

Zeitschrift: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

Band: - (2021)

Rubrik: Industries et hôpitaux = Industrien und Spitäler

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

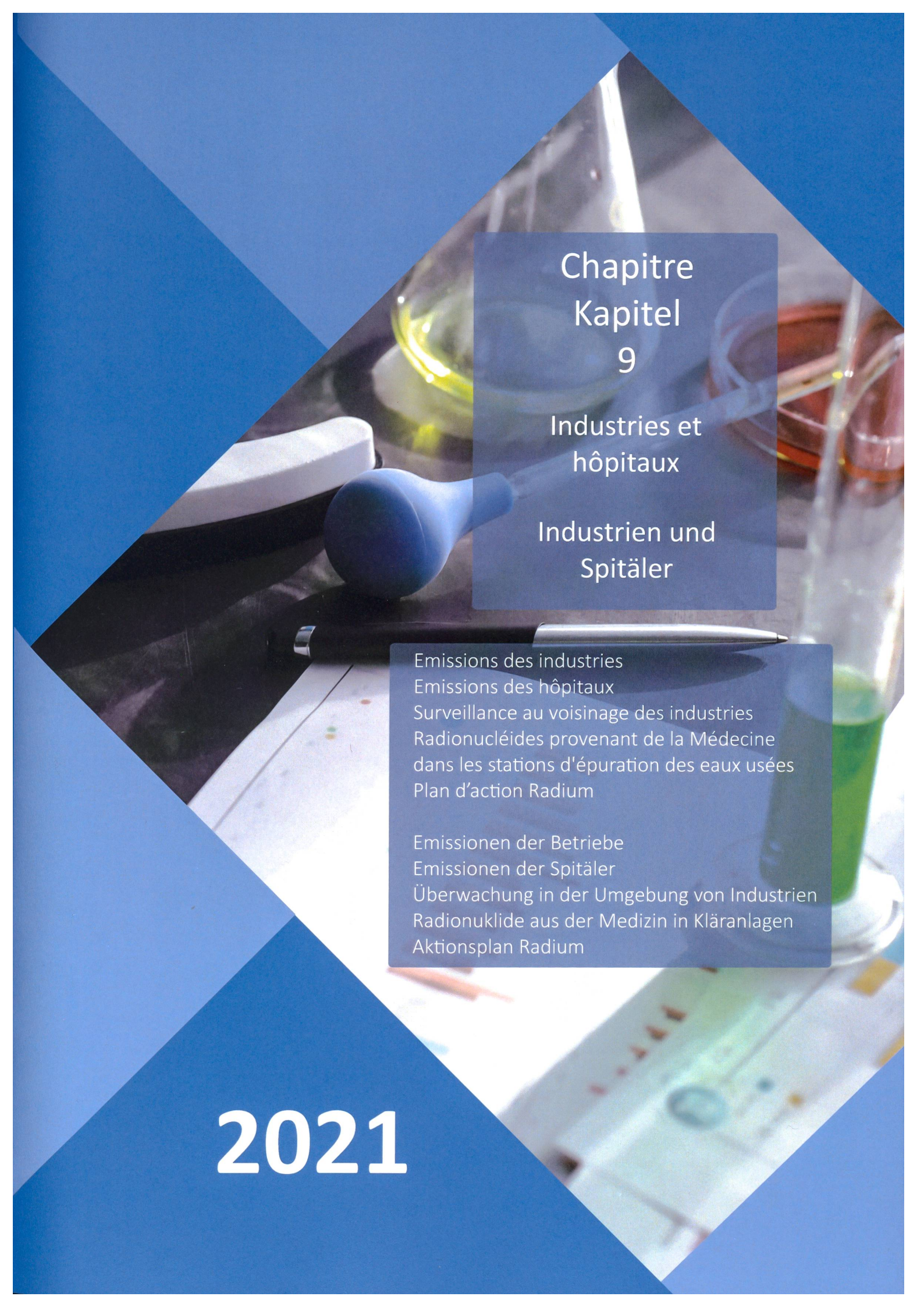
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Chapitre
Kapitel
9

Industries et
hôpitaux

Industrien und
Spitäler

Emissions des industries
Emissions des hôpitaux
Surveillance au voisinage des industries
Radionucléides provenant de la Médecine
dans les stations d'épuration des eaux usées
Plan d'action Radium

Emissionen der Betriebe
Emissionen der Spitäler
Überwachung in der Umgebung von Industrien
Radionuklide aus der Medizin in Kläranlagen
Aktionsplan Radium

2021

9.1

Emissionen der Betriebe

Flavia Danini Fischer

Suva, Abteilung Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz,
Bereich Chemie, Physik & Ergonomie/Strahlenschutz, Luzern

Zusammenfassung

Der Einkauf von radioaktiven Stoffen sowohl in den Produktionsbetrieben wie auch in den Forschungsbetrieben variiert im Allgemeinen stark je nach Auftragslage und Forschungsschwerpunkt. Dies trifft insbesondere für den Einsatz von mit ^{14}C markierten Stoffen zu. Sämtliche Abgabelimiten wurden im Berichtsjahr eingehalten.

Überwachte Betriebe

Die Suva betreut als Aufsichtsbehörde folgende Betriebe, die mit offenen radioaktiven Stoffen arbeiten:

Produktionsbetriebe (Total 3 Betriebe)

Radioaktive Stoffe werden benötigt für die Produktion von:

- Radioaktiv markierten Verbindungen für die Forschung (^3H , ^{14}C)
- Kalibrierquellen (^{90}Sr , ^{147}Pm , ^{204}Tl).
- Tritiumgaslichtquellen (^3H)

Tabelle 1:
Einkauf radioaktiver Stoffe 2011 - 2021.

	Isotope	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	Einheit
Produktionsbetriebe	^3H	12.3	12.11	11.26	12.75	7.31	10.54	5.74	4.07	7.53	15.11	10.03	PBq
	^{14}C	0.19	0.26	0.26	0	0	0.07	0	0.74	0.58	0.19	1.33	TBq
	^{147}Pm	0	0.07	0	0	0	0	0	0	13.03	5.76	0.07	TBq
Forschungsbetriebe	^3H	0.1	7.4	0.2	7.6	7.6	3.8	7.6	0.2	11.4	18.8	11.4	TBq
	^{14}C	10.4	51.1	35.4	21.3	17.1	41.3	53.9	158.9	76.0	192.6	200.6	GBq
	^{32}P	0.2	0.3	0.3	0.3	0.9	0.5	0.9	0.9	1.4	1.0	1.4	GBq
	^{35}S	0.2	0	0	0	1.4	1.4	2.4	2.4	3.7	2.0	0.8	GBq
	^{51}Cr	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0	0	0	0	GBq
	^{125}I	0.1	0	0.2	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1	14.1	12.1	15.7	GBq
Analytische Laboratorien	^{125}I	0.05	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	GBq

Forschungsbetriebe (Total 36 Betriebe)

Es sind dies Unternehmungen der chemischen Industrie, die unter anderem Stoffwechseluntersuchungen mit radioaktiv markierten Stoffen durchführen.

Medizinisch-analytische Laboratorien (Total 5 Betriebe)

Für Hormonbestimmungen werden sogenannte Radioimmunoassay Kits (Ria-Kits) mit ^{125}I eingesetzt.

In Tabelle 1 sind bei der Sparte der Produktionsbetriebe auch die für den Handel eingekauften radioaktiven Stoffe aufgeführt (^{147}Pm).

Resultate

Im Berichtsjahr 2021 haben sämtliche Betriebe die Abgabelimite eingehalten. In den Tabellen 2a und 2b sind die Jahresabgabewerte der Basler Chemie an die Abluft und das Abwasser mit den entsprechenden Abgabelimite zusammengefasst. Der Synthesebetrieb bei Novartis wurde im Verlauf von 2016 eingestellt. Dies führte dazu, dass in diesem Betrieb keine Abgaben an die Abluft mehr gemessen wurden. Tabelle 3 gibt die Aktivitätsmengen an, die gemäss Art. 116 der Strahlenschutzverordnung (StSV) in einem Ofen mit Zustimmung des BAG verbrannt wurden.

Die Tritium-Abgaben der drei Produktionsbetriebe, sowie die Tritium-Messungen in der Umgebung der Firma RC Tritec AG sind in den Figuren 1a, 1b, 1c und 1d graphisch dargestellt. Der erhöhte Abgabewert von 2010 ans Abwasser bei RC Tritec AG ist zurückzuführen auf die Umbauarbeiten in den Labors, welche in diesem Jahr stattgefunden haben. Die damals bei der Dekontamination angefallenen wässrigen radioaktiven Flüssigkeiten wurden unter Einhaltung der in der Bewilligung festgehaltenen Abgabelimite ins Abwasser abgeleitet.

Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft. Die Proben der Umgebungsüberwachung werden von der Suva analysiert. In Tabelle 4 sind die bewilligten Jahresabgabelimite der drei Produktionsbetriebe zusammengefasst.

Tabelle 2a :

Abgabe radioaktiver Stoffe an die Abluft während des Jahres 2021 (GBq).

	Abgaben an die Abluft (GBq)		Abgabelimite (GBq)	
	^3H	^{14}C	^3H	^{14}C
Hoffmann-La Roche AG	55.4 (org.) 0 (Gas)	3.2	120 (org.) 2'000 (Gas)	80
Novartis Pharma AG	0 (org.) 0 (Gas)	0	500 (org.) 4'000 (Gas)	60

Tabelle 2b :

Abgabe radioaktiver Stoffe an das Abwasser während des Jahres 2021 (GBq).

	Abgaben an das Abwasser (GBq)		Abgabelimite (GBq)	
	^3H	^{14}C	^3H	^{14}C
Hoffmann-La Roche AG	2.0	0.2	80	40
Novartis Pharma AG	0.5	0.0	300	30

Tabelle 3 :

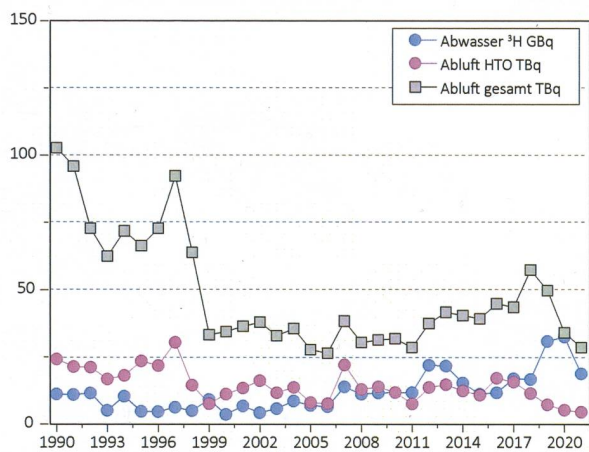
Verbrennung in einem Ofen mit Zustimmung des BAG gemäss StSV, Art. 116 während des Jahres 2021 (GBq).

