

4.1.a

Reaktorunfall in Fukushima Dai-ichi im März 2011:
Auswirkungen auf Umwelt und Lebensmittel
in der Schweiz

S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, M. Müller, P. Steinmann, T. Marti
Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, 3003 BERN

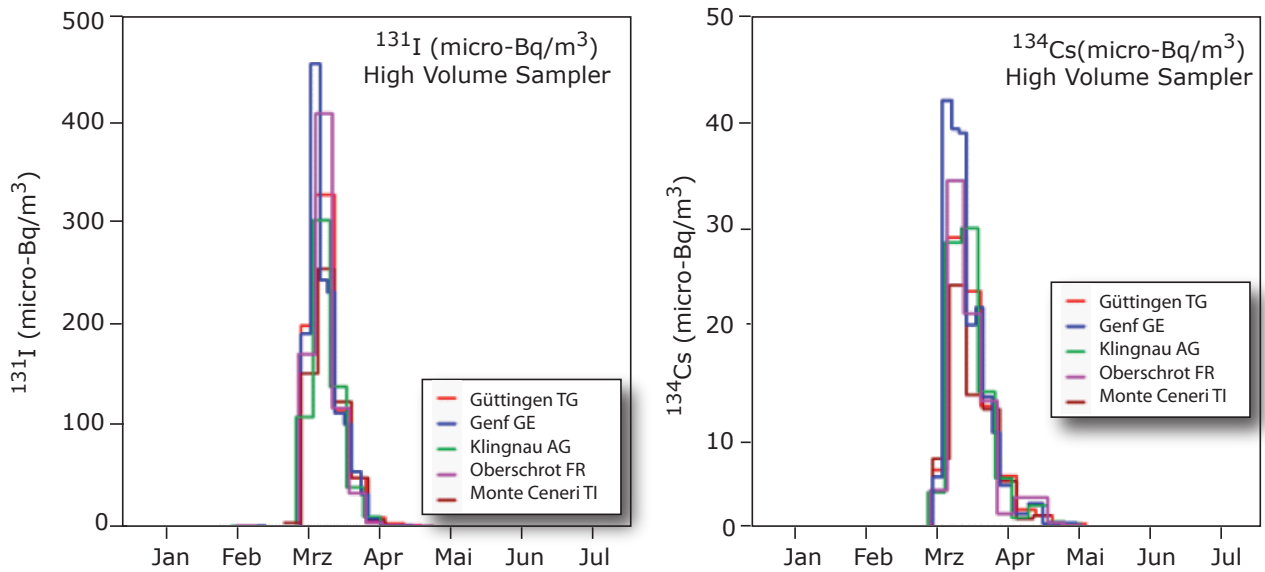
Einleitung

Am 11. März 2011 richteten ein extremes Erbeben und der damit verbundene Tsunami enorme Zerstörung an der Ostküste Japans an und forderten tausende von Menschenleben. Die Ereignisse verursachten gleichzeitig den kompletten Ausfall der Kühlsysteme in der Kernanlage Fukushima Dai-ichi. Dies führte in den darauf folgenden Tagen zur Freisetzung von grossen Mengen von Radioaktivität. Luftmassen mit Radioaktivität von diesem Reaktorunfall erreichten Ende März 2011 – stark verdünnt – auch die Schweiz.

Die Radioaktivität in der Umwelt und in Lebensmitteln wird in der Schweiz vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) überwacht. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit den kantonalen Laboratorien und weiteren spezialisierten Labors von Bund und Kantonen. Nach dem Reaktorunfall in Fukushima Dai-ichi wurde der ständige Probenahmeplan mit zusätzlichen Luftfilter-, Gras-, Gemüse- und Milchproben ergänzt. Der vorliegende Bericht dokumentiert die wichtigsten Messresultate und Schlussfolgerungen.

