



Aktennotiz

Datum: 13.12.2012

Seiten: 8

Anhänge: 0

Beilagen: 0

Verteiler intern:

Verteiler extern:

Sachbearbeiter:

Visum

Visum Vorgesetzte

Klassifizierung

keine

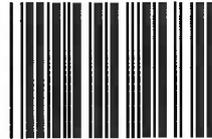
Aktenzeichen

10KEX.APFUKU7 10/12/013

Publidocs

ENSI-AN-8093

435



Schlagwörter

Notfallschutz, schwerer Unfall, Wasserpfad

Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke

Zusammenfassung

Während der Ereignisse in Fukushima gelangten grosse Mengen an radioaktiven Stoffen in das Meer. In dieser Aktennotiz wird untersucht, welche radiologischen Konsequenzen eine solche Einleitung in die Aare bzw. Rhein an einem schweizerischen Kernkraftwerksstandort zur Folge hätte. Die Resultate dieser Analyse können für einen realistischen Quellterm entsprechend skaliert werden, um die nötigen Sofortmassnahmen abzuleiten.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU7 10/12/013 / ENSI-AN-8093
Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms
in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke [REDACTED]

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Berechnungsannahmen	3
2.1	Ingestionsdosen über den Wasserpfad	3
2.2	Aktivitätskonzentrationen in Aare und Rhein	4
2.3	Externe Strahlendosis bei Aufenthalt am Fluss	5
3	Ergebnisse.....	5
3.1	Ingestionsdosen über den Wasserpfad	5
3.2	Aktivitätskonzentrationen in Aare/Rhein und im Bielersee	6
3.3	Externe Strahlendosis bei Aufenthalt am Fluss	7
3.4	Einleitung in die Flussabschnitte unterhalb Biel	8
4	Schlussfolgerung.....	8
5	Referenzen	8



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU7 10/12/013 / ENSI-AN-8093
Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms
in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke [REDACTED]

1 Einleitung

Während der Ereignisse in Fukushima gelangten grosse Mengen an radioaktiven Stoffen in das Meer. In dieser Aktennotiz wird untersucht, welche Dosis eine solche Einleitung beim Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) in die Aare für einen Erwachsenen bzw. ein einjähriges Kleinkind ohne Schutzmassnahmen zur Folge hätten. Zusätzlich wurden die möglichen Aktivitätskonzentrationen in der Aare und Rhein sowie im Bielersee und die externe Strahlendosis, die eine Person auf einer Brücke beim Durchgang der Radioaktivität im Fluss kumuliert, abgeschätzt. Es wurden vier Streckenabschnitte des Flusssystemes zwischen KKM und Basel untersucht.

2 Berechnungsannahmen

2.1 Ingestionsdosen über den Wasserpfad

Die Berechnung der Ingestionsdosis über den Wasserpfad erfolgt nach der Richtlinie ENSI-G14. Sofern von einem quasikontinuierlichen Nahrungsmittelverzehr ausgegangen wird, spielt die Dauer der Abgaben keine Rolle. Für die Ingestion werden Trinkwasser- und Fischverzehr sowie die Ingestion von Milch und Fleisch von Tieren, die mit Flusswasser getränkt wurden, berücksichtigt. Für den Transfer vom Trinkwasser in tierische Produkte wird dabei ein identischer Transferfaktor wie zwischen Futter und tierischen Produkten angenommen. Das Modell berücksichtigt keine Ablagerungsprozesse von radioaktiven Stoffen im Bielersee und in den Flüssen Aare und Rhein. Sämtlichen Werte für die Parameter wurden aus der Richtlinie ENSI-G14 entnommen.

Als Quellterm wurden $3,6 \cdot 10^{15}$ Bq I-131 und $1,1 \cdot 10^{15}$ Bq Cs-137 verwendet [1]. Diese Radioaktivität wurde nach Angaben des Betreibers von Fukushima zwischen dem 1. und 6. April 2011 aus Block II (elektrische Leistung 784 MW) mit etwa 500 Tonnen Wasser ins Meer abgegeben. Die Abgabe erfolgte rund drei Wochen nach dem Unfalleintritt am 11. März 2011. Zusätzlich wird in dieser Aktennotiz ein Tritium-Quellterm verwendet, der auf Basis eines Siedewasserreaktors mit einer elektrischen Leistung von 1000 MW abgeschätzt wurde. Das gesamte Tritium-Inventar eines solchen Reaktors in den Brennelementen und Steuerstäben ist ungefähr $4,3 \cdot 10^{15}$ Bq. Dabei wurde angenommen, dass die Brennelemente im Mittel 3 Jahre und die Steuerstäbe 7 Jahre im Einsatz waren. Vergleicht man den oben dargelegten Jod- und Cäsium-Quellterm in den Wasserpfad mit dem gesamten Kerninventar des Reaktors, so wird ungefähr 1/100 des gesamten Kerninventars an Jod und Cäsium in den Wasserpfad freigesetzt. Nimmt man an, dass Tritium gleich flüchtig ist, so ergibt sich ein Tritium-Quellterm in den Wasserpfad von ungefähr $4,3 \cdot 10^{13}$ Bq.