	^3H (GBq)	^{14}C (GBq)
Veolia Basel	485.1	76.6
KVA St. Gallen	492.8	0
KVS Dottikon	0	2'508
Energie Wasser Bern	26.5	< 0.001

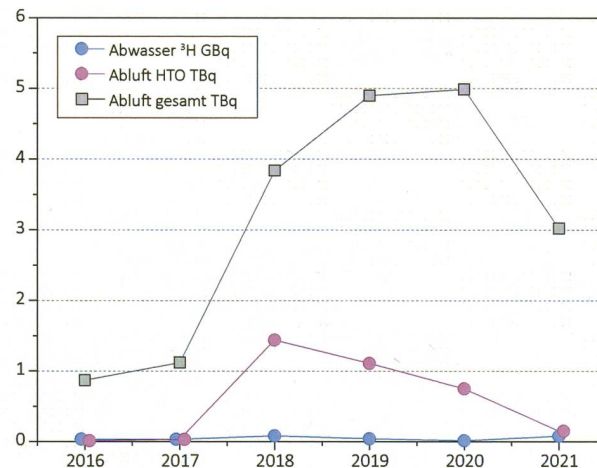
Tabelle 4 :

Jahresabgabelimite der Produktionsbetriebe.

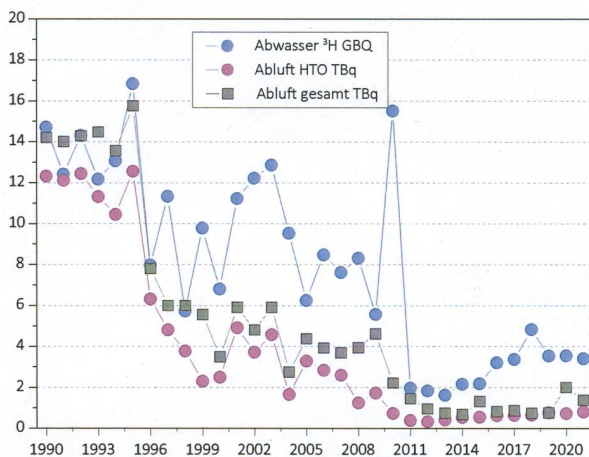
	Abwasser	Abluft	
	^3H	^3H (HT)	^3H (HTO)
MB-Microtec AG, Niederwangen / BE	40 GBq	370 TBq	37 TBq
Smolsys AG, Root / LU	1.3 GBq	40 TBq	4 TBq
RC-Tritec AG, Teufen / AR	20 GBq	7.5 TBq	7.5 TBq



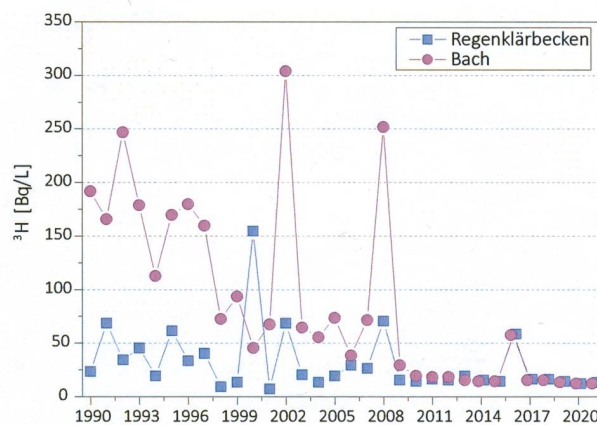
Figur 1a:
Mb-microtec AG, Niederwangen/BE: Jahreswerte der Emissionen.
Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt
und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft.



Figur 1b:
Smolsys AG, Root/LU: Jahreswerte der Emissionen.
Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt
und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft.



Figur 1c:
RC Tritec AG, Teufen/AR: Jahreswerte der Emissionen.
Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt
und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft.



Figur 1d:
RC-Tritec AG, Teufen/AR: Umgebungsüberwachung.
Die Proben der Umgebungsüberwachung werden von der Suva
analysiert.

9.2

Emissionen der Spitäler

R. Linder, N. Stritt, Th. Flury

Sektion Forschungsanlagen und Nuklearmedizin, BAG, Bern

Zusammenfassung

Gegenüber dem vergangenen Jahr hat sich der Verbrauch an Lutetium 177 (^{177}Lu) fast verdoppelt. Dies ist offensichtlich auf einen weiteren Anstieg der ^{177}Lu PSMA Therapie, welche zur Behandlung von Patienten mit Prostatakarzinom eingesetzt wird, zurückzuführen. Möglicherweise sind die therapeutischen Anwendungen ebenfalls aufgrund von Pandemie-Effekten gegenüber 2020 wieder angestiegen. Dies würde den Anstieg bei den Jod 131 (^{131}I) Therapien und den erhohnten Yttrium 90 (^{90}Y) und Holmium 166 (^{166}Ho) Umsatz zur Therapie von Lebermetastasen begründen. Da Patienten zur ^{177}Lu PSMA- und Radioiod- Therapie stationiert werden müssen, steigt dadurch auch die Abgabe ans Abwasser wieder an. Die Abgabe der zu diagnostischen Zwecken verwendeter Radionuklide wie Technetium 99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) oder Fluor 18 (^{18}F) ans Abwasser unterliegt keiner systematischen Kontrolle, da die Immissionsgrenzwerte für diese kurzlebigen Radionuklide unter den gegebenen Umständen nicht überschritten werden können.

Ausgangslage

Spitäler und Institute, die offene radioaktive Quellen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken am Menschen applizieren sind verpflichtet, den Umsatz, den Zweck der Applikation, sowie die Abgabemenge kontaminierter Abwässer an die Umwelt der Aufsichtsbehörde BAG jährlich zu melden. Die gemeldeten Daten werden durch das BAG ausgewertet und dienen später zur Festlegung von Aufsichtsschwerpunkten.

Therapeutische Anwendung von Radionukliden

^{131}I , das zur Schilddrusentherapie verwendet wird, kann den Patienten bis zu einer Aktivität von 200 MBq ambulant verabreicht werden. Bei höheren Aktivitäten werden die Patienten mindestens für die

ersten 48 Stunden in speziellen Therapiezimmern isoliert und dürfen erst entlassen werden, wenn eine Dosisleistung von $10\ \mu\text{Sv/h}$ in einem Abstand von 1 m zum Patienten unterschritten wird. Bei Therapien mit ^{177}Lu (neuroendokrine Tumore und PSMA) müssen Patienten bis zu ihrer Entlassung mindestens 48 Stunden hospitalisiert werden. Die Ausscheidungen der hospitalisierten Therapiepatienten werden in speziell dafür vorgesehenen Abwasserkontrollanlagen gesammelt und erst nach dem Abklingen unterhalb der bewilligten Abgabelimite an die Umwelt (Abwasser) abgegeben.

Andere Radionuklide wie zum Beispiel ^{90}Y , ^{166}Ho oder ^{223}Ra werden bei Patienten mit einer Tumorerkrankung zur Therapie verwendet sowie bei rheumatischen Erkrankungen zur Entzündungshemmung und Schmerzlinderung in Gelenke appliziert. Die Applikation erfolgt dabei in der Regel ambulant, so dass die Patienten nach der therapeutischen Behandlung aus dem Spital entlassen werden können.

Abgabe radioaktiver Stoffe ans Abwasser

Die für einen Betrieb bewilligte Abgabeaktivität radioaktiver Stoffe ans Abwasser richtet sich nach Art. 24 Abs. 2 der Strahlenschutzverordnung. Danach darf die Aktivitätskonzentrationen in öffentlich zugänglichen Gewässern im Wochenmittel die in Anhang 7 StSV festgelegten Immissionsgrenzwerte für Gewässer (IG_{GW}) nicht überschreiten.

Die in der Praxis durch das BAG bewilligte Abgabelimite für ^{131}I beruht auf den Angaben bezüglich der gesamten Abwassermenge des jeweiligen Betriebs und der zusätzlichen Verdünnung in der Abwasserkläranlage. Die Einhaltung der oben erwähnten Abgabelimite gewährleistet, dass die geltenden Immissionsgrenzwerte in öffentlichen Gewässern zu keiner Zeit überschritten werden. Werden andere Nuklide als ^{131}I über die Abwasserkontrollanlage

Tabelle 1:

Applikationen radioaktiver Stoffe zu therapeutischen Zwecken 2021 in MBq.

	Spital	^{131}I amb.	^{131}I stat.	^{186}Re	^{169}Er	^{90}Y	^{177}Lu	^{223}Ra	^{166}Ho
AG-40.2	Kantonsspital Aarau AG			74		2'570		169	
AG-579.2	Kantonsspital Baden AG		62'457	302		6'325	224'600	21	
BE-32.2	Klinik Linde AG	800							
BE-138.2	Klinik Engered							34	
BE-284.12	Inselspital Bern		307'900	228	237	45'800	1'556'000	64	
BL-158.2	Kantonsspital Baselland	805				185			
BL-315.2	Kantonsspital Liestal	413				756		17	
BS-30.2	St. Claraspital Basel					4'757			
BS-350.1	Universitätsspital Basel		273'198	185		10'480	3'453'090	17	102'460
FR-103.2	HFR Hôpital fribourgeois		85'371			607		29	
GE-200.3	Hôp. universitaires de Genève HUG	202	225'641			107657		80	
GE-752.3	Hôpital de la Tour							42	
GE-1633.1	GRGB Santé SA							22	
GR-54.2	Kantonsspital Graubünden	420	80'007		22	3'695		22	
LU-1.2	Hirslanden-Klinik St. Anna		165'576		74	1'120	1'984'838	69	
LU-527.11	Luzerner Kantonsspital LUKS		94'548		0	56'419		102	
NE-169.6	Hôpital Neuchâtelois	2'095						17	
SG-195.3	Kantonsspital St. Gallen		217'056	74	37	3'150	1'035'130	167	
SO-29.6	Bürgerspital Solothurn					370			
TG-46.2	Spital Thurgau Münsterlingen		31'697	185		398		61	
TI-453.6	Ospedale Regionale Bellinzona	1'600	106'490	74	70	18'900	244'200	173	
TI-482.4	Ospedale Civico	3'000		74	74	1'665			
VD-129.2	Clinique de la Source	2'339						26	
VD-832.14	CHUV Lausanne	926	162'863	77		816'359	1'954'028	36	
VS-125.1	RSV Hôpital du Valais		48'960						
ZH-117.2	Klinik Hirslanden	312				428'710		64	
ZH-348.7	Universitätsspital Zürich		131'385	444	37	63'245	339'514		
ZH-352.3	Kantonsspital Winterthur	1'000	178'650	591		46'053		149	
ZH-1171.13	Stadtspital Triemli	7'400	275'476			18'030		162	
ZH-4221.1.1	Schildrüsen-Praxis Zürich	340							
	Gesamte Schweiz 2021	21'652	2'447'275	2'308	551	1'637'251	10'791'400	1'544	102'460

