

Radionuklide in Sedimenten des Bielersees

**S. Röllin¹, J. Beer², B. Balsiger¹, M. Brennwald³, S. Estier⁴, E. Klemt⁵,
A. Lück², V. Putyrskaya⁵, H. Sahli¹, P. Steinmann⁴**

¹ Labor Spiez, Bundesamt für Bevölkerungsschutz des VBS, 3700 Spiez

² Eawag, Abteilung Surf/RT, 8600 Dübendorf

³ Eawag, Abteilung W+T, 8600 Dübendorf

⁴ Sektion Umweltradioaktivität URA, BAG, 3003 Bern

⁵ Hochschule Ravensburg-Weingarten, D-88250 Weingarten

Einleitung

Im Januar 2013 veröffentlichten Forscher der Universität Genf eine Untersuchung zu Sedimentkernen aus dem Bielersee und berichteten über leicht erhöhte Cäsium-137-Gehalte (¹³⁷Cs) in Sedimentschichten, die sich um das Jahr 2000 abgelagert hatten (Referenz 1). Die Autoren mutmassten, dass dieses ¹³⁷Cs aus einer nicht deklarierten Abgabe aus dem Kernkraftwerk Mühleberg stamme und betonten im gleichen Zuge die Wichtigkeit des Seewassers für die Trinkwasserversorgung der Stadt Biel. Im Juli nahm die Sonntagspresse diese Aussagen auf und sorgte damit für Verunsicherung bei Anwohnerinnen und Anwohnern und in politischen Kreisen. Von Behördenseite wurde darauf hingewiesen, dass das KKW Mühleberg um den besagten Zeitpunkt tatsächlich eine leicht erhöhte ¹³⁷Cs-Abgabe hatte, welche im vom BAG veröffentlichten Jahresbericht „Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1999“ dokumentiert ist und innerhalb der bewilligten Abgabelimiten lag.

Im Sommer 2013 entnahmen die Eawag (ein Forschungsinstitut im ETH-Bereich) und das Schweizerische Institut für ABC-Schutz (LABOR SPIEZ) weitere Sedimentkerne aus dem Bielersee und untersuchten die einzelnen Sedimentschichten auf Radioaktivität. Diese Studie ist inzwischen abgeschlossen und bestätigt die Existenz einer ¹³⁷Cs-Spitze (Peak), der den veröffentlichten Abgaben von 1999 aus dem KKW Mühleberg zugeordnet werden kann. Neben ¹³⁷Cs und Cobalt-60 (⁶⁰Co) wurde an einigen der Sedimentkerne auch Plutonium gemessen. Die Verteilung des Plutoniums zeigt, dass dieses Ra-

dionuklid ausschliesslich durch die oberirdischen Atomwaffenversuche in den frühen 60-er Jahren freigesetzt wurde.

Auf Grund der gemessenen Aktivitäten kann eine gesundheitliche Gefährdung durch künstliche Radioisotope im Sediment und auch im Trinkwasser aus dem Bielersee ausgeschlossen werden.

Sedimentkerne als Archive

Anhand von Sedimentkernen lässt sich die Geschichte eines Sees rekonstruieren: Jedes Jahr lagert sich eine neue Sedimentschicht auf dem Seegrund ab. Die einzelnen Schichten sind in einem Tiefenprofil sehr gut erkennbar. Eine Alters-Tiefenbeziehung ergibt sich durch zwei in allen Kernen deutlich erkennbare ¹³⁷Cs Einträge:

- ein jüngerer Eintrag als Folge des Reaktorunfalles von Tschernobyl im Jahr 1986 sowie
- ein älterer Eintrag aufgrund der oberirdischen Kernwaffentests in den frühen 60er Jahren, mit einem Maximum im Jahre 1963.

Bereits 1998 konnte die Eawag aufzeigen, dass es im Bielersee zwischen den in praktisch allen Seen vorhandenen ¹³⁷Cs Einträgen von 1986 und 1963 zusätzliche, lokale ¹³⁷Cs Einträge aufgrund von Abgaben des Kernkraftwerkes Mühleberg gab. Zudem konnte auch vom Kernkraftwerk Mühleberg abgegebenes ⁶⁰Co nachgewiesen werden (Referenzen 2 und 3).

