



## Aktennotiz

---

Datum: 03.11.2015                      Seiten: 8                      Anhänge: 2                      Beilagen: -  
Verteiler intern: [REDACTED], Archiv  
Verteiler extern: [REDACTED] (BAG), [REDACTED] (Kt. BS), [REDACTED] (Kt. BS), [REDACTED] (NAZ), [REDACTED] (Kt. BS)  
Sachbearbeiter: [REDACTED]  
Visum [REDACTED]  
Visum Vorgesetzte [REDACTED]

---

Klassifizierung            keine  
Aktenzeichen            10KEX.APFUKU7  
Referenz                    ENSI-AN-9323 Rev. 1  
Schlagwörter            Fließgewässer, Notfallschutz



## Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4

### Inhalt

1	Anfrage des Kantons Basel Stadt	2
2	Modell der Behörde	2
3	Ergebnisse	2
4	Skalierung der Ergebnisse	3
	Anhang 1: Details der Berechnungsmethode	5
	Anhang 2: ENSI-Szenarien	8



**Klassifizierung:** keine  
**Aktenzeichen/Publidocs:** 10KEX.APFUKU7 / ENSI-AN-9323 Rev. 1  
**Titel:** Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4  
**Datum / Sachbearbeiter:** 03.11.2015 / [REDACTED]

## 1 Anfrage des Kantons Basel Stadt

Das ENSI hat im Rahmen der Abarbeitung des Aktionsplans Fukushima Faustregeln erarbeitet, um die Aktivitätskonzentrationen und die Fliesszeiten nach einem KKW-Unfall mit einer Abgabe von radioaktiven Stoffen in Aare bzw. Rhein abzuschätzen (ENSI-AN-8733<sup>1</sup>). An der Sitzung vom 8. Juli 2015, an der diese Faustregeln mit Vertretern des Kantons Basel-Stadt diskutiert wurden (ENSI-AN-9316<sup>2</sup>), wurde vereinbart, dass das ENSI gestützt auf das Notfallschutzkonzept<sup>3</sup> für das Referenzszenario A4 die nuklidspezifischen Aktivitätskonzentrationen im Regenwasser für I-131, Cs-137 und Sr-90 bis zu einem Abstand von 100 km von einem Kernkraftwerk berechnet.

## 2 Modell der Behörde

Um eine Aussage bzgl. Aktivitätskonzentration im Regenwasser durch Auswaschung von Bodenkontamination machen zu können, verwendet das ENSI eine Ausbreitungsrechnung gemäss Richtlinie ENSI-G14<sup>4</sup> für das Referenzszenario A4. Bei diesem Szenario werden unter anderem 2E15 Bq I-131, 2E14 Bq Cs-137 und 3E13 Bq Sr-90 emittiert (vgl. Anhang 2).

Die Ausbreitungsrechnung führt direkt auf eine Angabe zur Bodenkontamination infolge Ablagerung der Radionuklide aus der vorbeiziehenden Schadstoffwolke. Im Anschluss an die Ausbreitungsphase nach 48 Stunden, setzt die Behörde einen einstündigen Regen mit einer Intensität von 1 mm/h im kontaminierten Gebiet an, welcher die gesamte abgelagerte Aktivität mitreisst. Dies bedeutet, dass die auf 1 m<sup>2</sup> Boden abgelagerte Aktivität in 1 l Regenwasser gelöst wird. Eine Rückhaltung der Aktivität durch die Böden wird nicht angenommen.

Betreffend Wettersituation wird die mittlere Wetterlage angesetzt, wie sie im Notfallschutzkonzept aufgeführt ist. Dazu werden für definierte Wetterkategorien sowohl eine Variante mit Regen als auch eine ohne Regen angesetzt und über die verschiedenen Wettersituationen gewichtet gemittelt. Bei der Modellrechnung ändert sich die Windrichtung im betrachteten Zeitraum von zwei Tagen nicht. Eine solche stabile Wettersituation (Persistenz) ist nördlich der Alpen eher selten. Am Häufigsten liegt hier die Persistenz kleiner etwa 6 Stunden; selten sind Wetterlagen mit einer Persistenz über Tage, wie z. B. Bieselage oder Schönwetterperioden. Weitere Details zur Berechnung sind im Anhang 1 dargelegt.