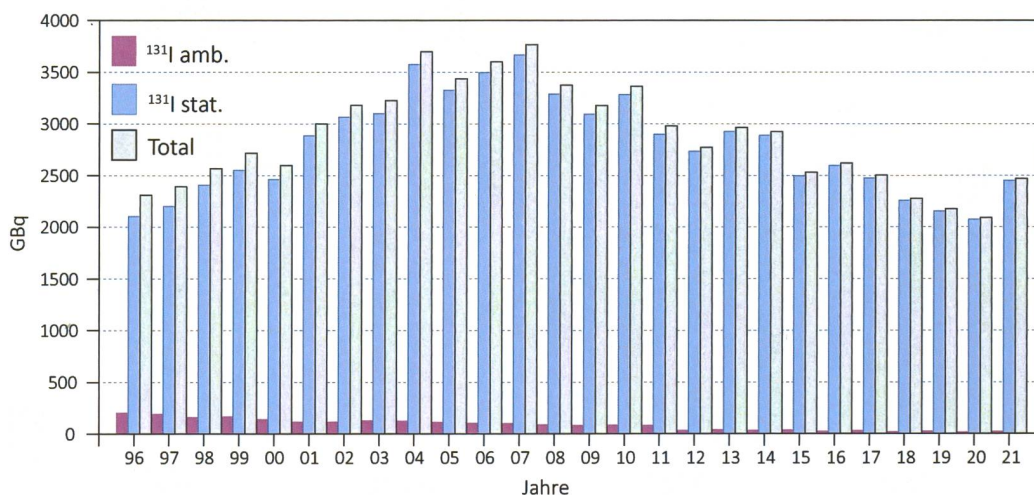
an die Umwelt abgegeben (^{177}Lu), wird dieser Anteil in ^{131}I Äquivalente umgerechnet und in die Abgabeaktivität mit einbezogen (46 Bq ^{177}Lu entsprechen 1 Bq ^{131}I Äquivalent). Die Spitäler sind verpflichtet,

die Abgaben radioaktiver Abwässer so gering wie möglich zu halten und dazu laufend organisatorische und technische Optimierungsmassnahmen vorzunehmen.

Tabelle 2:

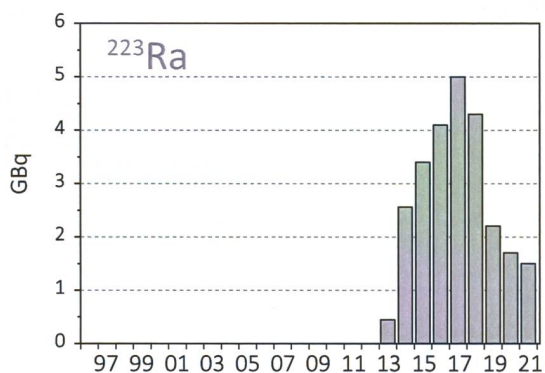
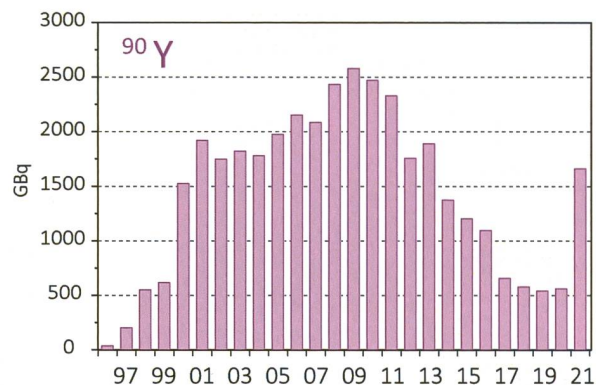
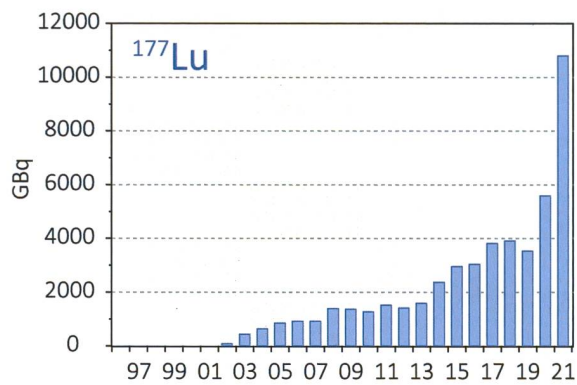
Abgabe von ^{131}I und ^{177}Lu aus Abwasserkontrollanlagen ans Abwasser 2021 in MBq ^{131}I Äquivalent.

Abgabe MBq/ Monat Nuklearmedizin	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total 2020
Kantonsspital Graubünden	0.35	0.96	2.04	12.28	2.99	0.33	1.65	20.21	12.99	8.76	5.51	0.42	68.5
Osp. Regionale Bellinzona		1.75	2.87	0.70	0.90	0.86	2.34			0.90		0.57	10.9
Kantonsspital St. Gallen	59.95	212.29	64.23	63.34	9.74	27.43	0.84	12.47	27.52	37.12	53.12		568.1
Stadtspital Triemli	1.60	1.10		0.90	1.60	3.10	1.00	2.30	1.50		2.20	1.90	17.2
HFR Hôpital fribourgeois	0.60		8.70			0.20			0.90		14.30		24.7
Hôp. Uni. de Genève HUG	9.00		72.00	15.00		1.00	81.00	19.00		24.00	49.00		270.0
RSV Hôpital du Valais	1.74				0.18		0.24		7.58			2.17	11.9
Kantonsspital Baden AG	3.66	6.90	11.32	5.89	6.65	0.16	0.57	0.37	18.40		11.59		65.5
CHUV Lausanne	0.43	1.69	2.22	32.72	5.58	5.16	37.50	11.37	12.32	15.11	7.71	1.52	133.3
Universitätsspital Basel	415.46	233.74	297.64	305.22	309.98	535.98	445.18	457.28	346.15	288.74	454.13	205.94	4295.4
Kantonsspital Winterthur		1.52	3.47	4.35	5.00	8.50	10.90	3.28	3.10	8.10	6.20	8.70	63.1
Universitätsspital Zürich		71.70		1.72	52.90		25.80			0.27	0.21		152.6
Hirslanden-Klinik St. Anna		6.11	0.57	12.48		0.55	17.33	11.06	3.80	8.75	8.39	6.20	75.2
Luzerner Kantonsspital LUKS				0.50		5.00			20.80		5.80		32.1
Insel Bern	6.87	32.31	3.67	4.26	2.12	7.46	19.10	25.02	8.07	18.40	0.45	7.16	134.9
Gesamte Schweiz 2021 MBq												5'923.5	

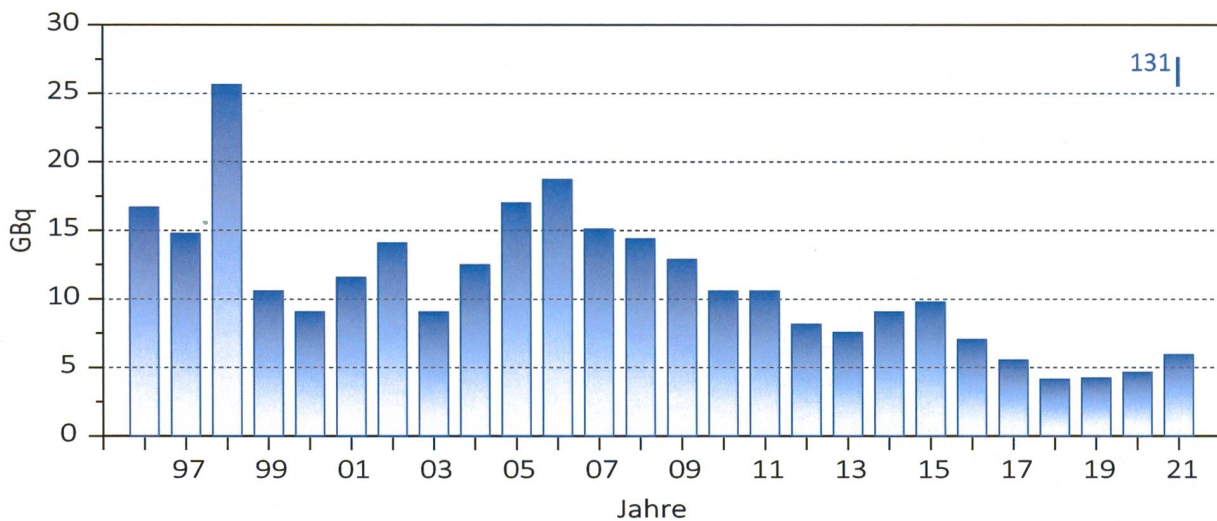


Figur 1:

Umsatz an ^{131}I und ^{177}Lu zu therapeutischen Zwecken in GBq ^{131}I Äquivalent.



Figur 2:
Umsatz weiterer Therapie-Nuklide in GBq.



Figur 3:
Abgabe von ¹³¹I ans Abwasser in der Schweiz in GBq.

9.3

Surveillance de la radioactivité au voisinage des industries, stations d'épuration et usines d'incinération des déchets

S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, D. Lienhard, M. Müller, P. Steinmann
Section Radioactivité de l'environnement URA / OFSP Berne

A. Pregler

Kantonaies Labor Basel-Stadt, Basel

M. Brennwald, P Rünzi

Eawag, Dübendorf

Résumé

Les résultats de la surveillance effectuée en 2021 au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium ont montré un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide, à proximité immédiate de ces entreprises, en particulier à Niederwangen. Toutefois les valeurs mesurées en 2021 comptent parmi les plus faibles enregistrées au cours des 15 dernières années. Les doses supplémentaires occasionnées pour la population avoisinante sont ainsi restées faibles.

La surveillance de la radioactivité dans les eaux des stations d'épuration, les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération et les eaux de percolation des décharges a été poursuivie comme par le passé. Aucune valeur anormale n'a été enregistrée en 2021.

Introduction

Tout comme les installations nucléaires, les entreprises qui utilisent des substances radioactives et qui disposent d'une autorisation réglementant leurs rejets dans l'environnement font l'objet d'une surveillance particulière, mise en place par la SUVA (autorité de surveillance pour les industries) et l'OFSP. Ces programmes spécifiques commencent au terme source, par la surveillance des rejets: les exploitants sont en effet tenus de mesurer le bilan de leurs émissions et de le communiquer chaque mois aux autorités. La SUVA vérifie ces déclarations par le biais de mesures de contrôle.

La surveillance se poursuit par la mesure des immisions de ces entreprises, à savoir des concentrations radioactives effectivement présentes dans l'environnement dans leur voisinage.

L'OFSP coordonne également un programme spécifique de prélèvements et de mesures des eaux des stations d'épuration ainsi que des eaux de lavage des fumées des usines d'incinération des déchets. La surveillance des stations d'épuration permet d'évaluer les rejets de certaines substances radioactives dans l'environnement par les industries et les hôpitaux. Celle des usines d'incinération vise à s'assurer, autant que possible, qu'aucun déchet radioactif ne soit accidentellement ou intentionnellement éliminé par le circuit des ordures conventionnelles.

