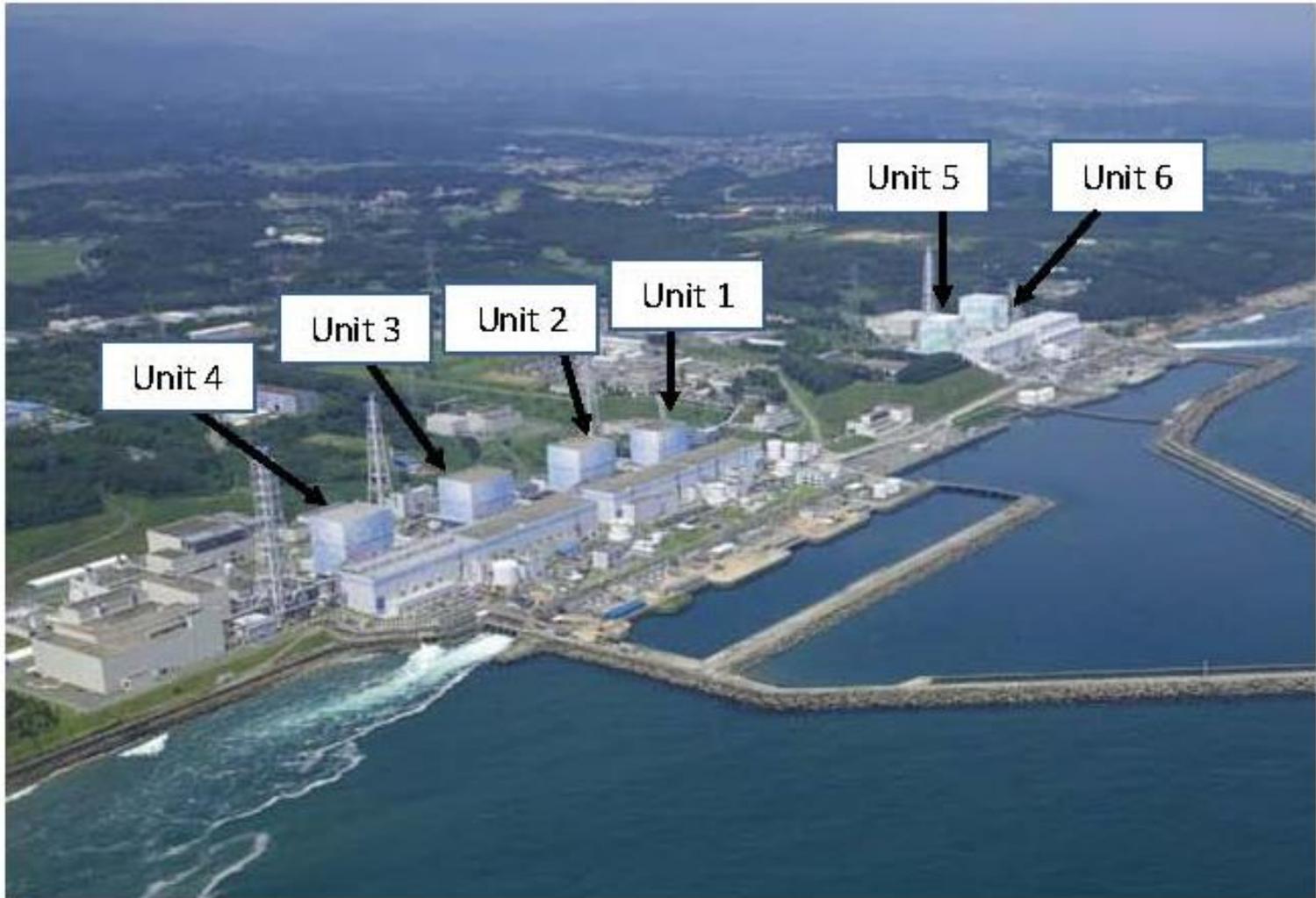


Nukleare Entsorgung im Kontext der internationalen Nutzung der Kernenergie



11. März 2011 Fukushima



テレビ 11:30 ~ 13:55 NNN緊急特番 東日本大地震関連

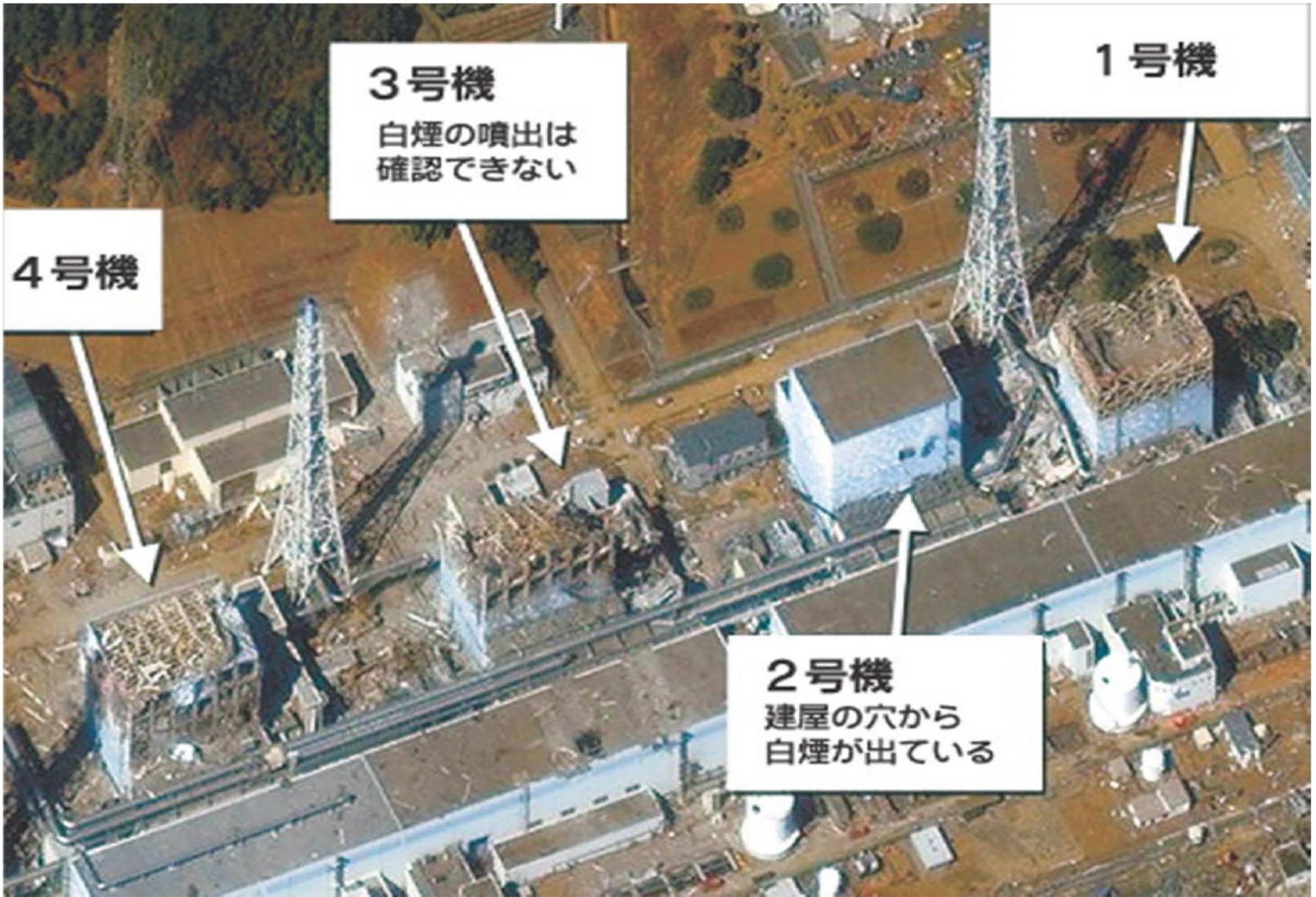
地上デジタル 101ch 読売テレビ1 



Unit 1



Unit 3



3号機

白煙の噴出は
確認できない

1号機

4号機

2号機

建屋の穴から
白煙が出ている

18.500 Tote durch das Beben und den Tsunami



Laut dem UNSCEAR-Bericht von 2013 wurden bis zu diesem Zeitpunkt keine strahlungsbedingten Todesfälle oder akuten Erkrankungen beobachtet. Die von der Bevölkerung erhaltenen Strahlendosen waren generell gering bis sehr gering, und ein Anstieg von strahlenbedingten Erkrankungen sei nicht erwartbar.



Atomausstieg

Fakt:

Die Katastrophe von Fukushima führte zum Umdenken.

Als erste Industrienation der Welt, die Kernenergie anwendete, will Deutschland auf Kernenergie verzichten. Das letzte Kernkraftwerk soll bis spätestens **2022** vom Netz.



Kernenergienutzung in D

- Derzeitiger Stand -

Konsequenz aus Reaktorkatastrophe in Fukushima ,

Beschlüsse des Bundeskabinetts :

- 2011 Änderung des Atomgesetzes

- 2012 Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen.

- Die sieben ältesten Kernkraftwerke und das Kernkraftwerk Krümmel dürfen seit 6. August 2011 nicht mehr betrieben werden.

- Übrige Kernkraftwerke gehen, zeitlich gestaffelt , bis spätestens 2022 vom Netz

(Bundesgesetzblatt Nr. 43 vom 05.08.2011, Seite 1704)