Die in der Schweiz gemessenen Radionuklid-Konzentrationen lagen unterhalb der Nachweisgrenzen der automatischen Alarmmessnetze (NADAM, MADUK, RADAIR) und waren 1'000 bis 10'000 mal tie-

fer als die Konzentrationen, die in der Schweiz nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurden. Mit empfindlichen Messeinrichtungen konnten in der bodennahen Luft in erster Linie erhöhte Konzentrationen von Jod-131 (^{131}I) festgestellt werden. In geringeren Konzentrationen wurden auch weitere aus Fukushima stammende Isotope, wie beispielsweise Cäsium-134 und Cäsium-137, nachgewiesen. ^{131}I kam in partikelgebundener Form sowie in bis zu sechsmal höherer Konzentration auch gasförmig vor. Die maximale in der Schweiz gemessene Gesamtkonzentration von ^{131}I (partikelgebunden und gasförmig) in der Luft betrug etwa 2'000 micro-Bq/m³. Ein μBq (micro-Becquerel) entspricht einem Millionstel eines Bq (Becquerel) und wird in diesem Bericht als Einheit für die Konzentrationen in der Luft verwendet. Über die Luft gelangten Spuren von ^{131}I auch ins Regenwasser sowie in Gras und Freilandgemüse (maximal wenige Bq pro Kilogramm Frischgewicht). Von den gemessenen Milchproben aus der Schweiz hingegen wies nur eine einzige Probe geringste Spuren von ^{131}I auf (0.1 Bq/l). Die in der Schweiz nachgewiesene Radioaktivität aus Fukushima war für die Schweizer Bevölkerung gesundheitlich unbedenklich. Seit Mitte April 2011 sind in der Schweiz die Konzentrationen aller aus Fukushima stammenden Isotope in der Luft zurückgegangen (Figur 1).



Figur 1:

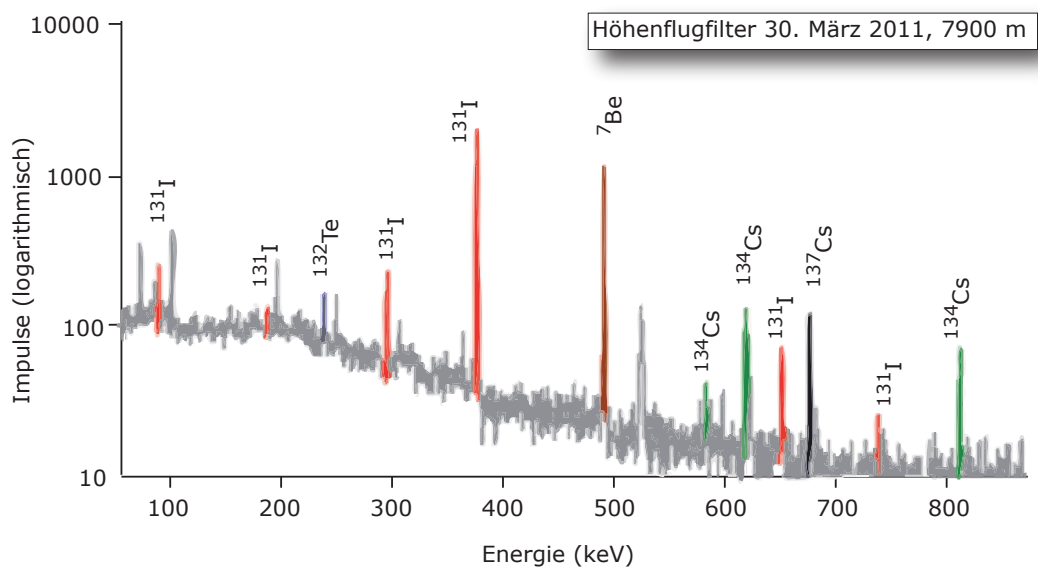
Verlauf der ^{131}I (links, partikelgebunden) und der ^{134}Cs Konzentrationen (rechts) in der Schweiz von Anfang Januar bis Ende Juli 2011. Mit den Hochvolumensammlern (HVS) wurden an fünf verschiedenen Standorten Aerosolproben genommen und anschliessend im Labor analysiert. Die Emissionen aus Fukushima führten im März und April 2011 zu deutlich erhöhten Messwerten, die aber zu jeder Zeit unbedenklich für die Gesundheit der Bevölkerung in der Schweiz waren.

