehälter	4668 m ³

Tabelle 4 – Verbrauchte Brennelemente (BE) aus Druckwasserreaktoren (DWR)

Anzahl Brennelemente DWR	^b 3617
Anzahl Endlagerbehälter BE-DWR	1028
Einzelvolumen des Endlagerbehälters BE-DWR	4,210 m ³
Gesamtvolumen verpackt in Endlagerbehälter	4328 m ³

Tabelle 5a – Gesamtvolumen aller Brennelemente der KKW

unverpackt	1357 m ³
in Endlagerbehälter BE-SWR und BE-DWR	
verpackt	8996 m ³

Tabelle 5b – Gesamtvolumen aller hochaktiven Abfälle (inkl. 8 m³ hochaktive Abfälle des Bundes)

unverpackt (BE, HAA-Glas als Stahlflaschen)	1479 m ³
Volumen aller Endlagerbehälter (BE, HAA-Glas)	9402 m ³

Alle Gesamtvolumina basieren auf Prognosen

^a die Anzahl Stahlflaschen berücksichtigt die Substitution von schwach- und mittelaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung

^b zur direkten Endlagerung im geologischen Tiefenlager für hochaktive Abfälle

^c es gibt Endlagerbehälter für BE-SWR für 9 oder 12 BE

^d Mittelwert des Volumens der beiden Typen von Endlagerbehältern für BE-SWR



Brennelement und seine vereinfachte «Kasten-geometrie» zum Erfassen der unverpackten Volumina

Mengen schwach- und mittelaktiver Abfälle (SMA)



Schwachaktive Rohabfälle vor der Behandlung im ZWILAG



Im ZWILAG behandelte SMA (Schlacke)



Einzementierte SMA



Lagerhalle für mittelaktiven Abfall im ZWILAG
(Foto: © Comet Photoshopping, Dieter Enz)



SMA-Fässer in Endlagercontainer einzementiert oder verpackt

Schwach- und mittelaktive Abfälle entstehen beim Betrieb der Kernkraftwerke, beim späteren Rückbau, bei Arbeiten im ZWILAG und bei der Wiederaufarbeitung. Sie stammen aber auch aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF). Die Rohabfälle werden in den Kernkraftwerken oder im ZWILAG in eine stabile Form verarbeitet («konditioniert») und dabei in «Abfallgebinden» – meist in Stahlfässern – verfestigt. Konditionierte SMA sind weder flüssig noch flüchtig und strahlen viele Größenordnungen weniger als hochaktiver Abfall.

Tabelle 6 – Wo lagerten die konditionierten Abfälle am 31. Dezember 2018?

	Volumen in m ³	Aktivität in Bq
Zwischenlager in den Kernkraftwerken	3532	2,5 x 10 ¹⁵
Zentrales Zwischenlager der KKW (ZWILAG)	2366	7,5 x 10 ¹⁸
Bundeszwischenlager für MIF (BZL)	1578	1,2 x 10 ¹⁶

Bei den Zwiilag-Abfällen handelt es sich um ans Zwiilag gelieferte Abfallgebände der Kernkraftwerke, Abfallgebände aus der Plasmaanlage und Kokillen mit hochaktiven verglasten Abfällen aus der Wiederaufarbeitung.

...endlagerfähig verpackte Abfälle beanspruchen mehr Volumen als die Abfälle in den Zwischenlagern

Tabelle 7 – Prognose für die Volumina schwach- und mittelaktiver Abfälle

Abfallsorte	Herkunft siehe Tabelle 1	SMA (m ³)		ATA ^a (m ³)	
		kondition.	verpackt	kondition.	verpackt
BA-KKW	Betriebsabfälle (inkl. BA-ZWI)	8326	31 271	–	–
RA-KKW	Reaktorabfälle	478	1 811	–	–
SA-KKW	Stilllegungsabfälle (inkl. SA-ZWI)	18 839	27 366	24	24
WA-KKW	Wiederaufarbeitungsabfälle	–	–	99	414
BA-MIF	MIF und Betriebsabfälle PSI	3 645	8 432	168	634
SA-MIF	Stilllegungsabfälle PSI und CERN	10 578	10 578	–	–
BEVA	Abfälle aus der späteren Anlage zur Verpackung hochaktiver Abfälle	651	2 302	–	–
Gesamtvolumen aller Abfälle SMA		42 517	81 760	291	1 072

^a Betriebsjahre: KKM 47 Jahre (bis 2019) KKB/KKG/KKL 60 Jahre

In welchen Abfällen steckt die Radioaktivität?

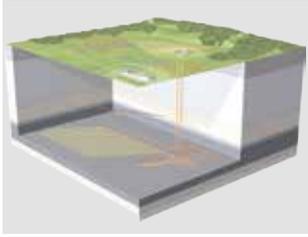
Tabelle 8 – Anteile Volumen und Radioaktivität in den verschiedenen Abfällen

	SMA		ATA		HAA	
	kondition.	verpackt	kondition.	verpackt	kondition.	verpackt
Volumen ^a	42 517 m ³	81 760 m ³	291 m ³	1 072 m ³	1 479 m ³	9 402 m ³
Anteil	96,0 %	88,6 %	0,7 %	1,2 %	3,3 %	10,2 %
Aktivität ^b	7,9 x 10 ¹⁶ Bq		2,2 x 10 ¹⁶ Bq		1,9 x 10 ¹⁹ Bq	
Anteil	0,4 %		0,1 %		99,5 %	

^a aus Tabellen 5 und 7; Basis: Entsorgungsprogramm (EP16) und Kostenstudie (KS16)

^b Aktivitätsinventar für Stichjahr 2075

Prinzipielle Zuordnung der Abfallkategorien zu den Lagertypen



Konzeptbild eines geologischen Tiefenlagers für hochaktive Abfälle (HAA)

Hochaktive Abfälle (HAA)

- abgebrannte Brennelemente
- verglaste Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen (HAA-Glas)

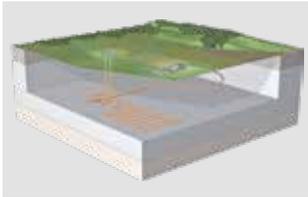
→ **Geologisches Tiefenlager HAA**

Alphatoxische Abfälle (ATA)

- über 20 000 Bq/g alphastrahlende Nuklide im konditionierten Abfall

→ **Zuordnung der ATA für das geologische Tiefenlager HAA oder SMA**

- Zuordnung wird vorläufig vorgenommen und später entschieden, wenn die Ergebnisse aus der Sicherheitsanalyse für die vorgesehenen Standorte vorliegen



Konzeptbild eines geologischen Tiefenlagers für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA)

Schwach und mittelaktive Abfälle (SMA)

- alle anderen radioaktiven Abfälle

→ **Geologisches Tiefenlager SMA**

Abfälle mit kurzen Halbwertszeiten

- Abfälle mit Nukliden mit Halbwertszeiten kürzer als 60 Tage
- Abfälle, die in 30 Jahren nach deren Entstehen unter die Freigrenze fallen

→ **Keine geologische Tiefenlagerung notwendig**

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
Postfach 280
CH-5430 Wettingen

Tel 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch
www.nagra-blog.ch

nagra ● aus verantwortung

September 2019

Fotos: © Comet Photoshopping, Dieter Enz

