

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:	- (2019)
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: 15.02.2026

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

Chapitre / Kapitel 9

Industries et hôpitaux Industrien und Spitäler

2019

- Emissions des industries
- Emissions des hôpitaux
- Surveillance au voisinage des industries
- Radionucléides dans les stations d'épuration des eaux usées (médecine)
- Plan d'action radium
 - Emissionen der Betriebe
 - Emissions der Spitäler
 - Überwachung in der Umgebung von Industrien
 - Radionukliden in Abwasserreinigungsanlagen (Medizin)
 - Aktionsplan Radium

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. Der Einsatz von mit ¹⁴C markierten Stoffen hat nach einem Rückgang in den letzten Jahren wieder zugenommen. 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, ¹⁴C)
- Kalibrierquellen (⁹⁰Sr, ¹⁴⁷Pm, ²⁰⁴Tl).
- Tritiumgaslichtquellen (³H)

Seit 2009 wird keine tritiumhaltige Leuchtfarbe mehr produziert.

Tabelle 1:

Einkauf radioaktiver Stoffe 2009 - 2019.

	Isotope	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	Einheit
Produktionsbetriebe	³ H	11.26	12.75	7.31	10.54	5.74	4.07	7.53	15.11	10.03	6.31	7.58	PBq
	¹⁴ C	0.26	0	0	0.07	0	0.74	0.58	0.19	1.33	0.34	0.35	TBq
	¹⁴⁷ Pm	0	0	0	0	0	0	13.03	5.76	0.07	1.55	15.26	TBq
Forschungsbetriebe	³ H	0.2	7.6	7.6	3.8	7.6	0.2	11.4	18.8	11.4	15.5	22.8	TBq
	¹⁴ C	35.4	21.3	17.1	41.3	53.9	158.9	76.0	192.6	200.6	132.5	207.3	GBq
	³² P	0.3	0.3	0.9	0.5	0.9	0.9	1.4	1.0	1.4	1.6	2.1	GBq
	³⁵ S	0	0	1.4	1.4	2.4	2.4	3.7	2.0	0.8	3.8	3.5	GBq
	⁵¹ Cr	0	0	0	0.3	0.1	0	0	0	0	3.2	3.8	GBq
Analytische Laboratorien	¹²⁵ I	0.2	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1	14.1	12.1	15.7	16.3	17.5	GBq
	¹²⁵ I	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	GBq

Tabelle 2a :

Abgabe radioaktiver Stoffe an die Abluft während des Jahres 2019 (GBq).

	Abgaben an die Abluft (GBq)		Abgabelimiten (GBq)	
	³ H	¹⁴ C	³ H	¹⁴ C
Hoffmann-La Roche AG	79.8 (org.) 0 (Gas)	6.1	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 2019 (GBq).

	Abgaben an das Abwasser (GBq)		Abgabelimiten (GBq)	
	³ H	¹⁴ C	³ H	¹⁴ C
Hoffmann-La Roche AG	5.3	0.03	80	40
Novartis Pharma AG	0.8	0	300	30

Tabelle 3 :

Vorbrennung in bewilligtem Ofen (Valorec Services AG, Basel während des Jahres 2019 (GBq)).

	³ H (GBq)	¹⁴ C (GBq)	³⁵ S (GBq)
Verbrennungen in Ofen	968.4	76.9	0.1
Bewilligungslimite	4'000	450	8.0

Tabelle 4 :

Jahresabgabelimiten der Produktionsbetriebe.

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

Forschungsbetriebe (Total 38 Betriebe)

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

Medizinisch-analytische Laboratorien (Total 6 Betriebe)

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

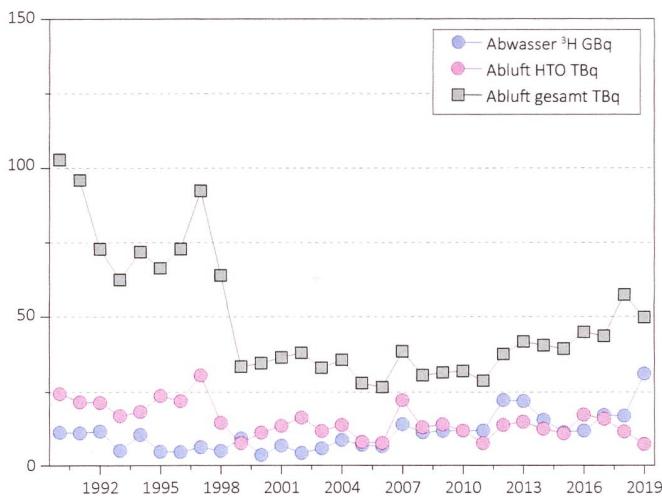
In Tabelle 1 sind bei der Sparte der Produktionsbetriebe auch die für den Handel eingekauften radioaktiven Stoffe aufgeführt (¹⁴⁷Pm).

Resultate

Im Berichtsjahr 2019 haben sämtliche Betriebe die Abgabelimiten eingehalten. In den Tabellen 2a und 2b sind die Jahresabgabewerte der Basler Chemie an die Abluft und das Abwasser mit den entsprechenden Abgabelimiten 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. Die bei Novartis aufgeführten Abgaben an das Abwasser resultierten hauptsächlich aus dem Rückbau der Syntheselabors. Tabelle 3 gibt die Aktivitätsmengen an, die gemäss Art. 116 der Strahlenschutzverordnung in einem bewilligten Ofen verbrannt wurden.

Die Tritium-Abgaben der beiden grossen Produktionsbetriebe, sowie die Tritium-Messungen in der Umgebung der Firma RC Tritec AG sind in den Figuren 1a, 1b und 1c 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 Abgabelimiten ins Abwasser abgeleitet.

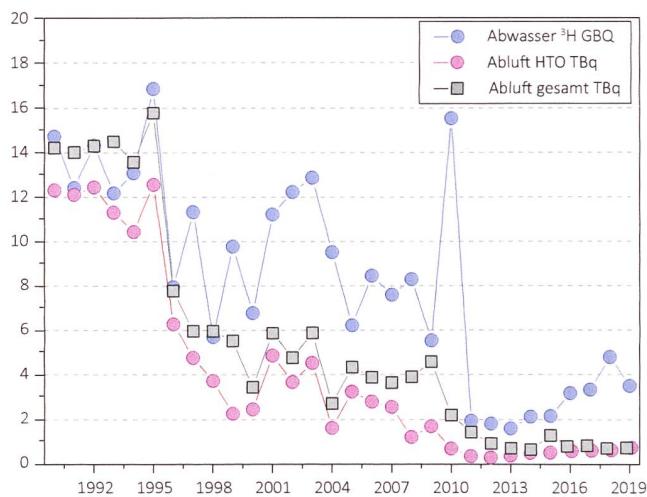
Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft. Die Proben der Umgebungsüberwachung werden von der Suva analysiert. In Tabelle 4 sind die bewilligten Jahresabgabelimiten der beiden grossen Produktionsbetriebe zusammengefasst.



Figur 1a :

mb-microtec ag, Niederwangen/BE: Jahreswerte der Emissionen.

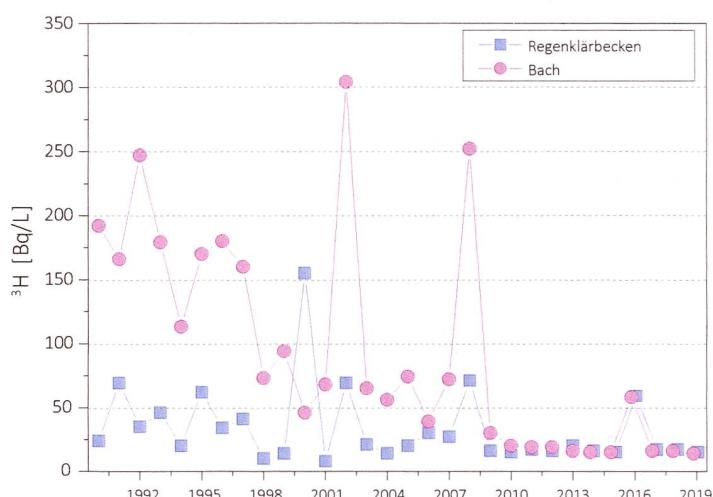
Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft.



Figur 1b :

RC Tritec AG, Teufen/AR: Jahreswerte der Emissionen.

Die Emissionsmessungen werden durch den Betrieb durchgeführt und durch Kontrollmessungen der Suva überprüft.



Figur 1c :

RC-Tritec AG, Teufen/AR: Umgebungsüberwachung von Tritium.

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

Der Umsatz gegenüber dem vergangenen Jahr der zur Therapie verwendeten Radionuklide in den nuklearmedizinischen Instituten ist durchwegs leicht rückläufig. Der Umsatz des Alpha-Strahlers Radium-223 (^{223}Ra), welcher zur Behandlung von Patienten mit Prostatakarzinom verwendet wird, wurde praktisch halbiert, da diese Therapie langsam durch ^{177}Lu PSMA abgelöst wird. Seit 2018 wird zur Behandlung von Lebertumoren nebst ^{90}Y zusätzlich ^{166}Ho verwendet. Dieses Radionuklid wird im Berichtsjahr erstmals in der Statistik erwähnt. Die Abgabe von Radionukliden ans Abwasser aus stationären Behandlungen bleibt gegenüber dem Vorjahr konstant. 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 kontaminierten 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

Jod-131 (^{131}I), das zur Schilddrüsentherapie 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 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ in einem Abstand von 1m unterschritten wird. 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 , ^{177}Lu oder ^{223}Ra werden bei Patienten mit einer Tumorerkrankung zur Schmerzlinderung und Therapie verwendet sowie bei rheumatischen Erkrankungen zur Entzündungshemmung und Schmerzlinderung in Gelenke appliziert. Die Applikation erfolgt ambulant oder stationär je nach medizinischer Indikation und applizierter Aktivität.

