



Autor: M. Zehringer

Trinkwasser / künstliche und natürliche Radionuklide

Gemeinsame Kampagne Basel-Landschaft und Basel-Stadt (Schwerpunktlabor)

Anzahl untersuchte Proben: 124

Anzahl beanstandete Proben: 0

Ausgangslage

Im 2005 wurde die Öffentlichkeit auf die Uranproblematik im Deutschen Trinkwasser aufmerksam gemacht. Das BAG führte daraufhin erste systematische Messungen in der Schweiz durch und publizierte die Auswertung von 5500 Trinkwasserproben¹. Bis anhin wurde Uran rein radiologisch beurteilt. Seine Toxizität als Schwermetall wird jedoch höher eingeschätzt als seine radiologische Wirkung. Das BAG hat deshalb in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) für Uran eine Höchstkonzentration von 30 µg/L festgelegt. Die Übergangsfrist läuft bis Ende 2018.

Uran ist jedoch nur eines der radiologisch relevanten, natürlichen Radionuklide für das Trinkwasser. So können insbesondere Nuklide des Radons, Radiums und Poloniums zu relevanten Dosen führen. Das Bundesamt für Strahlenschutz führte in Deutschland eine umfassende Trinkwasserstudie durch. Über 580 Proben wurden systematisch auf natürliche Radionuklide analysiert. Die Gesamt-



richtdosis von 0.1 mSv/a war in 10% der untersuchten Wasserwerke überschritten. Wird das Wasser zur Herstellung von Säuglingsnahrung verwendet müssten 23% der Wasserwerke Sanierungsmassnahmen ergreifen. In der Schweiz wurde bis heute nur im Kanton Graubünden das Trinkwasser systematisch auf natürliche Radionuklide untersucht.

Untersuchungsziele

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Belastung des Trinkwassers der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt abzuklären. Dabei sollte systematisch das Trinkwasser aller Gemeinden beprobt und analysiert werden. Aufgrund der ermittelten Daten sollte die Strahlenexposition durch Trinkwasserkonsum ermittelt werden.

Gesetzliche Grundlagen

Radioaktive Rückstände sind in Anhang 6 der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung geregelt (FIV). Für Trinkwasser zur Herstellung von Säuglingsnahrung gelten die nachfolgenden Toleranz- und Grenzwerte. Die natürlichen Radionuklide sind in zwei Gruppen zusammengefasst,

¹ Bundesamt für Gesundheit: Vorkommen von Uran in Schweizer Trinkwasser, BAG-Bulletin 12 (2012, 206-207).

was keine spezifische Beurteilung der einzelnen Radionuklide zulässt. Deshalb wurden die Deutschen Referenzkonzentrationen für Trinkwasser zur Beurteilung hinzugezogen².

Produkt	Einheit	Toleranzwert CH	Grenzwert CH	Referenzwert D Erwachsene	Referenzwert D Säuglinge
Tritium	Bq/kg	1'000	3'000	100	
Radiocäsium (Σ ^{134}Cs + ^{137}Cs)	Bq/kg	10	400	18.2	
Radon (^{222}Rn)	Bq/kg		100 ³	100	100
<u>Radionuklide der Gruppe 1:</u>	Bq/kg		10	5.8	3.3
^{224}Ra	Bq/kg			---	---
^{234}U	Bq/kg			2.8	1.6
^{238}U	Bq/kg			3.0	1.7
<u>Radionuklide der Gruppe 2:</u>	Bq/kg		1	1.0	0.24
^{226}Ra	Bq/kg			0.5	0.13
^{228}Ra	Bq/kg			0.2	0.02
^{210}Po	Bq/kg			0.1	0.02
^{210}Pb	Bq/kg			0.2	0.07
Richtdosis	mSv/a			0.1	0.1
Uran	$\mu\text{g/L}$		30		

Die chemische Toxizität von Uran ist vergleichsweise höher als die Strahlenexposition durch Uran. Deshalb wurde in der letzten Zeile die Höchstkonzentration in der Schweiz mitaufgeführt und zur Beurteilung der Daten verwendet.