Quellen: Bundesamt für Strahlenschutz; dpa

DRESDEN
concept

HZDR

Übersichtskarte der Kernkraftwerke betreibenden Länder weltweit



2021 Kernkraftwerke weltweit in Betrieb 441 und im Bau 54 (Stand: Januar 2021)



Kernspaltung

1938 Hahn, Meitner und Strassmann
Spaltung des Urans durch thermische Neutronen

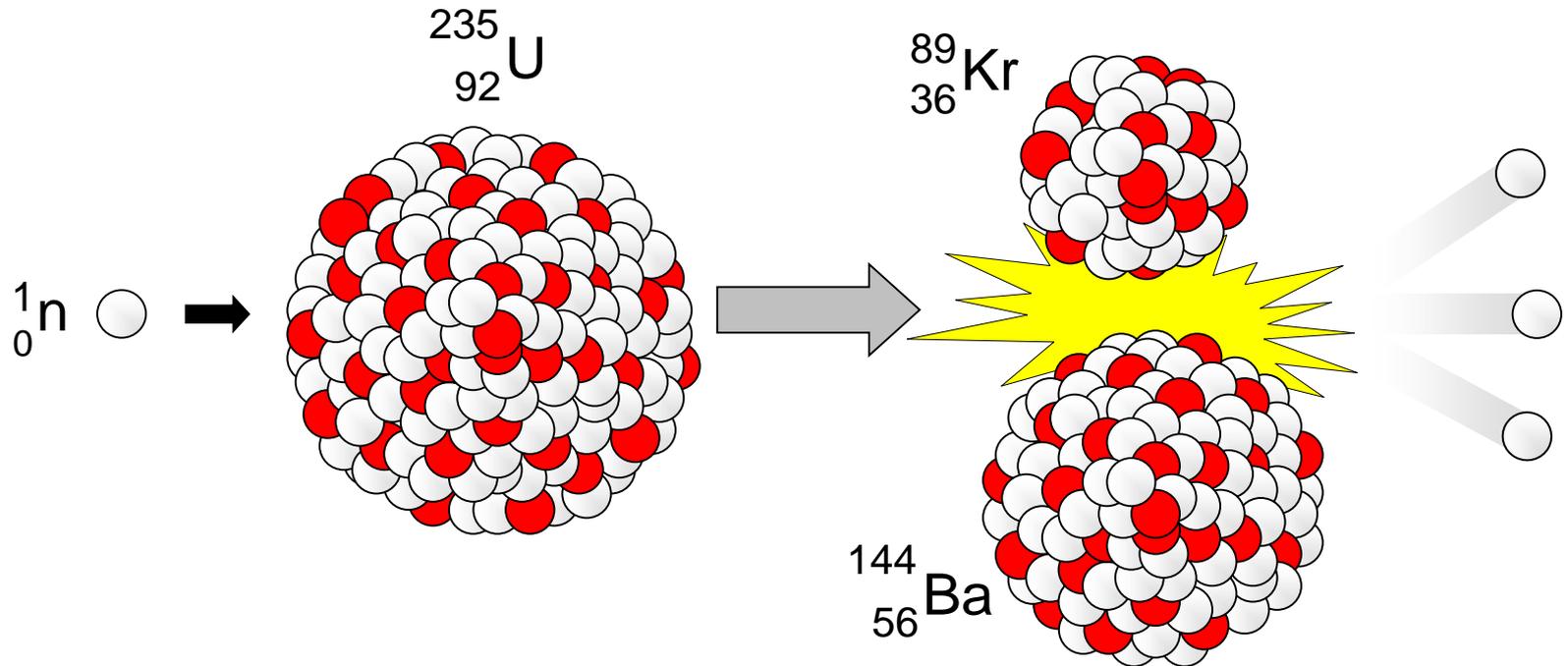


Warum sind abgebrannte Kernbrennstoffe hochradioaktiv?

Neben unverbrauchtem Uran
enthalten sie

⇒ Spaltprodukte

Spaltung



- Erhält Kettenreaktion
- Produziert thermische Energie: 23 GWh/kg
(Kohle: 10 kWh/kg)

Periodensystem der Elemente

PERIODE	Hauptgruppen	
	I	II
1.	1 H Wasserstoff 1.01 -259 0,09 -253 2,1	
2.	3 Li Lithium 6,94 181 0,53 1330 1,0	4 Be Beryllium 9,01 1277 1,85 2970 1,5

Protonenzahl (Ordnungszahl) **12** **24,31**

Elementensymbol **Mg**

Schmelztemperatur (gerundet) in °C **650 1,74**

Siedetemperatur (gerundet) in °C **1107 1,2**

Atommasse in u (gerundete Wert)

Elementname **Magnesium**

Dichte in g/cm³, bei Gasen in g/l (0 °C, 1013 mbar)

Elektronegativität

Elektronegativität nach L. Pauling: Grundlagen der Chemie, Weinheim 1973. Alle anderen Werte nach Rörppps Chemie-Lexikon, Stuttgart, 8. Auflage.

Spaltprodukte

- Metalle
- Nichtmetalle
- radioaktive Elemente
- Li** = Feststoff
- Br** = Flüssigkeit
- H** = Gas

Hauptgruppen					
III	IV	V	VI	VII	VIII
5 B Bor 10,81 (2030) 2,35 2550 2,0	6 C Kohlenstoff 12,01 3550) 2,2 4830 2,5	7 N Stickstoff 14,01 -210 1,25 -196 3,0	8 O Sauerstoff 16,00 -219 1,43 -183 3,5	9 F Fluor 19,00 -220 1,7 -188 4,0	10 Ne Neon 20,18 -249 0,9 -246 -
13 Al Aluminium 26,98 660 2,70 2450 1,5	14 Si Silicium 28,09 1410 2,33 2680 1,8	15 P Phosphor 30,97 44 1,82 280 2,1	16 S Schwefel 32,06 119 2,07 135 2,5	17 Cl Chlor 35,45 -101 3,2 -35 0,8	18 Ar Argon 39,95 -189 1,78 -182 -
19 K Kalium 39,10 64 0,86 750 0,8	20 Ca Calcium 40,08 838 1,55 1410 1,5	21 Sc Scandium 44,96 1539 3,0 2330 1,3	22 Ti Titan 47,88 1668 4,54 2350 1,5	23 V Vanadium 50,94 1900 6,1 2350 1,6	24 Cr Chrom 52,00 1875 7,19 2300 1,6
37 Rb Rubidium 85,47 39 1,53 688 0,8	38 Sr Strontium 87,62 768 2,8 1380 1,0	39 Y Yttrium 88,91 1509 4,47 2927 1,2	40 Zr Zirkonium 91,22 1852 6,49 3590 1,4	41 Nb Niob 92,91 2468 8,57 4927 1,6	42 Mo Molybdän 95,94 2610 10,2 5560 1,8
55 Cs Caesium 132,91 29 1,90 690 0,7	56 Ba Barium 137,33 714 3,76 1640 0,9	57-71 Lan-tha-noide	72 Hf Hafnium 178,49 2222 13,31 5400 1,3	73 Ta Tantal 180,95 2996 16,6 5425 1,5	74 W Wolfram 183,85 3410 19,3 5930 1,7
87 Fr* Francium (27) 677 0,7	88 Ra* Radium 700 5,0 1140 0,9	89-103 Acti-noide	104 Ku* Kürschatowium (261) -	105 Ha* Hahnium (262) -	106 -

Lanthanoide	57 La Lanthan 138,91 920 6,17 3470 1,1	58 Ce Cer 140,12 795 6,67 3468 1,1	59 Pr Praseodym 140,91 935 6,77 3127 1,1	60 Nd Neodym 144,24 1024 7,00 3027 1,2	61 Pm* Promethium (145) 1027) 7,22 2460 -	62 Sm Samarium 150,36 1072 7,54 1790 1,2	63 Eu Europium 151,96 826 5,26 1439 -	64 Gd Gadolinium 157,25 1312 7,89 3000 1,1	65 Tb Terbium 158,93 1356 8,27 2890 1,2	66 Dy Dysprosium 162,50 1407 8,54 2600 -	67 Ho Holmium 164,93 461 8,80 600 1,2	68 Er Erbium 167,26 1497 9,05 2900 1,2	69 Tm Thulium 168,93 1545 9,33 1727 1,2	70 Yb Ytterbium 173,04 824 6,98 1196 1,1	71 Lu Lutetium 174,97 1652 9,84 3327 1,2
-------------	--	--	--	--	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--	--

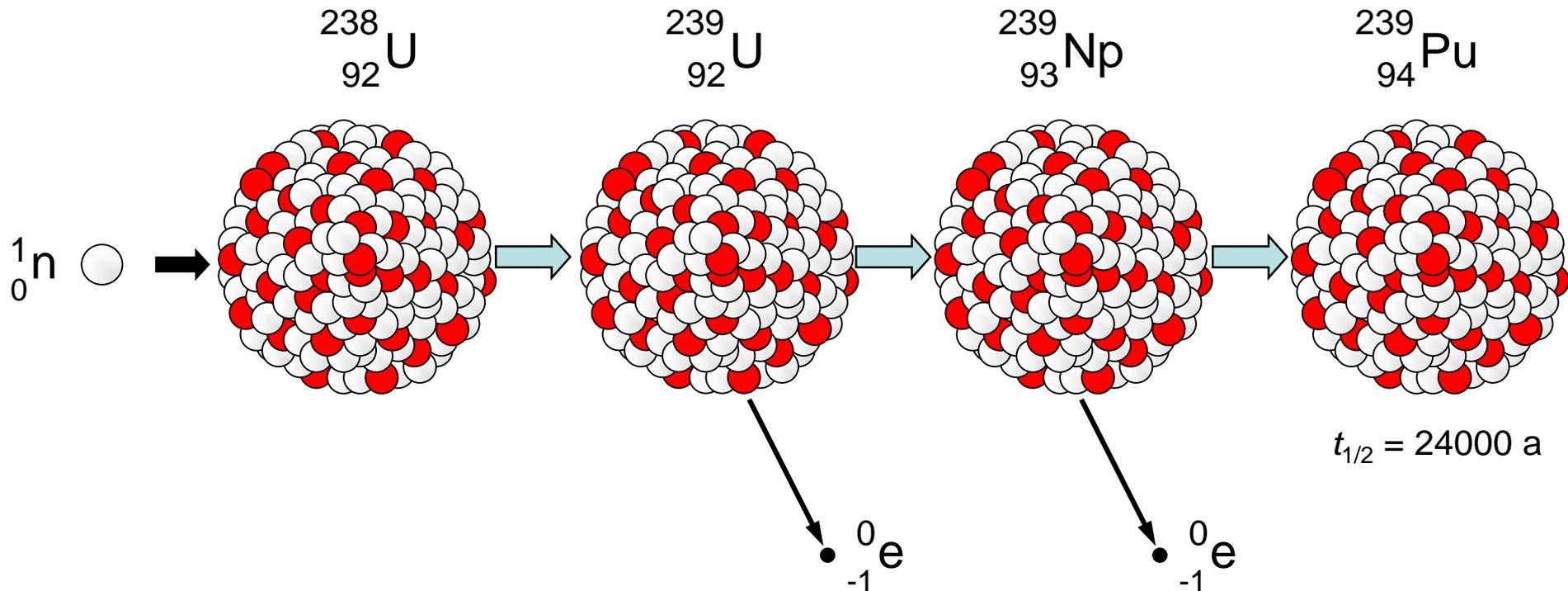
Actinoide	89 Ac* Actinium 1050 10,1 - 1,1	90 Th* Thorium 232,04 1750 11,7 3950 1,3	91 Pa* Protactinium 231,04 (1230) 15,4 - 1,4	92 U* Uran 238,03 1132 19,07 3818 1,4	93 Np* Neptunium 237,05 637 19,5 3900 1,3	94 Pu* Plutonium 244 640 19,81 3235 1,3	95 Am* Americium 243 994 13,7 - 1,3	96 Cm* Curium 247 (1340) 13,51 3100 -	97 Bk* Berkelium 247 -	98 Cf* Californium 251 -	99 Es* Einsteinium 254 -	100 Fm* Fermium 257 -	101 Md* Mendelevium 258 -	102 No* Nobelium 259 -	103 Lr* Lawrencium 260 -
-----------	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	---	---

Warum sind abgebrannte Kernbrennstoffe lange Zeit radioaktiv?