Tabelle 1:
Applikationen radioaktiver Stoffe zu therapeutischen Zwecken 2019 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			75		370		288	
AG-579.2	Kantonsspital Baden AG	800	71'840	74	111	555	29'400	72	
BE-32.2	Klinik Linde AG	1'200							
BE-138.2	Klinik Engeried							39	
BE-284.12	Inselspital		276'879		98	3'320	345'100	208	
BL-158.2	Kantonsspital Baselland					925			
BL-315.2	Kantonsspital Liestal	2'437				187		42	
BS-30.2	St. Claraspital	386				8'120		18	
BS-350.1	Universitätsspital Basel		283'494	370		19'480	2'361'278	80	37'850
FR-103.2	HFR Hôpital fribourgeois	200	72'500	248		932		40	
GE-200.3	HUG	386	160'704			57'943		37	
GE-752.3	Hôpital de la Tour					152		18	
GE-1633.1	GRGB Santé SA					152		18	
GR-54.2	Kantonsspital Graubünden	1'234	68'617	45	37	1'480		95	
LU-1.2	Hirslanden-Klinik St. Anna		124'456	70		39'297			
LU-527.11	Luzerner Kantonsspital LUKS					22'470		190	
NE-169.6	Hôpital Neuchâtelois	371				190		95	
SG-195.3	Kantonsspital St. Gallen		197'023	185		2'035	121'572	0	
SO-29.6	Bürgerspital Solothurn		26'390			555		60	
TG-46.2	Spital Thurgau AG, Münsterlingen		24'358	186				17	
TG-53.2	Spital Thurgau AG, Frauenfeld				37	777			
TI-453.6	Ospedale Regionale Bellinzona e Valli	5'800	105'030			20'050	118'400	159	
TI-482.4	Ospedale Civico	600			37	2'220			
VD-129.2	Clinique de la Source	3'428						47	
VD-784.4	Genolier Swiss Medical Network							60	
VD-832.14	CHUV		149'159	160		150'601	294'540	91	
VS-125.1	RSV Hôpital du Valais		39'551						
ZH-57.4	Stadtspital Waid	633				171			
ZH-117.2	Klinik Hirslanden			74	37	60'900	0	81	
ZH-348.7	Universitätsspital Zürich		207'452	222	74	65'641	265'043	88	
ZH-352.3	Kantonsspital Winterthur	5'503	123'812			57'560		121	
ZH-1171.13	Stadtspital Triemli	400	221'439			27'998		249	
ZH-4221.1.1	Schilddrüsen-Praxis Zürich	250							
Gesamte Schweiz 2019		23'627	2'152'704	1'709	431	544'081	3'535'333	2'213	37'850

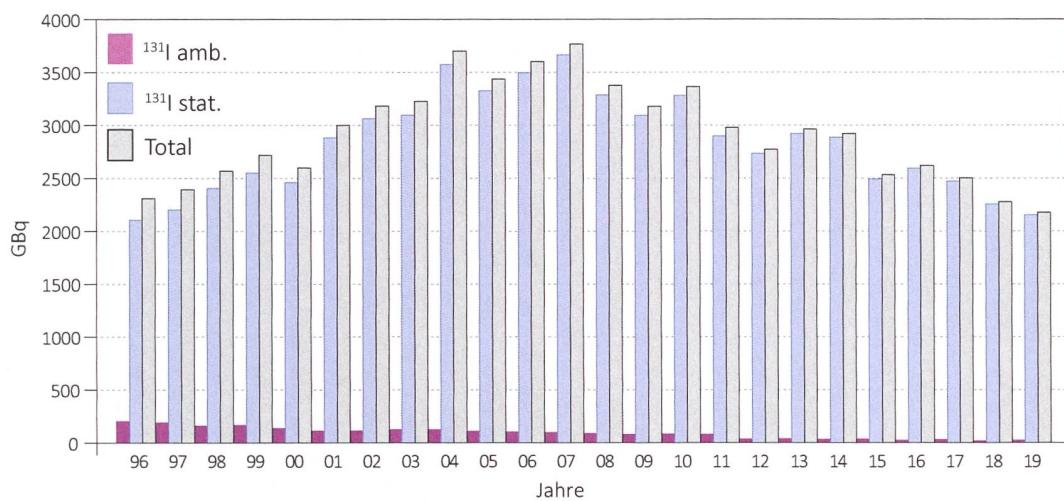
Abgabe radioaktiver Stoffe ans Abwasser

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 (IGGw) 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 Abgabelimiten gewährleistet, dass die geltenden Immissionsgrenzwerte in öffentlichen Gewässern zu keiner Zeit überschritten werden. Werden andere Nuklide als ^{131}I über die Abwasserkontrollanlage an die Umwelt abgegeben (^{90}Y , ^{177}Lu) wird dieser Anteil in ^{131}I -Äquivalente umgerechnet und in die Abgabeaktivität mit einbezogen. Die Spitäler sind verpflichtet, die Abgaben radioaktiver Abwässer so gering wie möglich zu halten und dazu laufend organisatorische und technische Optimierungsmassnahmen vorzunehmen.

Tabelle 2:

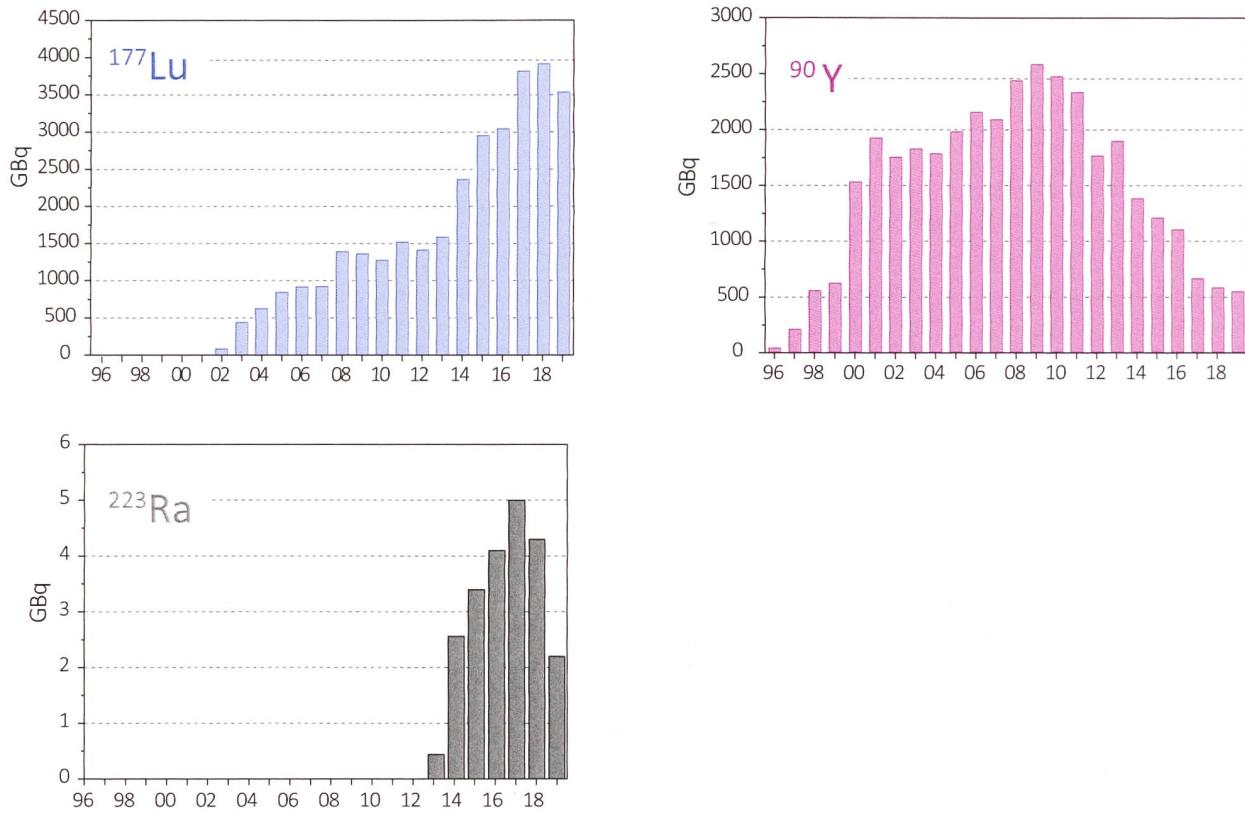
Abgabe von radioaktiven Stoffen aus Abwasserkontrollanlagen ans Abwasser 2019 in MBq ^{131}I -Äquivalenten.