## 3 Ergebnisse

Beim Referenzszenario A4 ergibt sich als Funktion der Abwinddistanz im Regenwasser folgende mittlere Aktivitätskonzentration (in Anzahl Lebensmittel-Grenzwerten für Flüssigkeiten gemäss FIV):

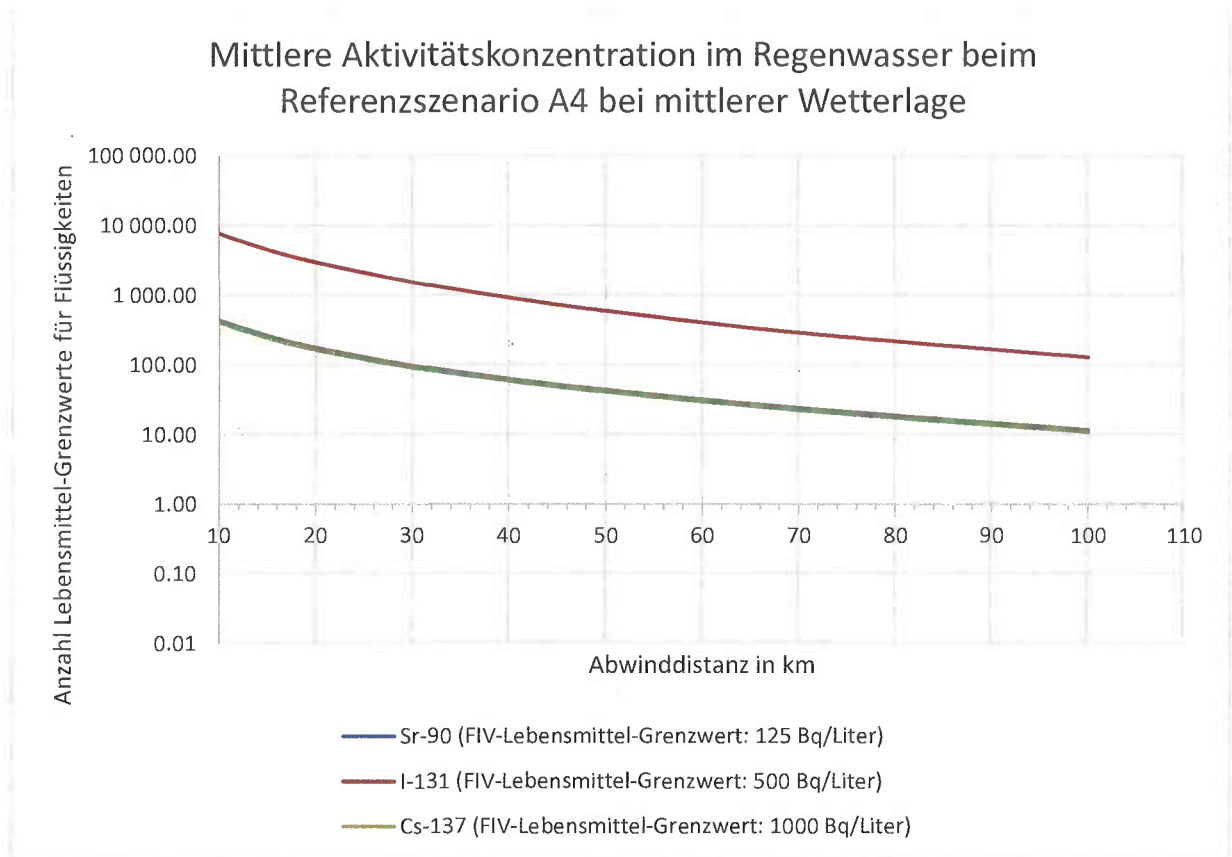
---

<sup>1</sup> ENSI-AN-8733: Faustregeln zur Abschätzung der Aktivitätskonzentrationen und der Fliesszeiten nach einem KKW-Unfall mit einer Abgabe von radioaktiven Stoffen in Aare bzw. Rhein, 27. Februar 2014  
<sup>2</sup> ENSI-AN-9316: Protokoll zur Sitzung vom 8. Juli 2012, 20. Juli 2015  
<sup>3</sup> BABS: Notfallschutzkonzept bei einem KKW-Unfall in der Schweiz, Stand 23. Juni 2015  
<sup>4</sup> Richtlinie ENSI-G14, Revision 1 vom 21. Dezember 2009



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidos:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
10KEX.APFUKU7 / ENSI-AN-9323 Rev. 1  
Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4  
03.11.2015 / [REDACTED]