Neben unverbrauchtem Uran
enthalten sie

- ⇒ Spaltprodukte ✓
- ⇒ weitere Actiniden

Neutroneneinfang



Produziert weitere Actiniden („Transurane“)

Periodensystem der Elemente

PERIODE	Hauptgruppen	
	I	II
1.	1 H Wasserstoff 1.01 -259 0,09 -253 2.1	
2.	3 Li Lithium 6.94 181 0.53 1330 1.0	4 Be Beryllium 9.01 1277 1.85 2970 1.5

Protonenzahl (Ordnungszahl) 12 24.31
 Elementsymbol **Mg**
 Magnesium
 Schmelztemperatur (gerundet) in °C 650 1.74
 1107 1.2
 Siedetemperatur (gerundet) in °C
 Elektronegativität

Atommasse in u (gerundet) 24.31
 (gerundeter Wert)
Transurane

Elementname
 Dichte in g/cm³, bei Gasen in g/l (0 °C, 1013 mbar)
 Elektronegativität

Elektronegativität nach L. Pauling: Grundlagen der Chemie, Weinheim 1973.
 Alle anderen Werte nach Rörppps Chemie-Lexikon, Stuttgart, 8. Auflage.

- Metalle
- Halbmetalle
- Nichtmetalle
- * radioaktive Elemente
- Li** = Feststoff
- Br** = Flüssigkeit
- H** = Gas

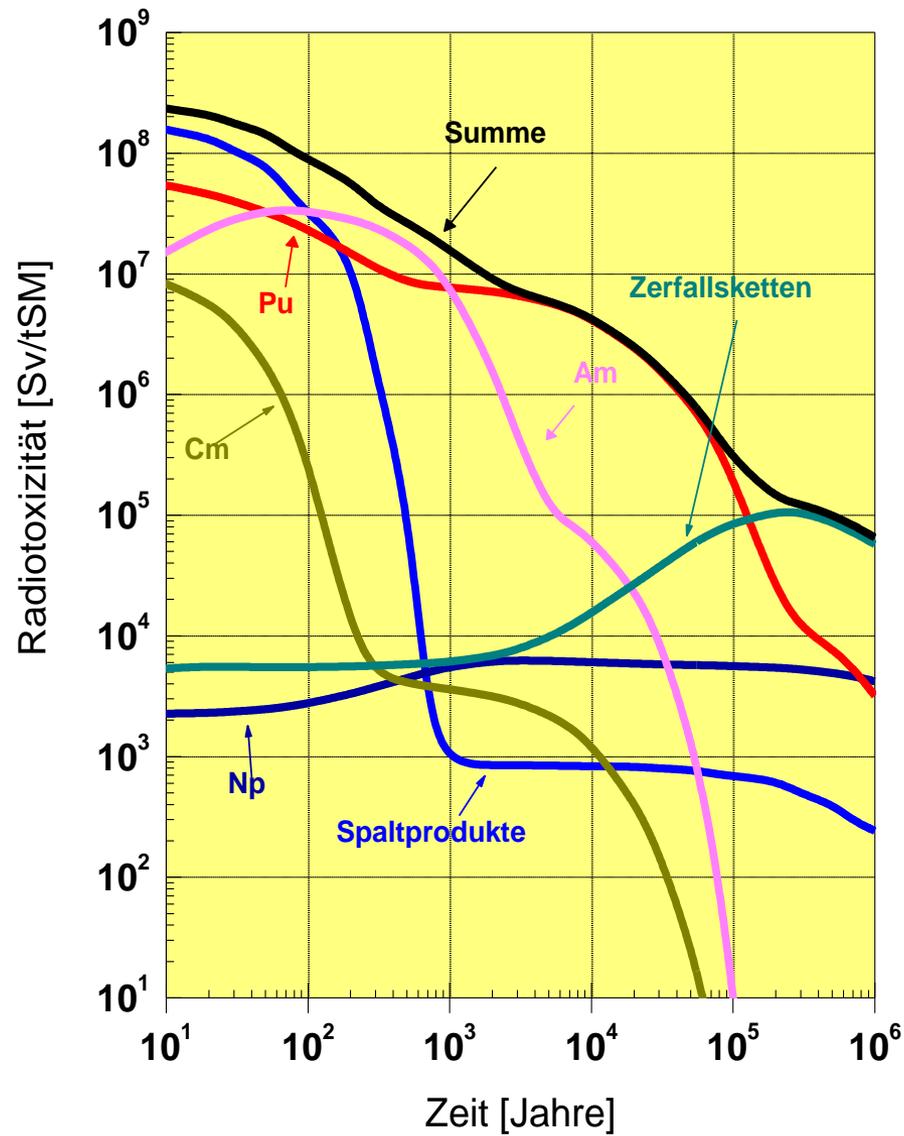
Hauptgruppen					
III	IV	V	VI	VII	VIII
					2 He Helium 4.00 0.18 -269 -
5 B Bor 10.81 (2030) 2.35 2550 2.0	6 C Kohlenstoff 12.01 3550) 2.2 4830 2.5	7 N Stickstoff 14.01 -210 1.25 -196 3.0	8 O Sauerstoff 16.00 -219 1.43 -183 3.5	9 F Fluor 19.00 -220 1.7 -188 4.0	10 Ne Neon 20.18 -249 0.9 -246 -

Nebengruppen											
III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II		
11 Na Natrium 22.99 98 0.97 892 0.9	12 Mg Magnesium 24.31 650 1.74 1107 1.2										
19 K Kalium 39.10 64 0.86 760 0.8	20 Ca Calcium 40.08 838 1.55 1440 1.0	21 Sc Scandium 44.96 1539 3.0 2730 1.3	22 Ti Titan 47.88 1668 4.54 3260 1.5	23 V Vanadium 50.94 1900 6.1 3450 1.6	24 Cr Chrom 52.00 1875 7.19 2200 1.6	25 Mn Mangan 54.94 1245 7.43 2097 1.5	26 Fe Eisen 55.85 1536 7.86 3000 1.8	27 Co Cobalt 58.93 1495 8.9 2900 1.9	28 Ni Nickel 58.70 1453 8.9 2730 1.9	29 Cu Kupfer 63.55 1083 8.96 2595 1.9	30 Zn Zink 65.38 420 7.13 906 1.6
37 Rb Rubidium 85.47 39 1.53 688 0.8	38 Sr Strontium 87.62 768 2.8 1380 1.0	39 Y Yttrium 88.91 1509 4.47 2927 1.2	40 Zr Zirkonium 91.22 1852 6.49 3590 1.4	41 Nb Niob 92.91 2468 8.57 4927 1.6	42 Mo Molybdän 95.94 2610 10.2 5560 1.8	43 Tc* Technetium (97) 2140 11.5 5030 1.9	44 Ru Ruthenium 101.07 2500 12.4 3900 2.2	45 Rh Rhodium 102.91 1968 12.4 3730 2.2	46 Pd Palladium 106.42 1552 12.0 3140 2.2	47 Ag Silber 107.87 961 10.5 765 1.7	48 Cd Cadmium 112.41 321 8.65 765 1.7
55 Cs Caesium 132.91 29 1.90 890 0.7	56 Ba Barium 137.33 714 3.76 1640 0.9	57-71 Lanthanoide	72 Hf Hafnium 178.49 2222 13.31 5400 1.3	73 Ta Tantal 180.95 2996 16.6 5425 1.5	74 W Wolfram 183.85 3410 19.3 5900 1.7	75 Re Rhenium 186.21 3180 21.0 5900 1.9	76 Os Osmium 190.20 3050 22.6 5500 2.2	77 Ir Iridium 192.22 2454 22.7 4500 2.2	78 Pt Platin 195.08 1769 21.4 3830 2.2	79 Au Gold 196.97 1063 19.3 2970 2.4	80 Hg Quecksilber 200.59 -38 13.6 357 1.9
87 Fr* Francium (27) 677 0.7	88 Ra* Radium 226.03 700 5.0 1140 0.9	89-103 Actinoide	104 Ku* Kürschatovium (262) -	105 Ha* Hahnium (262) -	106	107	108	109	110	111	112

