

B.II.5. Radioaktive und elektromagnetische Strahlung

B.II.5.1 Radioaktive Strahlung

Bauänderungen:

Die einzige Bestrahlungsquelle der Bevölkerung in der Umgebung des KKW sind gasförmige und flüssige Ableitungen, wie in dem folgenden Unterkapitel über die Auswirkungen des KKW beschrieben wird. Die bewerteten Veränderungen sind Veränderungen technologischer und baulicher Art, bei denen es zu keiner Veränderung des Radionuklidinventars kommt, das in die Umwelt abgeleitet wird. Im Verlauf der Errichtung des KKW wurden keine neuen Technologien erfunden, mit denen man die Ableitungen weiter reduzieren könnte.

Änderungen, die die Ableitungen beeinflussen könnten, sind nur die folgenden:

Bei den technologischen Wassersystemen (Änderung Nr. 41 – Veränderungen im BAPP, Klärstation für radioaktive Medien) wurde die un gelenkte Ableitung von Tritiumwasser in die Kühlbecken mit Verstäu bern abgeschafft und durch die gelenkte Ableitung des Überbilanzwassers in den Rezipienten ersetzt. In ihren Konsequenzen bedeutet diese Veränderung eine Verlagerung der Aktivität der Ableitungen in die Atmosphäre in die Ableitungen in Gewässer. Das bedeutet einen geringeren Beitrag zur Personenbestrahlung im Betrieb und einen besseren Grundwasserschutz.

Mit Verbesserungen in den Belüftungssystemen im BAPP erhöht sich die Ableitung von reiner Luft in den Abluftkamin des BAPP um ca. 10%, durch die verbesserte Filterwirkung verringert sich gleichzeitig die Aktivität der gasförmigen Ableitungen aus dem Abluftkamin des BAPP.

Im Kern des KKW Temelin wird der Brennstoff VVANTAGE 6 statt den ursprünglich geplanten Brennstofflieferungen aus der Russischen Republik (Änderung Nr. 55 – Brennstoffaustausch) verwendet. Im Prinzip handelt es sich um einen Wechsel zu einem anderen Lieferanten aufgrund von wirtschaftlich strategischen Ursachen. Bei dieser Veränderung wird mit keiner Veränderung der Gesamtaktivität des Kühlmittels des Primärkreises gerechnet. Es verändern sich auch die im Projekt geplanten Emissionen aus dem KKW nicht.

KKW:

Strahlungsquellen und Radionuklidinventar im Primärkreis

Das KKW Temelin besteht aus einem Komplex von Produktions – und Hilfsbetrieben. Aus Sicht des Strahlenschutzes sind die folgenden Objekte von Bedeutung:

- Hauptproduktionsblock,

- BAPP

Die bedeutendste Quelle der ionisierenden Strahlung im KKW ist der Reaktor im Hauptproduktionsblock. Der in den Reaktor verbrachte Brennstoff ist relativ wenig radioaktiv und keine bedeutende Quelle äußerer Gammastrahlung. Während des Reaktorbetriebs kommt es durch die Neutronenwirkung zur Kettenreaktion der Kerne des ^{235}U und damit zu einer starken Veränderung der Radionuklidzusammensetzung des Brennstoffs. Pro Spaltung entstehen in der Regel 2 Spaltprodukte, 2 - 3 Neutronen und es wird Energie von etwa 200 MeV freigesetzt. Die entstandenen Spaltprodukte sind dann Quelle der α, β, γ - Strahlung.