Ob dieser Wasserpfad-Quellterm für ein Extremereignis in einem schweizerischen Kernkraftwerk repräsentativ ist, lässt sich zum heutigen Zeitpunkt nicht beurteilen.

Gemäss A.5.7 Richtlinie ENSI-G14 gilt für die **Dosis über ein Jahr** folgende Formel:

$$E_{\text{ing}} = \{Q/J\} \cdot \{U_{\text{TW}} + TF_{\text{Wa-Fi}} \cdot U_{\text{Fi}} \cdot e^{-\lambda_{\text{Fi}} T} + V_{\text{TW}} \cdot (TF_{\text{FP-Mi}} \cdot U_{\text{Mi}} \cdot e^{-\lambda_{\text{Mi}} T} + TF_{\text{FP-Fi}} \cdot U_{\text{Fi}} \cdot e^{-\lambda_{\text{Fi}} T})\} \cdot e_{\text{ing}}$$



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU7 10/12/013 / ENSI-AN-8093
Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms
in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke [REDACTED]

Bezeichnungen:

E_{ing}	Ingestionsdosis im Jahr über den Wasserpfad [Sv]
e_{ing}	Ingestionsdosisfaktor [Sv/Bq]
J	Mittlerer Durchfluss des Flusses im Jahr [m^3/Jahr]
	Aare vom KKM bis Mündung Bielersee: $3,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{Jahr}$
	Bielersee und Aare bis Brugg: $9,0 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{Jahr}$
	Aare von Brugg bis Koblenz: $1,8 \cdot 10^{10} \text{ m}^3/\text{Jahr}$
	Rhein von Koblenz bis Basel: $3,3 \cdot 10^{10} \text{ m}^3/\text{Jahr}$
Q	Totale Abgaben an das Abwasser im Jahr [Bq]
$TF_{\text{Wa-Fi}}$	Transferfaktor Wasser-Fisch [m^3/kg]
$TF_{\text{FP-Mi}}$	Transferfaktor Futter-Milch [Tage/kg]
$TF_{\text{FP-Fi}}$	Transferfaktor Futter-Fleisch [Tage/kg]
$T_{\text{Fi}}, T_{\text{mi}}, T_{\text{Fi}}$	Zeit zwischen Produktion und Verzehr von Fisch, Gemüse resp. Fleisch [Jahre]
U_{Fi}	Jährlicher Verzehr von Fisch [kg/Jahr]
U_{Fi}	Jährlicher Verzehr von Fleisch [kg/Jahr]
U_{Mi}	Jährlicher Milchverbrauch (Milch und Milchprodukte) [kg/Jahr]
U_{TW}	Jährlicher Trinkwasserkonsum [m^3/Jahr]
V_{TW}	Täglicher Wasserverbrauch von Rindvieh [m^3/Tag]
λ	radioaktive Zerfallskonstante [Jahre^{-1}]

2.2 Aktivitätskonzentrationen in Aare und Rhein

Die Konzentrationen im Flusswasser können wie folgt abgeschätzt werden. Die kleinsten Konzentrationen entstehen, wenn eine kontinuierliche Abgabe über das ganze Jahr angenommen wird. Erfolgt die gesamte Abgabe über nur einen Tag, dann erhöhen sich die Konzentrationen um einen Faktor 365.

Gemäss EAWAG-Studie /3/ fliesst im Sommer die „warme“ Aare über den „kalten“ Bielersee. Die Minimalaufenthaltszeit des Aare-Wassers im Bielersee berechnet sich aufgrund des geschätzten Durchflussvolumens von $1,4 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ (9 km Länge, 1 km Breite, 15 m Tiefe) und eines durchschnittlichen Sommerabflussrate von $235 \text{ m}^3/\text{s}$ auf 6 bis 7 Tage. Diese Aufenthaltszeit wurde auch experimentell bestätigt. Im Winter taucht die „kalte Aare in den „warmen“ Bielersee. Der gesamte See wird von Beginn dieser Periode mit schwerem Aare-Wasser gefüllt, während das darüber liegende warme See-wasser in Biel abläuft. Die Verweilzeit des Aare-Wassers im Bielersee verlängert sich im Winter unter Benutzung des gesamten Seevolumens von $1,2 \text{ km}^3$ und einer durchschnittlichen Winterabflussrate von $110 \text{ m}^3/\text{s}$ auf ungefähr 125 Tagen. /3/ Bei der Berechnung der Aktivitätskonzentrationen wird sowohl für den Sommer wie auch für den Winter in konservativer Weise keine Verdünnung durch den Bielersee angenommen.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publicdocs: 10KEX.APFUKU7 10/12/013 / ENSI-AN-8093
Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms
in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke [REDACTED]

2.3 Externe Strahlendosis bei Aufenthalt am Fluss

Im Weiteren wurden die Dosis für eine Person, die während des Durchgangs der Radioaktivität auf einer Brücke steht, mit dem Programm Mikroshield abgeschätzt. Der Fluss wurde mit einer Breite von 50 m und einer Tiefe von 4 m modelliert. Die Person steht 3 m über dem Fluss auf einer Brücke.