A noter que de nombreuses usines d'incinération sont équipées de portique de détection (émetteurs gamma) pour prévenir toute incinération de déchets contaminés par des substances radioactives. Avec l'entrée en vigueur de la nouvelle ORaP en 2018, les usines d'incinération sont tenues de contrôler, selon une procédure adéquate, l'éventuelle présence d'émetteurs gamma dans les déchets avant leur incinération. Si l'installation systématique de ces portiques de détection permet de couvrir ces exigences, elle n'empêchera pas l'incinération accidentelle de ^3H , un émetteur bêta pur qui ne peut être décelé par ces portiques.

Voisinage des entreprises utilisatrices de Tritium ^3H

Certaines industries ont recours au tritium pour la fabrication de sources lumineuses au gaz de tritium ou pour la production de marqueurs radioactifs au tritium pour la recherche. C'est le cas des entreprises mb microtec à Niederwangen/BE, de RC Tritec à Teufen/AR et de Smolsys AG à Root/LU. Les émissions de ces entreprises sont détaillées au chapitre 9.1. Dans le cadre de la surveillance radiologique de l'environnement dans leur voisinage, l'OFSP collecte des échantillons de précipitations à Teufen/AR ainsi qu'en 4 endroits distincts à Niederwangen/BE. La concentration en tritium des échantillons de Teufen et celle des précipitations de Niederwangen sont analysées tous les 15 jours.

Tableau 1 :

Tritium dans les précipitations au voisinage des entreprises utilisatrices de ^3H en 2021.

*A Niederwangen, 21 échantillons ont été mesurés pour chaque station en 2021. En effet, en raison du manque de précipitation, il n'y a pas eu d'échantillons entre le 16.02 et 12.3, entre le 15 et le 27.4, entre le 26.08 et 09.09, ni entre le 07.10 et le 19.10.

Lieu	Valeur min/max (Bq/l)	Mediane/moyenne (Bq/l)
Teufen/AR 65 m E Firma RCT	13 - 54	34 / 35
Niederwangen/BE*		
Bauernhaus 300 m SE de l'entreprise	11 - 189	39 / 51
Garage 200 m SW de l'entreprise	11 - 121	21 / 30
Gemeinde Kőniz 180 m NNW de l'entreprise	20 - 549	50 / 77
Firma Schär 320 m NE de l'entreprise	54 - 776	330 / 365

Les résultats 2021 sont résumés dans le tableau 1. A titre de comparaison, notons que les concentrations mensuelles de tritium mesurées dans les précipitations de la station de référence de Posieux sont restées, en 2021, inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l.

Comme par le passé, la surveillance mise en œuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium a révélé un marquage significatif de l'environnement (précipitations,

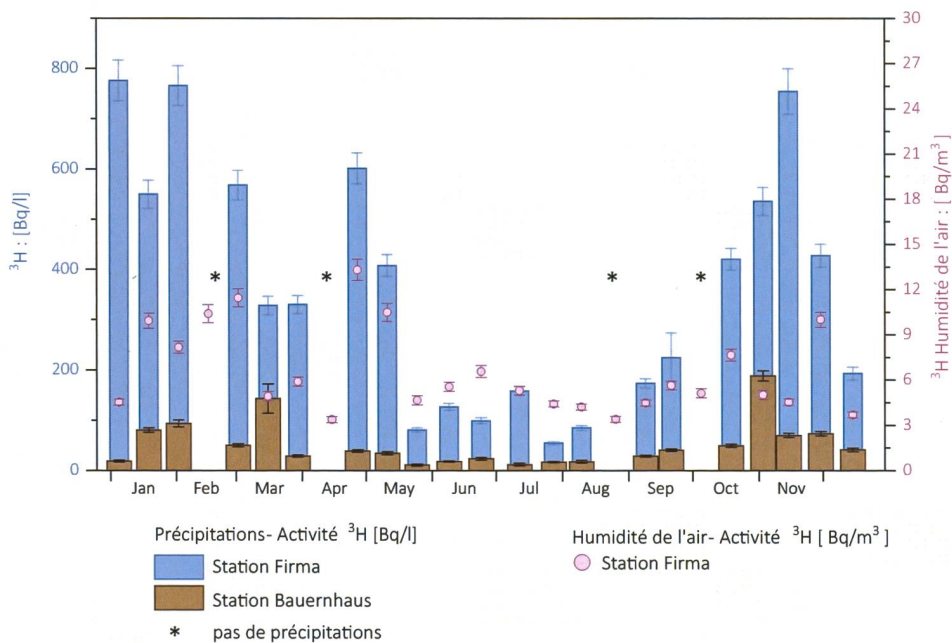


Figure 1 :

Concentrations de tritium [Bq/l] enregistrées en 2021 dans les précipitations des stations de collecte «Bauernhaus» (située à 300 m au sud est de l'entreprise) et «Firma» (située à 320 m au nord est de l'entreprise) et concentration de tritium dans l'humidité de l'air [Bq/m³] à la station de «Firma»; précipitations en mm - station «Firma»

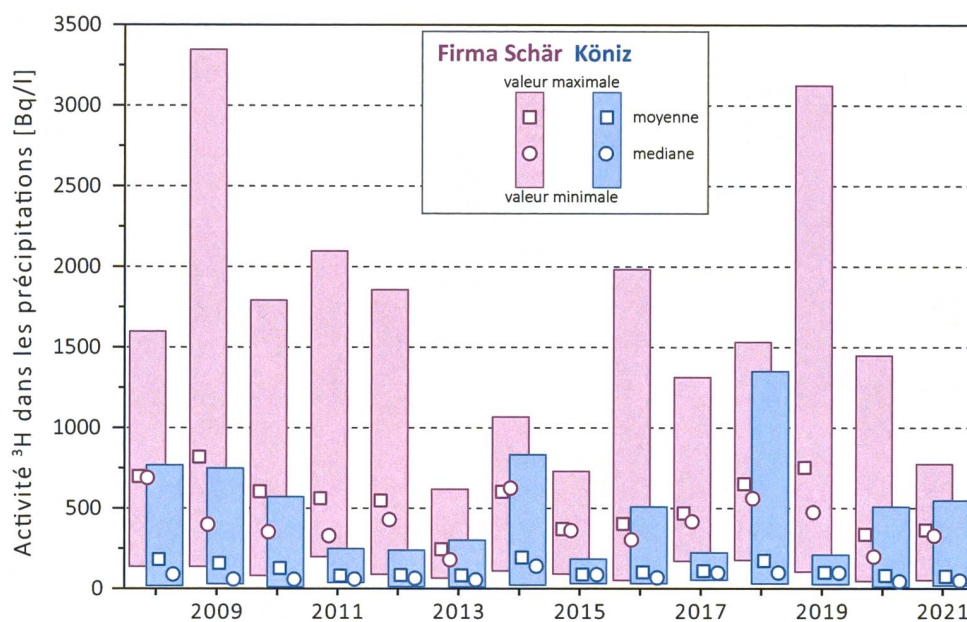


Figure 2 :

Valeurs moyennes et médianes annuelles des concentrations de tritium mesurées dans les précipitations aux stations de Firma et Köniz à Niederwangen entre 2008 et 2021.

denrées alimentaires) à proximité immédiate de ces entreprises, en particulier de mb microtec à Niederwangen. En comparant les concentrations dans la pluie à la station Firma des années 2018/2019 avec celles des années 2020/2021, on constate une baisse significative (env. 50%). Les améliorations techniques mises en oeuvre par l'entreprise depuis 2020 pour réduire ses émissions sont principalement à l'origine de la diminution des concentrations de tritium mesurées dans les précipitations. La figure 1a du chapitre 9.1 montre en effet que les émissions de tritium dans l'air par l'entreprise ont encore diminué en 2021 par rapport à 2020 et comptent parmi les plus basses des 20 dernières années. La nette diminution des concentrations de tritium dans l'environnement constatée l'an dernier par rapport aux années précédentes, s'est ainsi confirmée en 2021, avec une valeur maximale de 780 Bq/l mesurée à la station «Firma». Elle correspond à 3.9% de la valeur limite d'immissions fixée à 20'000 Bq/l pour ce radionucléide dans l'ORaP pour les eaux accessibles au public. Ces valeurs sont parmi les plus basses enregistrées depuis 2008 (voir figure 2). Toutefois, les concentrations de ^3H mesurées en un point dans l'environnement (immissions) ne dépendent pas uniquement des émissions, mais également de la dispersion des rejets dans l'environnement, et donc des conditions météorologiques (direction des vents, quantité de précipitations, etc). Les résultats des mesures des immissions en un point donné ne sont donc pas directement proportionnelles aux émissions de l'entreprise. Des variations locales importantes peuvent ainsi être observées en fonc-

tion des conditions météorologiques dominantes au cours de la période de collecte. Dans ce contexte, on pourra comparer les résultats de la figure 1 du présent chapitre (station Firma) à ceux de la figure 2 du chapitre 4.6. Si les concentrations de tritium mesurées dans les précipitations de Niederwangen par l'université de Berne sont globalement très comparables à celles obtenues par l'OFSP à la station «Firma», des différences assez significatives peuvent être observées pour certaines valeurs bimensuelles, alors que la station de collecte des précipitations de l'Université de Berne n'est située qu'à une centaine de mètres de la station «Firma». Les concentrations annuelles moyennes de ^3H mesurées à la station Firma (Figure 2) reflètent ainsi davantage l'évolution des émissions de l'entreprise que les valeurs bimensuelles.

A Niederwangen, l'activité du ^3H dans l'humidité de l'air est également mesurée deux fois par mois (Fig. 1). Une nouvelle méthode d'échantillonnage a été mise en place pour la surveillance du tritium dans l'humidité de l'air en 2020: ainsi l'ancien barboteur a été définitivement remplacé par un piègeur passif (filtre moléculaire). Les valeurs obtenues en 2021 se sont échelonnées entre 3.4 et 13.3 Bq/m³ avec une valeur moyenne de 6.5 Bq/m³; ces valeurs sont comparables à celles de 2020.

Les concentrations de tritium mesurées dans les distillats des 12 échantillons de fruits et légumes (pommes, poires, pruneaux, rhubarbe et courgettes) prélevés fin août 2021 par le canton de Berne à

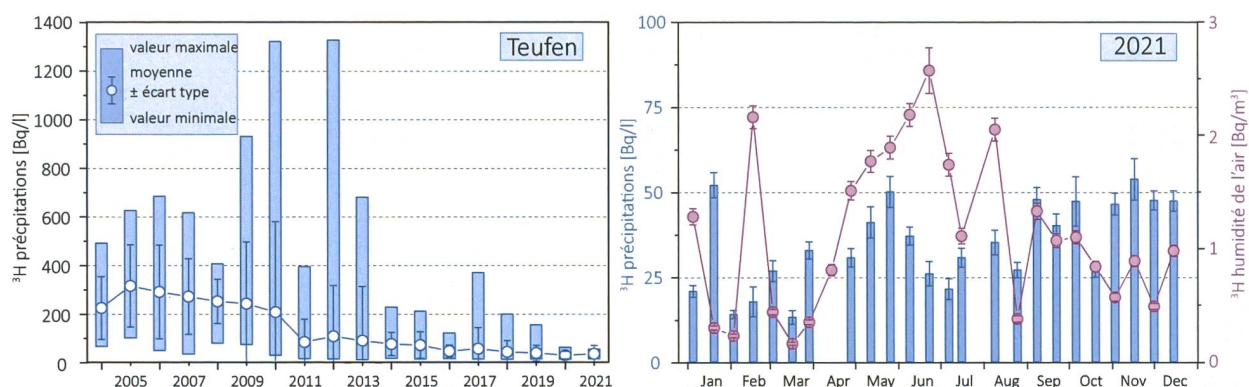


Figure 3 : Concentrations du tritium mesurées dans les précipitations [Bq/l] et dans l'humidité de l'air [Bq/m³] de Teufen/AR de 2004 à 2021.