Messungen der Radioaktivität in der Luft

Hochvolumensammler (HVS, Luftfilter)

Proben für hochempfindliche Messungen der Radioaktivität im Luftstaub werden in der Schweiz an fünf Standorten mit sogenannten Hochvolumensammlern (HVS) erhoben. Dabei wird mit Hilfe einer starken Pumpe eine Woche lang Luftstaub (Aerosole) auf einem Filter gesammelt. Der Filter wird anschliessend im Labor am BAG in Bern mittels Gammaskopmetrie auf verschiedene radio-

aktive Nuklide analysiert. Ein Gammaskopmetrie ist in Figur 2 gezeigt. Bei allen fünf Stationen konnte die bei den Reaktorunfällen in Fukushima freigesetzte und weiträumig verfrachtete Radioaktivität klar nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 1). Erhöht waren vor allem die Konzentrationen von ^{131}I (Halbwertszeit 8 Tage, maximale Konzentration $450 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) sowie in geringerem Masse Cäsium-Isotope (^{137}Cs und ^{134}Cs , Halbwertszeiten 30 Jahre beziehungsweise 2 Jahre). Die maximalen Konzentrationen von ^{134}Cs waren rund 10 mal tiefer als jene



Figur 2:

Gammaskopmetrie eines Luftfilters aus der Schweiz mit Radioisotopen aus dem Reaktorunfall in Fukushima. Das gezeigte Spektrum stammt von einer Aerosolprobe, die am 30.3.2011 in einer Höhe von 7'900 m mit einem Flugzeug gesammelt wurde (Höhenflugfilter).

von ^{131}I . Das Verhältnis von ^{137}Cs zu ^{134}Cs lag nahe bei 1. In einigen Proben wurden auch kurzlebige Isotope wie Tellur-132 (^{132}Te), ^{132}I und ^{136}Cs nachgewiesen.

Partikelgebundenes ^{131}I

Figur 3 vergleicht den zeitlichen Verlauf der ^{131}I Konzentrationen in Genf mit einer Messstation in Japan, einer Station in den USA (Westküste) sowie der Station Schauinsland bei Freiburg in Deutschland im unmittelbaren Anschluss an die Unfälle in Fukushima (Quelle: www.bfs.de). Die europäischen Messstationen registrierten erhöhte Radioaktivität ungefähr ab dem 22. März 2011. Die höchsten Werte (bis $6'000 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ partikelgebundenes ^{131}I) traten zwischen dem 28. März und dem 6. April 2011 und eher im nördlichen Teil Europas auf. Gegen Ende Mai 2011 erreichten die Konzentrationen in Europa Werte wie vor dem Unfall, das heisst meist unterhalb der Nachweisgrenze.

Gasförmiges ^{131}I

In der Schweiz wird gasförmiges ^{131}I kontinuierlich von vier Detektoren (NaI) gemessen, welche bei erhöhten Werten automatisch alarmieren (RADAIR-Jod). Diese Detektoren stehen in den Kantonen Genf, Fribourg, Aargau und Tessin. Die nach den Unfällen in Japan aufgetretenen Mengen von gasförmigem ^{131}I in der Schweiz waren zu gering, um vom Jod-Alarmssystem direkt erfasst zu werden.

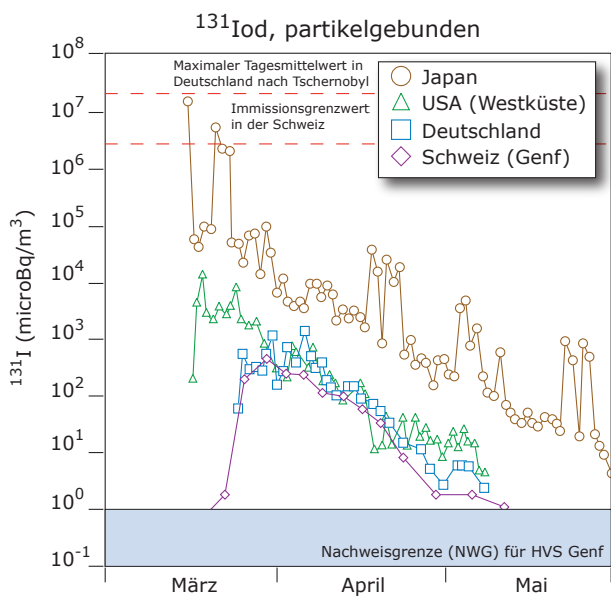
Hingegen wurden einige Kartuschen mit Silber/Nitrat-Granulat, welche gasförmiges Jod binden, im Labor nachgemessen, was eine tiefere Nachweisgrenze ermöglicht. Für die Zeit vom 31. März bis zum 7. April 2011 wurden so an drei RADAIR-Jod Standorten Aktivitäten von gasförmigem ^{131}I zwischen $1'000$ und $1'800 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ bestimmt. Die Konzentrationen von gasförmigem ^{131}I waren damit vier- bis sechsmal höher als jene von partikelgebundenem ^{131}I , was gut mit Messungen in anderen europäischen Ländern übereinstimmt.