Abgabe MBq/Monat Nuklearmedizin	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total 2019
KS Chur		1.7			2.9	3.6		5.0			10.8		24.0
BS Solothurn	9.5						0.5						10.1
OR Bellinzona	6.6	0.1						5.4			4.2	3.8	20.1
KS St. Gallen	8.3	12.8	29.8	3.6	1.2	0.7	4.6	9.0		3.1	5.9	22.9	101.8
Triemli Zürich	3.0	0.7	1.6	0.8	0.8	0.3	0.2	1.4	0.4	1.2	1.0	2.0	13.4
HFR Fribourg							2.3						2.3
HU Genève	1.0		13.9		2.0		0.8	66.1					83.8
RSV Sion	0.5				0.7	5.7	0.0		1.5	0.7	4.1	6.2	19.3
KS Baden	0.5	0.5	0.1	0.1		11.9	3.2		18.5	0.0	1.2		36.1
CHUV Lausanne	0.2						0.1						0.3
US Basel	237.0	270.0	264.0	418.0	254.0	191.0	238.0	342.0	330.0	425.0	251.0	364.0	3584.0
KS Winterthur			0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0		5.5
US Zürich			0.0	12.0				77.9		10.8		57.1	157.8
St. Anna Luzern			1.3		5.5		0.3		2.4	15.7		12.0	37.1
Insel Bern	6.7	6.6	0.5	5.6	7.5	2.7	7.0	5.7	2.5	13.8		7.5	66.1
Gesamte Schweiz 2018 MBq													4'161.7

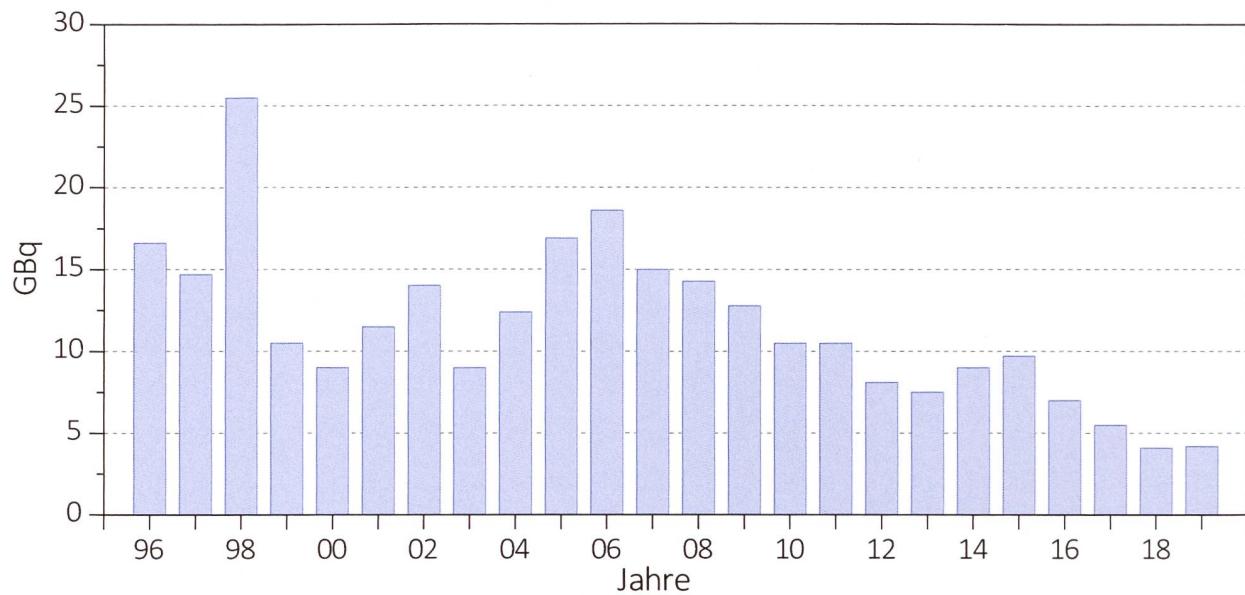


Figur 1:

Umsatz an ^{131}I zu therapeutischen Zwecken in GBq



Figur 2:
Umsatz weiterer Therapie-Nuklide in GBq.



Figur 3:
Abgabe von radioaktiven Stoffen ans Abwasser (in GBq ^{131}I -Äquivalenten).

9.3

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

S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, D. Lienhard, M. Müller, P. Steinmann

Section Radioactivité de l'environnement URA / OFSP Berne

A. Pregler, M. Zehringer

Kantonales Labor Basel-Stadt, Basel

M. Brennwald, P Rünzi

Eawag, Dübendorf

Résumé

Les résultats de la surveillance effectuée en 2019 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. En effet, les concentrations enregistrées dans les précipitations prélevées entre fin février et début mars au voisinage de l'entreprise mb microtec ont atteint 3'220 Bq/l, soit environ 16% de la nouvelle limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Des valeurs plus élevées de tritium ont également été mesurées dans les denrées alimentaires prélevées au voisinage de l'entreprise. Les doses supplémentaires qui en résultent pour la population avoisinante sont toutefois restées faibles.

Une concentration inhabituellement élevée de tritium, atteignant 833 kBq/l, a été mesurée en janvier 2019 dans l'échantillon hebdomadaire d'eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération (UVTD) de Bâle par le laboratoire cantonal. Sur la base de ces résultats, l'activité totale incinérée est estimée à env. 700 GBq, soit deux fois plus que les activités hebdomadaires maximales de tritium qui pourraient être incinérées selon l'ORaP. Les résultats des mesures du tritium dans les échantillons de l'environnement réalisées par le laboratoire cantonal de Bâle-Ville et par l'OFSP ont montré que les concentrations de tritium sont restées très faibles dans les précipitations et les eaux du Rhin. Il n'y a donc pas eu de danger pour la population avoisinante. Toutefois, une enquête approfondie est actuellement en cours pour tenter de déterminer si l'élimination de ces déchets radioactifs dans les ordures conventionnelles a eu lieu par négligence ou de manière intentionnelle.

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 immissions 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.

Tableau 1 :
Tritium dans les précipitations au voisinage des entreprises utilisatrices de ${}^3\text{H}$ en 2019.

Lieu	Valeur min/max (Bq/l)	Mediane/moyenne (Bq/l)
Teufen/AR 65 m E Firma RCT	13 - 154	24 / 37
Niederwangen/BE*		
Bauernhaus 300 m SE de l'entreprise	19 - 218	71 / 81
Garage 200 m SW de l'entreprise	8 - 148	70 / 70
Gemeinde Köniz 180 m NNW de l'entreprise	27 - 211	99 / 101
Firma Schär 320 m NE de l'entreprise	106 - 3'218	476 / 756

* A Niederwangen, 18 échantillons ont été mesurés pour chaque station en 2019. En effet, en raison du manque de précipitation, il n'y a pas eu d'échantillons en janvier, ni pour les périodes du 09 au 18 avril, du 12 au 26 juin, du 27.09 au 08.10, ainsi que du 22.11 au 05.12.2019.

Voisinage des entreprises utilisatrices de Tritium ${}^3\text{H}$

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 et de RC Tritec à Teufen/AR. Les émissions de ces entreprises sont détaillées au chapitre 9.1.

Dans le cadre de la surveillance 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. Les résultats 2019 sont résumés dans le tableau 1. A titre de comparaison, notons que les concentrations mensuelles de tritium mesurées dans les précipitations à la station de référence de Posieux sont restées, en 2019, très proches ou inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l.

La surveillance mise en œuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium a révélé, comme par le passé, un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) à proximité immédiate de ces entreprises, en particulier de mb Microtec à Niederwangen. La figure 1 présente les concentrations de tritium enregistrées en 2019 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).

Entre fin février et début mars 2019, une concentration maximale en tritium de 3'220 Bq/l a été enregistrée dans les précipitations prélevées à la station de collecte «Firma». Il s'agit de la valeur la plus élevée mesurée au voisinage de cette entreprise au cours des dix dernières années. Elle représente 16%¹ de la nouvelle valeur limite d'immissions fixée à 20'000 Bq/l pour ce radionucléide dans les eaux accessibles au public.

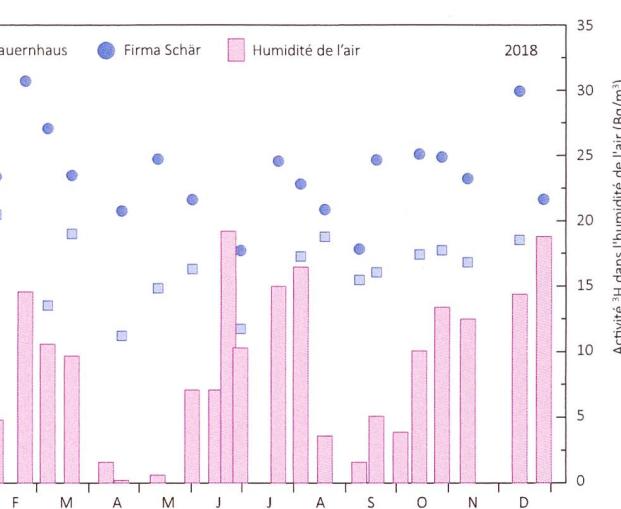


Figure 1 :
Activité du tritium dans les précipitations (Bq/l) et dans l'humidité de l'air (Bq/m³ d'air) enregistrées en 2019 à Niederwangen/BE.