3 Ergebnisse

3.1 Ingestionsdosen über den Wasserpfad

		Dosis Erwachsene [μ Sv]				Summe
		Trink- wasser	Fisch	Fleisch	Milch	
Aare vom KKM bis Mündung Bielersee	I-131	13500	3800	200	600	18100
	Cs-137	2500	22600	600	200	25900
	H-3	0,13	0,00	0,01	0,01	0,15
	Summe	16000	26400	800	800	44000
Bielersee und Aare bis Brugg	I-131	5700	1600	80	200	7580
	Cs-137	1000	9500	300	90	10890
	H-3	0,06	0,00	0,005	0,003	0,07
	Summe	6700	11100	380	290	18470
Aare von Brugg bis Koblentz	I-131	2900	800	30	110	3840
	Cs-137	500	4800	100	10	5410
	H-3	0,028	0,00	0,003	0,001	0,032
	Summe	3400	5'600	130	120	9250
Rhein von Koblentz bis Basel	I-131	1600	500	20	60	2180
	Cs-137	300	2600	70	20	2990
	H-3	0,015	0,00	0,001	0,001	0,017
	Summe	1900	3100	90	80	5170

Tab 1: Berechnete Dosen für einen Erwachsenen verursacht durch den Konsum von Flusswasser, Fisch sowie Fleisch- und Milchprodukten, die über den Wasserpfad kontaminiert werden.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidoocs: 10KEX.APFUKU7 10/12/013 / ENSI-AN-8093
Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms
in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke [REDACTED]

		Dosis Kleinkinder [μSv]				
		Trink- wasser	Fisch	Fleisch	Milch	Summe
Aare vom KKM bis Mündung Bielersee	I-131	42500	0,00	100	7200	49800
	Cs-137	900	0,00	40	300	1240
	H-3	0,14	0,00	0,05	0,00	0,19
	Summe	43400	0,00	140	7500	51040
<hr/>						
Bielersee und Aare bis Brugg	I-131	18000	0,00	50	3000	21050
	Cs-137	400	0,00	20	100	520
	H-3	0,06	0,00	0,02	0,00	0,08
	Summe	18400	0,00	70	3100	21570
<hr/>						
Aare von Brugg bis Koblenz	I-131	9000	0,00	20	1500	10520
	Cs-137	200	0,00	8	60	268
	H-3	0,03	0,00	0,01	0,00	0,04
	Summe	9200	0,00	28	1560	10788
<hr/>						
Rhein von Koblenz bis Basel	I-131	4900	0,00	10	800	5710
	Cs-137	100	0,00	5	30	135
	H-3	0,016	0,00	0,006	0,00	0,022
	Summe	5000	0,00	15	830	5845

Tab. 2: Berechnete Dosen für ein Kleinkind verursacht durch den Konsum von Flusswasser, Fisch sowie Fleisch- und Milchprodukten, die über den Wasserpfad kontaminiert werden.

Durch den Konsum von Flusswasser, Fisch sowie Fleisch- und Milchprodukten, die über den Wasserpfad kontaminiert werden, ergibt sich für einen Erwachsenen bei der Nutzung der Aare oberhalb des Bielersee eine berechnete Dosis von 44,0 mSv, bei der Nutzung des Bielersee oder der Aare bis Brugg von 18,5 mSv, bei der Nutzung zwischen Brugg und Koblenz von 9,2 mSv sowie bei der Nutzung des Rheins von Koblenz bis Basel von 5,2 mSv im Jahr. Die Dosen für Kleinkind sind leicht höher.

Die berechneten Dosen sind sehr konservativ. Dies gilt insbesondere für den durch I-131 verursachten Dosisanteil. Bei den Berechnungen wurden der radioaktive Zerfall von I-131 während der Reisezeit im Fluss und die Verweilzeit im Bielersee nicht berücksichtigt.