Die wichtigste Quelle für die Verbreitung der Radionuklide ist das Primärkreis Kühlmittel. Die Aktivität des Kühlmittels besteht aus:

- Spaltprodukten, die über die Undichtigkeiten in den Brennstabhüllen aus dem Brennstoff hinausgelangen (den grössten Anteil an dieser Aktivität haben die Isotope von Krypton, Xenon, Jod und Cäsium),
- Aktivierungsprodukte der Korrosion der Konstruktionsmaterials des Primärkreises (die wichtigsten Radionuklide von Zirkonium, Niob, Nickel, Kobalt, Eisen, Mangan, Chrom, Phosphor, Silizium und Aluminium),
- Radionuklide, die durch die Aktivierung des Kühlmittels selbst entstehen (Radionuklid ^{16}N mit kurzer Halbwertszeit, sog. Sauerstoffaktivität, und weiter das Radionuklid ^{14}C der Reaktion (n, α) und
- Radionuklide aus der Aktivierung der Zusätze stabiler Nuklide beim Durchgang durch das Kühlmittel (Radionuklide ^3H , ^{13}N , ^{14}C , ^{24}Na , ^{38}Cl , ^{41}Ar , ^{42}K , ^{64}Cu).

Ein bedeutendes Nuklid unter dem Aspekt der weiteren Behandlung des Primärwasserkreises nach der Reinigung in den Kläranlagen ist Tritium (^3H). Im Kühlmittel entsteht es durch zahlreiche nukleare Reaktionen und an dessen Entstehung beteiligen sich vor allem ternäre Spaltung, die Aktivierung von Deuterium und das Vorkommen von ^{10}B und ^7Li im Brennstoff und im Kühlmittel.

Die anschließenden technologischen Systeme arbeiten mit einem Medium, dessen Aktivität aus dem Primärkühlkreis stammt. Die Aufgabe dieser Systeme ist die Schaffung eines wenn möglich geschlossenen Kreises, in dem die radioaktiven Flüssigkeiten gereinigt werden und zur Wiederverwendung in den Primärteil zurückkehren. Die Aktivität im Sekundärkreis kann nur durch eine mögliche Undichtigkeit des Dampferzeugers entstehen.

Strahlenschutz

Das grundlegende Ziel des Strahlenschutzes ist der Schutz des Betriebspersonals und der Bevölkerung in der Umgebung des KKW vor den Auswirkungen der ionisierenden Strahlung aus allen Quellen im KKW. Die Hauptquelle für die Bestrahlung des Personals ist die äußere Gammastrahlung.

Daher sind alle Anlagen des Primärkreises von einer biologischen Abschirmung umgeben, und das im Normalbetrieb, wie auch beim Brennstoffwechsel, bei der Wartung und allen im Projekt geplanten Betriebssituationen einschließlich der Unfallbedingungen.

Für die Einschränkung der Freisetzungen von radioaktiven Stoffen in die Umwelt existieren im KKW Schutzbarrieren:

- Konstruktion der Brennstäbe,
- Hüllen der Brennstäbe,
- Wände der Leitungen und des übrigen Primärkreises,
- Betonhülle des Reaktors,
- Alle Einrichtungen des Primärkreises, Kreis der Kühlmittelreinigung und weitere Hilfskreise, Einrichtungen mit radioaktiven Medien, einschließlich der Einrichtungen zur Druckentlastung und der Filtersystem der Belüftung.

Das Projekt des KKW ist so geplant, daß die Effektivdosisleistungen (bzw. Äquivalentdosisleistungen) des Personals nicht nur unter den Grenzwerten der geltenden Hygienevorschriften zum Strahlenschutz liegen, sondern auch auf dem niedrigsten vernünftigerweise erreichbaren Niveau sind (ALARA-Prinzip).

Die Strahlung in den Medien im KKW wirkt nur im gegebenen Objekt des KKW, sie dringt nicht über das Objekt des KKW hinaus, sie dringt nicht über das Areal des KKW hinaus, und daher wird die Bevölkerung den Strahlenwirkungen nicht ausgesetzt, weil die Strahlenwirkung im Normalbetrieb nur über die Ableitungen Auswirkungen auf die Bevölkerung und die Umwelt hat.