#### 4 Skalierung der Ergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich bezüglich den Emissionen linear skalieren. Es gilt folgender Zusammenhang zwischen der nuklidspezifischen mittleren Aktivitätskonzentration im Regenwasser  $\bar{A}_i$  und den nuklidspezifischen Emissionen  $Q_i$  für das Nuklid  $i$ :

$$\bar{A}_i(Q_i) = \bar{A}_i(Q_{i,A4}) \frac{Q_i}{Q_{i,A4}}$$

Mit

$$Q_{I-131,A4} = 2E15 \text{ Bq}$$

$$Q_{CS-137,A4} = 2E14 \text{ Bq}$$

$$Q_{Sr-90,A4} = 3E13 \text{ Bq}$$



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU7 / ENSI-AN-9323 Rev. 1  
Titel: Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4  
Datum / Sachbearbeiter: 03.11.2015 / [REDACTED]

Zwischen der nuklidspezifischen mittleren Aktivitätskonzentration  $\bar{A}_i$  und der Niederschlagsmenge  $N \left[ \frac{l}{m^2} \right]$ , mit der die Aktivität nach ihrer Ablagerung vom Boden mitgerissen bzw. in der sie gelöst wird, gilt folgender Zusammenhang:

$$\bar{A}_i(N) = \bar{A}_i(N_0) \frac{N_0}{N}$$

Mit:

$$N_0 = 1 \frac{l}{m^2}$$



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publicdocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
10KEX.APFUKU7 / ENSI-AN-9323 Rev. 1  
Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4  
03.11.2015 / [REDACTED]

## Anhang 1: Details der Berechnungsmethode

Die Ausbreitung der radioaktiven Wolke wird nach der Richtlinie ENSI-G14 gerechnet, wobei die Entleerung der Wolke sowohl durch radioaktiven Zerfall als auch durch trockene und nasse Ablagerung berücksichtigt wird. Für den mittleren Aerosoldurchmesser (AMAD) wird 1 Mikrometer angenommen. Hinsichtlich meteorologischen Bedingungen wurden die Pasquill-Gifford-Wetterkategorien B, D und F angesetzt, wobei für jede Kategorie eine trockene und eine nasse Variante gerechnet wurde, mit den folgenden Windgeschwindigkeits- und ggf. Regenintensitäts-Werten:

Kategorie	Windgeschwindigkeit	Regenintensität für nasse Variante
B	1.50 m/s	2 mm/h
D	3.00 m/s	5 mm/h
F	0.75 m/s	1 mm/h

Als Ausgangsgrösse wird die durch Ablagerung aus der vorbeiziehenden Wolke resultierende Bodenkontamination entlang der Ausbreitungsachse nach zwei Tagen angesetzt, wobei als Aktivitätsabgabemenge das Referenzszenario A4 verwendet wurde. Über die Wetterlagen wird gemittelt, wobei die trockenen Wetterlagen mit 30 % gewichtet werden und die nassen mit 3 %; dadurch ergibt sich die „mittlere Wetterlage“.

Im Anschluss an die Ablagerungsphase wird mit einer einstündigen Regendauer mit einer Regenintensität von 1 mm/h gerechnet, wobei der Regen die gesamte auf dem Boden abgelagerte Aktivität auswäscht und zur Ausbreitungsachse hin schwemmt. Bei den nassen Wetterlagen wird die Aktivität bereits durch Dauerregen während der Ausbreitungsphase aus der Wolke ausgewaschen und am Boden deponiert (aber hier im Modell nicht weggewaschen), sodass durch den Ansatz von einer zusätzlichen Stunde Regen (welcher die vorher deponierte Aktivität vollständig wegwäscht) eine Art andauernder „Landregen“ entsteht. Bei den trockenen Wetterlagen entsteht die Ablagerung am Boden einzig durch trockene Ablagerung aus der Wolke und diese Aktivität wird dann durch einen einstündigen „Platzregen“ mitgerissen.

Da sich die Wolke sowohl in Ausbreitungsrichtung als auch rechtwinklig dazu gaussförmig ausdehnt, die Simulation aber bloss den Wert auf der Ausbreitungsachse ausgibt, muss zur Berechnung der mittleren Aktivitätskonzentration im Regenwasser über die y-Achse gemittelt werden. Bei einer Gaussverteilung ist der Parameter  $\sigma_y(x)$  ein Mass für die Breite der Verteilung (und damit der Wolke). Wird über die Gaussverteilung bis  $1\sigma_y$  integriert, so berücksichtigt dies ca. 68 % der Aktivität; wird bis  $3\sigma_y$  integriert, erfasst das Integral 99.8 % der Aktivität. Somit wird bei einer Mittelung (d. h. Aufsummierung der Konzentration) über die ganze Wolkenbreite die Aktivität verdünnt. Zum Vergleich: Bei den hier verwendeten Wetterkategorien bewegt sich  $\sigma_y$  im Wertebereich von ca. 1 km (bei ca. 10 km Abwinddistanz) bis ca. 10 km (bei ca. 100 km Abwinddistanz).