Malgré cela, les rejets en tritium de mb Microtec dans l'environnement sont restés semblables à la normale

¹ La valeur limite d'immission pour le tritium est passée de 12'000 Bq/l à 20'000 Bq/l dans la nouvelle ORaP; cette valeur est dérivée sur la base d'une valeur cible de dose de 0.3 mSv et une consommation annuelle d'eau présentant une activité égale à la valeur limite d'immissions

à cette période, et donc nettement inférieurs aux valeurs limites de rejet. En outre, les concentrations en tritium mesurées dans les précipitations collectées dans les trois autres stations (SE, SW et NNW) sont restées extrêmement faibles au cours de la même période. On peut donc en conclure que des conditions météorologiques particulières (vent unidirectionnel) sont à l'origine des concentrations plus élevées. De manière générale, les concentrations enregistrées en 2019 à Firma se situent parmi les plus élevées mesurées au cours des 10 dernières années, alors qu'elles se situent dans les valeurs moyennes à basses à la station de Köniz (voir figure 2). A titre indicatif, notons que la consommation régulière pendant un mois (soit 54 l) d'une eau ayant une concentration de 3'200 Bq/l conduirait à une dose supplémentaire de l'ordre de 3 µSv.

A Niederwangen, l'activité du ^{3}H dans l'humidité de l'air est également mesurée deux fois par mois (Fig. 1). Les valeurs obtenues en 2019 se sont échelonnées entre 0.2 et 19 Bq/m³ avec une valeur moyenne de 9.1 Bq/m³. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées fin juin ainsi que fin décembre-début janvier. Ces valeurs ne présentent pas de corrélation directe avec les résultats des mesures dans les précipitations.

Des valeurs plus élevées de tritium ont également été mesurées dans les denrées alimentaires prélevées par le canton de Berne au voisinage de l'entreprise fin août, atteignant 370 Bq/l dans le distillat d'un échantillon de pommes et 330 Bq/l dans celui d'un échantillon de rhubarbe. Dans les distillats des 10 autres échantillons de fruits et légumes récoltés (pommes, poires, rhubarbe, légumes du jardin), les concentrations se sont échelonnées entre 28 et 150 Bq/l. Dans les distillats des échantillons de lait, les concentrations en tritium étaient plus faibles, situées entre 13 et 26 Bq/l (3 échantillons). Bien que ces valeurs maximales soient en diminution par rapport à celles mesurées en 2017, au cours de laquelle une valeur maximale de 667 Bq/l avait été mesurée dans le distillat d'un échantillon de rhubarbe, elles restent supérieures aux niveaux habituellement enregistrés au cours de la période 2008-2015.

Même si ces valeurs ne représentent pas de risque pour la santé de la population avoisinante, puisque les doses supplémentaires qui résulteraient de la consommation régulière de tels produits ne dépasseraient pas 1 à 2 µSv/an, elles se situent dans la fourchette haute des dix dernières années. Consciente de cette problématique, l'entreprise s'est d'ailleurs engagée à réduire ses émissions d'ici 2020, en rénovant son système de ventilation. La SUVA et l'OFSP suivent de près les résultats de ce projet.

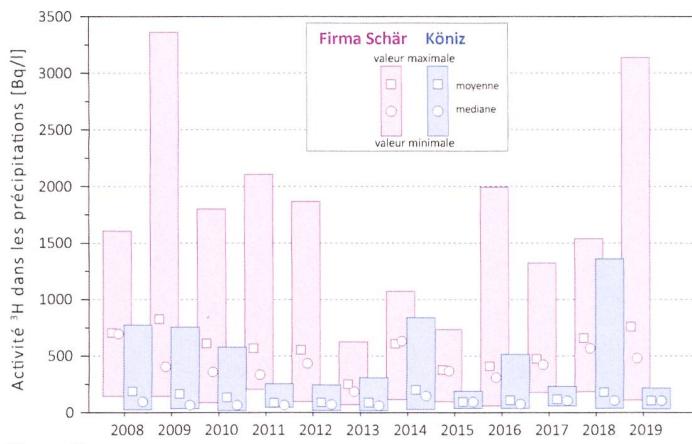


Figure 2 :

Valeurs moyennes et médianes annuelles des concentrations de tritium mesurées dans les précipitations aux stations de Firma et Köniz à Niederwangen entre 2008 et 2019.

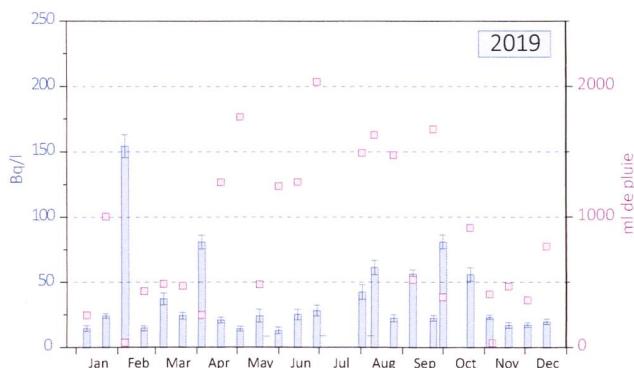
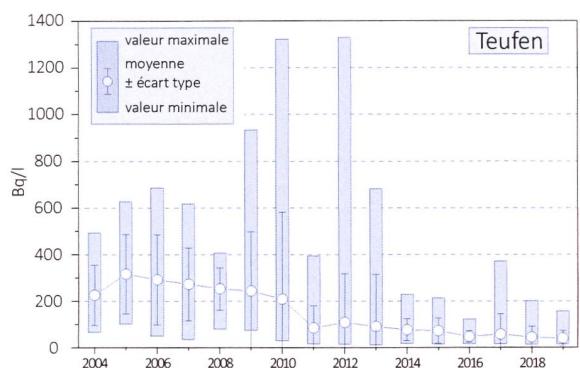


Figure 3 :

Concentration du tritium mesurée dans les précipitations de Teufen / AR entre 2004 et 2019.

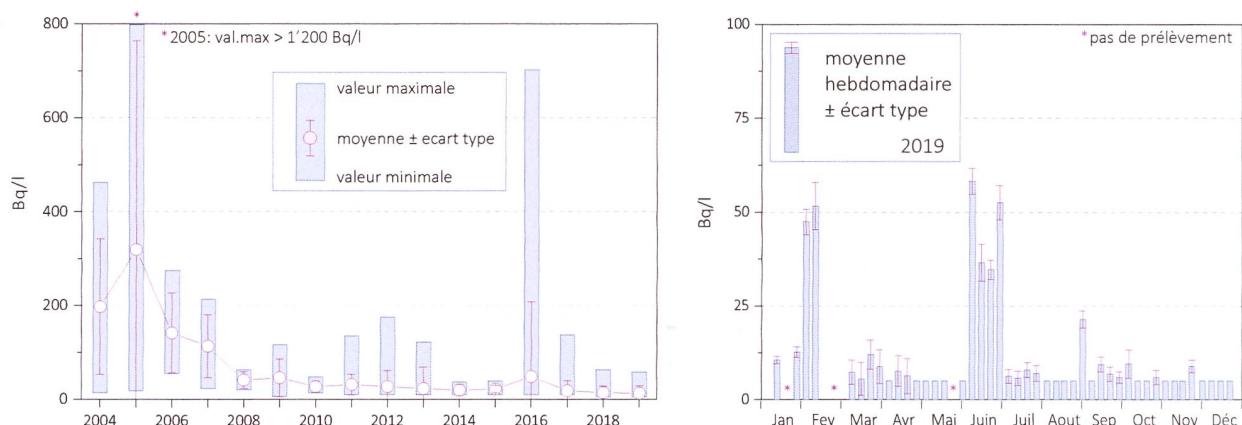


Figure 4 :
Concentrations du tritium mesurées dans les eaux de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds entre 2004 et 2019.

La figure 3 montre le suivi des concentrations de ${}^3\text{H}$ 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. Elle montre la nette diminution des concentrations de tritium mesurées dans l'environnement au voisinage de cette entreprise depuis 2014. Les valeurs 2019 figurent parmi les plus faibles mesurées depuis le début de la surveillance.

Ces résultats sont à mettre en relation avec la diminution régulière des rejets dans l'air (voir figure 1b, Chap 9.1) par l'entreprise.

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, Biel et Zürich afin de déceler d'éventuelles éliminations de ${}^3\text{H}$ ou de ${}^{131}\text{I}$ dans l'environnement. Les résultats de ces mesures sont résumés dans le tableau 2 pour l'année 2019.

Depuis 2016, le laboratoire cantonal de Bâle a renoncé aux mesures journalières du tritium dans les eaux de lavage des fumées de l'Usine de Valorisation Thermique des Déchets de Bâle (UVTD IWB). Un mélange

des échantillons journaliers est maintenant analysé chaque semaine. En janvier 2019, le laboratoire cantonal de Bâle-Ville a mesuré une concentration inhabituellement élevée de tritium (833'000 Bq/l) dans l'échantillon hebdomadaire (semaine 3) d'eaux de lavage des fumées de l'UVTD. Il a alors mesuré individuellement chaque échantillon journalier, conformément à la procédure prévue. Une concentration jamais encore atteinte de 2'260'000 Bq/l (2.26 MBq/l) a ainsi été relevée dans l'échantillon du 15 janvier 2019. Sur la base

Tableau 2 :
Tritium (${}^3\text{H}$) et ${}^{131}\text{I}$ dans les eaux de rejet des usines d'incinération et des stations d'épuration (STEP) en 2019.

