



Dr. Anja Pregler

Rheinüberwachung

Radioaktivität

Anzahl untersuchte Proben: 52 Wasserproben und 12 Schwebstoffproben
Überschreitungen des Immissions-
oder der Befreiungsgrenze: 0



Ausgangslage

Im Rahmen des Schweizerischen Überwachungsprogrammes der Umweltradioaktivität werden Wasser- und Schwebstoffproben aus dem Rhein unterhalb von Basel untersucht. Die Schwebstoffproben des Rheins dienen zur Überwachung der schweizerischen Kernkraftwerke. Ein erheblicher Teil der über den Wasserpfad abgegebenen Radionuklide lagert sich an Tonmineralien an und wird in Form von Schwebstoffen stromabwärts transportiert. Die adsorbierten Nuklide werden schliesslich im Flusssediment abgelagert. Der Rheinschwebstoff ist somit ein geeignetes Untersuchungskompartiment für die langzeitliche Radioaktivitätsüberwachung der rheinaufwärts liegenden Kernkraftwerke und weiterer Emittenten der Schweiz. Anhand der Untersuchung des Rheinwassers werden ausserdem mögliche Tritium-Emissionen aus den KKW's und Industriebetrieben überwacht.

Untersuchungsziele

Die vorliegenden Untersuchungen sind Bestandteil des jährlichen Überwachungsprogrammes der Umweltradioaktivität des Bundes¹.

Gesetzliche Grundlagen

Aktivitätskonzentrationen in öffentlich zugänglichen Gewässern dürfen im Wochenmittel festgelegte Immissionsgrenzwerte für Gewässer (IGGw) nicht überschreiten. In Anhang 7 der eidgenössischen Strahlenschutzverordnung (StSV²) sind diese Immissionsgrenzwerte für öffentlich zugängliche Gewässer festgelegt. Sie sind so definiert, dass die kritische Person, die den gesamten Trinkwasserbedarf mit Wasser decken würde, das mit dem Immissionsgrenzwert kontaminiert wäre, dadurch eine jährliche Ingestionsdosis von 0.3 mSv erhalten würde. In der nachfolgenden Tabelle ist der jeweils strengste Grenzwert der unterschiedlichen Altersgruppen aufgeführt. Ausserdem sind in der Tabelle die Befreiungsgrenzen (LL) nach Anhang 3 der StSV für Radionuklide künstlicher Herkunft in Feststoffen aufgelistet.

¹ Überwachung der Umweltradioaktivität in der Schweiz: BAG-Probenahmeplan 2021

² Eidgenössische Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017, in Kraft seit 1.1.2018 (SR 814.501)

Parameter	Immissionsgrenzwert für Gewässer IG _{GW} (Bq/L)	Befreiungsgrenze LL für Festmaterial (Bq/kg)
³ H (Tritium, als HTO)	20'000	-
⁵⁴ Mn (Mangan-54)	360	100
⁶⁰ Co (Cobalt-60)	42	100
⁶⁵ Zn (Zink-65)	72	100
¹¹¹ In (Indium-111)	1'590*	10'000
¹³¹ I (Iod-131)	6.7	10'000
¹⁵³ Sm (Samarium-153)	624*	100'000
¹³⁷ Cs (Cäsium-137)	36	100
¹⁶⁹ Er (Erbium-169)	1'240*	1'000'000
¹⁷⁷ Lu (Lutetium-177)	870*	100'000
^{177m} Lu (Lutetium-177m)	270*	100
²²³ Ra (Radium-223)	4.6*	10'000

* Diese Werte wurden mit Hilfe der Dosisfaktoren für Erwachsene berechnet.

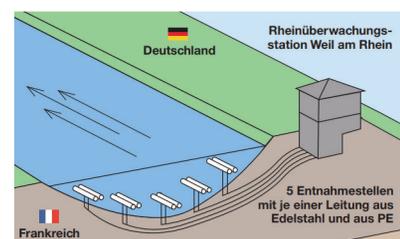
In der StSV sind zudem Materialien natürlicher Herkunft (NORM = Naturally Occurring Radioactive Material) in Kapitel 4 geregelt. Gemäss Anhang 2 der StSV gelten folgende NORM-Befreiungsgrenzen:

Parameter	(Bq/kg)
Natürliche Radionuklide der ²³⁸ U Reihe	1'000
Natürliche Radionuklide der ²³² Th Reihe	1'000
⁴⁰ K	10'000

Probenbeschreibung

An fünf diskreten Stellen quer über den Rhein wird permanent Rheinwasser in der Rheinüberwachungsstation (RÜS) in Weil am Rhein gesammelt und gekühlt rückgestellt. Im Normalfall wird das repräsentative Mischwasser von jeweils 24 Stunden analysiert. Im Bedarfsfall kann auf 12 Stunden-Mischproben jeder einzelnen Probenahmestelle zurückgegriffen werden. Bei erhöhter Tritiumaktivität (> 40 Bq/L) kann durch die Messung der fünf Einzelstränge ermittelt werden, ob die Tritiumeinleitung im Raum Basel oder oberhalb von Basel (Staustufe Birsfelden) stattgefunden hat. Zudem lassen sich durch die feinere Auflösung Tritiumfrachten exakter berechnen.