Probenbeschreibung

Die meisten Stichproben des Netzwassers der Gemeinden wurden an Laufbrunnen der einzelnen Gemeinden erhoben. Insgesamt 103 Gemeinden wurden beprobt, davon grössere Gemeinden mehrfach. Die Probenahmen fanden im Frühling, Sommer, Herbst sowie im Winter (Basel-Stadt) statt.

Herkunft	Anzahl Proben	Bemerkung
89 Baselbieter Gemeinden	101	2 verschiedene Probenahmeorte in einigen Gemeinden
Liestal	6	
Sissach	3	
Hardwasser AG	2	Trinkwasserlieferant für Gemeinden und die Stadt Basel
Basel-Stadt	8	netzgespiesene Brunnen
Riehen	4	grundwassergespiesene Brunnen
Total	124	

Prüfverfahren

Gammastrahlenspektrometrie

Die Trinkwasserprobe wurde in ein 1L-Marinellengefäss gefüllt und mit einem hochauflösenden Germaniumdetektor während 24 Stunden ausgezählt.

Tritium

10 mL Probe wurden mit 10 mL Szintillationscocktail Ultimagold gemischt und mit dem Szintillationszähler während 120 Minuten ausgezählt.

² Bundesamt für Strahlenschutz: Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland., 2009.

³ Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von Radioaktivität im Trinkwasser. Empfehlung des BMU, BMG, BfS, UBA, DVGW und BDEW – erstellt unter Mitwirkung von Ländervertretern. Deutschland, Juli 2012.

Radon

10ml Wasser wurde mit 10 mL Optifluor O Cocktail gemischt und im Vial dicht verschlossen. Nach erfolgter Gleichgewichtseinstellung wurde das Radon mit dem Szintillationszähler während 120 Minuten ausgezählt. Die Aktivität wurde auf das Datum der Probennahme zurückgerechnet.

Uran

500 mL Probe wurde mit konz. Schwefelsäure versetzt und anschliessend mit 5 ml URAEX extrahiert. 1.5mL der URAEX-Phase wurden während 24 Stunden mit dem PERALS-Alpha-spektrometer ausgezählt. Die ^{235}U -Aktivität wurde aus dem Aktivitätsverhältnis $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 22$ berechnet.

Radium

Das Radium wurde während 20 Stunden direkt aus der Wasserprobe an einer Permanganat-Disk adsorbiert. ^{224}Ra und ^{226}Ra wurden durch Alphaspektrometer der Disk (Sperrschichtzähler) während 24 Stunden ausgezählt. Die ^{228}Ra -Aktivität wurde nach 15 Tagen Wartezeit mit einem Betaspektrometer (Gasproportionalzähler) bestimmt.

Polonium (^{210}Po)

500mL Wasser wurden mit Salz- und Phosphorsäure angesäuert und anschliessend mit 5 mL POLEX extrahiert. 1.5mL der POLEX-Phase wurden während 24 Stunden mit dem PERALS-Alpha-spektrometer ausgezählt.

Ergebnisse

Künstliche Gammanuklide

Die Gammaskopie der Trinkwasserproben ergab in einem Fall Spuren von Radiocäsium ($0.03 \pm 0.02 \text{ Bq/L } ^{137}\text{Cs}$). Ansonsten lagen die Aktivitäten an künstlichen Radionukliden des Iod, Cäsiums, Cobalts und anderer Elemente unterhalb der Detektionsgrenzen ($< 0.1 \text{ Bq/L}$).

Tritium

Tritium kann aus kerntechnischen Anlagen und tritiumverarbeitender Industrie stammen. Die Analysen ergaben beim Trinkwasser unauffällige Tritiumaktivitäten. Der Mittelwert der Baselbieter Gemeinden betrug $8.7 \pm 5.0 \text{ Bq/L}$, in Basel-Stadt lag der Mittelwert etwas höher bei $16.9 \pm 7.6 \text{ Bq/L}$ vor. Alle Werte lagen deutlich sowohl unterhalb des Grenzwerts von $1'000 \text{ Bq/L}$, als auch unterhalb des Grenzwerts von 100 Bq/L der deutschen Trinkwasserverordnung.