Probenahme und Aufarbeitung

Der Bielersee besteht aus zwei von Südwesten nach Nordosten ausgerichteten Becken, die durch eine schmale Halbinsel, die St. Petersinsel, getrennt sind und sich später zu einem weiteren, gemeinsamen Becken vereinen. Das Becken südlich der St. Petersinsel wird von der Aare bzw. dem Aare-Hagneck-Kanal gespeist. Am Ufer der Aare, flussaufwärts befindet sich das seit 1972 betriebene Kernkraftwerk Mühleberg, welches Wasser der Aare zur Kühlung verwendet.

Am 17. und 18. Juli 2013 wurden an den tiefsten Stellen der drei Becken des Bielersees Sedimentkerne entnommen (Abbildung 1). Drei der Kerne (je einer pro Standort) wurden von der Eawag untersucht, drei weitere Kerne vom LABOR SPIEZ, in Zusammenarbeit mit der Hochschule Ravensburg-Weingarten und dem geographischen Institut der Universität Bern.

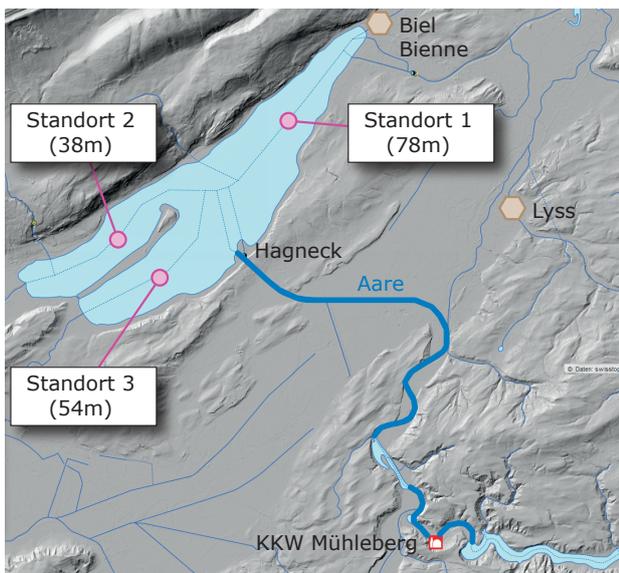


Abbildung 1: Karte des Bielersees mit den Beprobungsstandorten des Jahres 2013. Karte: Swisstopo.

Für die gammaspektrometrische Messung von ^{137}Cs und ^{60}Co wurden die Proben gefriergetrocknet, homogenisiert und anschliessend in Polystyrol Dosen eingewogen. Zusätzlich wurden die Proben massenspektrometrisch auf Plutonium (^{239}Pu und ^{240}Pu) untersucht. Dazu wurden sie verascht und mit einem Schmelzaufschluss aufgelöst.

Messresultate

In den Abbildungen 2 - 4 sind Fotos der längs aufgeschnittenen Sedimentkerne zu sehen. Gut erkennbar ist eine hell-dunkel Laminierung. Die Abbildungen 2 - 4 zeigen die Messresultate der am LABOR SPIEZ untersuchten Sedimentkerne; die Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der an der Eawag analysierten Kerne. In den Diagrammen sind die entsprechenden Aktivitätskonzentrationen bezüglich des Trockengewichtes dargestellt. Die ^{137}Cs Tiefenprofile aller Kerne zeigen deutlich die Einträge aufgrund des Reaktorunfalles von Tschernobyl im Jahr 1986 und der Atomwaffentests der 60-er Jahre (Maximum 1963) sowie den jeweils exponentiell abnehmenden Eintrag aus dem Einzugsgebiet des Sees.

Ebenfalls gut zu erkennen sind die erhöhten ^{137}Cs Einträge durch die bewilligten Abgaben des KKW Mühleberg. In Übereinstimmung mit den Angaben der Kraftwerksbetreiber (Referenz 4) zeigen die Sedimentkerne erhöhte ^{137}Cs Konzentrationen für die Jahre 1976, 1979, 1982 und 1999. Die grösste Abgabe durch das KKW Mühleberg fand im Jahre 1976 statt und ein entsprechender Peak ist in allen Sedimentkernen zu finden. Die Abgaben von 1979 und 1982 sind deutlich in den Sedimentkernen des Standortes 1 (tiefstes Becken) und Standortes 3 (Becken auf der Seite der Aaremündung) zu erkennen. Beim Standort 3 (hinter der St. Petersinsel) sind diese Einträge weniger gut ersichtlich. Der von den Genfer Forschern gefundene ^{137}Cs -Peak um das Jahr 2000 konnte in fünf der sechs neuen Sedimentkerne nachgewiesen werden. Unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Datierung (2000 ± 2 Jahre) kann diese Erhöhung mit den vom KKW Mühleberg deklarierten erhöhten Abgaben für das Jahr 1999 erklärt werden.