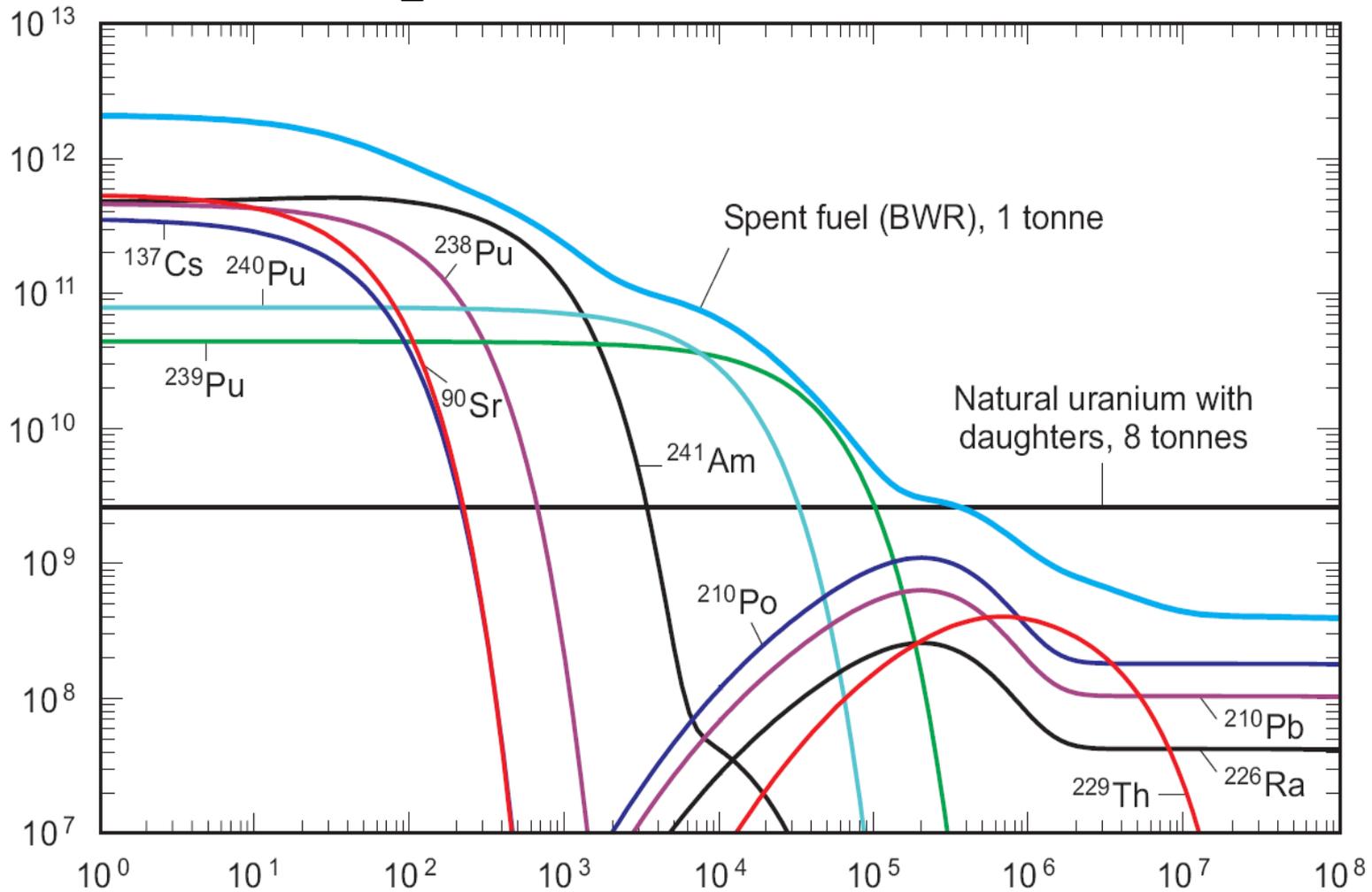
13 Al Aluminium 26.98 660 2.70 2450 1.5	14 Si Silicium 28.09 1410 2.33 2680 1.8	15 P Phosphor 30.97 44 1.82 280 2.1	16 S Schwefel 32.06 119 2.07 445 2.5	17 Cl Chlor 35.45 -101 3.2 -35 3.0	18 Ar Argon 39.95 -189 1.78 -186 -
31 Ga Gallium 69.72 30 5.91 2237 1.6	32 Ge Germanium 72.59 937 5.32 2830 1.8	33 As Arsen 74.92 Subl. 5.72 -2.0	34 Se Selen 78.96 217 4.79 685 2.4	35 Br Brom 79.90 -7 3.12 58 2.8	36 Kr Krypton 83.80 -157 3.7 -152 -
49 In Indium 114.82 156 7.31 2080 1.7	50 Sn Zinn 118.69 232 7.30 2270 1.8	51 Sb Antimon 121.75 631 6.69 1380 1.9	52 Te Tellur 127.60 450 6.24 990 2.1	53 I Iod 126.90 114 4.94 183 2.5	54 Xe Xenon 131.29 -112 5.89 -108 -
81 Tl Thallium 204.38 303 11.85 1457 1.8	82 Pb Blei 207.20 327 11.4 1725 1.9	83 Bi Bismut 208.98 271 9.8 1560 1.9	84 Po* Polonium (209) -	85 At* Astat (210) -	86 Rn* Radon (222) (-71) 9.73 -82 -

Lanthanoide	57 La Lanthan 138.91 920 6.17 3470 1.1	58 Ce Cer 140.12 795 6.67 3468 1.1	59 Pr Praseodym 140.91 935 6.77 3127 1.1	60 Nd Neodym 144.24 1024 7.00 3027 1.2	61 Pm* Promethium (145) (1027) 7.22 2460 -	62 Sm Samarium 150.36 1072 7.54 1790 1.2	63 Eu Europium 151.96 826 5.26 1439 -	64 Gd Gadolinium 157.25 1312 7.89 3000 1.1	65 Tb Terbium 158.93 1356 8.27 2800 1.2	66 Dy Dysprosium 162.50 1407 8.54 2600 -	67 Ho Holmium 164.93 1461 8.80 2600 1.2	68 Er Erbium 167.26 1497 9.05 2900 1.2	69 Tm Thulium 168.93 1545 9.33 1727 1.2	70 Yb Ytterbium 173.04 824 6.98 1196 1.1	71 Lu Lutetium 174.97 1652 9.84 3327 1.2
-------------	--	--	--	--	--	--	---	--	---	--	---	--	---	--	--

Actinoide	89 Ac* Actinium 227 1050 10.1 - 1.1	90 Th* Thorium 232.04 1750 11.7 3950 1.3	91 Pa* Protactinium 231.04 (1230) 15.4 - 1.4	92 U* Uran 238.03 1132 19.0 3818 1.4	93 Np* Neptunium 237.05 637 19.5 3900 1.3	94 Pu* Plutonium (244) 640 19.81 3235 1.3	95 Am* Americium (243) 994 13.7 - 1.3	96 Cm* Curium (247) (1340) 13.51 3100 -	97 Bk* Berkelium (247) -	98 Cf* Californium (251) -	99 Es* Einsteinium (254) -	100 Fm* Fermium (257) -	101 Md* Mendelevium (258) -	102 No* Nobelium (259) -	103 Lr* Lawrencium (260) -
-----------	---	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	--	--	---	---



Veränderung der Radiotoxizität mit der Zeit



Entsorgung radioaktiver Abfälle

Aufgabe: ~300.000 m³ radioaktive Abfälle

10⁹ Ci (3,7·10¹⁹ Bq) Strahlung

~ 10¹² Sv Dosis

Endlagerung in tiefen geologischen Formationen (330m – 1500m)

„Atommüll“

Was ist Radioaktiver und Nuklearer Abfall?

Radioaktiver Abfall:

jegliche radioaktiv kontaminierte, bei Betrieb und Abbau von Kernanlagen und den Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallenden Reststoffe, die nicht dekontaminierbar und damit nicht wiederverwendbar sind.

- aktivierte, bzw. kontaminierte Bauteile von Reaktoren, Kernanlagen und Produktionsanlagen für radioaktive Isotope
- anfallende radioaktive Abfälle aus nuklearmedizinischer, industrieller und forschungsseitiger Anwendung
- konzentrierte Prozessabfälle bei der Urangewinnung und Aufarbeitung

Nuklearer Abfall:

- abgebrannte Brennelemente der Reaktoren
- radioaktive Prozessabfälle (Glaskokillen), die bei der Wiederaufbereitung von Brennelementen entstehen

Radioaktiver Abfall (Charakteristik)

- Toxizität ist im wesentlichen durch die von den radioaktiven Nukliden ausgesandte Strahlung (Art, Energie) bestimmt
- Radioaktivität nimmt nach physikalischer Gesetzmäßigkeit im Laufe der Zeit ab, Halbwertszeit für endlagerrelevante Radionuklide von wenigen Jahren bis mehrere zehntausend Jahre
- Charakterisierung nach Radioaktivitätsinventar, Radiotoxizität Actinidgehalt und Wärmeentwicklung
 - ⇒ hoch-, mittel- und schwachradioaktiv
- durch geeignete Konditionierung Überführung in zwischen- und endlagerfähige Form (Behandlung, Fixierung, Verpackung)
 - ⇒ Abfallgebinde
- Abgabe, Zwischen- und Endlagerung geregelt

Klassifizierung radioaktiver Abfälle

- *(Radio-) Toxizität ist im wesentlichen durch die von den radioaktiven Nukliden ausgesandte Strahlung (Halbwertszeit, Art, Energie, Höhe der Radioaktivität) und dem Bioverhalten bestimmt*

- Niedrig aktiver Abfall (NAA):**
- geringere Aktivität
 - keine Alpha-Strahler
 - keine zusätzliche Strahlenabschirmung notwendig
 - Unterteilung in kurz- und langlebigen Abfall
 - Angabe in m³

Grenze: 10¹⁰ bis 10¹¹ Bq/m³

- Mittel aktiver Abfall (MAA):**
- erhöhte Aktivität
 - Alpha-Strahler können vorhanden sein
 - Wärmeentwicklung vernachlässigbar
 - Strahlenabschirmung notwendig
 - Unterteilung in kurz- und langlebigen Abfall
 - Angabe in m³

Grenze: 10¹⁴ bis 10¹⁵ Bq/m³

- Hoch aktiver Abfall (HAA):**
„Nuklearer Abfall“
- hohe Aktivität
 - Alpha-Strahler
 - **deutliche Wärmeentwicklung**
 - Strahlenabschirmung notwendig
 - langlebiger Abfall
 - Angabe in t SM (Schwermetall)

Abfallaufkommen

92.2 %

Volumenanteil

7.8 %

**Nicht Wärme entwickelnde
Abfälle (285.000 m³)**

**KKW inkl. Stilllegung: 75.0 %
Forschung: 23.6 %
Wiederaufarbeitung: 11.7 %
Landessammelstellen: 3.8 %
Kerntechnische Industrie: 3.7 %**

**Wärme entwickelnde
Abfälle (24.000 m³)**

**Brennelemente: 75.0 %
Wiederaufarbeitung: 11.7 %
Verglaste Abfälle: 3.6 %
Sonstige: 1.0 %**

1 %

Anteil der Radioaktivität

99 %

Beseitigung von radioaktiven und Nuklearabfällen

- Oberflächennahe Lagerung
- **Tiefenlagerung**
 - Lagerung untertätig in geologischen Formationen
 - * mit Option Rückholbarkeit
 - * keine vorgeplante Rückholbarkeit
- Transmutation langlebiger Nuklide
- Transport in den Weltraum
- Meeresverkipfung, Versenkung
- Freisetzung, Verteilung, Verdünnung

Konzept in D:

- Kurzzeitlagerung beim Verursacher
- Abgabe, Zwischenlagerung in Landessammelstelle (keine Nuklearabfälle)
- Zwischenlagerung im KKW oder in zentralen Lagern (Nuklearabfälle)
- **Endlagerung in untertägigen geologischen Formationen**

Nukleare Entsorgung - Endlagerung

- Ziel:

Verhinderung, dass aus dem radioaktiven/nuklearen Abfall stammende Radionuklide in die Biosphäre gelangen, bevor ihre Radioaktivität auf unbedenkliche Konzentrationen abgeklungen ist.
(Auch eingebrachte „konventionelle Stoffe“ mitbetrachten!)