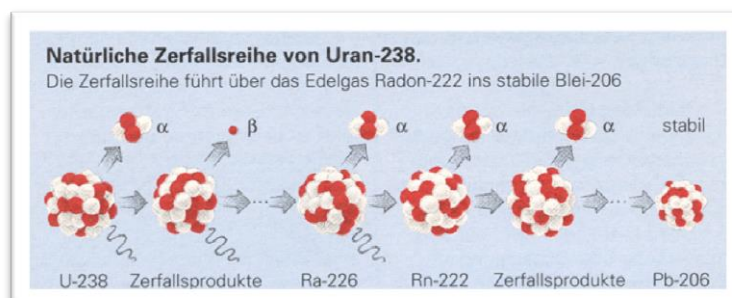
Radon

Der mittlere Radongehalt der Baselbieter Trinkwässer unterscheidet sich wenig vom Mittelwert des Basler Trinkwassers, wenn die vier Riehener Brunnen nicht berücksichtigt werden.

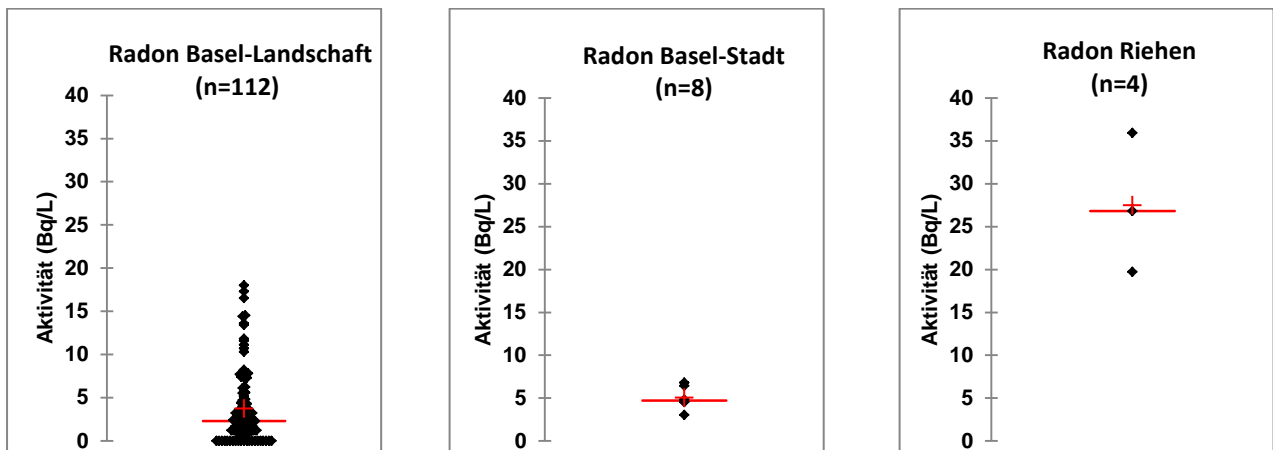
Der Mittelwert in Baselland betrug mit $4.6 \pm 4.1 \text{ Bq/L}$ (1 bis 18 Bq/L), in Basel-Stadt $5.2 \pm 1.4 \text{ Bq/L}$ (3 bis 7 Bq/L).

Die vier untersuchten Brunnen in Riehen wiesen Aktivitäten zwischen 18 und 36 Bq/L auf (Mittelwert: $25 \pm 8 \text{ Bq/L}$). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die untersuchten Riehener Brunnen mit Quellwasser aus dem Au- und dem Moostal gespeisen werden. Dieses ist bekanntermassen radonhaltig aufgrund des erhöhten Urangehalts im Untergrund. Das Trinkwasser in Riehen ist Bestandteil des Verteilernetzes der IWB und weist somit die gleiche Radonaktivität auf wie in Basel-Stadt. Der deutsche Referenzwert von 100 Bq/L war in keinem Fall überschritten.