Die Tiefenverteilungen der Plutoniumisotope zeigen nur den direkten Eintrag aufgrund der oberirdischen Kernwaffentests in den späten 50-er und den frühen 60-er Jahren sowie einen verschleppten Eintrag von Bomben-Plutonium welches damals in den Böden abgelagert wurde und später durch Erosion in den See gelangte (Abbildungen 2 - 4). Ein zusätzlicher Eintrag durch das KKW Mühleberg ist nicht zu erkennen. Dass alles Plutonium von den Kernwaffenversuchen stammen muss, wird auch durch das Isotopenverhältnis von $^{240}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu}$ bestätigt (rechte Spalte in den Figuren 2 - 4). Ein Wert von 0.18 für das $^{240}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu}$ Verhältnis ist typisch für den globalen Ausfall nach den Kernwaffentests. Für Plutonium aus dem Reaktor des KKW Mühleberg würde man ein höheres Isotopenverhältnis erwarten.

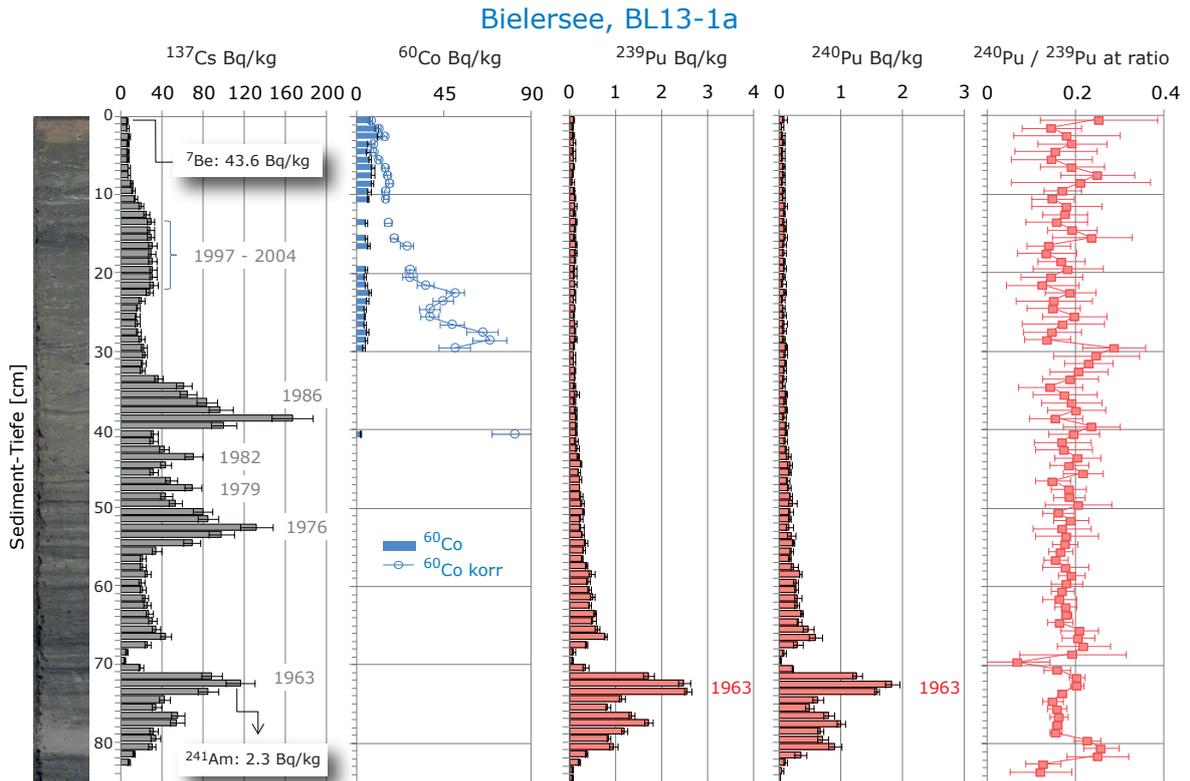


Abbildung 2:
Tiefenverteilung künstlicher Radionuklide am Standort 1 (BL13-1a)