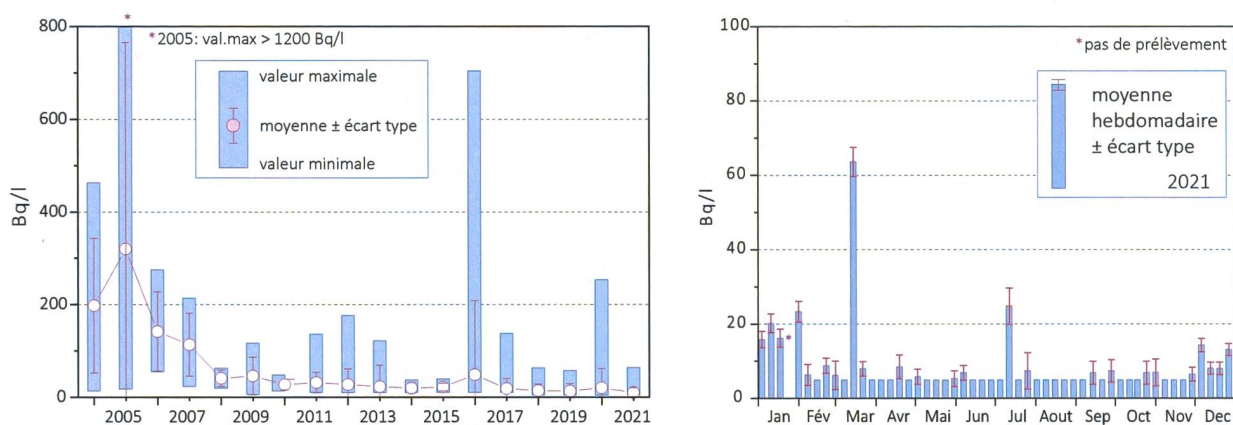


Figure 4 : Concentrations du tritium mesurées dans les eaux de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds entre 2004 et 2021.

Tableau 2 :

Tritium (³H) et ¹³¹I dans les eaux de rejet des usines d'incinération et des stations d'épuration (STEP) en 2021.

Ville	Laboratoire	Isotope	Nombre	Valeur min/max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
STEP Bâle	KL-BS	¹³¹ I	53	< 0.06 - 0.69	0.21	0.24
		³ H	53	< 2.0 - 56.0	< 4.0	< 5.0
Incineration Bâle	KL-BS	¹³¹ I	53	0.08 - 3.0	0.55	-
		³ H	53	7.7 - 16'745	141	760
STEP Berne	Labor Spiez	¹³¹ I	52	< 0.1 - 0.13	-	-
	URA/OFSP	³ H	12	< 5.0 - 17.0	-	-
Incineration Bienne	URA/OFSP	³ H	52	< 5.0 - 18.0	-	-
STEP La Chaux-de-Fonds	URA/OFSP	³ H	51	< 5.0 - 64.0	-	-
STEP Lausanne	IRA	¹³¹ I	49	< 0.5	-	-
		³ H	12	< 2.0 - 2.2	-	-
STEP Zürich	EAWAG	¹³¹ I	52	< 0.1 - 0.30	-	-
	URA/OFSP	³ H	12	< 5.0	-	-

proximité de l'entreprise se sont échelonnées entre 3 et 140 Bq/l, avec une valeur médiane de 40 Bq/l. Dans les distillats des 3 échantillons de lait frais, les concentrations en tritium étaient de l'ordre de 10 Bq/l (9.7 - 10.2 Bq/l). Ces résultats confirment la baisse des niveaux de tritium dans l'environnement depuis 2020. Ainsi, après l'augmentation des valeurs enregistrée dans les denrées alimentaires en 2017 (jusqu'à 660 Bq/l), et dans une moindre mesure en 2018 - 2019 (env. 330 - 370 Bq/l), les concentrations de tritium mesurées en 2021 dans les produits agricoles sont à nouveau similaires à celles enregistrées au cours de la période 2008 - 2016.

La figure 3 montre le suivi des concentrations de ^3H enregistrées dans les précipitations collectées à 65 m à l'est de la cheminée de la firme RC Tritec à Teufen et mesurées par l'OFSP au cours des 12 dernières années. On constate généralement une bonne corrélation entre les concentrations annuelles moyennes de ^3H mesurées dans les précipitations et les émissions de tritium dans l'air par l'entreprise (voir Figure 1c, Chap. 9.1). Un piègeur passif à filtre moléculaire pour la mesure du ^3H dans l'humidité de l'air a également été installé au voisinage de l'entreprise fin 2020, et les résultats des mesures 2021 sont représentées sur la figure 3b. Avec une valeur moyenne de 1.1 Bq/m³, les activités du tritium dans l'humidité de l'air sont, comme attendu, restées faibles.

Notons finalement que l'OFSP et la SUVA ont initié en début octobre 2021 un programme de surveillance du tritium dans les précipitations et l'humidité de l'air au voisinage de l'entreprise Smolsys située à Root dans le canton de Lucerne, celle-ci disposant également d'une autorisation de rejet de tritium dans l'environnement. Les résultats pour l'année

2021 ne sont que très parcellaires, mais indiquent un faible marquage de l'environnement, avec des concentrations de ^3H s'échelonnant entre < 5 et 16 Bq/l dans les précipitations et entre 0.1 et 0.6 Bq/m³ dans l'humidité de l'air.

Stations d'épuration (STEP) et eaux de lavage des fumées des usines d'incinération

Plusieurs laboratoires analysent les eaux des stations d'épuration des agglomérations de Zürich, Bâle, Berne, Lausanne et La Chaux-de-Fonds ainsi que les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération de Bâle-Ville, de Berne, Bienne et Zürich afin de déceler d'éventuelles éliminations de ^3H ou de ^{131}I dans l'environnement. Les résultats de ces mesures sont résumés dans le tableau 2 pour l'année 2021.

Le laboratoire cantonal de Bâle-Ville mesure depuis des années le tritium dans les échantillons hebdomadaires d'eaux de lavage des fumées de l'usine de Valorisation Thermique des Déchets de Bâle (UVDT/lwB). Des pics de concentration journalière de ^3H dépassant les 100'000 Bq/l durant un à deux jours avaient été régulièrement observés par le passé, notamment en 2003 - 2005 ainsi qu'en 2014 - 2015. Malgré les recherches menées par la SUVA en collaboration avec l'OFSP et le laboratoire cantonal de Bâle-Ville, leur origine n'avait malheureusement toujours pas pu être éclaircie. En janvier 2019, le laboratoire cantonal de Bâle-Ville avait mesuré une concentration particulièrement élevée de tritium (833'000 Bq/l) dans un échantillon hebdomadaire. Sur la base de ces résultats, l'activité totale incinérée

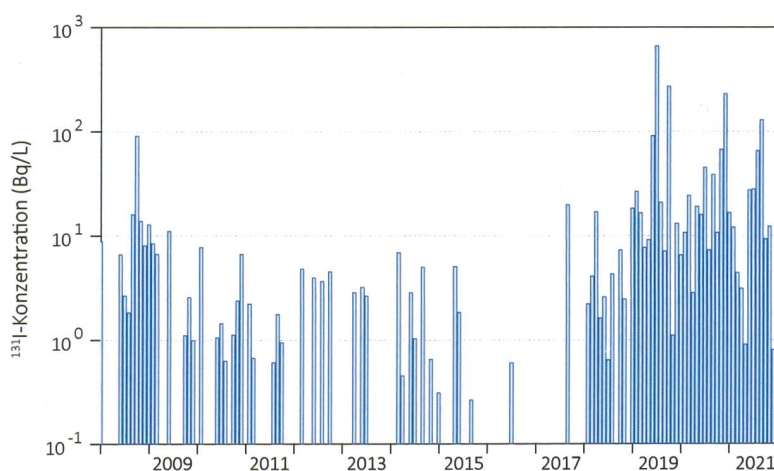


Figure 5 : Concentrations de ^{131}I (Bq/l) enregistrées dans les eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Hagenholz de 2008 à 2021 (prélèvement et analyse effectués par l'EAWAG).

Tableau 3 :

Concentrations de ²²⁶Ra dans les eaux de percolation de décharges et dans les eaux souterraines.

Type d'échantillon	Lieu	Date	Remarque	³ H (Bq/l)	²²² Rn (Bq/l)	²²⁶ Ra (mBq/l)
décharges, eaux de percolation	Härkingen (SO)	17.11.2021	non-filtré pour ²²⁶ Ra	34.8 ± 2.2		13.0 ± 1.6
	Tüfentobel (SG)	17.11.2021	non-filtré pour ²²⁶ Ra	< 2.0		3.3 ± 1.0
	Jaberg (BE)	17.11.2021	non-filtré pour ²²⁶ Ra	81.1 ± 4.9		14.5 ± 1.5
eaux souterraines	Pratteln (BL)	13.10.2021	filtré < 0.45 µm	< 5.0		1.1 ± 0.1
	Aarberg (BE)	13.10.2021	filtré < 0.45 µm	< 5.0		1.7 ± 0.2
	Böttstein (AG)	13.10.2021	filtré < 0.45 µm	< 5.0		3.0 ± 0.3
	Schönenwerd (SO)	17.11.2021	filtré < 0.45 µm	< 5.0		2.0 ± 0.2

avait été estimée à env. 700 GBq. Bien que cet incident n'ait pas eu de conséquences pour la santé de la population, le caractère récurrent du phénomène avait conduit l'OFSP a déposé une plainte auprès du ministère public de la confédération en 2020. L'enquête n'a malheureusement pas permis de retrouver l'origine de la source incinérée. En 2021, les valeurs de tritium sont restées inférieures à 17'000 Bq/l dans les échantillons hebdomadaires.

Le tableau 2 montre que les concentrations de ³H dans les échantillons hebdomadaires d'eau de la STEP de Bâle sont généralement restées proches ou inférieures à la limite de détection de 4 Bq/l, mais une valeur plus élevée de 44 Bq/l a été constatée dans la semaine du 26 avril au 3 mai 2021. La valeur moyenne sur l'ensemble de l'année est néanmoins inférieure à 5 Bq/l.

A l'usine d'incinération de Bienne, les concentrations hebdomadaires de tritium pour l'année 2021 sont généralement restées inférieures à la limite de détection de 5 Bq/l, hormis quelques valeurs de l'ordre de 10 à 20 Bq/l.