Die natürliche Zerfallsreihe von U-238 über Ra-226 zu Rn-222



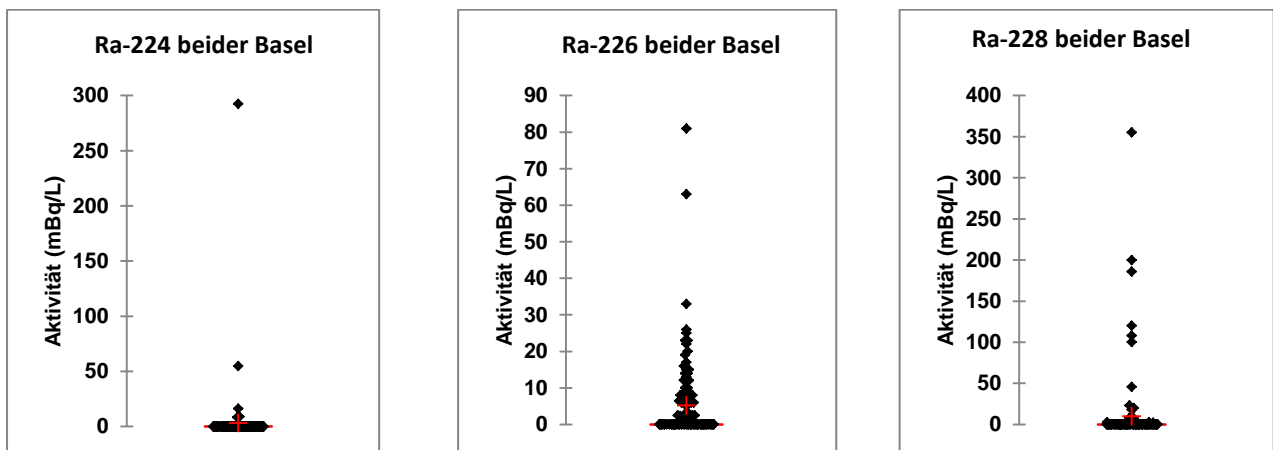
Die Situation bezüglich des Radons ist in den nachfolgenden Abbildungen illustriert.



Radium

Das aus dem radioaktiven Zerfall des Uran stammende Radiumnuklid ^{226}Ra wurde im Baselbieter wie im Basler Trinkwasser in vergleichbarem Aktivitätsbereich von <2 bis 80 mBq/L nachgewiesen. Die Mittelwerte betragen im Baselbiet 14 ± 16 mBq/L (40 Positivbefunde) und in Basel 9 ± 8 mBq/L (8 Positivbefunde).

Anders sieht es bei den aus der Zerfallsreihe des Thoriums stammenden Radiumnuklide ^{224}Ra und ^{228}Ra . Während im Basler Wasser nur ein einmaliger Befund von 8 ± 2 mBq/L ^{224}Ra bzw. 134 mBq/L ^{228}Ra nachgewiesen wurde, wiesen sechs Proben Baselbieter Wasser ^{228}Ra auf mit einem Mittelwert von 134 ± 96 mBq/L. Bei ^{224}Ra wurde ein einzelner Positivbefund von 8 ± 2 mBq/L registriert. Insgesamt sind die Radiumaktivitäten im Trinkwasser beider Halbkantone niedrig und unterhalb der deutschen Referenzwerte von 500 mBq/L für ^{226}Ra bzw. 200 mBq/L für ^{228}Ra . Wie die nachfolgenden Diagramme zeigen liegen die Aktivitäten bei der Hauptzahl der Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze von 2 mBq/L, veranschaulicht durch die Werte bei null.