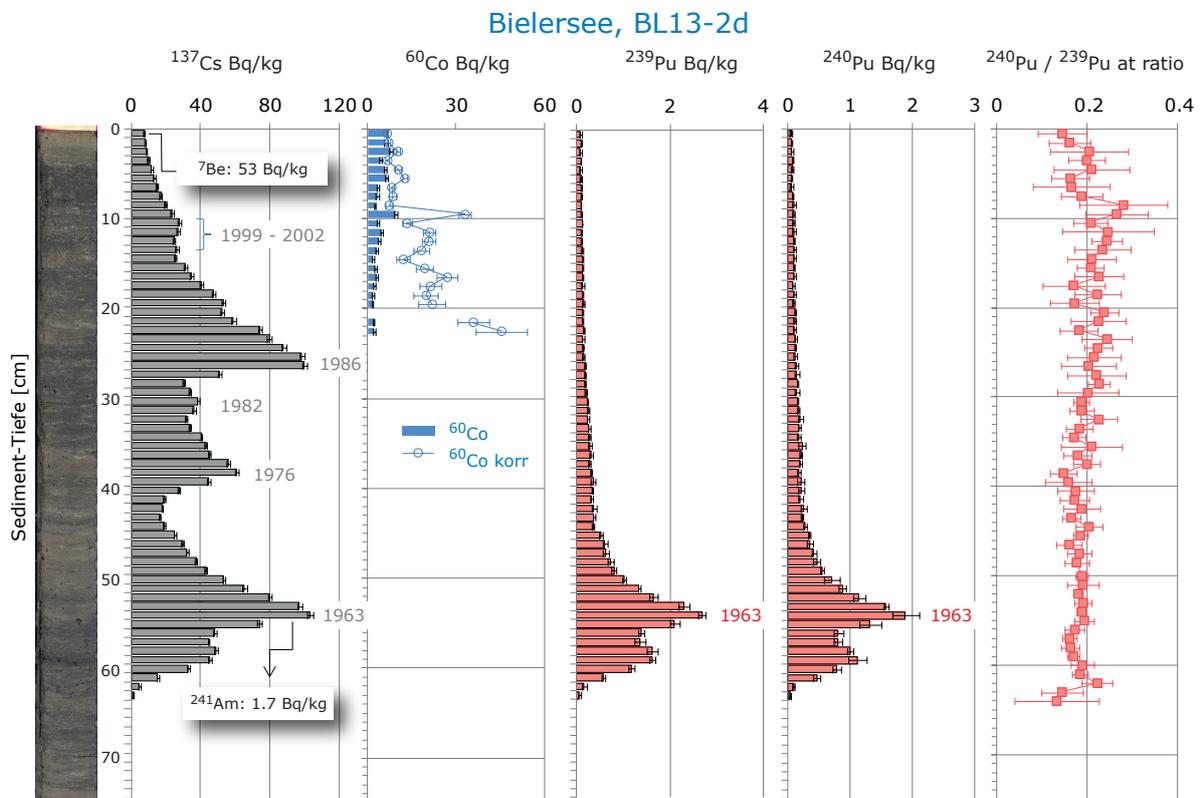


Abbildung 3:
Tiefenverteilung künstlicher Radionuklide am Standort 2 (BL13-2d)