La figure 4 montre les concentrations de ¹³¹I mesurées entre 2011 et 2021 dans les échantillons d'eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Hagenholz à Zürich par l'EAWAG. Un mélange mensuel d'eaux de lavage est prélevé et mesuré par spectrométrie gamma. A noter qu'il a été constaté fin 2017 qu'un raison d'un manque de coordination ces échantillons avaient été prélevés pendant plusieurs années après le passage d'une cartouche filtrante dans l'installation de traitement de l'usine d'incinération. Ce filtre élimine le charbon actif utilisé dans le traitement des eaux usées et par conséquent probablement les radionucléides présents dans l'eau de lavage, ce qui rend les échantillons correspondants moins pertinents. En 2018, un échantillon a été prélevé avant et après le filtre pendant 6 mois pour vérifier cette hypothèse. Il s'est avéré que le ¹³¹I n'était effectivement présent que dans les échantillons prélevés avant la filtration (données non présentées). Par conséquent, le personnel

d'exploitation de l'usine d'incinération a reçu l'instruction de toujours prélever l'échantillon avant le filtre (c'est-à-dire avec du charbon actif en suspension). Depuis 2019, l'¹³¹I a alors été décelé dans tous les échantillons prélevés, contrairement aux années précédentes. Pour l'année 2021, les concentrations de ¹³¹I se sont situées entre 1 et 130 Bq/l. Des traces sporadiques de ¹³⁷Cs (0.1 - 0.3 Bq/l) ont par ailleurs été décelées dans certains échantillons.

A la STEP de Werdhözli à Zürich, les concentrations mensuelles de tritium sont restées inférieures à 5 Bq/l. Aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a par ailleurs être décelé dans les échantillons hebdomadaires d'eaux prélevés et mesurés par l'EAWAG, à l'exception du ¹³¹I décelé dans 2 échantillons (valeurs de 0.19 Bq/l et 0.3 Bq/l).

Les concentrations de tritium observées à la STEP de la région de La Chaux-de-Fonds sont généralement restées faibles en 2021, avec sporadiquement quelques valeurs supérieures à la limite de détection et une valeur légèrement plus élevée (64 Bq/l) en mars. La figure 4 montre qu'après la nette diminution observée jusqu'en 2008, en corrélation avec la très forte baisse de l'utilisation du ³H dans les ateliers de posage de la région et l'arrêt complet de cette activité en 2008, les concentrations de tritium dans les eaux de la STEP de la Chaux-de-Fonds se sont stabilisées à des niveaux généralement faibles.

A la STEP de Berne, les résultats des mesures du tritium dans les échantillons mensuels d'eaux étaient conformes à ceux enregistrés au cours des années précédentes, à savoir généralement inférieurs à la limite de détection de 5 Bq/l avec quelques valeurs plus élevées (valeur maximale de 17 Bq/l). La SUVA mesure quant à elle le tritium dans les échantillons hebdomadaires d'eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Berne. En 2021, les valeurs se sont échelonnées entre 270 et 9'400 Bq/l et n'ont pas présenté de corrélation avec les activités présentes dans les déchets contenant du tritium déclarées par les entreprises autorisées.

Surveillance des décharges

L'art. 114 de l'ORaP permet, sous certaines conditions, la mise en décharge au cas par cas de déchets radioactifs de faibles activités avec l'accord de l'autorité délivrant les autorisations. Cette possibilité s'applique en particulier aux déchets contenant du ^{226}Ra produits avant l'entrée en vigueur de l'ORaP de 1994.

Toujours selon l'art.114, l'OFSP doit mettre en œuvre une surveillance des décharges dans lesquelles de tels déchets ont été stockés définitivement, pour assurer le respect des limites de doses efficaces autorisées. Cette surveillance est réalisée en mesurant le ^{226}Ra dans les eaux de percolation et/ou les eaux souterraines. Pour garantir le respect des limites de dose prescrites par la législation, il est nécessaire que la limite d'immission dans les eaux soit respectée dans les eaux de percolation de la décharge (voir «Directives Art.114»). La limite d'immission pour le ^{226}Ra dans les eaux est fixée à 580 mBq/l. Les résultats de la surveillance montrent que les concentrations de ^{226}Ra dans les eaux de percolation des décharges dans lesquelles des déchets contenant du ^{226}Ra ont été déposés ces dernières années sont faibles (voir tableau 3) et bien inférieures à la valeur limite d'immission. Les échantillons ont été pour la plupart mesurés sans filtrage ce qui constitue une approche conservative. Une comparaison des échantillons non filtrés et filtrés montre qu'une grande partie du ^{226}Ra est présente sous forme dissoute et pourrait donc être potentiellement lessivée.

En raison de la faible limite de détection requise (de l'ordre de 1 mBq/l) et des difficultés liées à la matrice même des échantillons d'eaux de percolation des décharges, ni la spectrométrie gamma ni la méthode «Disque MnO_2 - adaptée à l'eau potable» ne conviennent pour l'analyse. Les échantillons ont donc été analysés avec une méthode mise au point par l'Institut de Radiophysique (IRA) à Lausanne. Cette méthode comprend l'ajout du traceur ^{229}Th (^{225}Ra) suivi par une séparation chimique, une électrodéposition sur disque d'argent de la fraction Ra et la mesure par spectrométrie alpha sur détecteur PIPS. Les résultats des mesures réalisées par l'IRA à l'aide de cette méthode sont résumés dans le tableau 3.

Conclusions

Les résultats des mesures effectuées en 2021 à proximité des entreprises utilisatrices de tritium ont montré un marquage significatif de l'environnement par ce radionucléide dans leur voisinage immédiat, en particulier à Niederwangen, avec toutefois une nette diminution par rapport aux années précédentes. Des valeurs plus élevées de ^3H ont également été mesurées dans les échantillons de denrées alimentaires prélevés à Niederwangen, mais les doses supplémentaires qui résulteraient de la consommation régulière de tels produits (eaux de pluie et légumes) ne dépasseraient pas 1 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ et ne présentent donc pas de risque pour la santé.

La surveillance de la radioactivité dans les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération, des eaux des stations d'épuration et des eaux de percolation des décharges n'a révélé aucun résultat inhabituel en 2021.

9.4

Messung von Radionukliden aus der Medizin mit NaI-Sonden in Abwasserreinigungsanlagen

P. Steinmann, M. Müller, S. Estier,
Sektion Umweltradioaktivität URA / BAG Bern

Zusammenfassung

Die in der Medizin eingesetzten Radionuklide ^{177}Lu und ^{131}I (Beta/Gammaemitter für Radiotherapie), ^{111}In und $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Gammaemitter für SPECT) sowie ^{18}F und ^{68}Ga (Positron-Emitter für PET) wurden 2021 kontinuierlich mit NaI-Detektoren im Zulauf der Abwasserreinigungsanlagen (ARA) Bern und Giubiasco (Bellinzona) gemessen. Die Nuklide ^{131}I und ^{177}Lu treten nur sporadisch und in tiefen Konzentrationen auf, da sie in den Spitälern in Abklingtanks zurückgehalten werden, bis der Grossteil zerfallen ist. Die sehr kurzlebigen Nuklide $^{99\text{m}}\text{Tc}$ und $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$ erfordern aufgrund des hohen Immissionsgrenzwertes keine Rückhaltung im Spital und sind dementsprechend regelmässig nachweisbar. Die Immissionsgrenzwerte aller Radionuklide sind im Wochenmittel bereits im Zulauf der ARAs eingehalten. Die markantesten Erhöhungen der Dosisleistung entstehen nach Regenereignissen durch das Einschwemmen von Radonfolgeprodukten ins Abwasser. Messungen in ausgewählten ARAs werden weitergeführt, da sie wertvolle zusätzliche Informationen zu den Emissionen der Spitäler geben.

Gammaemittierende Radionuklide in der Medizin

Viele der in der Medizin eingesetzte Radionuklide können mit NaI-Gammaspektrometrie gemessen werden. Tabelle 1 zeigt eine Liste der in dieser Arbeit nachgewiesenen Radionuklide (fett gedruckt) sowie weiterer potentiell nachweisbarer Isotope.

Kontinuierliche Messungen mit NaI-Sonden

NaI-Gammaspektrometrie-Sonden waren 2021 in den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) von Giubiasco (Bellinzona) und Bern im Einsatz. An der ARA Giubiasco sind 53'000 Einwohner angeschlossen, an der ARA Bern 219'000 (Zahlen für 2017). Die Radioaktivitätssonden sind in Becken mit genügend Wassertiefe (>1m auf allen Seiten) zwischen Rechen/Sandfang und Vorklärbecken installiert. Die eingesetzte Sonde vom Typ SARA Water (Scienta Envinet GmbH) misst mit einem 3-Zoll NaI(Tl)-Kristall im Energiebereich zwischen ca. 40 keV und 2'700 keV. Die Sonde ist vom Hersteller kalibriert und wird jährlich mit

einer ^{137}Cs -Quelle auf Konstanz geprüft. Die Sonde nimmt 10-Minuten Spektren auf, wertet diese aus und übermittelt die Ergebnisse an eine Datenzentrale. Die Nachführung der Energiekalibrierung beruht auf dem ^{40}K -Peak von in der Sonde eingebautem KCl. Aus den 10 Minuten-Spektren werden Stundenspektren gerechnet und ausgewertet.

Niederschlagsereignisse bewirken in ARAs oft einen starken Anstieg von Radonfolgeprodukten (^{214}Pb und ^{214}Bi) im Wasser. Dies kann dazu führen, dass der ^{40}K -Peak nicht mehr erkannt wird und sich die Energiekalibrierung verschiebt. In dieser Situation wird typischerweise der ^{214}Pb -Peak bei 351.9 keV als ^{131}I (364.5 keV) interpretiert. Eine so ausgewertete ^{131}I Konzentration ist natürlich nicht korrekt. Für diese Arbeit wurden alle Stundenspektren nachträglich neu ausgewertet, wobei der Beitrag von ^{214}Pb zum ^{131}I -Peak anhand des ^{214}Bi -Peaks bei 609 keV geschätzt und abgezogen wurde. Die Unsicherheit der Messwerte ist mit dieser nachträglichen Auswertung für alle Isotopen in der Grössenordnung von 20%. Die Nachweisgrenzen liegen bei rund 0.5 Bq/l für ^{18}F , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, und ^{214}Bi , bei 1 Bq/l für ^{131}I und ^{111}In und bei 8 Bq/l für ^{177}Lu .

Lutetium-177 (^{177}Lu), ^{131}I und ^{111}In

^{177}Lu ist seit einigen Jahren das in der Schweiz – gemessen an der eingesetzten Aktivität – meistverwendete Isotop für die Radiotherapie. Verglichen mit dem ebenfalls häufig eingesetzten ^{131}I ist es weniger radiotoxisch und kann deshalb in höheren Aktivitätskonzentrationen abgegeben werden, die von der Sonde gut messbar sind (Immissionsgrenzwert für Gewässer: 307.7 Bq/l). Die in den Figuren 1 und 2 gezeigten Spitzen von ^{177}Lu Konzentrationen korrelieren für Bern nicht mit den Entleerungen der Rückhaltetanks des Inselspitals und stammen daher vermutlich von Abwasser aus Haushalten entlassener Patienten.