Höhenluft

Höhenluftproben wurden mit zwei an Tiger-F5 Jets der Schweizer Luftwaffe montierten Luftfiltern gesammelt. Die Höhenluft zeigte Ende März 2011 mit bis zu $1'900 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ eine ähnliche ^{131}I Aktivität partikelgebunden wie bodennahe Luft im nördlichen Europa. Dass in der Schweiz am Boden tiefere Werte gemessen wurden, lässt sich wahrscheinlich durch die Wetterlage (Südwind) erklären.

Lebensmittel- und Umweltproben aus der Schweiz

Die Kontamination der Luft hat auch zu geringer Deposition von Radionukliden auf dem Boden geführt. Messungen der Radioaktivität an Grasproben aus der Schweiz zeigten Werte in der Grössenordnung von einigen Bq/m^2 an. Die ^{131}I Aktivitäten im Gras betragen maximal einige wenige Bq/kg Frischgewicht. Die höchsten Werte traten in Höhenlagen auf, wo die Niederschlagsmengen grösser sind. Ähnliche Aktivitäten wie im Gras wurden erwartungsgemäss auch in ungewaschenem Blattgemüse gefunden. Für den Transfer von ^{131}I vom Gras in die Milch gilt näherungsweise ein Faktor $1/3$; d.h. bei dauerhaft $3 \text{ Bq}/\text{kg}$ Frischgewicht im Gras müssen bis zu $1 \text{ Bq}/\text{l}$ in der Milch erwartet werden. Von den nach Fukushima gemessenen Milchproben enthielt jedoch nur vereinzelte Proben geringste Spuren von ^{131}I ($<1 \text{ Bq}/\text{l}$). Anfangs April wurden viele Kühe noch nicht mit Frischgras gefüttert. Während ^{131}I auch im Regenwasser festgestellt wurde, war das Trinkwasser erwartungsgemäss von keiner radioaktiven Kontamination betroffen. Als weiteres eindeutig aus Japan stammendes Radioisotop wurden in einigen Grasproben ^{134}Cs in kleinsten Spuren nachgewiesen. Drei Milch- und drei Salatproben von Anfang April aus der Region Lausanne wurden auch auf Radiostrontium (^{90}Sr) untersucht. Es sind keine erhöhten Werte festgestellt worden. Eine Übersicht der in der Schweiz von Mitte März bis Ende April durchgeführten Messungen von Lebensmittel- und Umweltproben ist in Tabelle 1 gezeigt.



Figur 3: Entwicklung der Konzentration von partikelgebundenem ^{131}I in der Atmosphäre. Gezeigt sind Werte aus Japan, den USA (Westküste), Deutschland (Freiburg im Breisgau) und der Schweiz (Genf). Die obere gestrichelte rote Linie zeigt den maximalen Tagesmittelwert wie er in Deutschland nach dem Unfall in Tschernobyl 1986 aufgetreten ist. Der schweizerische Immissionsgrenzwert (höchste zulässige länger dauernde Konzentration) ist ebenfalls dargestellt. Quelle (ausser Genf): www.bfs.de.

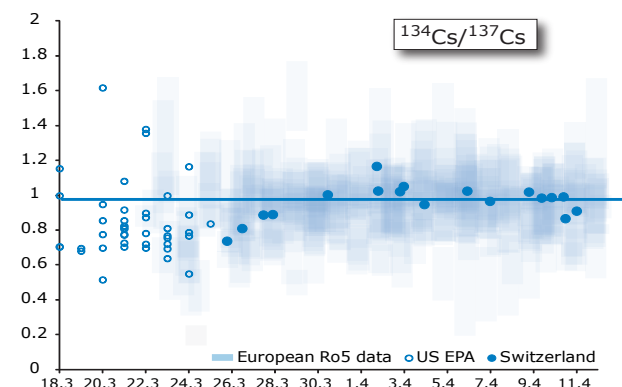
Tabelle 1:

Übersicht der nach den Reaktorunfällen in Fukushima gemessenen Umwelt- und Lebensmittelproben (15. März bis 30. April 2011). NWG: Nachweisgrenze.