Bielsee, BL13-3d

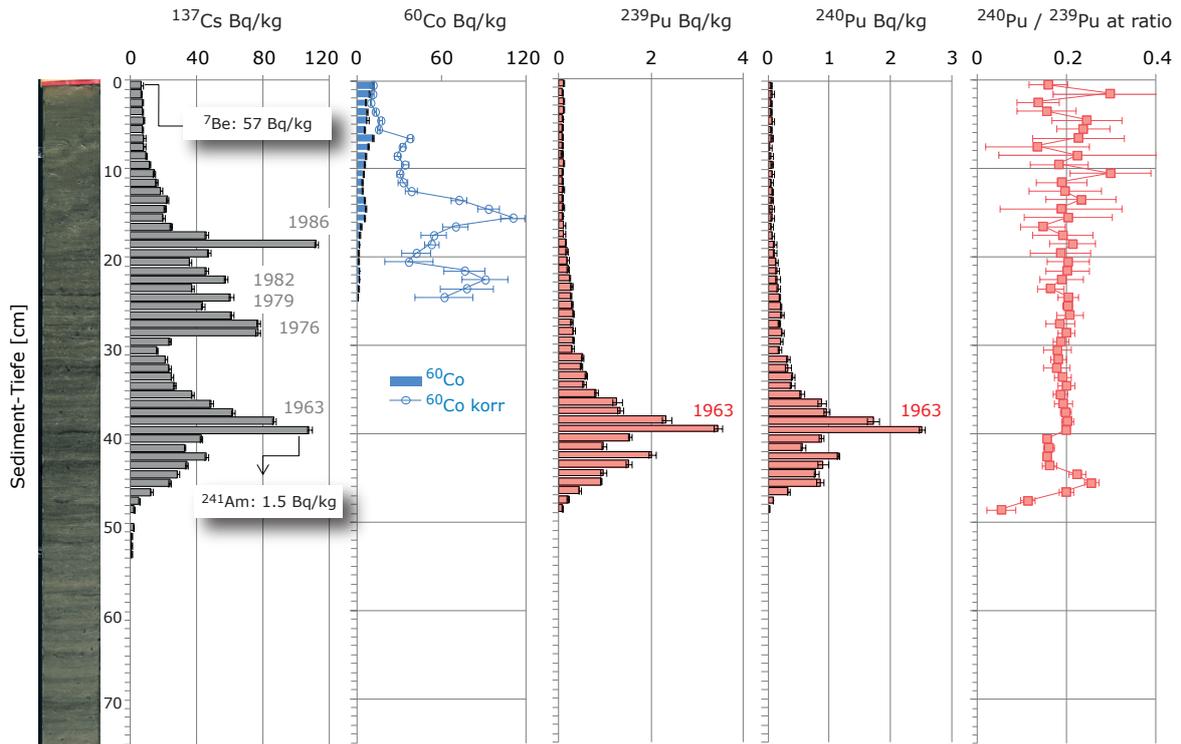


Abbildung 4:
Tiefenverteilung künstlicher Radionuklide am Standort 3 (Kern BL13-3d)