Ableitungen und Freisetzung der Abfälle

Beim Betrieb des KKW entstehen radioaktive Abfälle (beschrieben in Kapitel B.II.3), die nicht in die Umwelt freigesetzt werden. In die Umwelt werden nur Medien abgeleitet oder freigesetzt, die einen Radionuklidanteil haben, der die Grenzwerte für die Freisetzung in die Umwelt nicht überschreiten. Es handelt sich um:

- Gasförmige Ableitungen,
- Flüssige Ableitungen,
- Feste freisetzbare Abfälle.

Die Ableitungen und die festen freisetzbaren Abfälle werden regelmäßig beobachtet (Monitoring), damit eine unzulässigen Freisetzung von Radionukliden verhindert wird. Das Monitoring umfaßt einerseits die systematische Bilanzmessung aller Radionuklide, die zur Bestrahlung der Bevölkerung beitragen, wie auch die ununterbrochene Messung repräsentativer Radionuklide, so daß Abweichungen vom Normalbetrieb schnell signalisiert werden. Die Menge

und die Aktivität der Ableitungen wird minimiert, es handelt sich um folgende Grundsätze bei der Arbeit mit radioaktiven Medien:

- Geschlossene Kreise mit radioaktiven Stoffen,
- Organisierte Sammlung und Reinigung von radioaktiven Lecks,
- Filterung der Luft, die über das Belüftungssystem freigesetzt wird.

Grenzwerte für flüssige und gasförmige Ableitungen

Das KKW Temelin wird so betrieben werden, daß die Grenzwerte für die Freisetzung von flüssigen und gasförmigen Ableitungen in die Umwelt laut SUJB-Verordnung Nr. 184/1997 eingehalten werden. Es handelt sich um diese Bestimmungen:

§32 Details über die Art und den Umfang der Gewährleistung von Strahlenschutz bei der Freisetzung von Radionukliden in die Umwelt:

Absatz 3

Gelenkte Ableitung von Stoffen mit Radionuklidanteil in die Luft wird dann genehmigt, wenn sie mit anderen gasförmigen Ableitungen gemischt sind und durch die Verteilung in der Atmosphäre gesichert ist, daß sie bei der entsprechenden kritischen Bevölkerungsgruppe im Durchschnitt zu keiner Überschreitung der 200 μ Sv Jahreseffektivdosis als Folge dieser Ableitungen in die Luft führen.

Absatz 4

Die gelenkte Ableitung von Stoffen mit Radionuklidanteil ins Wasser kann bewilligt werden, wenn sie mit anderen Abwässern vermengt sind und durch die anschließende Verteilung gesichert ist, daß sie bei der entsprechenden kritischen Bevölkerungsgruppe im Durchschnitt zu keiner Überschreitung der 50 μ Sv Jahreseffektivdosis als Folge dieser Ableitungen in die Luft führen.

§7 Technische und organisatorische Anforderungen, Richtwerte und Vorgangsweisen zum Nachweis des am niedrigsten vernünftigerweise erreichbaren Niveaus (ALARA-Prinzip).

Absatz 2

Die Richtwerte für die Bestrahlung, die als ausreichend zum Nachweis des am niedrigsten vernünftigerweise erreichbaren Niveaus bei der Behandlung von Quellen ionisierender Strahlung betrachtet werden, sind 1 Sv jährlich für die Jahreskollektivdosis, 1 mSv für die Jahreseffektivdosis bei Mitarbeitern der Kategorie A oder B und 50 μ Sv für die Jahreseffektivdosis für die übrigen Personen. Das niedrigste vernünftigerweise erreichbare Niveau wird als

nachgewiesen betrachtet, wenn im Normalbetrieb keiner der genannten Richtwerte überschritten werden kann, und das bei keiner einzigen Person.