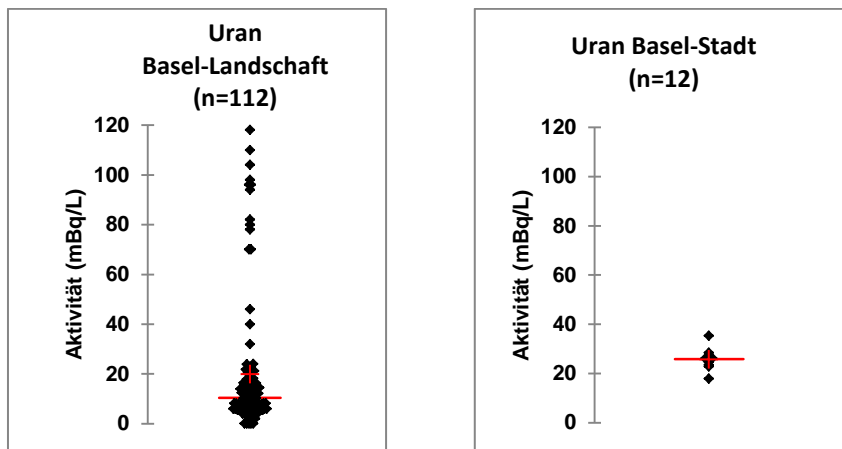
Uran

Die Radionuklide ^{234}U und ^{238}U lagen in sämtlichen Proben im Aktivitätsgleichgewicht vor. Im Nachfolgenden wird deshalb die Summe der beiden Nuklide als ^{nat}U bzw. die aus der ^{238}U -Aktivität berechnete Konzentration in $\mu\text{g/L}$ beurteilt.

Uranspuren waren erwartungsgemäss in praktisch allen Wasserproben nachweisbar.

Die durchschnittliche Belastung des Baselbieter Trinkwassers mit Uran betrug 21 ± 28 mBq/L (rsp. 0.8 ± 1.1 $\mu\text{g/L}$ Uran). Die Urankonzentration im Basler Wasser war vergleichbar: im Mittel 26

± 4 mBq/L (resp. 1.0 ± 0.2 $\mu\text{g/L}$). Die höchsten Aktivitäten betragen 118 mBq/L ^{238}U (4.7 $\mu\text{g/L}$) in Baselland bzw. 35 mBq/L ^{238}U (1.4 $\mu\text{g/L}$) in Riehen. Die in der Schweiz geltende Höchstkonzentration von 30 $\mu\text{g/L}$ (entsprechend 380 mBq/L) für Uran war in allen Proben eingehalten.

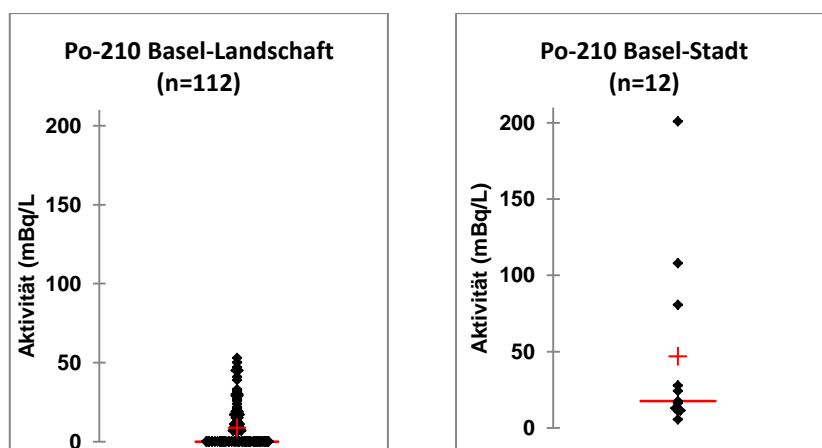


Die Uranaktivitäten streuen in Baselland deutlich stärker als in Basel-Stadt. Die Mittelwerte sind jedoch vergleichbar.

Polonium

Das dosisrelevante Poloniumnuklid ^{210}Po wird in der Zerfallsreihe des Urans gebildet. Liegt eine erhöhte Radonaktivität vor (^{222}Rn) so ist auch mit erhöhter Poloniumaktivität zu rechnen. Die vier Riehener Brunnen wurden bei der Beurteilung des Basler Trinkwassers nicht berücksichtigt, da dieses Wasser nicht ins Trinkwassernetz eingespiessen wird. Der Mittelwert dieser vier Brunnen betrug 130 ± 63 mBq/L (Aktivitätsbereich: 81 bis 200 mBq/L). Im Baselstädtischen Trinkwasser hingegen betrug der Mittelwert lediglich 16 ± 7 mBq/L, wobei alle 12 untersuchten Proben Polonium enthielten. Das Baselbieter Trinkwasser wies vergleichbare Poloniumaktivitäten auf, im Mittel 9 ± 13 mBq/L (45 der 112 untersuchten Proben enthielten Spuren von Polonium). Somit war mit Ausnahme des Brunnenwassers der Gemeinde Riehen der deutsche Referenzwert von 100 mBq/L eingehalten.