Ville	Laboratoire	Isotope	Nombre	Valeur min/max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
STEP Bâle	KL-BS	${}^{131}\text{I}$	50	< 0.1 - 0.9	-	-
		${}^3\text{H}$	50	< 0.2 - 6.3	-	-
Incinération Bâle		${}^{131}\text{I}$	51	0.1 - 2.5	0.3	0.4
		${}^3\text{H}$	51	35 - 830'000	223	16'787
STEP Berne	Labor Spiez	${}^{131}\text{I}$	51	< 0.1 - 0.1	-	-
	URA/OFSP	${}^3\text{H}$	11	5.0 - 37.0	9.1	15
Incinération Biel	URA/OFSP	${}^3\text{H}$	52	< 5.0 - 46.5	-	-
STEP La Chaux-de-Fonds	URA/OFSP	${}^3\text{H}$	48	< 5.0 - 58.0	5.6	-
STEP Lausanne	IRA	${}^{131}\text{I}$	51	< 1.0	-	-
		${}^3\text{H}$	11	< 2.0 - 3.0	-	-
STEP Zürich	EAWAG	${}^{131}\text{I}$	52	< 0.1 - 0.2	-	-
	URA/OFSP	${}^3\text{H}$	13	< 5.0	-	-
Incinération Zürich	EAWAG	${}^{131}\text{I}$	12	1.1 - 667	17	95

de ces résultats, l'activité totale incinérée est estimée à env. 700 GBq. Selon l'Art.116 de l'ORaP, des déchets contenant du tritium peuvent être incinérés avec l'accord de l'autorité délivrant les autorisations si les activités hebdomadaires ne dépassent pas 1'000 fois la limite d'autorisation, i.e au total 300 GBq (LA HTO = 0.3 GBq). L'activité de ^3H incinérée lors de cet incident est donc plus de 2 fois supérieure à l'activité incinérable admissible légalement, ce qui représente une violation de l'ordonnance sur la radioprotection; sans compter que l'autorité n'avait pas donné son accord préalable. Les mesures effectuées par l'OFSP et le laboratoire cantonal de Bâle dans l'environnement n'ont pas révélé d'augmentation significative de la concentration de tritium : tant dans l'eau de pluie collectée à Binningen, à proximité de l'UVTD, que dans l'eau du Rhin prélevée en aval de l'UVTD, les valeurs mesurées de tritium à cette période sont restées très faibles. Il n'y a donc pas eu de danger pour la santé de la population.

Des pics de concentration journalière de ${}^3\text{H}$ 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 et 2017, mais jamais de telles concentrations n'avaient été mesurées. Malgré les recherches menées à l'époque par la SUVA en collaboration avec l'OFSP et le laboratoire cantonal de Bâle-Ville, son origine n'avait malheureusement pas pu être éclaircie. La combustion de montres ou d'autres objets contenant du tritium (peinture luminescente), qui auraient été jetées dans les ordures ménagères, avaient alors été suspectées. Le caractère récurrent de la situation constitue un facteur aggravant et une enquête approfondie est actuellement en cours pour tenter de déterminer si l'élimination de ces déchets radioactifs en tant qu'ordures conventionnelles vers l'UVDT de Bâle a eu lieu par négligence ou de manière intentionnelle.

Le tableau 2 montre que les concentrations de ${}^3\text{H}$ dans les échantillons hebdomadaires d'eau de la STEP de Bâle sont généralement restées proches ou inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l, avec une valeur maximale de 12 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 2019, les valeurs se sont échelonnées entre 100 et 13'700 Bq/l et n'ont pas présenté de corrélation avec les activités présentes dans les déchets contenant du tritium déclarés par les entreprises autorisées.

Les concentrations de tritium observées à la STEP de la région de La Chaux-de-Fonds sont restées faibles en 2019. La figure 4 montre qu'après la nette diminution observée jusqu'en 2008, en corrélation avec la très forte baisse de l'utilisation du ^{3}H 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, à l'exception toutefois de l'année 2016. A l'usine d'incinération de Bienne, les concentrations hebdomadaires de tritium pour l'année 2019 sont toujours restées inférieures ou voisines de la limite de détection de 5 Bq/l, sauf fin mai-début juin, où une valeur voisine de 50 Bq/l a été enregistrée. A la STEP de Werdhözli à Zürich, aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être décelé dans les échantillons hebdomadaires d'eaux prélevés et mesurés par l'EAWAG, à l'exception du ^{131}I décelé dans 4 échantillons (valeurs comprises entre 0.15 Bq/l et 0.24 Bq/l).

La figure 5 montre les concentrations de ¹³¹I mesurées entre 2009 et 2019 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

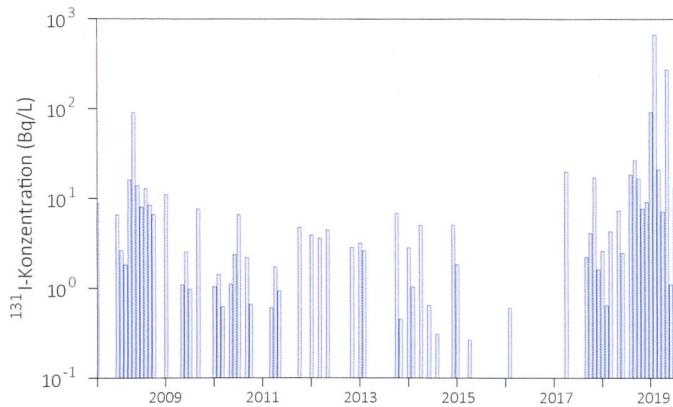


Figure 5 :
Concentrations de ^{131}I (Bq/l) enregistrées dans les eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Hagenholz de 2008 à 2019 (prélèvement et analyse effectués par l'EAWAG).

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 ^{131}I 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). En conséquence le ^{131}I a été décelé dans tous les échantillons prélevés en 2019, contrairement aux années précédentes, avec des concentrations s'échelonnant entre 1 et 670 Bq/l.

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 conservatrice. 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 plus des eaux de percolation de décharges, des eaux souterraines prélevées sur un site industriel contaminé au radium ont également été analysées. Les résultats sont résumés dans le tableau 3. Ici aussi les valeurs sont faibles, à l'exception d'un échantillon avec une concentration de ^{226}Ra plus élevée atteignant un peu plus de 100 mBq/l. Cette valeur reste toutefois inférieure à la valeur indicative de la dose définie dans l'ordonnance sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douches accessibles au public (OPBD), qui correspond à une concentration de ^{226}Ra de 500 mBq/l et qui constitue la grandeur de comparaison pour les échantillons d'eaux souterraines.

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 MnO₂ - adaptée à l'eau potable» ne conviennent pour l'analyse. Les échantillons ont donc été analy-

Tableau 3 :
Concentrations de ^{226}Ra dans les eaux de percolation de décharges et dans les eaux souterraines.

Type d'échantillon	Lieu	Date	Remarque	^{226}Ra [mBq/l]
décharges, eaux de percolation	Härkingen (SO)	24.03.2017	non-filtré	5.0 ± 0.7
		20.02.2019	non-filtré	3.9 ± 0.7
		06.12.2019	non filtré	7.2 ± 1.2
		06.12.2019	filtré <0.45 µm	7.2 ± 1.4
	Türliacher (BE)	29.05.2017	non-filtré	13.2 ± 1.8
		19.01.2019	non-filtré	7.9 ± 1.2
	Tüfentobel (SG)	20.01.2019	non-filtré	3.7 ± 0.8
zone industrielle contaminée, eaux souterraines	Jaberg (BE)	13.12.2019	non filtré	17.5 ± 2.3
		13.12.2019	filtré <0.45 µm	10.2 ± 1.3
zone industrielle contaminée, eaux souterraines	Waldenburg (BL)	09.11.2017	non-filtré- valeur min.	5.3 ± 1.1
		09.11.2017	- valeur max.	103 ± 10
		09.11.2017	- moyenne (n=7)	23

sés avec une méthode mise au point par l’Institut de Radiophysique (IRA) à Lausanne. Cette méthode comprend l’ajout du traceur $^{229}\text{Th}(^{225}\text{Ra})$ 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 2019 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. Dans les précipitations, les concentrations en ^3H ont atteint au maximum env. 16% de la valeur limite d’immissions définie dans l’ORaP pour le tritium dans les eaux accessibles au public et des valeurs plus élevées de ^3H ont également été mesurées dans les échantillons de denrées alimentaires. Même si ces valeurs ne représentent pas un risque pour la santé de la population avoisinante, puisque les doses supplémentaires qui résulteraient de la consommation régulière de tels produits (eaux de pluie et légumes) ne devraient pas dépasser 10 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, elles se situent dans la fourchette haute des 10 dernières années. Consciente de cette problématique, l’entreprise s’est d’ailleurs engagée dans un projet visant à réduire ses émissions d’ici 2020.