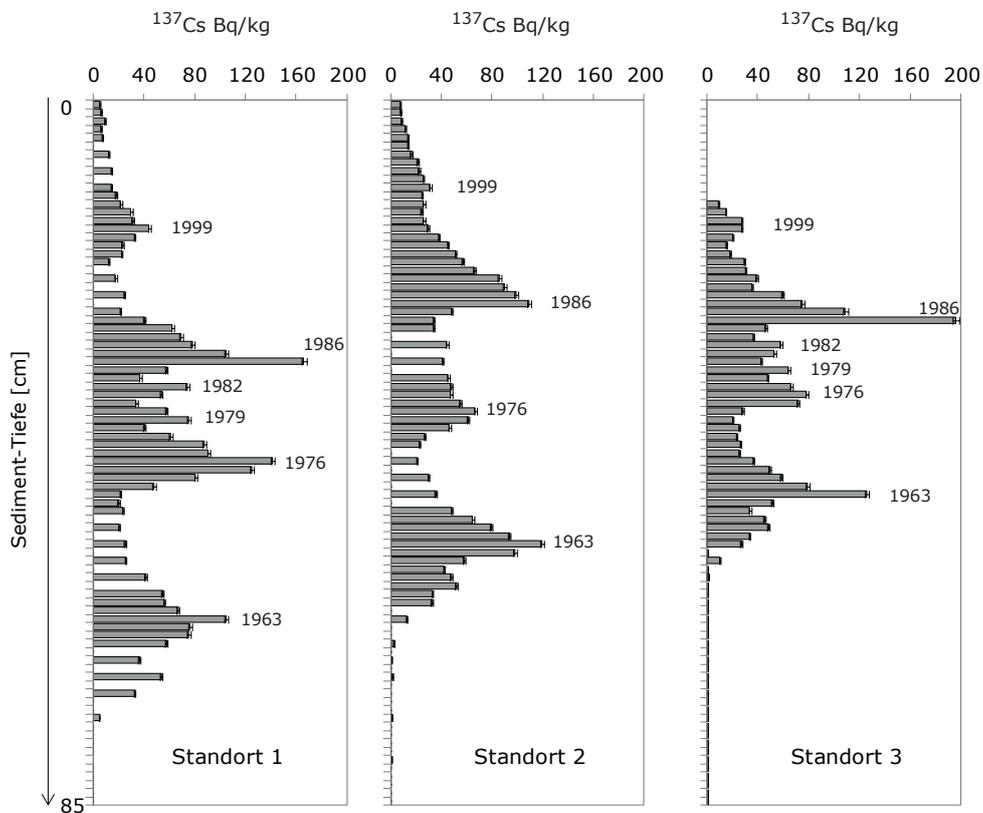


Abbildung 5:
Tiefenverteilungen von ^{137}Cs in den zweiten an jedem der Standorte 1-3 entnommenen Kernen (Kerne BL13-1C, BL13-2E und BL13-3E). Beim Kern von Standort 3 fehlen die obersten Zentimeter.

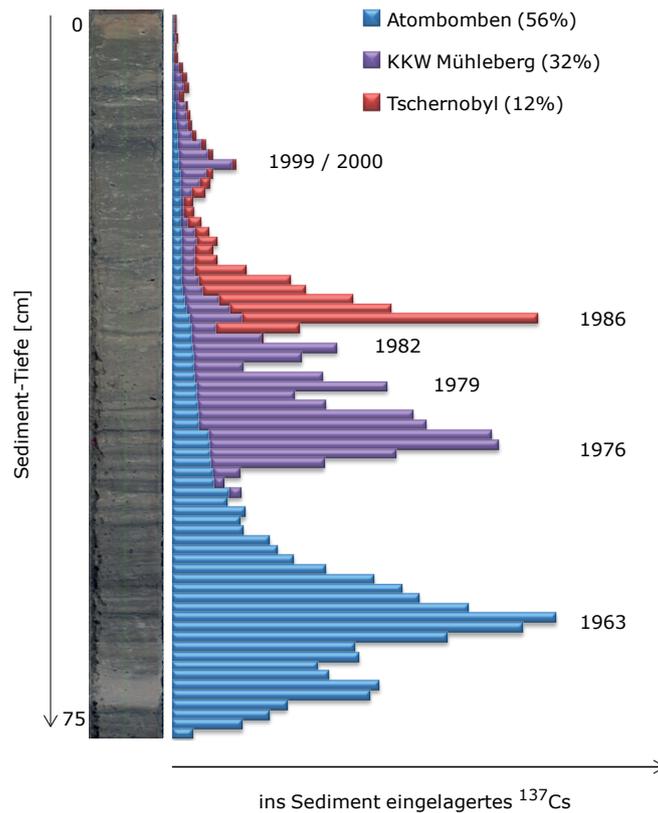


Abbildung 6:

Sedimentkern aus dem Bielersee (Standort 1) mit Zuordnung der Herkunft des künstlichen Radioisotops ^{137}Cs . Dargestellt ist die ursprünglich im Sediment eingelagerte Menge an ^{137}Cs . Aufgrund der Halbwertszeit von 30 Jahren ist inzwischen ein Teil des ^{137}Cs in den unteren Schichten bereits zerfallen. Die Spitzen sind aber immer noch erkennbar (siehe Abbildungen 2 - 5).

Im Unterschied zu den Sedimenten von Seen ohne Kernkraftwerke an den Zuflüssen (etwa Thuner- und Brienersee; Referenz 5) kann in den Sedimenten des Bielersees ^{60}Co nachgewiesen werden. Aufgrund der relativ kurzen Halbwertszeit von ^{60}Co (5.3 Jahre) nehmen die Aktivitätskonzentrationen mit der Tiefe schnell ab. Die zerfallskorrigierten ^{60}Co Aktivitätskonzentrationen (^{60}Co korr in den Abbildungen 2 - 4) zeigen jedoch, dass der Eintrag von ^{60}Co aus dem Kernkraftwerk Mühleberg in jüngerer Zeit deutlich zurückgegangen ist.