3.2 Aktivitätskonzentrationen in Aare/Rhein und im Bielersee

Die kleinsten möglichen Aktivitätskonzentrationen ergeben sich, wenn man von einer kontinuierlichen Abgabe des oben definierten Quellterms über ein gesamtes Jahr ausgeht. Für I-131 ergeben sich mit diesen Annahmen Konzentrationen im Wasser von 947 Bq/l unterhalb des KKM und 109 Bq/l bei Basel. Für Cs-137 ergeben sich Werte von 289 Bq/l bzw. 33 Bq/l und für H-3 ergeben sich Werte von 11,3 Bq/l und 1,3 Bq/l. Erfolgt die Abgabe über einen kürzeren Zeitraum so sind die Konzentrationen entsprechend hochzurechnen.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU7 10/12/013 / ENSI-AN-8093
Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms
in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke [REDACTED]

In der Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln ist für I-131 in flüssigen Nahrungsmitteln ein Grenzwert von 500 Bq/l, für Cs-137 ein Grenzwert von 1'000 Bq/l und für H-3 ein Grenzwert von 10'000 Bq/l festgelegt.

Auch bei diesen Berechnungen wurden der radioaktive Zerfall von I-131 während der Reisezeit der radioaktiven Stoffe im Fluss und ihre Verweilzeit im Bielersee nicht berücksichtigt.

		Aare vom KKM bis einschliesslich Bielersee	Aare vom Ausfluss Bielersee bis Brugg	Aare von Brugg bis Koblenz	Rhein von Koblenz bis Basel
Kleinste Aktivitätskonzentration [Bq/l]	I-131	947	400	200	109
	Cs-137	289	122	61	33
	H-3	11,3	4,7	2,4	1,3

Tab. 3: Berechnete Aktivitätskonzentrationen in Aare und Rhein sowie Bielersee bei einer Abgabe des Fukushima-Quellterms durch das KKM. Die Abgabedauer wurde hypothetisch auf ein Jahr gesetzt.

3.3 Externe Strahlendosis bei Aufenthalt am Fluss

Eine Person, die während des Durchgangs der Radioaktivität auf einer Brücke steht, erhält eine Dosis je nach Standort unterhalb des KKM von 0,9 mSv oder bei Basel von 0,1 mSv.

Auch bei diesen Berechnungen wurden der radioaktive Zerfall von I-131 während der Reisezeit der radioaktiven Stoffe im Fluss und ihre Verweilzeit im Bielersee nicht berücksichtigt.

		Aare vom KKM bis Mündung Bielersee	Aare vom Ausfluss Bielersee bis Brugg	Aare von Brugg bis Koblenz	Rhein von Koblenz bis Basel
Externe Dosis [µSv]	I-131	605	256	128	70
	Cs-137	267	113	56	31
	H-3		0	0	0
	Summe	872	369	184	101

Tab. 4: Externe Strahlendosis, die eine Person auf einer Brücke während des Durchgangs der Radioaktivität im Fluss erhält.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU7 10/12/013 / ENSI-AN-8093
Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms
in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke [REDACTED]

3.4 Einleitung in die Flussabschnitte unterhalb Biel

Während der Ereignisse in Fukushima gelangten grosse Mengen an radioaktiven Stoffen in das Meer. Die in dieser Aktennotiz in den Tabellen 1, 2, und 4 abgeschätzten Dosiswerte, welche eine solche Einleitung beim Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) in die Aare ohne Schutzmassnahmen zur Folge hätten, sind auch für die Einleitung derselben Aktivität direkt in die Flussabschnitte der Standorte KKG, KKB und KKL zutreffend. Dasselbe gilt für die in Kapitel 3.2 abgeschätzten Aktivitätskonzentrationen in der Aare und Rhein.

4 Schlussfolgerung

Die Berechnung zeigen, dass bei einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms in die Aare an den Standorten der schweizerischen Kernkraftwerke ein Individuum aus der meistbetroffen Bevölkerungsgruppe ohne Schutzmassnahmen eine Dosis von bis zu 50 mSv akkumulieren kann. Um dies zu verhindern müssen zeitgerecht Schutzmassnahmen, wie z.B. die vorsorgliche Unterbrechung der Trinkwasseraufbereitungen stromabwärts aus dem Bielersee und aus dem Rhein bei Basel eingeleitet werden. Die Radioaktivität trifft z.B. im Bielersee je nach Wasserführung nach 2 bis 5 Stunden ein. Zusätzlich muss bei einem solchen Extremereignis ein Fischverbot und der Aufenthalt am Wasser eingeschränkt werden.

5 Referenzen

- /1/ ENSI-Bericht vom 16. Dezember 2011: Radiologische Auswirkungen aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima vom 11. März 2011
- /2/ Elmar Schrüfer: Strahlung und Strahlungsmesstechnik in Kernkraftwerken, Elitera-Verlag, 1974
- /3/ EAWAG-Abschlussbericht vom Oktober 1995: Verhalten von Radionukliden aus Kernkraftwerken in Aare und Rhein