Probentyp	Anzahl Proben	¹³¹ I Maximum	¹³¹ I Median
Luft (HVS)	44	456 µBq/m ³	48 µBq/m ³
Regen	12	1.4 Bq/l	0.2 Bq/l
Gemüse	29	1.2 Bq/kg	< 0.5 Bq/kg
Gras	22	4.6 Bq/kg	0.7 Bq/kg
Milch	61	0.1 Bq/l	< 0.2 Bq/l
Trinkwasser	22	< 0.1 Bq/l	
In-situ	3	< NWG	

Bewertung der Ergebnisse

Obwohl Spuren der in Fukushima Dai-ichi freigesetzten Radioaktivität mit hochempfindlichen Verfahren auch in der Schweiz nachgewiesen werden konnten, bestand zu keiner Zeit eine gesundheitliche Gefährdung für die Schweizer Bevölkerung. Die Dosisbeiträge durch Direktstrahlung und Inhalation waren vernachlässigbar klein. Die mit der Nahrung aufgenommene Radioaktivität aus Fukushima hätte selbst bei einem Verzehr von 25 kg des am stärksten kontaminierten Gemüses (Blattgemüse) nur 0.5 micro-Sievert (µSv) betragen. Das entspricht einem Zehntausendstel der jährlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung (die etwa 5 mSv beträgt).



Figur 4: Verhältnis von ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs in den Abgaben vom Reaktorunfall in Fukushima Dai-Ichi.

Weitere Anmerkungen zu den Messergebnissen

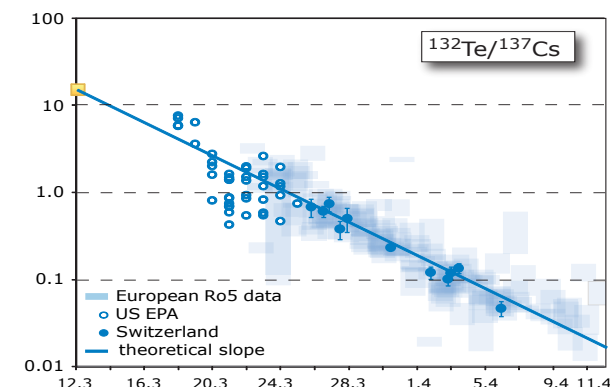
Das ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs Verhältnis

Das weltweit gemessene ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs Verhältnis der Emissionen aus Fukushima Dai-Ichi lag nahe bei 1 und war damit höher als jenes nach dem Unfall in Tschernobyl (0.5 - 0.6). Abbildung 4 zeigt die in der Schweiz gemachten Messungen an Aerosolproben zusammen mit weltweiten Messergebnissen.

Die kurzlebigen Isotope ¹³⁶Cs und ¹³²Te/¹³²I

Spuren von ¹³¹I und ¹³⁷Cs werden regelmässig in Hochvolumensammler-Aerosolproben gemessen und sind alleine noch kein ausreichender Hinweis für aktuelle Freisetzung von radioaktivem Material aus einer Kernreaktion. Das langlebige ¹³⁷Cs kommt auch in Resuspension alter Ablagerungen vor (Atombombenversuche, Tschernobyl) und ¹³¹I kann aus medizinischen Anwendungen stammen. Hingegen konnten die gleichzeitig gemessenen Isotope ¹³⁴Cs und vor allem die kurzlebigen ¹³⁶Cs und ¹³²Te/¹³²I nur durch einen Ursprung in den Unglücksreaktoren in Japan erklärt werden.

In Abbildung 5 ist das Verhältnis ¹³²Te/¹³⁷Cs gezeigt. Das Isotop ¹³²Te hat eine Halbwertszeit von nur 3.23 Tagen und seine Aktivität ist deshalb schnell zurückgegangen. Die weltweit gemessenen Werte¹ liegen nahe bei einem theoretischen Verlauf mit einer einmaligen Abgabe am 12.3.2011 und einem ¹³²Te/¹³⁷Cs Verhältnis von 13.5, wobei das Verhältnis von 13.5 jenem entspricht, welches auch für den Unfall in Tschernobyl ermittelt wurde.



Figur 5: Verhältnis von ¹³²Te/¹³⁷Cs in den Abgaben vom Reaktorunfall in Fukushima Dai-Ichi.

¹ Masson, O. et al. 2011. Tracking of Airborne Radionuclides from the Damaged Fukushima Dai-Ichi Nuclear Reactors by European Networks. Environ. Sci. Technol., 45, 7670-7677.