Die Abbildung 6 versucht die Einträge von ^{137}Cs in den Bielersee den verschiedenen Quellen zuzuordnen. Dargestellt ist das zerfallskorrigierte ^{137}Cs Tiefenprofil von Standort 1 (Kern 1C), wobei der radioaktive Zerfall von ^{137}Cs rechnerisch zurückkorrigiert wurde. Ebenfalls korrigiert ist der Einfluss der teilweise etwas unterschiedlichen Dichte des Sediments. Es ist also die ursprüngliche Aktivität pro Sedimentvolumen angegeben. Anders ausgedrückt: die Abbildung 6 zeigt für jede Sedimentschicht, wie gross der zur Zeit der Sedimentbildung ursprüngliche Totaleintrag von ^{137}Cs war und wie dieser sich auf die verschiedenen Beiträge verteilt hat.

Vor der Inbetriebnahme des KKW Mühleberg 1972 ist alles ^{137}Cs den oberirdischen Atomwaffentests zuzuordnen. Auch nach dem Ende der Atomwaffentests ist durch die Erosion von Bodenmaterial im Einzugsgebiet weiterhin etwas Atomwaffen- ^{137}Cs in die Seesedimente gelangt. Dieser „verschleppte“ Anteil lässt sich anhand der Plutoniummessungen gut abschätzen: Für Plutonium betrug der „verschleppte“ Eintrag in den Bielersee im Jahr 1972 15% vom Maximalwert des Jahres 1963 und im Jahr 1986 noch 5% vom Maximum. Ein analoger Verlauf wurde folglich für das ^{137}Cs aus Atomwaffen angewendet. In den 70-er Jahren stammte im Bielersee der Grossteil des ^{137}Cs aus den bewilligten Abgaben des KKW Mühleberg. Diese Einträge errechnen sich für die Sedimentschichten vor dem Reaktorunfall in Tschernobyl (1986) aus der Differenz zwischen Gesamt-Cs-137 und Atomwaffen- ^{137}Cs . Im Jahr 1986 stellte der schon wiederholt erwähnte Reaktorunfall in Tschernobyl die wichtigste ^{137}Cs Quelle dar. Auch für dieses Ereignis muss ein verschleppter Eintrag durch Bodenerosion berücksichtigt werden. Für 1986 und die Jahre danach wurden dem KKW Mühleberg ^{137}Cs -Einträge proportional zu seinen Abgaben zugeordnet, unter Verwendung des Verhältnisses von „Eintrag ins Sediment / Abgabe KKW“ aus den 70er-Jahren.

Das Ergebnis dieser Abschätzung (Abbildung 6) zeigt, dass über den gesamten Zeitraum betrachtet etwas mehr als die Hälfte des ^{137}Cs im Bielersee-Sediment seinen Ursprung in den Atomwaffentests hatte. Das KKW Mühleberg ist für knapp einen Drittel des insgesamt im See abgelagerten ^{137}Cs verantwortlich. Der Rest (rund ein Achtel) ist dem Reaktorunfall in Tschernobyl zuzuordnen. Die Abschätzung zeigt auch, die Einträge von 1999 nur wenige Prozente des Gesamteintrages von ^{137}Cs ausmachten.

Keine gesundheitliche Folgen durch ^{137}Cs im Bielersee

Trotz der zusätzlichen Quelle durch das KKW Mühleberg sind die ^{137}Cs Konzentrationen im Bielersee-Sediment nicht höher als in anderen Seen vergleichbarer Grösse (Brienzersee, Thunersee, Vierwaldstättersee; Referenz 5). Die Seen im Tessin, welche stärker vom Fallout aus Tschernobyl betroffen waren, weisen sogar erheblich grössere ^{137}Cs Konzentrationen auf (Referenz 6). Die höchste im Bielersee-Sediment gemessene ^{137}Cs Konzentration beträgt 200 Bq/kg. Rechnet man die durchschnittliche Konzentration bis zu einer Sedimenttiefe von 70 cm ergeben sich knapp 50 Bq/kg. Betrachtet man nur die obersten 20 cm des Sediments, so ist der Durchschnitt unter 20 Bq/kg ^{137}Cs . Diese Werte liegen deutlich unterhalb des Grenzwertes für ^{137}Cs in Lebensmitteln von 1'000 Bq/kg. Für die menschliche Gesundheit stellt ^{137}Cs in den Bielersee-Sedimenten deshalb keine Gefährdung dar.