En janvier 2019, le laboratoire cantonal de Bâle-Ville a mesuré des concentrations inhabituellement élevées de tritium dans les eaux de lavage des fumées de l’usine d’incinération de Bâle. Même si des pics de concentrations de tritium avaient déjà été enregistrés par le passé, jamais de telles valeurs n’avaient été constatées. L’activité totale incinérée a en effet été estimée à 700 GBq sur la base des résultats de mesure, soit deux fois plus que l’équivalent des 1’000 LA (= 300 GBq) qui pourraient être incinérés (avec l’accord préalable des autorités) par semaine selon l’ORaP. Les mesures réalisées dans l’environnement ont montré qu’il n’y a pas eu de danger pour la santé de la population, toutefois cet incident a conduit à une violation de la l’ordonnance sur la radioprotection et une enquête est en cours pour tenter de déterminer si l’élimination de ces déchets radioactifs dans les ordures conventionnelles a eu lieu par négligence ou de manière intentionnelle.

9.4

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

P. Steinmann, M. Müller, P. Beuret, S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität URA / BAG, Bern

Zusammenfassung

Die in der Medizin eingesetzten Radionuklide ^{177}Lu und ^{131}I (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 2019 über längere Zeiträume kontinuierlich mit NaI-Detektoren in Abwasserreinigungsanlagen gemessen. Die festgestellten Aktivitätskonzentrationen von ^{131}I waren durchwegs tief, da der Immissionsgrenzwert für dieses Radionuklid tief ist und es deshalb in Spülern in Abklingtanks zurückgehalten wird. Für ^{177}Lu , das durch seinen höheren Immissionsgrenzwert in grösseren Aktivitätskonzentrationen abgegeben werden darf, konnte die Kalibrierung der NaI-Sonde mit Labormessungen von am Sondenstandort erhobenen Proben bestätigt werden. Ein Anstieg der von der Sonde gemessenen Gesamtdosisleistung ist meist die Folge einer Erhöhung der Konzentration von Radonfolgeprodukten im Abwasser (Einschwemmung durch Regenwasser), kann aber auch $^{99\text{m}}\text{Tc}$ oder PET-Radionuklide anzeigen.

Gammaemittierende Radionuklide in der Medizin

Viele 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.

Tabelle 1:

Im Abwasser mit NaI-Sonden nachweisbare Radionuklide aus der Medizin.

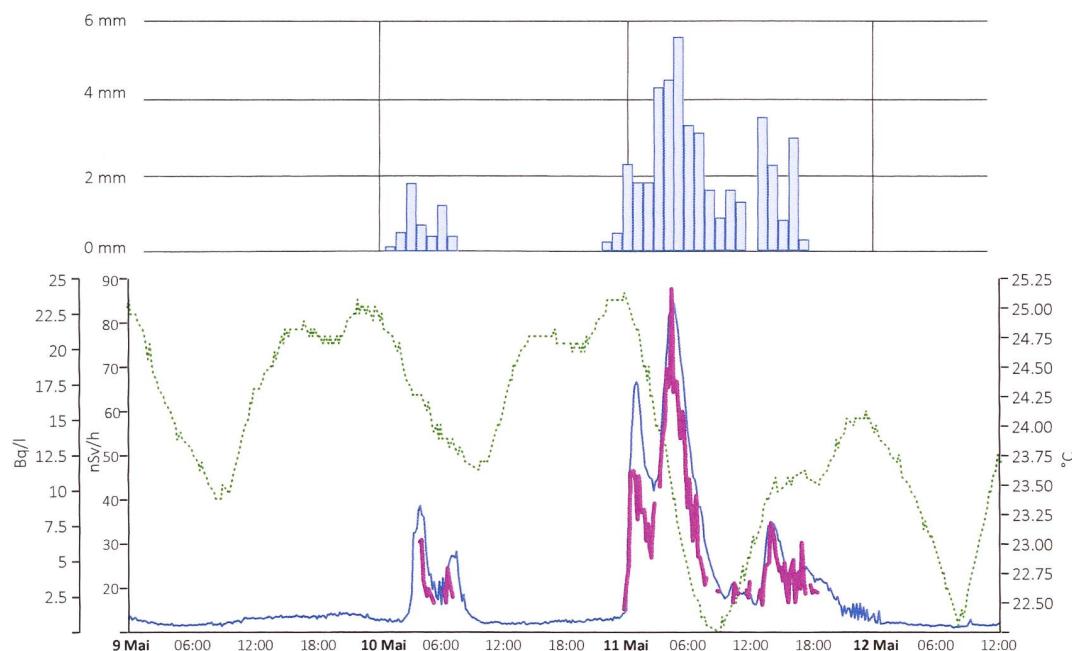
Isotop ¹	Halbwertszeit	Photonenenergie [keV] ²	jährliche Anwendung Schweiz
^{18}F	1.8 Stunden	511 (194%)	ca. 17 TBq (PET)
^{67}Ga	3.3 Tage	~9 (50%), 93 (38%), 184 (21%)	nicht mehr verwendet
^{68}Ga	1.3 Stunden	511 (178%), 1077 (3.2%)	ca. 1 TBq (PET)
^{123}I	13.2 Stunden	159 (83%), ~27 (71%)	ca. 0.3 TBq (SPECT)
^{125}I	59.4 Tage	~27 (113%)	selten als Radiopharmazeutikum; in Forschungsanlagen
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.0 Stunden	140.5 (89%)	ca. 30 TBq (SPECT)
^{111}In	2.8 Tage	171 (91%), 245 (94%), ~23 (78%)	ca. 12 GBq (SPECT)
^{131}I	8.0 Tage	364.5 (81%), 637 (7.1%), 284 (6.1%)	ca. 2 TBq (Therapie)
^{153}Gd	240 Tage	~41 (96%), 97.4 (29%), 103 (21%)	nicht verwendet in der Nuklearmedizin
^{166}Ho	26.8 Stunden	~41 (8.1%), 80.6 (6.6%)	ca. 38 GBq (Therapie)
^{177}Lu	6.6 Tage	208 (10%), 113 (6.2%)	ca. 4 TBq (Therapie)
^{201}Tl	3.0 Tage	~70 (74%), ~82 (20%), 167 (10%)	ca. 17 GBq (SPECT)
^{223}Ra	11.4 Tage	~82 (39%), 269 (14%)	ca. 75 GBq (Therapie)

¹ In dieser Arbeit nachgewiesene Isotope sind fett gedruckt.

² Maximal drei Emissions-Linien sind angegeben; mit ‘~’ sind $\text{K}\alpha_{1,2}$ oder $\text{K}\beta_{1,2}$ Doppellinien gekennzeichnet (jeweils mittlere Energie der beiden Linien); in Klammer steht die Emissionswahrscheinlichkeit.

Kontinuierliche Messungen mit NaI-Sonden in Abwasserreinigungsanlagen

In den ersten Monaten 2019 wurde eine NaI-Sonde in der Abwasserreinigungsanlage (ARA) der ProRheno AG in Basel in einem Becken mit genügend Wassertiefe (>1m auf allen Seiten) zwischen Rechen/Sandfang und Vorklarbecken installiert. Der typische Durchfluss dieser ARA schwankt von 0.4 bis 1.8 m³/s. Ab April war diese Sonde im Zulauf der ARA des Consorzio Depurazione Acque del Bellinzonese e della Riviera (CDABR) in Giubiasco im Einsatz. Aufgrund von Unterbrüchen in der Datenübertragung kam es mehrfach zu mehrtägigen Datenverlusten, weil auf der Sonde selber nur beschränkter Speicherplatz vorhanden ist.

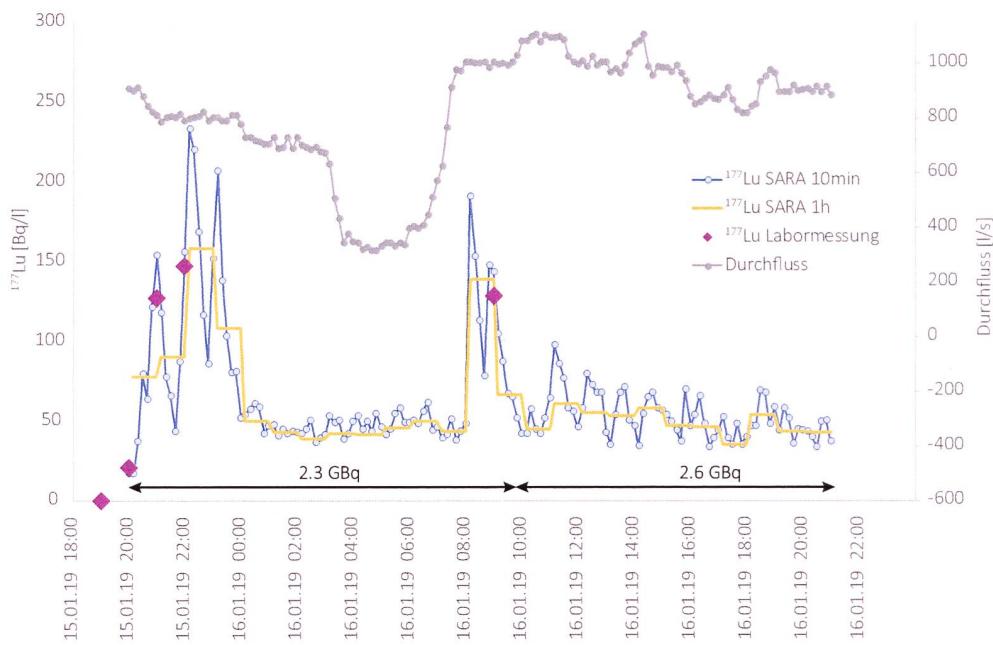


Figur 1:
Oben: Niederschlag (Daten MeteoSchweiz); unten: Temperatur (grün, gepunktet), Dosisleistung (blau) und falsche ¹³¹I Konzentration (rot, fett; ²¹⁴Pb-Peaks bei 351.9 keV fälschlich als ¹³¹I interpretiert) in der ARA. Während der dargestellten Zeitperiode waren keine künstlichen Radionuklide im Abwasser nachweisbar.