Die Schwebstoffproben werden vom Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt im Rahmen der Rheinüberwachung monatlich erhoben. Mit einer Zentrifuge werden die Schwebstoffteilchen aus dem Rheinwasser abgetrennt, gefriergetrocknet und gemahlen.



Schematische Darstellung der Wasserentnahmestellen der Rheinüberwachungsstation.
Quelle: [Prospekt der Rheinüberwachungsstation Weil a. R.](#), Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt, 2020)

Prüfverfahren

Flüssigszintillation

Für die Tritiumanalysen wird aus den Wasser-Tagesproben eine Wochenmischprobe erstellt. Davon werden 8 mL filtriert (0.45 µm), mit 12 mL Ultimagold LLT Cocktail gemischt und mit dem Flüssigszintillationszähler während 5 Stunden gemessen.

Gammaskopimetrie

Die Schwebstoffproben werden in kalibrierte Petrischalen gefüllt und mit einem hochauflösenden Gammaskopimeter während ca. 24 Stunden gemessen. Für die Identifizierung und Quantifizierung der Radionuklide werden die entsprechenden Gammaemissionslinien verwendet.

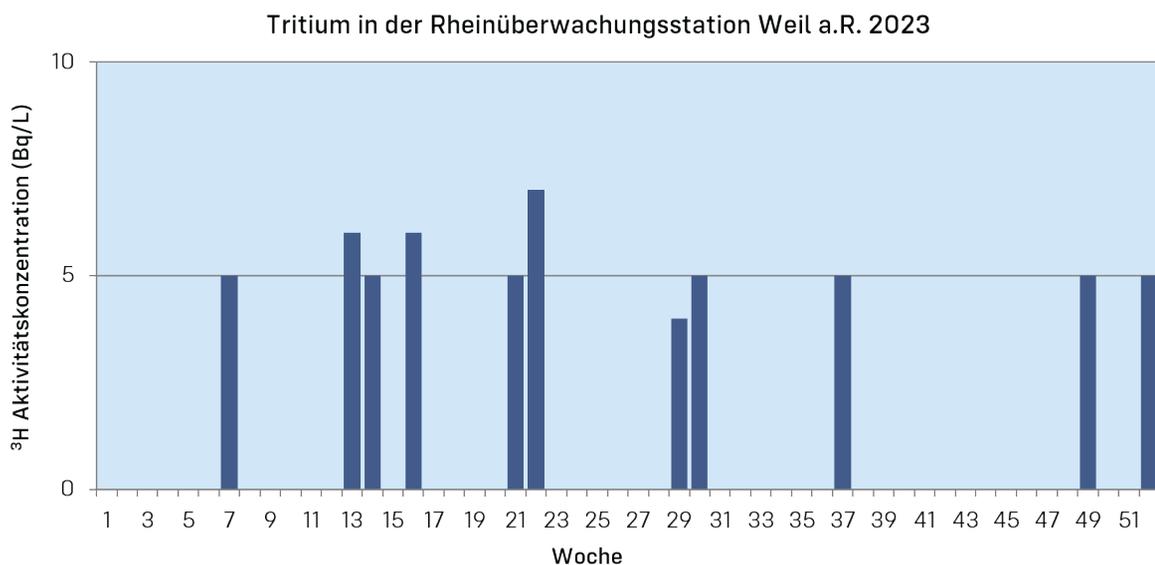
Alphaspektrometrie

Für die Bestimmung von Polonium (^{210}Po) wird Schwebstoff mit Säure/Wasserstoffperoxid im Mikrowellenofen aufgeschlossen und an einer Silberfolie adsorbiert. Anschliessend wird die Silberfolie mit dem adsorbierten Polonium während ca. 24 Stunden mittels Alphaspektrometrie gemessen.

Ergebnisse

Tritium in der Wasserphase

- Tritium ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Isotop des Wasserstoffs. Zudem ist es ein Nebenprodukt bei der Kernspaltung in Kernkraftwerken. Im Rhein stammt das Tritium vor allem von den Abgaben mit dem Abwasser der Kernkraftwerke.
- In 11 von 52 Wochenmischproben war Tritium nachweisbar ($\geq 4 \text{ Bq/L}$).
- Der Immissions-Grenzwert von 20'000 Bq/L war ganzjährig eingehalten.