Zwei der untersuchten Brunnen in Riehen wiesen Aktivitäten von 108 bzw. 201 mBq/L ^{210}Po auf. Bei beiden Brunnen ist sowohl der deutsche Referenzwert für Säuglingsnahrung (20 mBq/L) als auch für Erwachsene (100 mBq/L) überschritten. Da nicht auszugehen ist, dass dieses Brunnenwasser regelmässig als Trinkwasser verwendet wird, sind keine Massnahmen erforderlich. Das Leitungswasser der Gemeinde erfüllt die Anforderungen (Mittelwert: 23 ± 21 mBq/L, Höchstwert: 81 mBq/L).



Blei

Lediglich Wasserproben mit erhöhter Aktivität von ²²²Rn oder ²¹⁰Po wurden auf ²¹⁰Pb getestet. Bei drei Baselbieter Trinkwasserproben betrug die Aktivität zwischen 100 und 160 mBq/L. Der deutsche Referenzwert für Erwachsene von 200 mBq/L war eingehalten.

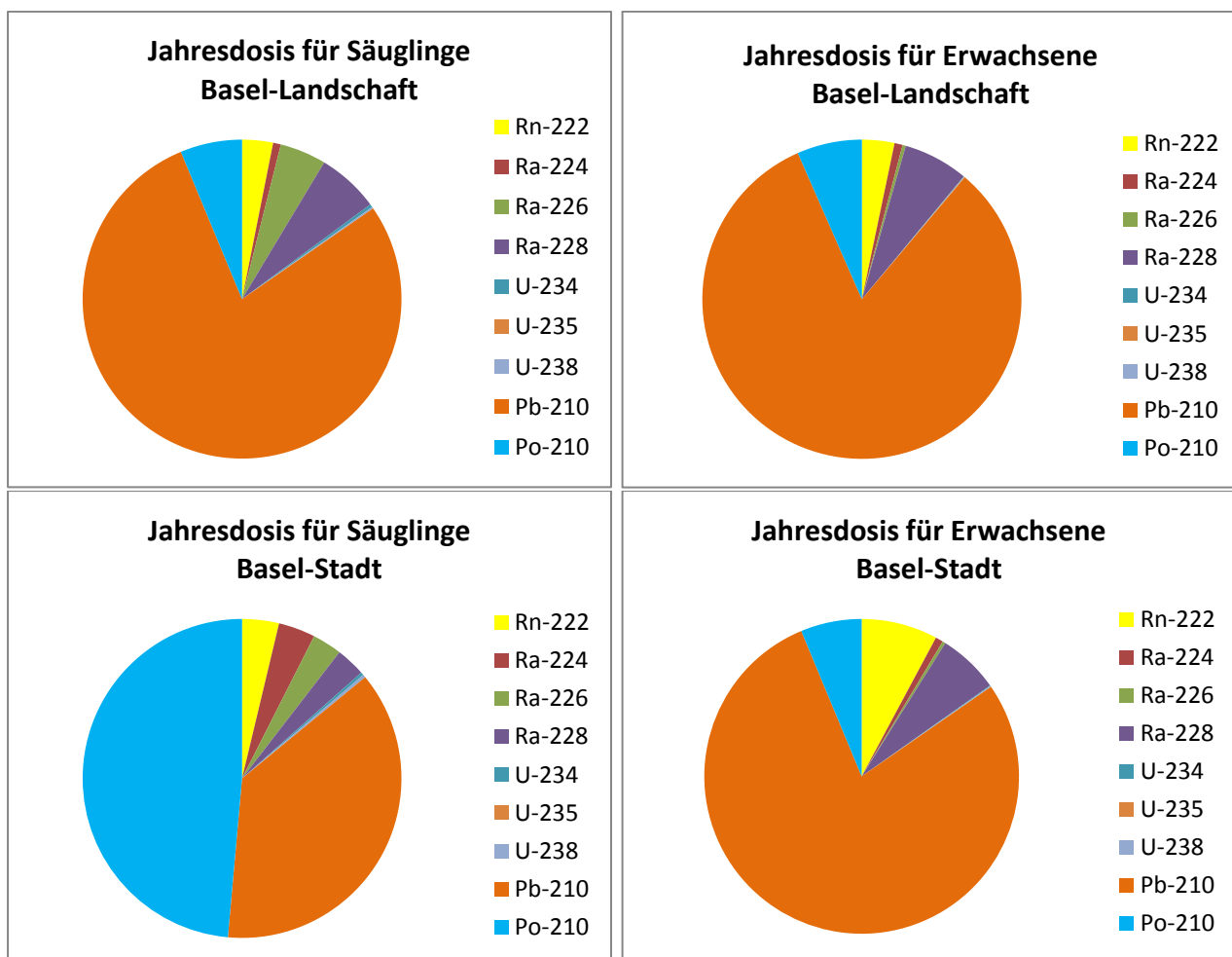
Ermittlung der Strahlenexposition durch Konsum des Basler und des Baselbieter Trinkwassers.