Grenzwerte für die festen Abfälle

§5 Radionuklidanteil oder Verunreinigung mit Radionukliden, die eine Ableitung in die Umwelt gestattet

Absatz 1 Punkt a) 2

Außerhalb des Arbeitsplatzes verwenden, in Wasser oder Luft ableiten, auf Deponien lagern oder anders in die Umwelt ableiten kann man Material, Stoffe und Gegenstände, die Radionuklidanteil oder Verunreinigung mit Radionukliden in einer solchen Ausmaß haben, wenn eingehalten wird:

Bei Freisetzung von festen Stoffen und Gegenständen in die Umwelt die Summe der Anteil der Masseaktivität der einzelnen abgeleiteten Radionuklide und der Freisetzungsniveaus der Masseaktivität der entsprechenden Radionuklide, genannt in Tabelle Nr. 1 Beilage Nr. 2 der Verordnung und auch die Summe der Anteile der Flächenaktivität der entsprechenden Radionuklide, genannt in Tabelle 1, nicht größer als eins ist. Dabei werden die Radionuklide entsprechend der Auswirkung auf den menschlichen Organismus in 5 Klassen der Radiotoxizität eingeteilt.

Werte laut Tabelle Nr. 1 der Beilage Nr. 2 der Verordnung Nr. 184/1997 des Gb. sind die folgenden:

Bewertete Stelle der Verunreinigung	Klassen der Radiotoxizität				
	1	2	3	4	5
Freisetzungsniveau der Masseaktivität für Flächenkontamination [kBq/kg]	0,3	3	30	300	3000
Freisetzungsniveau der Flächeaktivität für Flächenkontamination kBq/m ²	3	30	300	3000	30000

Gasförmige Ableitungen

Gasförmige Ableitungen entstehen bei der Reinigung des Kühlmittels aus dem Primärkreis, bei der Ablüftung kleiner Kühlmittlecks über die Undichtigkeiten der Einrichtungen des Primärkreises und bei der Nachfüllung und oder dem Wechsel des Brennstoffs. Eine weitere Quelle für gasförmige Ableitungen ist die Belüftung der Betriebs – und Hilfsbetriebe der aktiven technologischen Systeme und des Raum innerhalb des KKW. Vor der Ableitung in den Abluftkamin durchlaufen die gasförmigen Abfälle ein komplexes Reinigungssystem, bei dem Wasser und Wasserstoff entfernt, Jod und Aerosol auf Aerosol – und – Jodfiltern ausgefiltert werden. Bei diesen Prozessen werden die Edelgase nicht abgefangen. Durch die Verringerung von deren Ableitung durch den Abluftkamin wird vor allem im Hauptproduktionsblock und auf der Verzögerungsstraße ihre Zurückhaltung erreicht.

Das Projekt geht von der Gesamtemission in die Luft von $1,6 \cdot 10^{15}$ Bq/a aus. Dieser Wert beinhaltet einerseits die Abluftkamine beider Blöcke, andererseits auch den Kamin des BAPP. Diese Aktivität besteht aus der Aktivität der Spaltprodukte, der Aktivierungs – und Korrosionsprodukte und der Tritiumaktivität. Der Großteil der Aktivität beruht auf der Aktivität der Spaltprodukte, vor allem Krypton und Xenon. Jod $2 \cdot 10^{-5}$ % der Gesamtaktivität, die Tritiumaktivität knappe 2 % Aktivität. Aus den Erfahrungen anderer KKW schließend sind diese im Projekt betrachteten Ableitungen überbewertet und die erwartete Betriebsaktivität wird um einiges niedriger sein. Die projektierte Jahrevolumensableitung von Luft aus dem Kamin des Objekts der kontrollierten Zone wird unter Berücksichtigung der verschiedenen Betriebszustände $5 \cdot 10^9$ bis $6 \cdot 10^9$ m³ betragen.