- Bilanz :

In Deutschland fallen bis zur Beendigung der Kernenergienutzung und anschließendem Rückbau der Kernkraftwerke folgende Abfälle an:

- ca. 300.000 m³

niedrig- und mittelaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung
(in Schacht Konrad)

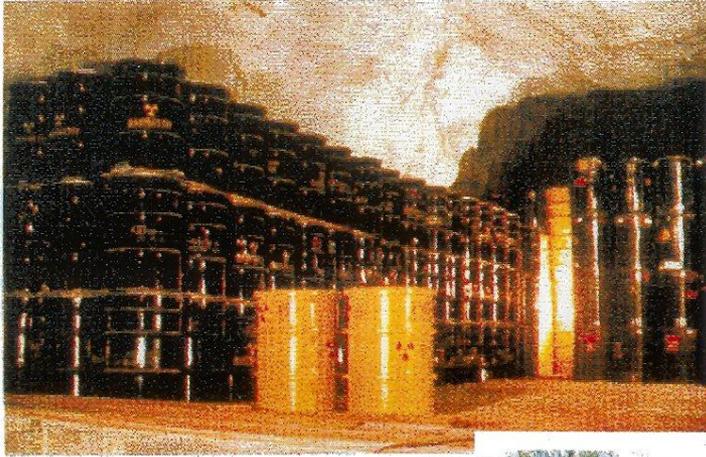
- ca. 30.000 bis 40.000 m³

hochaktive Abfälle mit relevanter Wärmeentwicklung
(in zu errichtendes Nukleares Endlager)

Wärmeentwickelnde Abfälle machen ca. 10 Prozent des Gesamt-Volumens aus, beinhalten aber ca. 99% der Radioaktivität

Zwischenlagerung (niedrig und mittel aktiver Abfall)

Fasslager



Container



Containerlager



- Zwischenlagerung in
Landessammelstellen



- Tiefenlagerung
Schacht Konrad

Nuklearer Abfall

- Brennelemente (BE)

Daten (Druckwasserreaktor):

193 Brennelemente

ca. 225 Brennstäbe/BE, Ø 1,0 cm, Länge 3,3 m

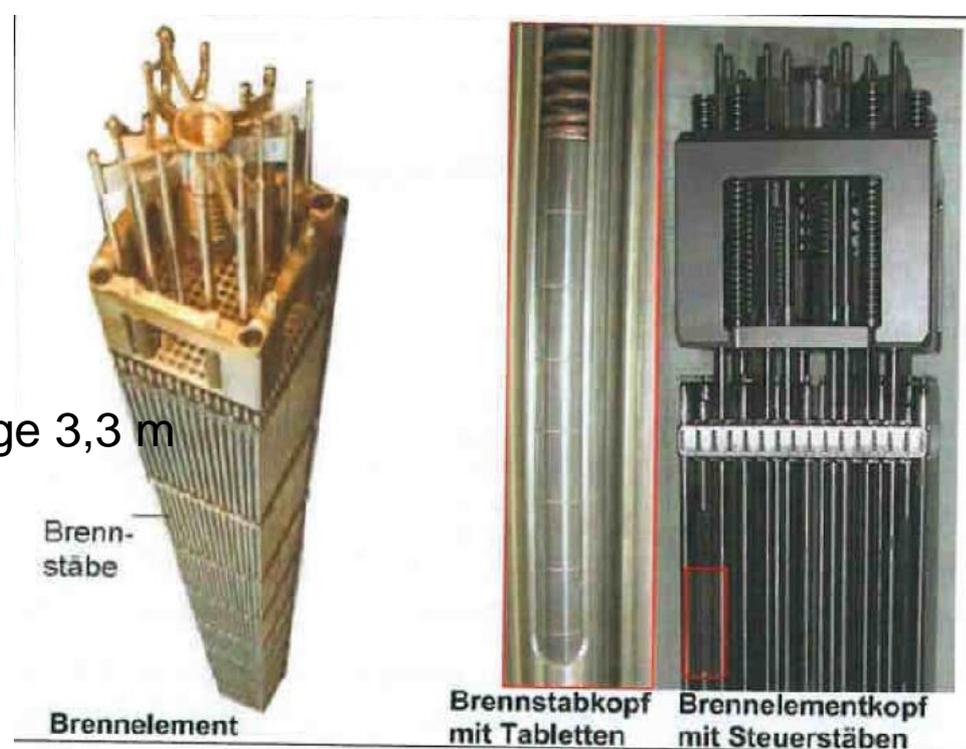
ca. 100 t Urandioxid Beladung

pro Jahr Entladung 1/3 der BE:

ca. 32,7 t Urandioxid

ca. 1,2 t Spaltprodukte

ca. 0,3 t Plutonium



- Kokillen

Daten:

1,34 m Höhe

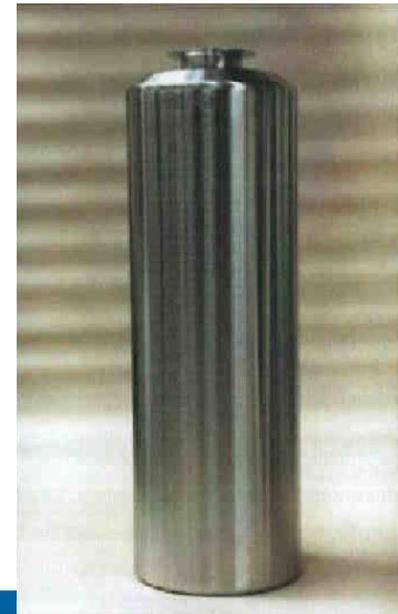
40 cm Durchmesser

400 kg, 150L Glasprodukt (Spaltprodukte, minore Actiniden)

Material: Borsilikatglas, Edelstahlbehälter

entspricht Material aus 3-4 BE

etwa 4700 Glaskokillen werden nach D zurückgeführt



Castor Cask for Storage and Transport of Radioactive Material

Lager- und Transportbehälter für hochradioaktives Material (BE, FP)

- Gewicht:

120 t Spezialguss, Wandstärke 44 cm

- Prüfungen:

* Fallprüfung

aus 9 m Höhe auf Beton-Stahl-Fundament aus 1 m auf Dorn von 15 cm

* Erhitzungsprüfung

0,5 h auf 800°C, Feuertest bei 1100°C, 90 min

* Wassereindringprüfung

8 h auf 15 m Tiefe, 30 min auf 200 m Tiefe

* Kollision

Straßenfahrzeug, Lokomotive mit ca. 130 km/h,

* Simulation Flugzeugabsturz,

Beschuss mit Stahlprojektil (1t), Schallgeschwindigkeit

→ keine Radioaktivitätsfreisetzung

- Auslegungswerte:

Aktivität: $3,0 \times 10^{16}$ Bq

Gammastrahlung: 100 μ Sv/h

Neutronenstrahlung: 25 μ Sv/h

Nachzerfallsleistung: 825 W

Behälter einzeln aufstellen

Kontaminationen: Alpha-Strahler: 0,4 Bq/cm²,

Beta-Strahler: 4,0 Bq/cm²



Zwischenlagerung von radioaktiven und Nuklearabfällen in D

- derzeit werden Abfälle an ca. 50 Standorten in D aufbewahrt

Radioaktive:

- * in den entsprechenden Landessammelstellen
- * in Großforschungszentren
- * in Tiefenlagern (Asse 47.000 m³, Morsleben 37.000 m³)
- * zukünftig Schacht Konrad 303.000 m³

Nukleare:

- * bei Kernkraftwerken an 18 Standorten
- * in drei externe Zwischenlagern (Ahaus, Gorleben , ZL Nord-Lubmin)