Zur Abschätzung der Jahresdosis durch den Konsum von Trinkwasser wurden folgende Annahmen getroffen: Der Verzehr von Trinkwasser beträgt im Durchschnitt 600 L im Jahr für Erwachsene, bei Säuglingen (bis 1 Jahr) 170 L (eingerechnet sind 115 L, wenn angenommen wird, dass der Säugling nicht gestillt wird, sondern nur Milchprodukte erhält)⁴.

Zur Abschätzung der mittleren Jahresdosis wurde der Medianwert des Radionuklids mit der Konsummenge und dem Ingestionsfaktor⁵ multipliziert. Die Summe der einzelnen Dosen führt zu den nachfolgenden Jahresdosen durch Trinkwasserkonsum.

Kanton	Jahresdosis für Säuglinge (bis 1 Jahr) in mSv/a	Jahresdosis für Erwachsene (ab 17 Jahren) in mSv/a
Richtdosis für Trinkwasser	0.1	0.1
Basel-Landschaft	0.01	0.005
Basel-Stadt	0.08	0.002

Nuklidspezifische Dosisanteile für Säuglinge und Erwachsene beider Kantone (Prozentuale Darstellung):



⁴ Bundesamt für Strahlenschutz: Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland

⁵ Entnommen aus der Eidgenössische Strahlenschutzverordnung sowie dem Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von Radioaktivität im Trinkwasser. Empfehlung des BMU, BMG, BfS, UBA, DVGW und BDEW – erstellt unter Mitwirkung von Ländervertretern. Deutschland, Juli 2012.

Die Dosisabschätzung ergab, dass bei durchschnittlichem Trinkwasserkonsum für Säuglinge in Basel-Stadt eine mittlere Jahresdosis von ca. 0.1 mSv/a resultiert. Die Dosis ist zur Hauptsache auf die Radionuklide ^{210}Po und ^{210}Pb zurückzuführen (ca. 80% der Dosis). Dies ist damit zu erklären, dass das Basler Trinkwasser zu ca. 50% aus Grundwasser der Langen Erlen stammt, welches radonhaltig ist. In Baselland beträgt die Dosis bei Säuglingen lediglich 0.01 mSv/a, da die Nuklide ^{222}Rn , ^{210}Pb und ^{210}Po nur eine untergeordnete Rolle spielen. Für Erwachsene berechnet sich die Gesamtdosis zu unter 0.005 mSv/a.

Es muss in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass die natürlichen Dosen in erster Linie durch K-40 und durch eingeatmetes Radon verursacht werden und zu einer durchschnittlichen Belastung der Schweizer Bevölkerung von 4 bis 4.5 mSv/a führen. Die Gesamtdosis für Säuglinge durch Trinkwasser in Basel-Stadt beträgt lediglich 2% der durchschnittlichen Strahlenbelastung. Ebenso sind die ermittelten Urankonzentrationen deutlich unter dem Grenzwert von 30 µg/L.

Massnahmen

Aufgrund der bestimmten, niederen Dosen sind keine Massnahmen notwendig.