Bezeichnet man die halbe Breite des Regengebietes mit  $b$ , so folgt für die mittlere Aktivitätskonzentration im Regenwasser:

$$\bar{A}(x, b) = \hat{A}(x) \cdot \int_{-b}^b dy \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) = \hat{A}(x) \cdot \frac{\sqrt{2\pi} \sigma_y}{b} \operatorname{erf}\left(\frac{b}{\sigma_y}\right)$$

wobei  $\hat{A}$  den Wert auf der Ausbreitungsachse darstellt und erf die Error-Funktion ist.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/PubliDocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
10KEX.APFUKU7 / ENSI-AN-9323 Rev. 1  
Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4  
03.11.2015 / [REDACTED]

In der Modellierung hier wird angenommen, dass der einstündige Regen nur über dem kontaminierten Gebiet, auf einer Breite von  $4\sigma_y$  (d. h.  $b = 2\sigma_y$ ) niedergeht. Mit einer Approximation der Error-Funktion folgt:

$$\bar{A}(x, 2\sigma_y) \approx \hat{A}(x) \cdot 0.602$$

Falls die seitliche Ausdehnung des Einzugsgebietes des Flusses grösser ist als die Breite der Schadstoffwolke muss realistischerweise auch die Vermischung mit unkontaminiertem Regenwasser modelliert werden. Ein solcher Verdünnungseffekt wird hier konservativerweise nicht berücksichtigt, sondern es wird bloss Regen auf dem kontaminierten Gebiet postuliert und die mittlere Aktivität im Regenwasser gemäss obenstehender Approximation (Faktor 0.602 gegenüber dem Wert auf der Achse) angesetzt.

Das Gaussmodell nach der Richtlinie ENSI-G14 geht hinsichtlich nasser Ablagerung von einfachsten Annahmen aus: entweder es regnet auf dem ganzen Ausbreitungsgebiet mit einer gewissen Regenintensität, oder es regnet nirgendwo.

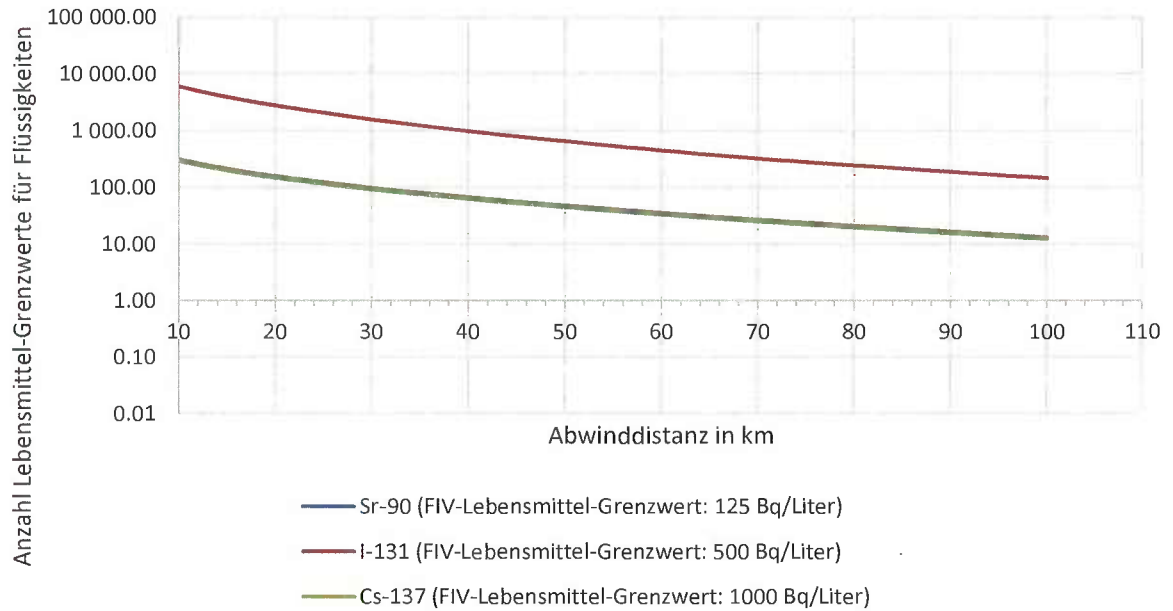
Werden die trockenen und die nassen Wetterlagen separat betrachtet, so zeigt sich, dass bei nassen Wetterlagen die Auswaschung der Wolke bei kleineren Distanzen (kleiner ca. 30 km) zu höheren Bodenkontaminationen führt während bei trockenen Wetterlagen die höhere Bodenkontaminationen hin zu grösseren Distanzen auftreten (siehe nachfolgende Figuren).