Schacht Konrad Salzgitter



Ahaus:
ca. 370 Stellplätze

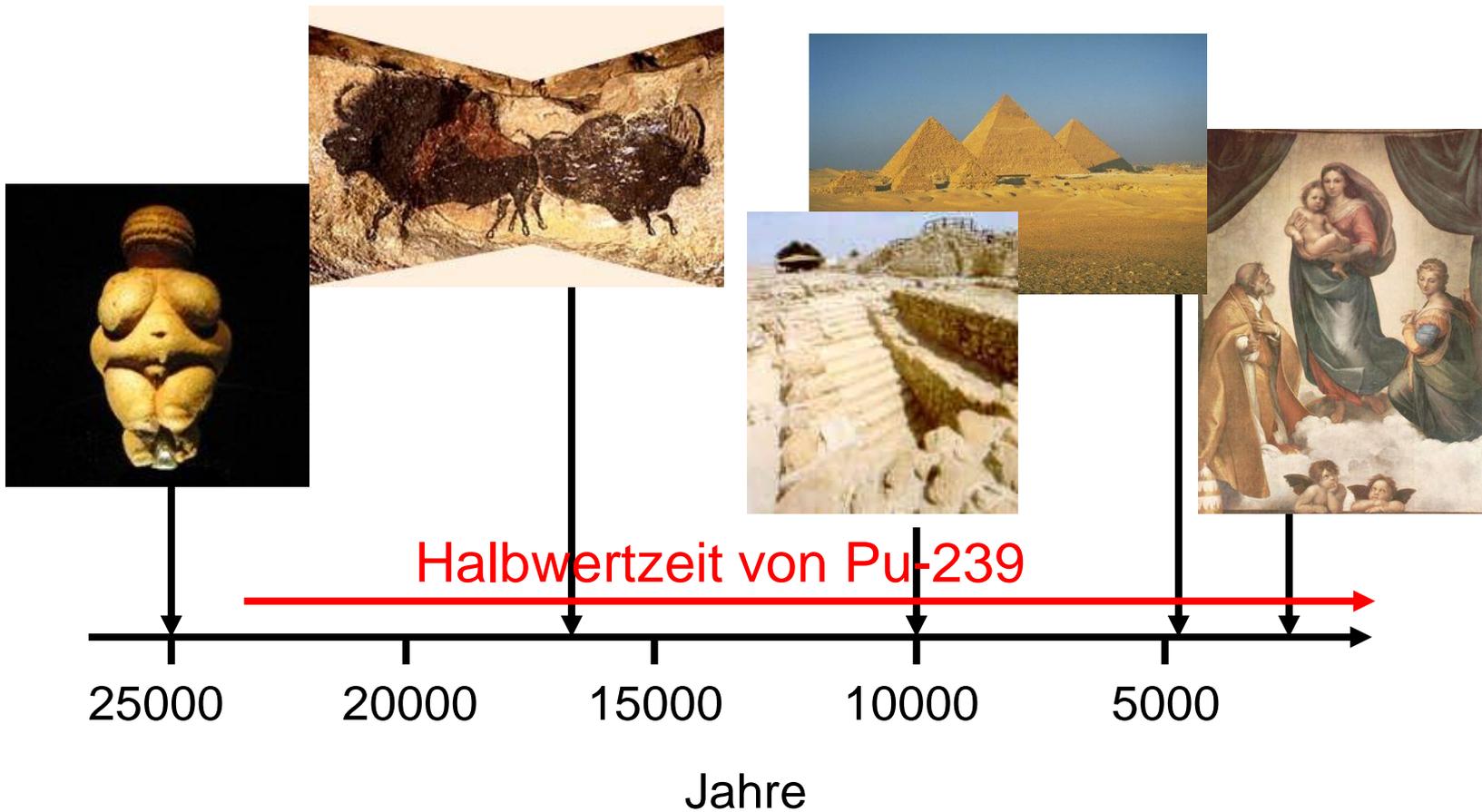


Gorleben
ca. 420 Stellplätze



ZL Nord Lubmin
ca. 80 Stellplätze

Zeiträume für die Aussagen zur Langzeitsicherheit



Die relevanten Zeiträume

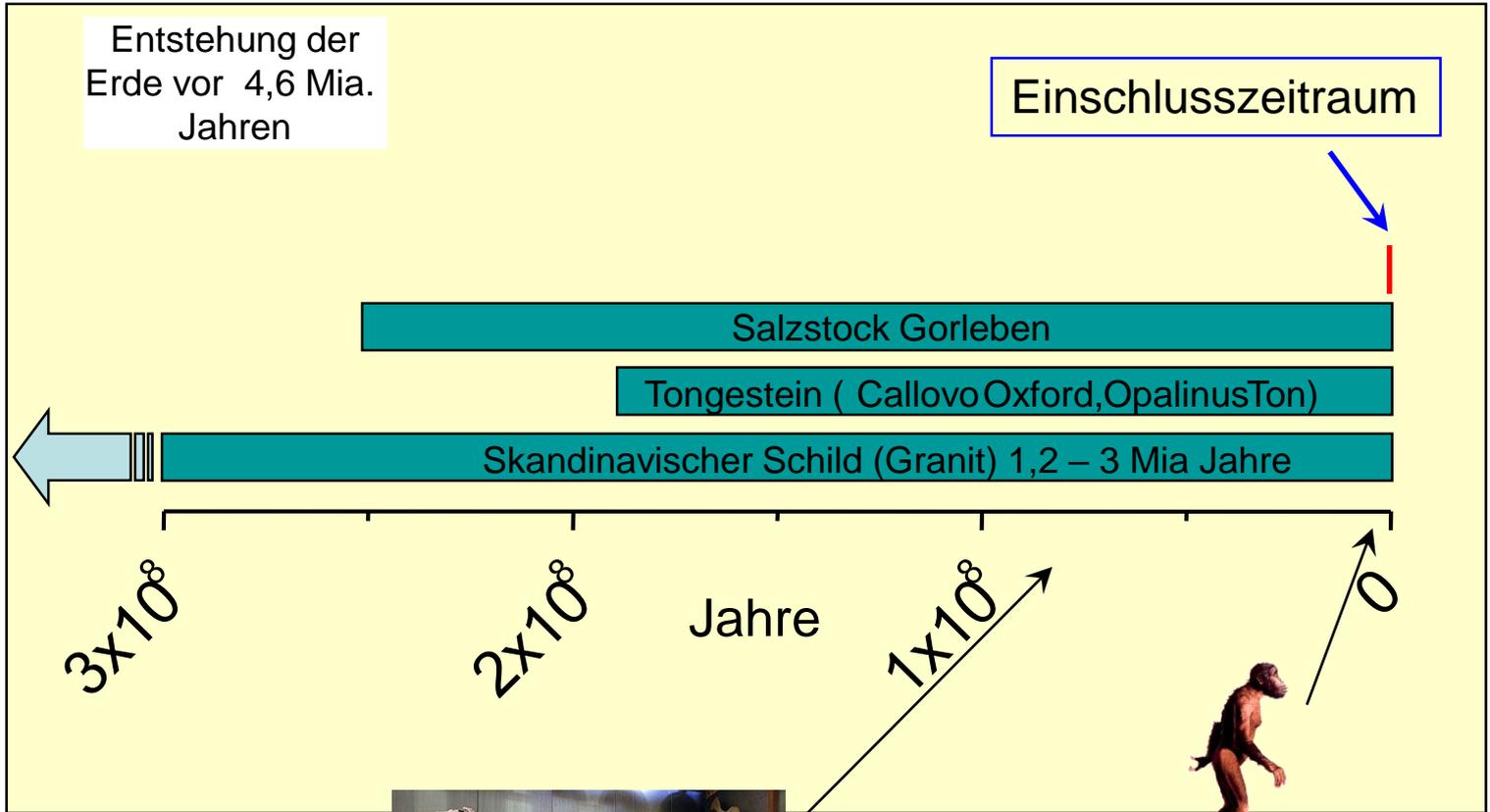


Entstehung der Erde vor 4,6 Mia. Jahren

Einschlusszeitraum



Entstehung der Universums vor ca. 20 Mia. Jahren



T-Rex



Australopithecus ca. 5 Mio. Jahre



-  Tonsteinformationen
-  kristallines Gestein
-  Salzstöcke

Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

- Bisher D:

Erkundung Standort Gorleben, Salz

Technische und wissenschaftliche Mitarbeit in Untertagelaboren:

Schweden: UTL Äspö, Granit

Schweiz: UTL Mont Terri, Tonstein; UTL Grimsel, Granit

Nukleare Endlagerung (Tiefenlagerung)

Ziel der Endlagerung

- **Verhinderung, dass aus dem Abfall stammende Radionuklide in die Biosphäre gelangen, bevor ihre Radioaktivität auf unbedenkliche Konzentrationen abgeklungen ist.**
(auch eingebrachte „konventionelle Stoffe mitbetrachten!)

Entsorgung im Tiefenlager

- Wo, wie kann man „Tiefenlagern“?

Welche Gesteins- (Wirts-) Formationen kommen in Frage?

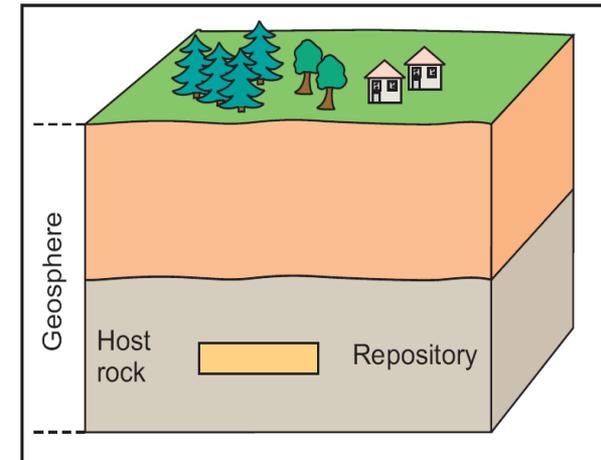
Welche Technik muss vorhanden sein?

Was muss erforscht werden?

Welche Anforderungen an den Standort?

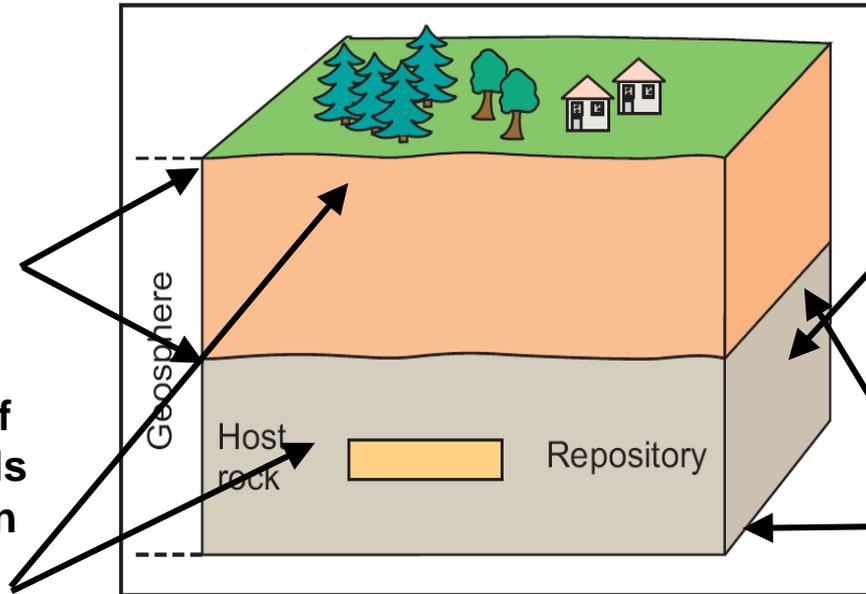
- Beispielskriterien für die Standortauswahl:

- * **Geographie**
- * **Regionalgeologische Verhältnisse**
- * **Tektonik**
- * **Hydrogeologie**
- * **Wirtsgesteinseigenschaften**
- * **Seismizität**
- * **Rohstoffvorkommen, Bergbau, Infrastruktur...**



Endlager- Mindestanforderungen

- **Teufe mind. 300 m**
- **Endlager darf nicht tiefer als 1500 m liegen**

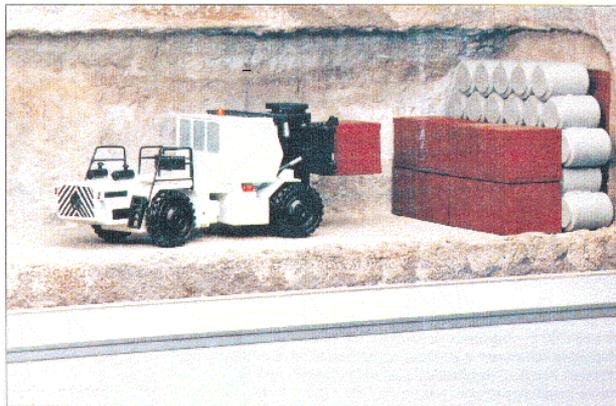


- **Durchlässigkeit im einschlusswirksamen Gebirgsbereich kleiner als 3 mm/a**
- **Einschlusswirksamer Bereich muss mind. 100 m mächtig sein**

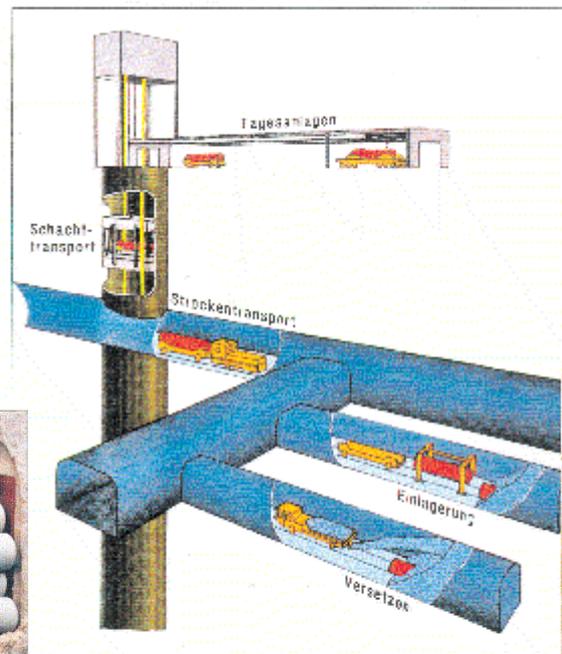
Quelle: Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte

Endlager – Technologie

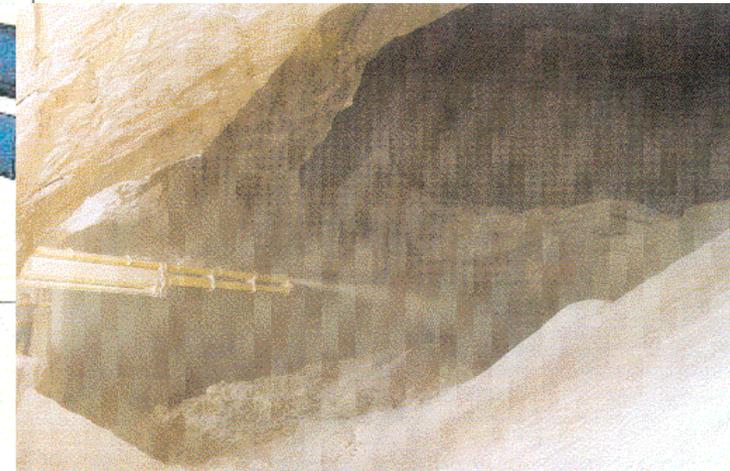
Erkunden – Auffahren (Schacht/Stollen) – Einlagerung der Abfallgebinde (Behälter mit Brennelementen/Behälter mit Glaskokillen) in Stollen bzw. Bohrlöcher von Stollensohle aus, Verschließen der Bohrlöcher/Stollen



Einlagerungskammer (Modell)



Einlagerungsablauf
(Salzbergwerk, Streckenlagerung)

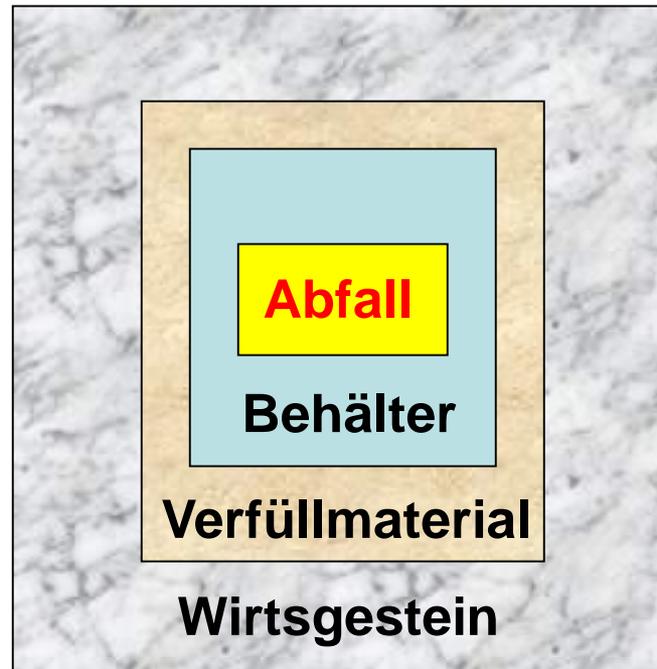


Entsorgung radioaktiver Abfälle

Multibarrierenkonzept

Nahfeld

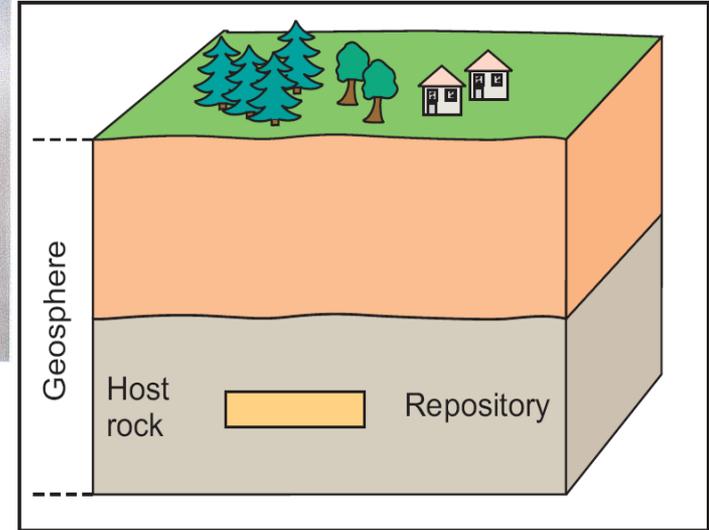
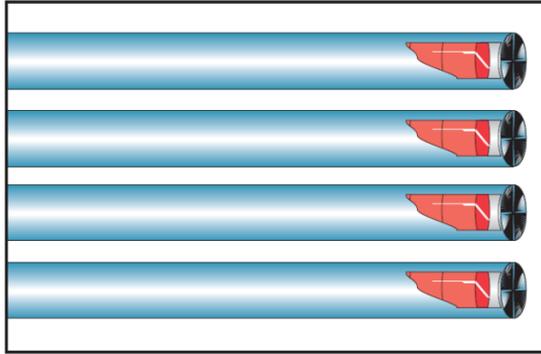
Abfall
Behälter
(technische Barriere)
Verfüllmaterial
(geotechnische Barriere)



Fernfeld

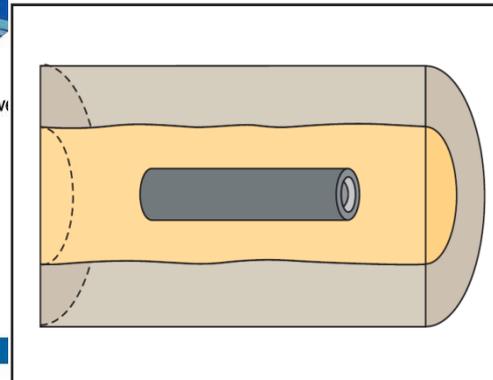
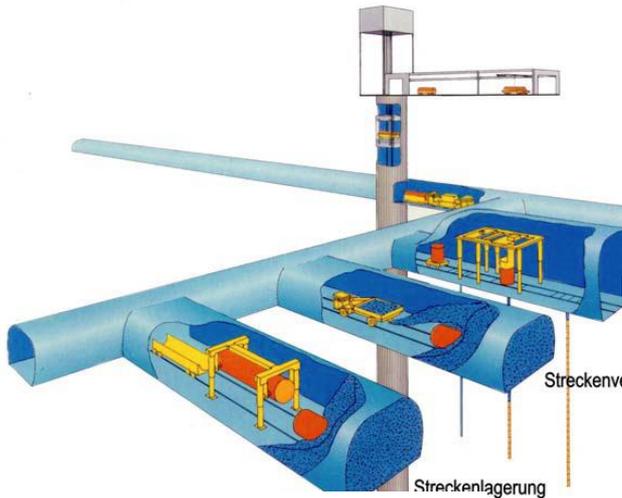
Wirtsgestein
(geologische Barriere)

Multibarrieren-Konzept bei der Rückhaltung von radioaktiven Stoffen im Endlager



Technische Barrieren
Brennstoffmatrix
Container

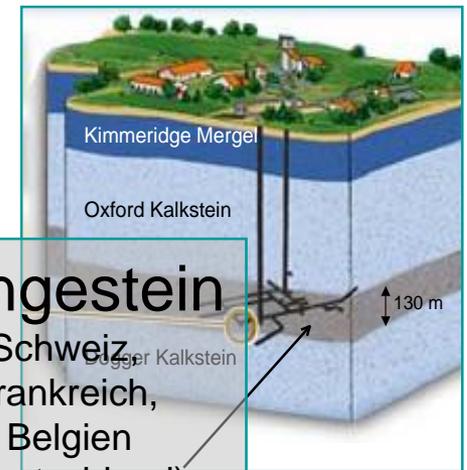
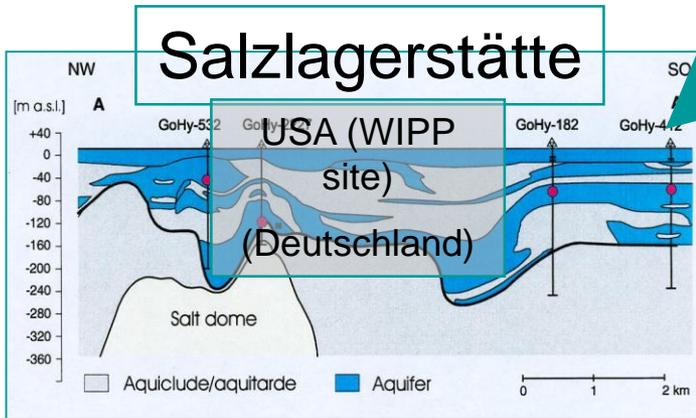
Geologische Barrieren
Wirtsformation
Deckgebirge mit Aquifersystem



Geotechnische Barrieren
Verfüllung der Bohrlöcher
Dammsystem
Verfüllung des Schachtsystems

Sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle

Endlagerkonzepte



Wirtsgesteine

Steinsalz

Ton

Granit

Tuff

D, USA, NL, RUS

D, F, CH, B,
GB, ES, ARG

S, SF, CAN,
J, KOR

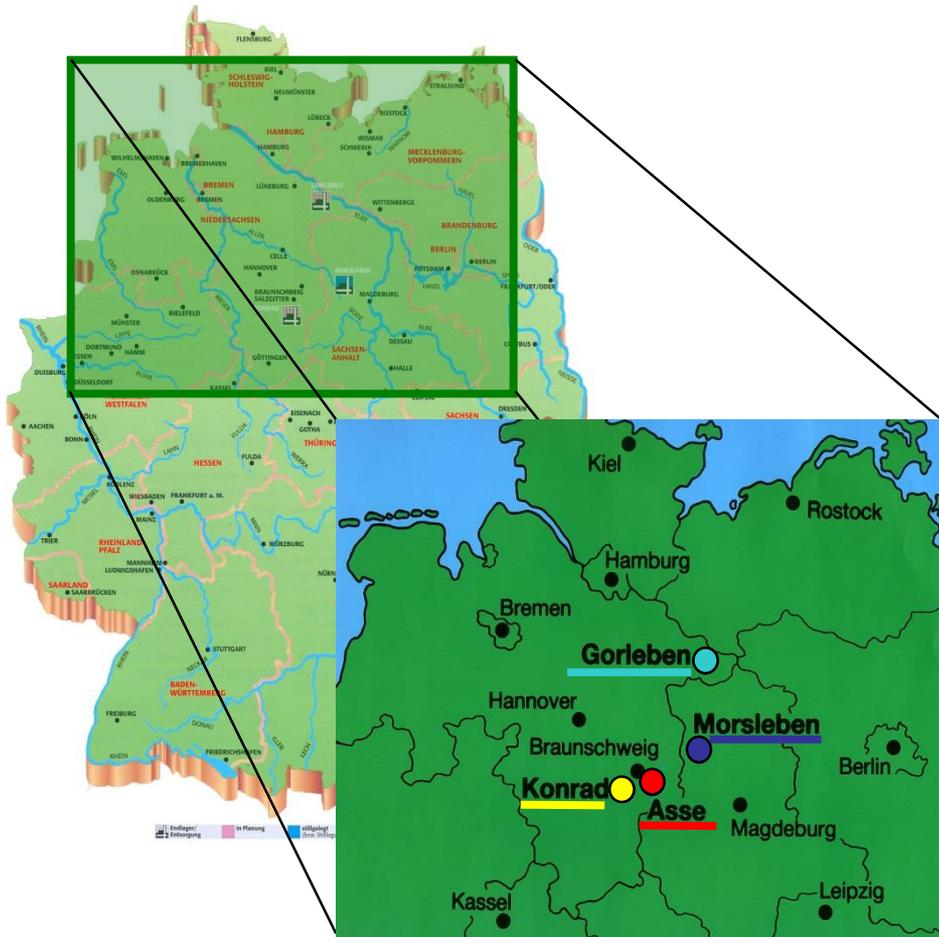
USA

Nur Hülle!