Die eingesetzte Sonde vom Typ SARA Water (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 ¹³⁷Cs-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 ⁴⁰K-Peak von in der Sonde eingebautem KCl. Im allgemeinen funktioniert diese Nachführung der Energiekalibrierung gut. Bei starker Erhöhung von Radonfolgeprodukten kommt es aber vor, dass der ⁴⁰K-Peak nicht mehr erkennbar ist und sich die Energiekalibrierung verschiebt. In dieser Situation wird typischerweise der ²¹⁴Pb-Peak bei 351.9 keV als ¹³¹I (364.5 keV) und der ²¹⁴Bi-Peak bei 609 keV als ¹³⁷Cs (661 keV) interpretiert wird, wobei ersteres auch bei korrekter Energiekalibrierung vorkommen kann. Als Beispiel dazu zeigt die Figur 1 die Entwicklung verschiedener Parameter bei einem Regenereignis. Durch die Kanalisation gelangt Regenwasser in die ARA und führt dort zum Absinken der Temperatur in Abweichung vom normalen Tagesgang der Temperatur. Gleichzeitig schwemmt der Regen Radonfolgeprodukte ein und verursacht damit einen starken Anstieg der Dosisleistung. Die falsche ¹³¹I-Kurve (in Wirklichkeit ²¹⁴Pb) folgt der Dosisleistung.

Überprüfung der Sondenkalibrierung für ¹⁷⁷Lu durch Labormessungen

Lutetium-177 ist seit einigen Jahren das in der Schweiz – gemessen an der eingesetzten Aktivität – meistverwendete Isotop für die Radiotherapie. Verglichen mit dem ebenfalls häufig eingesetzten ¹³¹I 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). Im Januar 2019 wurden während einer



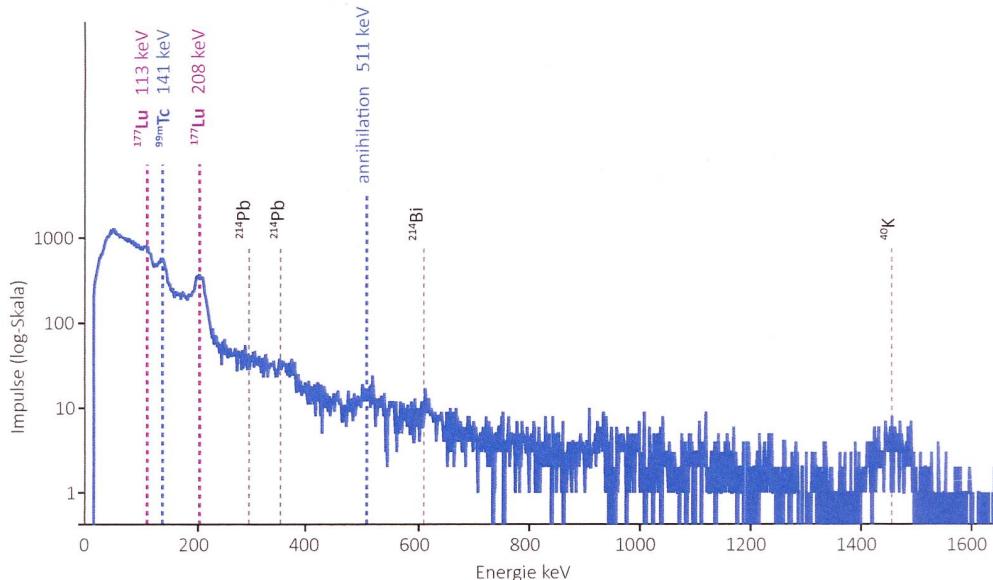
Figur 2:

Zeitverlauf der ^{177}Lu -Konzentration im Abwasser der ARA Basel während einer Abgabe durch das Universitätsspital Basel. Blau sind die 10-Minutenmesswerte und als gelbe Linie die Werte aus den aufsummierten Stunden-Spektren dargestellt. Die Roten Rhomben entsprechen den im Labor mit HPGe-Gamaspektrometrie gemessenen Konzentrationen.

angekündigten Abgabe von ^{177}Lu durch das Universitätsspital Basel beim Standort der Nal-Sonde in der ARA Basel mehrere Probenahmen durchgeführt, um die Messwerte der Sonden mit Labormessungen vergleichen zu können. Wie die Figur 2 zeigt, stimmen die Laborresultate sehr gut mit den von der Sonde ermittelten Konzentrationen überein, die auf der von der Firma voreingestellten Kalibration beruhen.

Die Abgabe von 2.3 GBq ^{177}Lu fand am 15.1.2019 um 18 Uhr statt. Ab 20 Uhr konnten in der ARA erhöhte ^{177}Lu Konzentrationen und gegen 22 Uhr die maximale Konzentration von 233 Bq/l gemessen werden.

Nal-Spektrum ARA Basel, 15.1.2019



Figur 3:

10-Minuten Spektrum von Abwasser in der ARA während der Abgabe von ^{177}Lu aus dem Universitätsspital Basel. Die gemessene ^{177}Lu Aktivitätskonzentration entspricht dem höchsten während der Abgabe gemessenen Wert von 233 Bq/l.

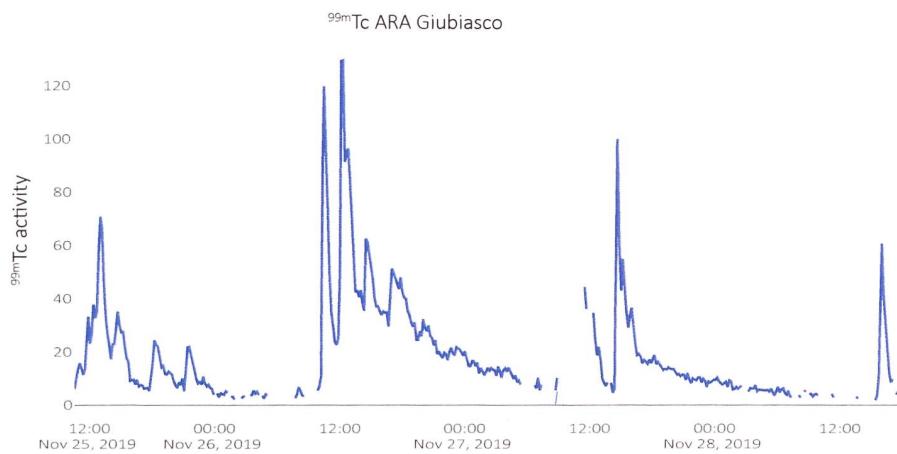
Die Ausgangskonzentration von ^{177}Lu im entleerten Tank betrug 460 kBq/l. Dieses Wasser hat also die ARA mit einer rund 2'000 fachen Verdünnung erreicht. Die ^{177}Lu -Konzentrationen blieben nach Mitternacht erhöht und am Morgen des 16.1. wurde ein 2. Peak beobachtet, ohne dass weiteres ^{177}Lu abgegeben wurde.

Berechnet man die Gesamtaktivität von ^{177}Lu , die die Sonde passiert hat, indem man das Produkt aus Durchflussmenge und Aktivität für die 10-Minuten-Messungen aufsummiert, so entspricht die vom Spital abgegebenen Aktivität der Zeit vom Beginn der Erhöhung bis kurz nach dem Maximum des zweiten Peaks (siehe Figur 2). Berechnet man auf gleiche Weise die Gesamtaktivität für den zweiten Teil des in Figur 2 dargestellten Verlauf, ergibt sich eine zusätzliche Aktivität von 2.6 GBq. Erklärungsansätze für dieses Überschätzen der Aktivität sind Radionuklide im Rücklaufwasser aus der Schlammbehandlung, das in den Zulauf des Vorklärbeckens mit der Sonde geleitet wird; Totwasser im Vorklärbecken, welches nur verzögert ausgespült wird und auch ein Memory-Effekt durch Anlagerung von Schlamm mit Radionukliden direkt auf der Sonde kann nicht ausgeschlossen werden. Der zweite Peak am Morgen des 16.1. beruht vermutlich auf der Remobilisierung von Radionukliden in der Kanalisation durch die morgendliche, höhere Wasserfracht. Die Sondenmessungen geben also in erster Linie Auskunft über den Zeitverlauf und die relative Höhe von Radionuklidabgaben. Für eine belastbare Bestimmung der abgegebenen Aktivitäten müssten die Strömungsverhältnisse und das Verhalten der Radionuklide in der ARA wesentlich detaillierter untersucht werden.