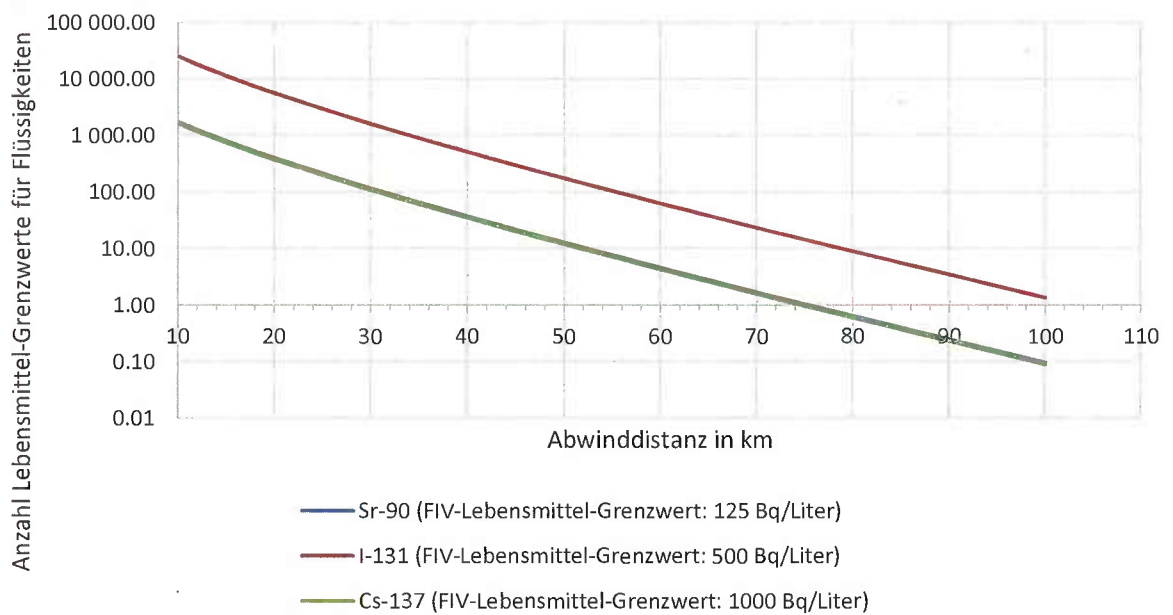
**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

keine  
10KEX.APFUKU7 / ENSI-AN-9323 Rev. 1  
Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4  
03.11.2015 / [REDACTED]

### Mittlere Aktivitätskonzentration im Regenwasser beim Referenzszenario A4 nach Platzregen



### Mittlere Aktivitätskonzentration im Regenwasser beim Referenzszenario A4 und Landregen





**Klassifizierung:** keine  
**Aktenzeichen/Publidocs:** 10KEX.APFUKU7 / ENSI-AN-9323 Rev. 1  
**Titel:** Aktivitätskonzentration im Regenwasser – Modellstudie zum Referenzszenario A4  
**Datum / Sachbearbeiter:** 03.11.2015 / [REDACTED]

## Anhang 2: ENSI-Szenarien

Freisetzungsszenario	Freigesetzte Aktivität in [Bq]				
	Jod gesamt	I-131	Aerosole gesamt	Cs-137	Sr-90
Szenario A3	1.0E15	2.0E14	1.0E15	2.0E13	3.0E12
Referenzszenario A4	1.0E16	2.0E15	1.0E16	2.0E14	3.0E13
Szenario A5	1.0E17	2.0E16	1.0E17	2.0E15	3.0E14
Szenario A6	1.0E18	2.0E17	1.0E18	2.0E16	3.0E15

Aktuelle Angaben zu den Emissionen verursacht durch den schweren Unfall in Fukushima sind in den IAEA-Berichten „The Fukushima-Daichi Accident“ vom August 2015 zu finden.