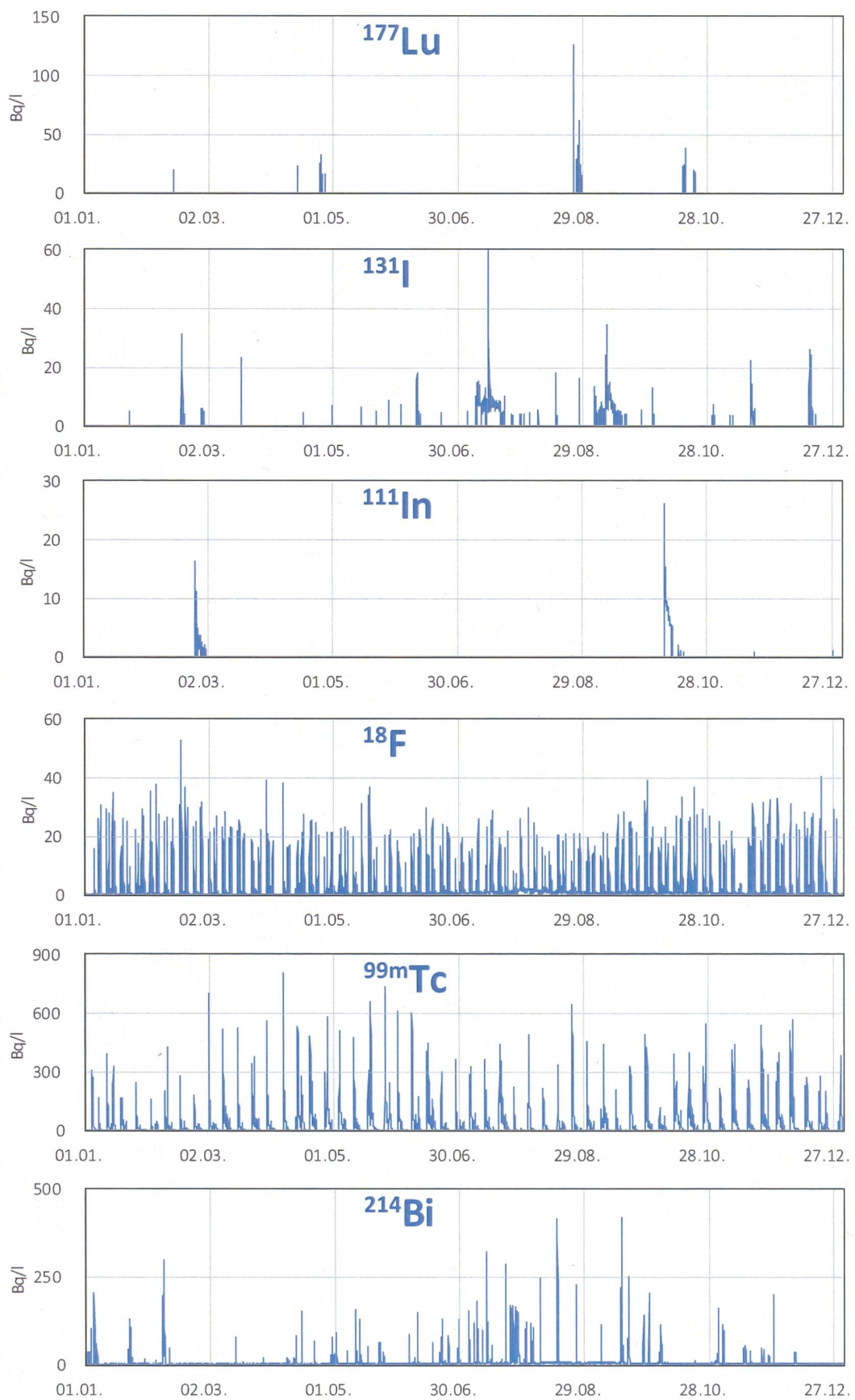
Das in der Radiotherapie eingesetzte ^{131}I hat einen tiefen Immissionsgrenzwert für Gewässer (6.7 Bq/l) und wird in deshalb in den Spitälern wie ^{177}Lu in Abklingtanks gelagert. Die Konzentration in der ARA ist nur selten (ARA Bern, Figur 2) oberhalb der Nachweisgrenze der Sonde (ca. 1 Bq/l). In der ARA Bellinzona wurden, vermutlich aufgrund der geringeren Verdünnung der Abwässer aus den Spitälern, etwas häufiger und etwas höhere ^{131}I Konzentrationen gemessen (Figur 2). Aber auch hier konnte (mit Berücksichtigung der Messunsicherheit) keine Überschreitung des Immissionsgrenzwertes im Wochenmittel festgestellt werden.

Das nur selten und ambulant verwendete ^{111}In war zweimal während weniger Tage in tiefen Konzentrationen in der ARA Giubiasco feststellbar.

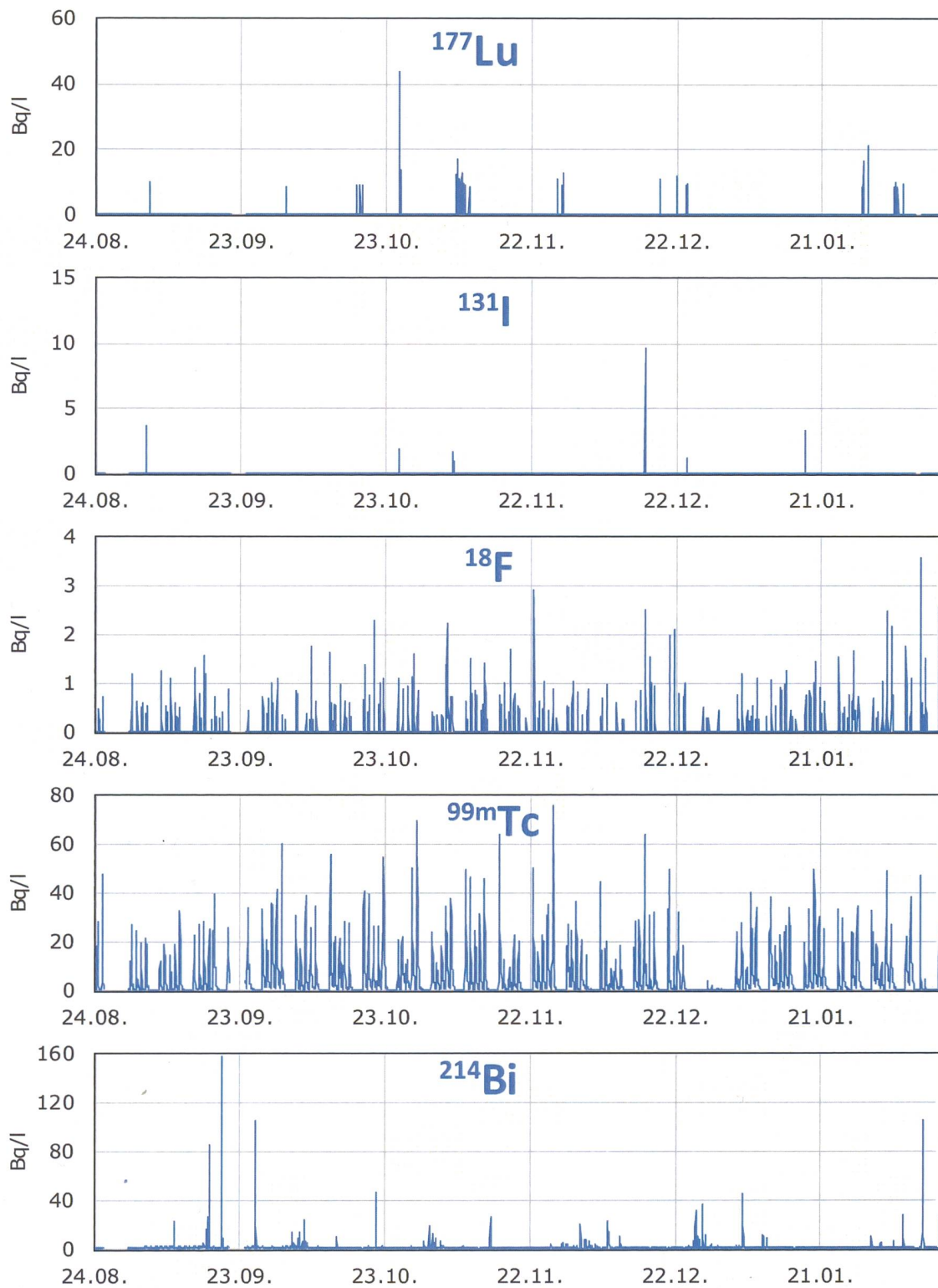
Technetium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) und PET Radionuklide

Die ^{99}Mo -Tochter $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ist ein häufig für SPECT-Aufnahmen verwendetes Radionuklid. Aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit von 6 Stunden ist eine Rückhaltung im Spital nicht nötig. Deshalb kann $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in den ARAs regelmässig nachgewiesen werden und kann dort auch zu einer Erhöhung der Gesamtdosisleistung beitragen. Die Zeitverläufe von $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in den beiden untersuchten ARAs sind in den Figuren 1 und 2. Typischerweise am frühen Nachmittag ist die Konzentration erhöht, jeweils an den Wochentagen (Montag bis Freitag) in der ARA Bern und vornehmlich am Montag in der ARA Giubiasco (Bellinzona), wo insgesamt auch die höheren Aktivitäten gemessen wurden. Im Wochenmittel ist der Immissionsgrenzwert aber überall klar eingehalten.

In der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) kommen besonders kurzlebige Radionuklide zum Einsatz: ^{18}F , ^{13}N und ^{68}Ga . Die Halbwertszeit von ^{13}N ist mit 10 Minuten so kurz, dass nicht zu erwarten ist, dass es in der ARA noch nachgewiesen werden kann. Hingegen sind ^{18}F (1.8 Stunden) und ^{68}Ga (1.3 Stunden) ausreichend stabil, um bis in die ARA zu gelangen und sich dort mit dem Annihilationspeak bei 511 keV seiner Beta-plus-Zerfälle bemerkbar zu machen. Eine Unterscheidung dieser beiden Isotope wäre theoretisch durch den Gammapeak von ^{68}Ga bei 1'067 keV möglich. Der Peak ist aber schwach und wurde nie erkannt. Der Annihilationspeak wurde für die Abbildungen 1 und 2 als ^{18}F ausgewertet, aufgrund dessen häufigeren Einsatzes (^{68}Ga macht zur Zeit maximal 5% der angewendeten Aktivität von ^{18}F aus) und der längeren Halbwertszeit. Die PET Isotope kommen in den Spitälern täglich zum Einsatz. Diese Isotope können in beiden untersuchten ARAs regelmässig nachgewiesen werden.



Figur 1:
 Stundenmittel der Radioaktivität (Bq/l) im Zulauf der ARA Giubiasco (Bellinzona) für das Jahr 2021.



Figur 2 :
Stundenmittel der Radioaktivität (Bq/l) im Zulauf der ARA Bern für den Zeitraum vom 24.8.2021 bis 14.2.2022.