Tab.31: Projektierte Jahresableitung von Radionukliden in die Luft beim Betrieb von 2 Blöcken des KKW Temelin

Nuklid	Projektierte Ableitungen beim Betrieb von 2 Blöcken des KKW
³ H	2,5E+13
¹⁴ C	1,4E+11
²⁴ Na	8,9E+05
⁴¹ Ar	2,1E+12
⁴² K	2,1E+07
⁵¹ Cr	4,2E+05
⁵⁵ Fe	1,8E+05
⁶⁰ Co	1,1E+04
⁶³ Ni	1,4E+04
⁸⁵ Kr	2,4E+14
^{85m} Kr	1,9E+12
⁸⁷ Kr	1,9E+13
⁸⁸ Kr	5,0E+13
¹³¹ I	7,5E+08
¹³² I	1,7E+08
¹³² Te	3,2E+06
¹³³ I	1,1E+09
¹³⁴ I	9,0E+07
¹³⁵ I	6,1E+08
¹³³ Xe	1,2E+15
^{135m} Xe	2,5E+11
¹³⁵ Xe	1,9E+13
¹³⁸ Xe	1,3E+11
¹³⁴ Cs	3,9E+06
¹³⁷ Cs	9,1E+06
gesamt	1,6E+15

Flüssige Ableitungen

Flüssige Ableitungen entstehen vor allem in den Abdampfern bei der Reinigung des kontaminierten Wassers, aus der Regeneration der Filter und Ionentauscher. Die flüssigen Abfälle werden nicht aus dem KKW abgeleitet, sondern werden zu konzentrierten flüssigen Abfällen geklärt, in speziellen Becken gelagert und nach der Verfestigung (Bituminierung) zusammen mit den übrigen Abfällen im Lager für radioaktive Abfälle gelagert. Die flüssigen Ableitungen entstehen bei der Verarbeitung der flüssigen Abfälle aus dem System und Bereich der Kontrollzone

des KKW. Sie beinhalten das gereinigte Überbilanzwasser aus dem Betrieb. Die Volumensaktivität dieses gereinigten Betriebswassers wird vor allem durch das Radionuklid ^3H (in der Regel 10^4 Bq/l), die mit dem Reinigungssystem nicht abgefangen werden können, dominiert. Die Gesamtaktivität β der übrigen Radionuklide beträgt maximal 21 Bq/l.

Die Abwässer werden über das Abwasserbecken geleitet und dann über den Kanal in die Moldau. Im Ableitungskanal wird im Projekt die Verdünnung auf einen Durchschnittswert von 0,1 Bq/l gewährleistet.

Die Menge der flüssigen Ableitungen vor der Verdünnung:

Überbilanzwasser	3 000 m ³ /a
Chemische Kanalisation	200 m ³ /a
Bedingt aktive Kanalisation	1 100 m ³ /a
Regeneration aus den Klärstationen der Auslaugungen der Dampferzeuger (SVO 5)	1 100 m ³ /a
Wäschereiwasser	5 500 m ³ /a
Lecks aus dem Sekundärkreis	1 40 000 m ³ /a

Gemäß der Bewilligung über die Wasserbehandlung gemäß § 8 des Gesetzes Nr. 138/1973 Gb. (wasserwirtschaftliches Verfahren), die vom Bezirksamt Ceske Budejovice erteilt wurde (Umweltreferat GZ Vod. 6804/93/Si vom 15.12.1993, wird die Tritiumaktivität, die im KKW entsteht und über den Abwasserkanal in das Fließgewässer eingeleitet wird, während eines Jahres so sein, daß sie beim Einzelnen in der Bevölkerung in 50 Jahren die Jahreseffektivdosis von 0,16 μSv beim Betrieb eines Blocks und von 0,32 μSv beim Betrieb von zwei Blöcken und/oder die Aktivität aus den übrigen künstlichen Radionukliden (Aktivierungs – und Spaltprodukte außer Tritium) bei der Bevölkerung in 50 Jahren die Jahreseffektivdosis von 0,004 μSv beim Betrieb eines Blocks und von 0,006 μSv bei zwei Blöcken nicht überschreiten.