Pharmazeutisch verwendete Radionuklide im Rheinschwebstoff

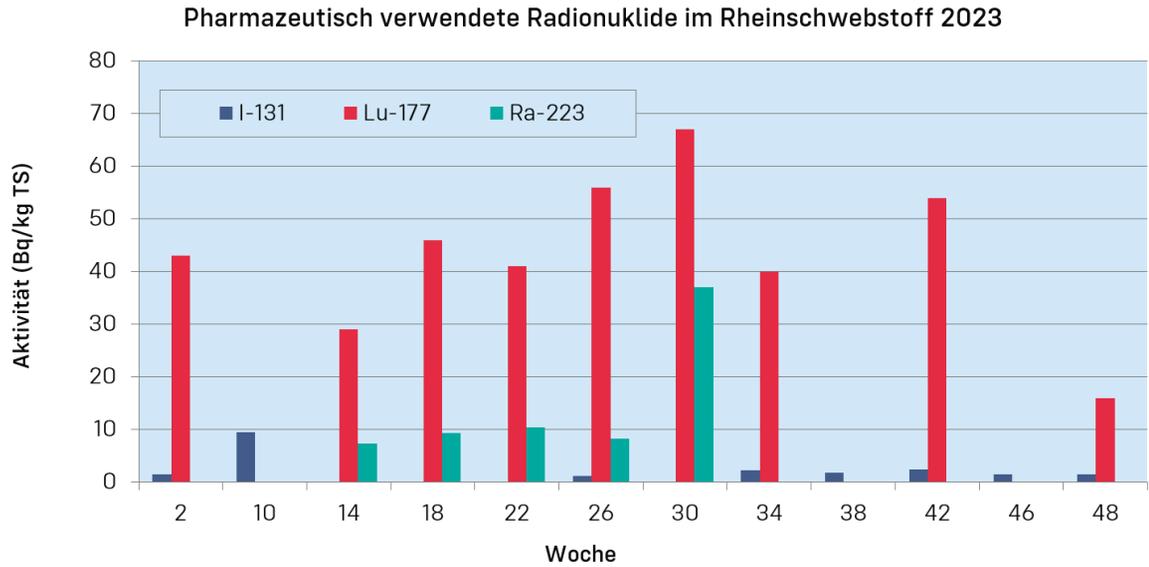
- Nuklearmedizinisch verwendete, kurzlebige Radionuklide konnten wie in den Vorjahren nachgewiesen werden. Insbesondere ^{131}I und ^{177}Lu werden im Universitätsspital Basel häufig eingesetzt und sind in vielen Proben präsent. Es konnten jedoch keine Verstösse gegen die Befreiungsgrenzen festgestellt werden.
- Bei der Herstellung von ^{177}Lu durch Neutroneneinfang an ^{176}Lu kann es auch zur Entstehung von $^{177\text{m}}\text{Lu}$ kommen. Dieses Radionuklid ist mit einer Halbwertszeit von 161 Tagen deutlich langlebiger und gilt als Verunreinigung im ^{177}Lu . Der Anteil des $^{177\text{m}}\text{Lu}$ kann bis zu 0.1% der ^{177}Lu -Aktivität betragen³. $^{177\text{m}}\text{Lu}$ wurde in keiner Schwebstoffprobe nachgewiesen.
- Seit 2013 wird ^{223}Ra , ein Präparat mit dem Handelsnamen Xofigo, (Halbwertszeit: 11.4 Tage) zur Behandlung von Prostatakarzinomen eingesetzt⁴. Folglich kann dieses Radionuklid auch im Rhein nachgewiesen werden. In fünf Schwebstoffproben im Jahr 2023 war ^{223}Ra nachweisbar.
- In der Woche 14 war ^{153}Sm mit einer Aktivitätskonzentration von $194 \pm 104 \text{ Bq/kg}$ nachweisbar.
- ^{169}Er war in keiner Probe detektierbar.

Mittlere Aktivitäten von Radionukliden aus der Radiopharmazie

Nuklid	^{131}I	^{177}Lu	$^{177\text{m}}\text{Lu}$	^{223}Ra	^{153}Sm	^{169}Er
Mittlere Aktivität (Bq/kg)	9.6 ± 3.1	67 ± 35	-	37 ± 12	194 ± 104	-
Anzahl Positivbefunde	8	9	0	5	1	0
Befreiungsgrenze LL (Bq/kg)	10'000	100'000	100	10'000	100'000	1'000'000

³ C. Barkhausen, K. Zhernosekov: Produktion von trägerfreiem ^{177}Lu am FRM II für radiopharmazeutische Anwendungen. Radiochemie München RCM in Zusammenarbeit mit Isotope Technologies Garching GmbH (ITG).