9.5

Aktionsplan Radium 2015-2022

M. Palacios, D. Storch

Radiologische Risiken, Abteilung Strahlenschutz, Bern

Zusammenfassung

Der Bundesrat hat den Aktionsplan Radium 2015-2022 verabschiedet, um die radiologischen Altlasten zu bewältigen, die auf die in der Uhrenindustrie bis in die 1960er Jahre verwendete, ²²⁶Ra-haltige Leuchtfarbe zurückgehen. In diesem Kapitel wird der Stand der Teilprojekte «Gebäude» und «Deponien» dargestellt.

Teilprojekt «Gebäude»

Das Teilprojekt «Gebäude» hat zum Ziel, potenziell mit ²²⁶Radium kontaminierte Liegenschaften zu identifizieren, Messungen durchzuführen und falls erforderlich zu sanieren.

Inventar der betroffenen Liegenschaften

Zwischen 2020 und 2021 beauftragte das Bundesamt für Gesundheit (BAG) die Firma CSD Ingenieure AG mit historischen Nachforschungen in den kantonalen Archiven von Basel-Landschaft, Genf und Waadt und ergänzte damit die 2018 veröffentlichte Studie der Universität Bern. Die Ergebnisse dieser beiden Studien sind unter www.bag.admin.ch/radium-altlasten (historische Nachforschungen) verfügbar.

Insgesamt ergaben die historischen Nachforschungen rund 1'100 potenziell mit ²²⁶Radium kontaminierte Liegenschaften. Fast 90% der Liegenschaften des Inventars befinden sich in den Kantonen Bern, Neuenburg und Solothurn. Die restlichen 10% verteilen sich auf die Kantone Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Genf, Jura, Luzern, St. Gallen, Tessin, Waadt und Zürich.

Untersuchung der Liegenschaften

Bis zum 31. Dezember 2021 wurden 880 Liegenschaften auf ²²⁶Ra-Kontaminationen untersucht, was 80% der im Inventar erfassten Liegenschaften entspricht (Tabelle 1). Wenn die effektive Dosis, mit der die Bewohner und Bewohnerinnen belastet werden, 1 Millisievert (mSv) pro Jahr überschreitet, ist eine Sanierung notwendig. Im Aussenbereich wurde der Grenzwert für die Konzentration von ²²⁶Ra in der Erde bei 1'000 Bq/kg festgelegt. Die im Rahmen des Aktionsplans angewendeten dosimetrischen Modelle wurden in einem wissenschaftlichen Artikel beschrieben, der im Dezember 2021 in der Fachzeitschrift Radiation Protection Dosimetry¹ erschien.

Sanierungsarbeiten

Von den 880 untersuchten Liegenschaften sind 137 sanierungsbedürftig. Der Anteil der sanierungsbedürftigen Liegenschaften liegt damit bei etwa 16%. Bei 118 Liegenschaften sind die Sanierungsarbeiten abgeschlossen oder im Gange (Tabelle 1).

¹ C. Murith, G. Di Tommaso, S. Estier, T. Flury, M. Palacios-Gruson, C. Stalder, S. Baechler, MODELLING THE EXPOSURE OF RESIDENTS OF A RADIUM-CONTAMINATED LIVING PLACE, Radiation Protection Dosimetry, Volume 197, Issue 2, December 2021, Pages 101–110, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab167>

Tabelle 1:
Stand der diagnostischen Untersuchungen und der Sanierungen am 31. 12. 2021.

	Anzahl untersuchter Liegenschaften	Sanierung		
		nicht erforderlich	erforderlich	abgeschlossen oder im Gange
Kanton BL	11	8	3	1
Kanton BS	1	1	0	0
Kanton BE	277	221	56	52
Kanton GE	26	24	2	2
Kanton JU	28	28	0	0
Kanton LU	1	1	0	0
Kanton NE	370	323	47	38
Kanton SG	1	1	0	0
Kanton SH	1	0	1	1
Kanton SO	134	108	26	23
Kanton TI	3	3	0	0
Kanton VD	19	18	1	0
Kanton ZH	8	7	1	1
Total	880	743	137	118

Das Vorgehen beinhaltet die Beseitigung der Kontamination durch einen spezialisierten Betrieb sowie die Entsorgung, Kontrollmessungen und die Wiederherstellung des Standards vor Beginn der Arbeiten. Der Sanierungsprozess umfasst auch die Überwachung der Konzentration von ^{222}Rn in der Raumluft, gemessen in Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3), als Zerfallsprodukt von ^{226}Ra . Figur 2 zeigt den starken Rückgang der ^{222}Rn -Konzentration nach der Beseitigung der Kontamination mit ^{226}Ra in einem Schlafzimmer von mehreren tausend Bq/m^3 auf etwa 200 Bq/m^3 . Mit einem Ventilator konnte das Personal der Sanierungsfirma während der Arbeiten vor einer Exposition durch hohe Radonkonzentrationen geschützt werden (rot eingefärbte Bereiche in der Grafik).

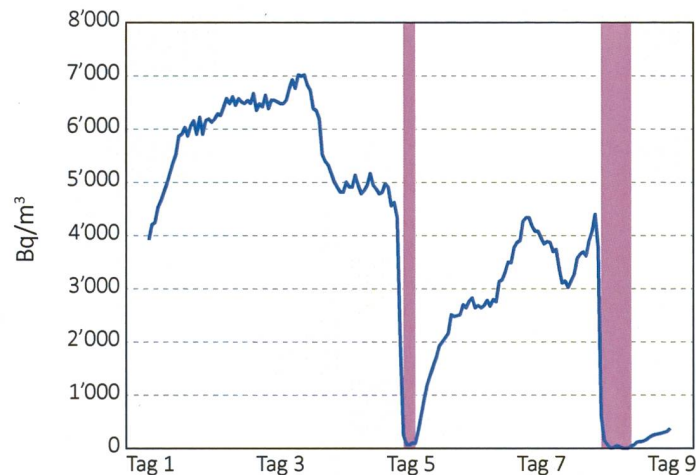
Problematik der Mischkontaminationen

In fast 20% Aussenbereiche, die zu sanieren waren, wurde eine Mischkontamination (Kontamination mit radioaktiven und chemischen Schadstoffen) festge-

stellt. Das BAG koordiniert die Sanierung von Parzellen mit Mischkontaminationen von Fall zu Fall mit den betroffenen Kantonen. Komplexe Fälle werden in der «Unterstützungsgruppe Mischkontaminationen» diskutiert, in der neben dem BAG das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und die Suva vertreten sind, um die Einhaltung der Strahlenschutz- und der Umweltschutzgesetzgebung sowie der Vorschriften zum Schutz der Arbeitskräfte zu gewährleisten. 2021 hat das BAG eine neue Zusammenarbeit mit der Firma ARCADIS ins Leben gerufen, die mit ^{226}Ra kontaminierte Proben auf ein breites Spektrum chemischer Schadstoffe untersucht. Dies ergänzt die bestehende Zusammenarbeit mit dem Labor Spiez, das solche Proben auf Schwermetalle analysiert.

Entsorgung

Im Jahr 2021 wurden mehr als 250 m^3 inerte Abfälle im Rahmen des Aktionsplans zur Ablagerung auf Deponien gemäss Artikel 114 StSV abgegeben, wobei die maximale spezifische Aktivität von 10'000 Bq/kg für ^{226}Ra eingehalten wurde.



Figur 1. :

Beispiel für die Entwicklung der ^{222}Rn -Konzentration (in Bq/m^3) während der Sanierung aufgrund einer ^{226}Ra -Kontamination. Rot eingefärbt sind Phasen, während denen ein Ventilator verwendet wurde.

Zusätzlich wurden fast 16'000 Liter brennbare Abfälle in einer Verbrennungsanlage gemäss Artikel 116 StSV entsorgt, der eine maximale wöchentliche Aktivität von 2 MBq für ^{226}Ra vorsieht. Es handelte sich insbesondere um Sondermüll, d.h. etwa dreissig Möbelstücke, die zuvor in einem kontrollierten Bereich zerlegt worden waren, sowie etwa zwanzig Fensterrahmen nach einer Asbestsanierung.

Abfälle, deren Kontamination die genannten Werte übersteigt, gelten als radioaktive Abfälle und werden unter Aufsicht des BAG konditioniert und in das Bundeszwischenlager befördert (Figur 3). 2021 wurden auf diesem Weg knapp 1'800 Liter Abfälle entsorgt.

Die hauptsächlich betroffenen Kantone (Bern, Genf, Jura, Neuenburg und Solothurn) haben damit begonnen, ihre alten Deponien nach dem festgelegten Prozess zu klassifizieren. Bisher wurden mehr als 280 alte Deponien identifiziert, die möglicherweise mit ^{226}Ra kontaminierte Abfälle enthalten. Die entsprechende Liste wird unter demselben Link zu Informationszwecken veröffentlicht.

Das BAG bereitet derzeit eine Richtlinie zur Umsetzung der langfristigen Überwachung und zur Klärung der Verantwortlichkeiten der verschiedenen Interessengruppen vor. Es ist geplant, die hauptsächlich betroffenen Kantone im Laufe des Jahres 2022 zu konsultieren.

Teilprojekt «Deponien»

Ziel des Teilprojekts «Deponien» ist die Identifikation alter Deponien, die möglicherweise mit ^{226}Ra kontaminierte Abfälle enthalten. Ausserdem sollen Massnahmen festgelegt werden, welche die Umwelt und die Gesundheit der Bevölkerung und des Personals vor den Gefahren solcher Abfälle schützt.

Im Oktober 2021 veröffentlichte das BAG einen technischen Bericht mit dem Titel «Erfassung und Verwaltung von ehemaligen Deponien, die radium-kontaminierte Abfälle enthalten könnten» unter www.bag.admin.ch/radium-altlasten (Radium-Altlasten in Deponien). Dieser Bericht, der in Zusammenarbeit mit dem BAFU und in Absprache mit den betroffenen Kantonen erstellt wurde, definiert die Methode zur Identifizierung potenziell betroffener ehemaliger Deponien, ihre Einstufung in drei Risikokategorien sowie die Schutzmassnahmen, die insbesondere bei Aushubarbeiten zu ergreifen sind.

Verzögerung aufgrund der Pandemie

Das BAG prüft derzeit Möglichkeiten, den Aktionsplan Radium bis Ende 2023 zu verlängern. Aufgrund der Pandemie musste das BAG seine Einsätze vor Ort zwischen 2020 und 2021 mehrmals aussetzen, insbesondere bei Privatpersonen, was bei 80% der betroffenen Liegenschaften der Fall war. In einem COVID-19-Schutzkonzept wurden die Einzelheiten zur Kommunikation und Intervention festgelegt. Diese Einschränkungen führten zu einer Verzögerung von einem Jahr bei den diagnostischen Untersuchungen und den Sanierungen, trotz der zusätzlichen externen Unterstützung bei den diagnostischen Untersuchungen.



*Figur 2. :
Konditionierung von stark mit ^{226}Ra kontaminierter. für die Entsorgung im Bundeszwischenlager.*