Bei der Ableitung von Abwasser beim Betrieb des KKW Temelin wird eine Gesamtvolumenaktivität Beta (ohne Tritium) von 21 Bq/l (max. $1 \cdot 10^9$ Bq/a) und eine Gesamtaktivität von Tritium von $3,48 \cdot 10^4$ Bq/l (max. $4 \cdot 10^{13}$ Bq/a) zugelassen.

Die Menge des abgeleiteten Überbilanzwassers mit dem Tritiuminhalt aus zwei Blöcken wird auf ca. 3000 m³ pro Jahr geschätzt.

In der folgenden Tabelle werden die Projektwerte für den Radionuklidinhalt in den geklärten Technologiewässern (mit der Ausnahme von Tritium) geschätzt, die die größte Radioaktivitätsquelle darstellen. Die übrigen Quellen sind weniger bedeutend und kopieren die Radioisotopzusammensetzung des technologischen Wassers.

Tab. 32 Radioisotopzusammensetzung der Ableitung in das Fließgewässer unter Normalbetrieb wie im Projekt geplant

Radionuklid	Halbwertszeit	Aktivität in [Bq/l]
⁸⁹ Sr	54 d	2,5E-04
¹³² Te	75 h	3,2E-02
¹³¹ I	8,0 d	4,0E+00
¹³³ I	21 h	1,8E-01
¹³⁴ Cs	2,1 a	8,0E-01
¹³⁷ Cs	30 a	2,0E+00
⁹⁵ Zr	65 d	1,1E-01
⁹⁵ Nb	35 d	7,0E-02
⁶³ Ni	120 a	4,1E-01
⁶⁰ Co	5,2 a	3,0E-01
⁵⁸ Co	72 d	3,9E-01
⁵⁹ Fe	45 d	5,4E-02
⁵⁹ Fe	2,9 a	4,6E+00
⁵⁴ Mn	292 d	3,9E-01
⁵¹ Cr	28 d	1,9E+00
³² P	14 d	1,5E-01
⁴² K	12 h	4,1E-02
¹⁴ C	5570 a	2,6E-01
²⁴ Na	15 h	-
gesamt		1,6E+01

Feste freisetzbare Abfälle

Ein bedeutender Teil an festen Abfällen, die in der Kontrollzone entstehen, wurden nicht durch radioaktive Stoffe kontaminiert und daher kann man sie in die Umwelt freisetzen. Der Abfall wird bestehen aus:

- preßbarer, verbrennbarer (aussortierte persönliche Hilfsmaterialien, Tücher, Papier),
- preßbarer, nicht verbrennbarer (Filtereinlagen der Belüftungssysteme, Elektromaterial),
- Holz (Verpackungen, Paletten),
- nicht preßbarer, verbrennbarer (kleine Metallgegenstände, Mauermaterial),
- große Metallgegenstände (Konstruktionsmaterial).

Dieser Abfall wird an Sammelstellen in der Kontrollzone getrennt und dann in der Sortieranlage gemessen. Der Abfall, der dem Freisetzungskriterium genügt, d.h. 0,3 kBq/kg Masseaktivität und 3 kBq/m² Flächenaktivität, wird als nicht aktiver eingeteilt. Dieser Abfall fällt unter Gesetz Nr. 125/1997 Gb. über die Abfälle. Das bedeutet, daß er als Sekundärressource, zum Recycling, eventuell zu anderen Zwecken verwendet werden kann. Wenn dies nicht möglich ist, wird der Abfall auf die kontrollierte Kommunaldeponie Temelinec befördert.

Laut dem Projekt wird der aus der Kontrollzone abtransportierte Abfall in einem Jahr etwa 68 t betragen. Die Gesamtaktivität des auf die Deponie beförderten Abfalls während eines Betriebsjahres Temelin wird auf 4.10² Bq geschätzt.