⁴ P. Steinmann: Nachweis von ^{223}Ra aus der Medizin in Klärschlammproben, In: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz. BAG, Berichtsjahr 2014, 167-169.

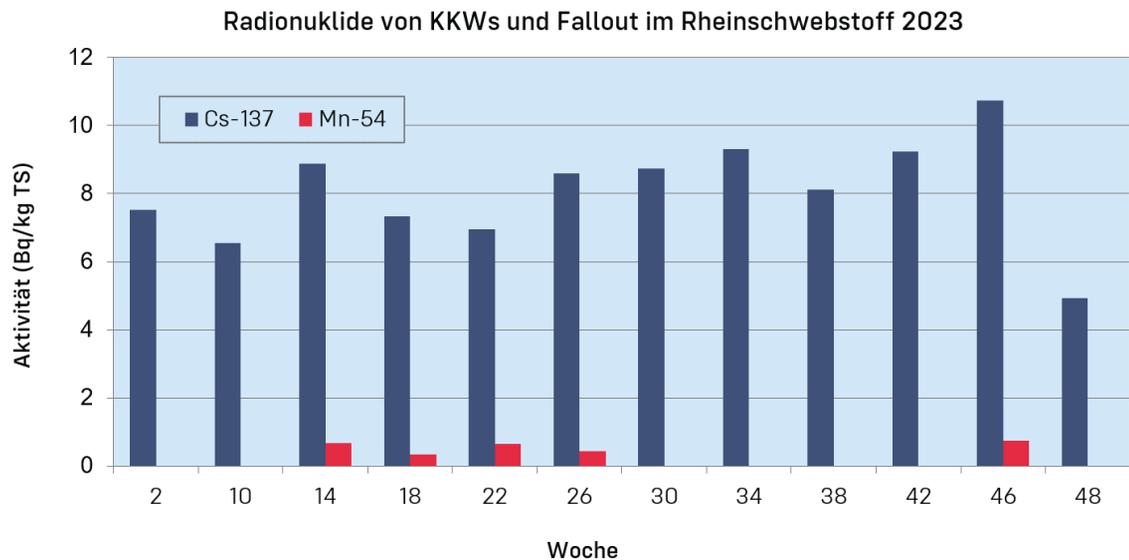


Radionuklide von KKW's und Fallout im Rheinschwebstoff

- Künstliche Radionuklide, wie ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co und ⁶⁵Zn, konnten sporadisch oder gar nicht im Rheinschwebstoff nachgewiesen werden. Diese Nuklide sind Korrosions- bzw. Aktivierungsprodukte aus den Kühlkreisläufen der Schweizerischen AKWs.
- Radiocäsium stammt vorwiegend von Fallout (Tschernobyl und Bombenfallout). Es gelangt durch die Abschwemmungen von Ackerböden in den Rhein.

Mittlere Aktivitäten von Radionukliden aus AKWs und Fallout

Nuklid	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	¹³⁷ Cs
Mittlere Aktivität (Bq/kg)	0.8 ± 0.4	-	-	10.7 ± 1.1
Anzahl Positivbefunde	5	0	0	12
Befreiungsgrenze LL (Bq/kg)	100	100	100	100



Natürliche Radionuklide

- Das natürliche Nuklid ^{40}K ist aufgrund des hohen Tonmineralienanteils des Rheinschwebstoffes dominant vertreten. In ähnlich hoher Aktivität liegt auch ^7Be vor. Dieses Nuklid stammt aus der Atmosphäre und hat eine relativ kurze Halbwertszeit. Die gemessenen Aktivitäten von ^7Be belegen, dass die untersuchten Schwebstoffe neueren Ursprungs sind.
- Die Aktivitäten der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium waren erwartungsgemäss relativ konstant. Sie liegen alle unterhalb der NORM-Befreiungsgrenzen.

Mittlere Aktivitäten von Radionukliden aus AKWs und Fallout

Nuklid	^{40}K	^7Be	^{228}Th	^{210}Po	^{235}U
Mittlere Aktivität (Bq/kg)	408 ± 36	484 ± 220	88 ± 30	91 ± 34	<10
Anzahl Positivbefunde	12	12	11	12	0

Massnahmen

Für die Bevölkerung und Umwelt waren keine Massnahmen notwendig.

Schlussfolgerungen

Das Monitoring-Programm wird 2024 gemäss Vorgaben des Bundes fortgesetzt.