Bleibt noch die Frage nach einer möglichen Kontamination von Trinkwasser. Die Abgabelimiten von Radioaktivität an die Flüsse durch die Kernkraftwerke sind so gewählt, dass aufgrund der Verdünnung durch das Flusswasser die Grenzwerte für Trinkwasser eingehalten werden. Eine über mehrere Monate verteilte Abgabe von 10 GBq ^{137}Cs , wie sie im KKW Mühleberg während des Jahres 1999 stattgefunden hat, führt in der Aare zu Konzentrationen, die ein Vielfaches unterhalb des Toleranzwertes für Trinkwasser von 10 Bq/L ^{137}Cs liegen und natürlich noch klarer unterhalb des Grenzwertes von 1'000 Bq/L Trinkwasser. Diese gerechneten Verdünnungen wurden in einer Studie der Eawag durch Messungen bestätigt (Referenz 2). Zusätzlich bestimmt die Eawag die Radioaktivität in der Aare bei Hagneck seit 1998 an kontinuierlich gesammelten Monatsproben. Für das Jahr 1999 zeigen diese Messungen Höchstwerte von 2 mBq/L ^{137}Cs - ein Faktor 5'000 unterhalb des Toleranzwertes. Bedenkt man weiter, dass ein grosser Teil des ^{137}Cs in der Aare an Partikel gebunden ist und somit entweder im See sedimentiert oder bei der Trinkwasseraufbereitung zurückgehalten wird, ist klar, dass nie eine Gefährdung der Gesundheit durch ^{137}Cs in Trinkwasser aus

dem Bielersee bestand. Diese Aussage gilt auch für frühere Jahre, wie die 1970-er Jahre, wo die jährlichen Abgaben durch das KKW Mühleberg bis zu sechs Mal höher waren als 1999, oder die 1960-er Jahre mit den noch höheren Einträgen aufgrund der oberirdischen Atomwaffenversuche.

Referenzen

- 1] Thevenon, F, Wirth, S., Fujak, M., Poté, J., Girardclos, S., 2013, Human impact on the transport of terrigenous and anthropogenic elements to peri-alpine lakes (Switzerland) over the last decades, Aquatic Sciences, vol. 75, no. 3, p. 413-424. Download unter: [www.ensi.ch, http://static.ensi.ch/1373883748/101007_s00027-013-0287-6.pdf](http://static.ensi.ch/1373883748/101007_s00027-013-0287-6.pdf).
- 2] Albrecht, A. und Beer, J., 1995: „Verhalten von Radionukliden aus Kernkraftwerken in Aare und Rhein“ EAWAG-HSK Studie, 95 Seiten (pdf 11.3 MB, http://static.ensi.ch/1373885099/eawag_report_1995_001.pdf)
- 3] Albrecht, A., Goudsmit, G., Zeh, M., 1999: Importance of lacustrine physical factors for the distribution of anthropogenic ^{60}Co in lake Biel.
- 4] ENSI, 2013: Die Fakten zur „Radioaktivität im Bielersee“. www.ensi.ch, (pdf: <http://www.ensi.ch/de/2013/07/15/die-fakten-zur-radioaktivitaet-im-bielersee/>).
- 5] Röllin, S., Holzer, R., Sahli, H., Astner, M. Byrde, F., Burger, M., Klemt, E., Putyrskaya, V., 2012: „Natürliche und künstliche Radionuklide in Sedimenten von drei Schweizer Seen“. Kapitel 4.6 im Jahresbericht „Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz, 2011“, BAG, Bern. (pdf: <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/12128/12242/index.html?lang=de>)
- 6] Putyrskaya, V., Klemt E., Röllin, S., 2009. Migration of ^{137}Cs in tributaries, lake water and sediment of Lago Maggiore (Italy, Switzerland) - analysis and comparison with Lago di Lugano and other lakes. Journal of Environmental Radioactivity, 100, 35-48.