Wirtsgesteine

	Steinsalz	Ton
Hohlraumstabilität	+	-
Lösungsverhalten	-	+
Sorption	-	+
Ausbauerfahrung	+	-
Temperaturbeständigkeit	+	-

Endlagerung in Deutschland



Endlager und Endlagerprojekte

- Asse (LLW/ILW)
(Forschungsbergwerk)
- Morsleben (LLW)
- Konrad (LLW/ILW)
- Gorleben (HLW)
(Projekt)

Transport der Radionuklide

- Eigenschaften des Grundwassers, bzw. des eindringenden Wassers
- Hydrogeologie (Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit)
- Eigenschaften des umliegenden Gesteins (Salzes)
- Einstellende chemische Gleichgewichte

Chemie der Actinide:

Thorium, Uran, Neptunium, Plutonium, Curium, Americium

- * Löslichkeiten (Abhängigkeit von Ionenstärke, pH-Wert, Temperatur, Druck, Redoxpotential)
- * Kenntnis der Speziation (chemischer Zustand des Actinids / Radionuklids)
- * Sorptionsgleichgewichte, Reaktionskinetik

Relevante geo- und biochemische (radioökologische) Prozesse

Standortunabhängige Daten

- *Thermodynamik*
- *Sorption*
- *Nuklidspezies*

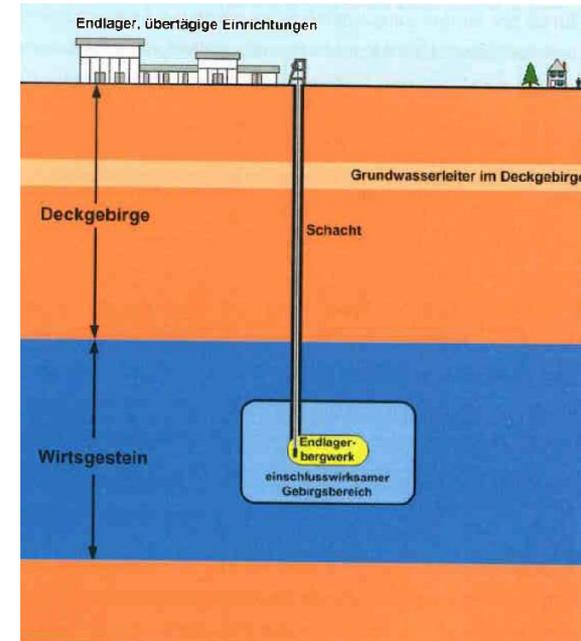
Standortspezifische Daten

- *Geomechanik*
- *Gesteinsphysik*
- *Geohydraulik*
- *Geochemie*

Prozesse

- *Auflösung/Ausfällung*
- *Grenzflächenreaktionen*
- *Redoxreaktionen*
- *Komplexbildung*
- *Radiolyse*
- *Gasbildung*
- *Kolloidbildung*
- *Mikrobiologische Prozesse*
- *Wärmetransport*

Prozessmodellierung/Stofftransport



Daten und Prozesse betrachten in Abhängigkeit des

- Wirtsgestein
- Barrieren Nahfeld/Fernfeld

Langzeitsicherheitsanalyse

Festlegung eines Standorts

Abschalten des letzten
Reaktors in Deutschland

Bau des Endlagers

2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100

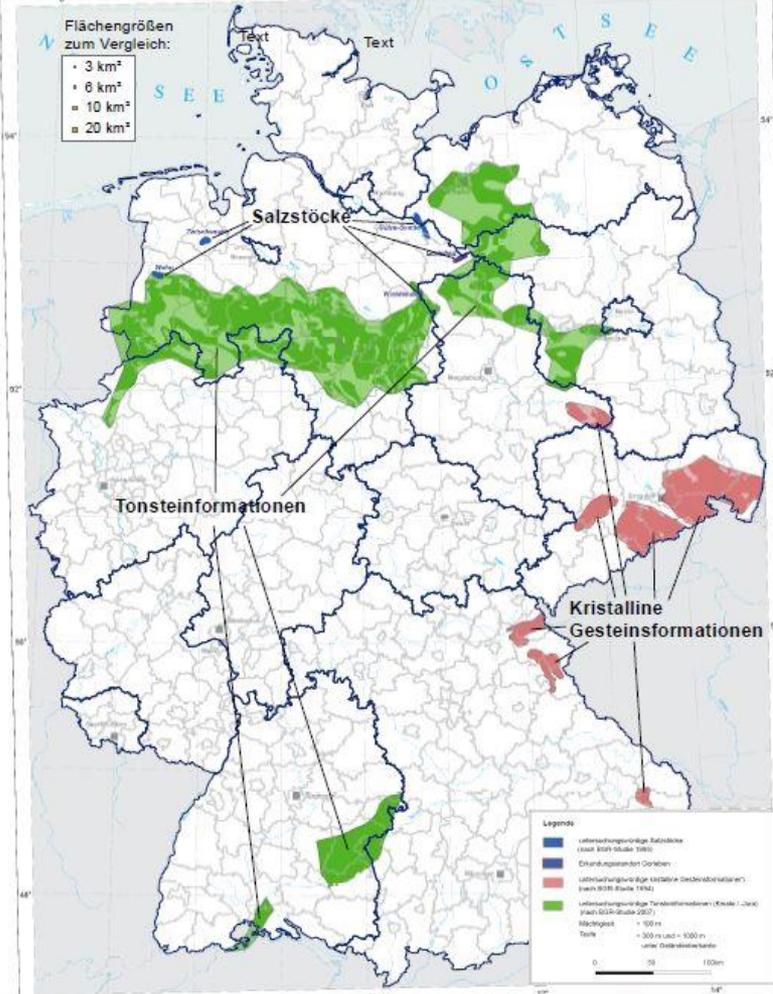
Zwischenlagerung



Anlage 1

Ableitung der Formationen aus der Karte "Untersuchungswürdige Wirtgesteinsformationen - Ergebnisse der regionalen BGR-Studien" der BGR

Hinweis: Die Verzerrung der Datengrundlage beruht auf einer Änderung der Projektion.



Datengrundlage:
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: Verwaltungsgebiete mit Einwohnerzahlen
1:1.000.000 - Stand 31.12.2013 © GeoBasis-DE / BKG 2015 (Daten verändert)

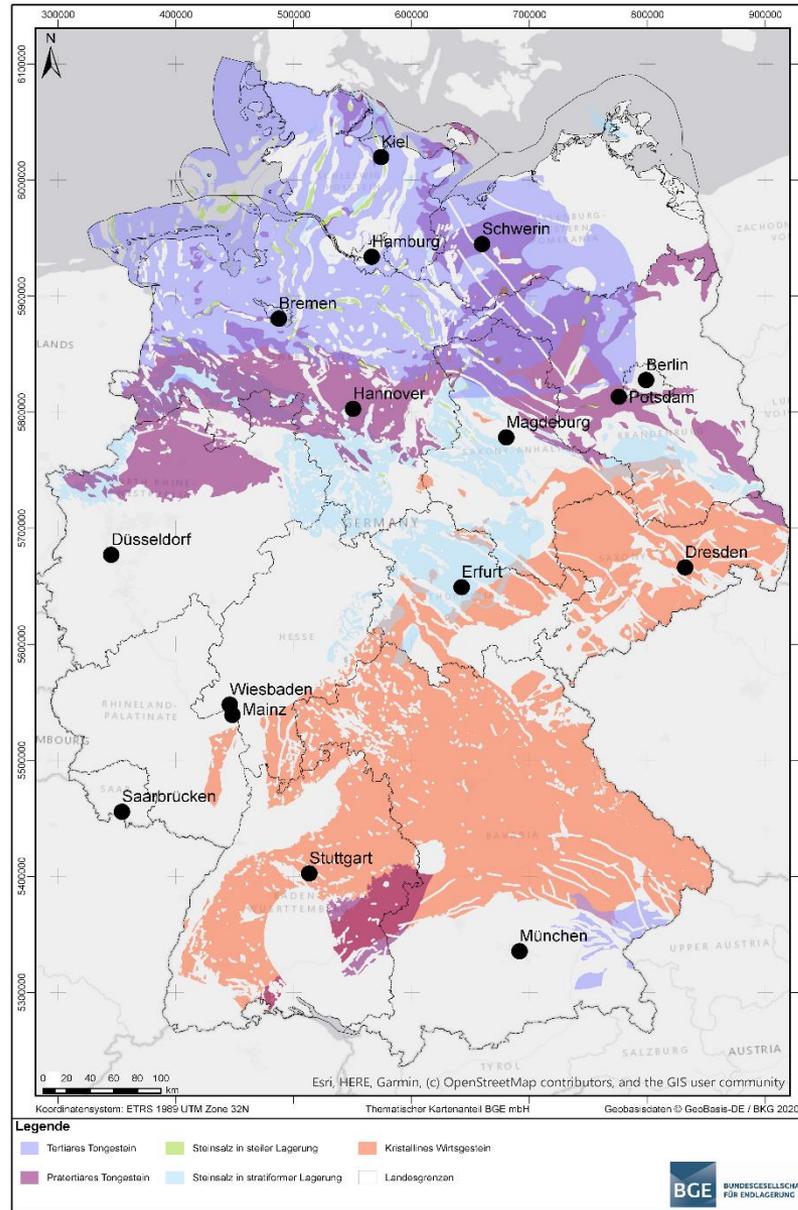
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Untersuchungswürdige Wirtgesteinsformationen -
Ergebnisse der regionalen BGR-Studien, www.bgr.bund.de
(pdf-Datei, enthalten in K-Mat 11 der Endlagerkommission)

GR Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe
ZENTRUM HANNOVER

DRESDEN
concept

HZDR

Teilgebiete gemäß § 13 Standortauswahlgesetz



Legende

- Tertiäres Tongestein
- Stensalz in steiler Lagerung
- Kristallines Wirtsgestein
- Prätertiäres Tongestein
- Stensalz in stratiformer Lagerung
- Landesgrenzen



Europa 2021



Europa 1916



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!