Ein während der diskutierten Abgabe aufgenommenes Spektrum ist in Figur 3 dargestellt. Die beiden stärksten Gamma-Linien von ^{177}Lu sind klar erkennbar und die stärkere davon bei 208 keV wird von der Sonde korrekt identifiziert und ausgewertet. Als weiteres Radionuklid ist im Abwasser auch $^{99\text{m}}\text{Tc}$ vorhanden.

Technetium-99m und ^{131}I

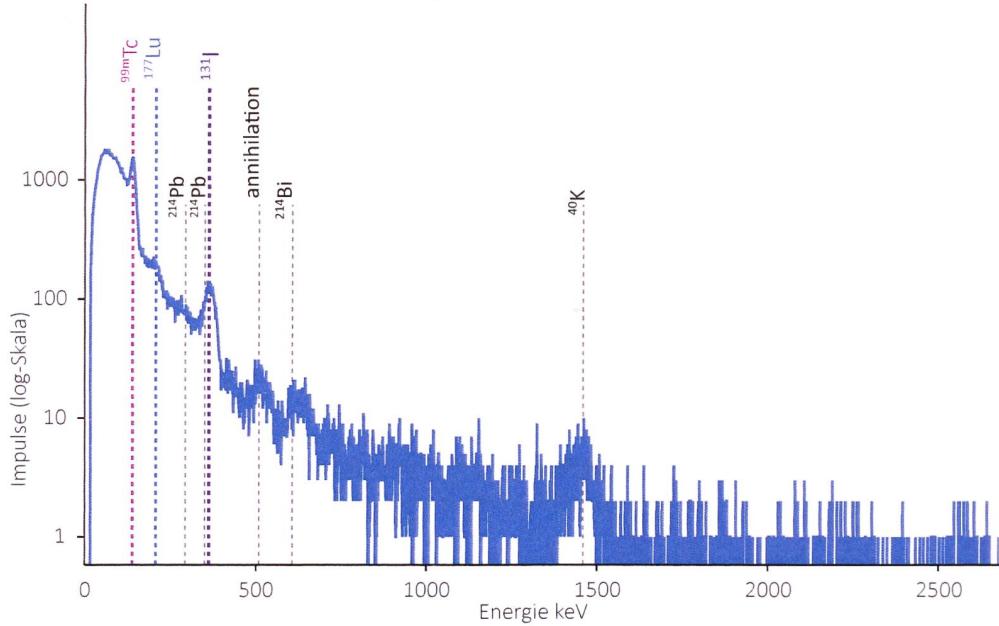
Die ^{99}Mo -Tochter $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ist ein häufig für SPECT-Aufnahmen verwendetes Radionuklid. Aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit von 6 Stunden ist eine Rückhaltung in speziellen Tanks im Spital nicht nötig. Deshalb kann $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in der ARA vergleichsweise häufig nachgewiesen werden und kann dort auch zu einer Erhöhung der Gesamtdosisleistung beitragen. Ein typischer Zeitverlauf von $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in der ARA Giubiasco ist in Figur 4 dargestellt. Jeweils am Nachmittag ist die Konzentration erhöht mit mehreren deutlich erkennbaren Spikes. Der Untergrund des Spektrums beim $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Peak bei 140.5 keV ist deutlich höher als beim ^{177}Lu -Peak bei 208 keV (Figur 3). Wie gut in diesem Falle die von der Sonde ermittelte Konzentration mit Labormessungen übereinstimmen, konnte wegen der kurzen Halbwertszeit (und der vergleichsweise langen Dauer zwischen Probenahme und Messung) nicht zufriedenstellend untersucht werden.



Figur 4:

Zeitverlauf von $^{99\text{m}}\text{Tc}$ im Einlauf der ARA Basel. Das gemessene $^{99\text{m}}\text{Tc}$ stammt aus Abgaben des Universitätsspitals Basel. Die höchsten Konzentrationen werden jeweils um die Mittagszeit beobachtet. Das darauf folgende Tailing mit mehreren Konzentrationsspitzen kann das verzögerte Ausspülen der Radioaktivität aus der Kanalisation widerspiegeln, wobei auch die Zirkulation in der ARA (Durchmischung, Aufenthaltszeiten, Rückspülwasser) einen Einfluss hat. Diese Vorgänge wurden hier nicht genauer untersucht.

Nal-Spektrum ARA Basel

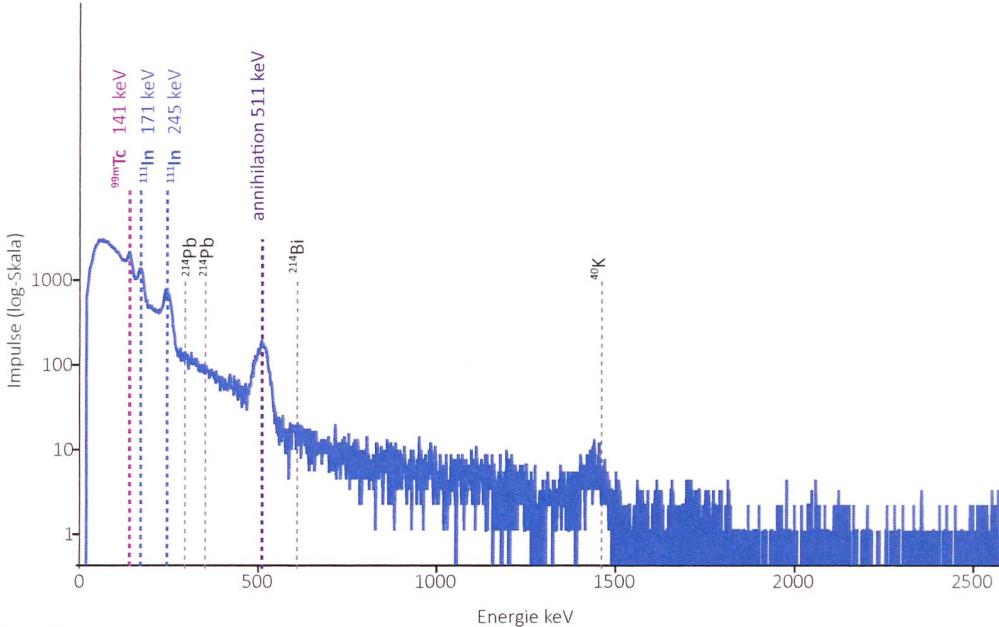


Figur 5:

Spektrum mit deutlichen ^{99m}Tc - und ^{131}I -Peaks. Die Zuordnung des ^{131}I -Peaks ist eindeutig, da die Konzentration an Radon-töchtern (^{214}Pb , ^{214}Bi) tief ist.

Das in der Radiotherapie häufig eingesetzte ^{131}I wird in Spitälern wie ^{177}Lu in Abklingtanks gelagert bis die Abgabelimite für die Aktivität eingehalten ist. Weil für ^{131}I die Abgabelimite tief ist (Immissionsgrenzwert für Gewässer: 6.7 Bq/l), ist die Konzentration in der ARA nur selten oberhalb der Nachweisgrenze der Sonde (ca. 1 Bq/l). Ein Spektrum mit den beiden Isotopen ^{99m}Tc und ^{131}I findet sich in Figur 5.

Nal-Spektrum ARA Bellinzona, 5.11.2019



Figur 6:

10-Minuten Spektrum aus der ARA in Giubiasco. Der Annihilationspeak ist von ^{18}F verursacht, das in PET-Untersuchungen eingesetzt wird.

PET Radionuklide und ^{111}In

In der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) kommen kurzlebige Radionuklide zum Einsatz, insbesondere ^{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 nach der Abgabe im Spital 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 ist theoretisch durch den Gammapeak von ^{68}Ga bei 1067 keV möglich. Der Peak ist aber schwach und wurde in den hier präsentierten Messungen nie erkannt. Der Annihilationspeak im Spektrums in Figur 6 ist aufgrund des fehlenden Gammapeaks bei 1067 keV sowie dem häufigeren Einsatz (^{68}Ga macht zur Zeit maximal 5% der angewendeten Aktivität von ^{18}F aus) und der längeren Halbwertszeit von ^{18}F eher diesem zuzuordnen. Weiter sind in diesem Spektrum die beiden SPECT-Radionuklide ^{111}In (2 Gammalinen) und wiederum $^{99\text{m}}\text{Tc}$ nachweisbar.

Verdankung

Die Installation der Sonde und die Probenahmen wurden von Mitarbeitern des Consorzio Depurazione Acque del Bellinzonese e della Riviera (CDABR) in Giubiasco sowie der ProRheno AG in Basel mit Unterstützung von Th. Marti (MARTI solutions) durchgeführt. Wir danken R. Menz für Auskunft zu den Abgaben des Universitätsspital Basel, R. Frei für Erklärungen zur Funktionsweise der ARA Basel sowie R. Hesselmann für Hinweise zu den Radioisotopen und Korrekturen.

9.5

Aktionsplan Radium 2015-2022

M. Palacios, D. Storch
Radiologische Risiken, Abteilung Strahlenschutz, Bern

Zusammenfassung

Niemand sollte in der Schweiz über längere Zeit einer hohen ^{226}Ra -Kontamination, die auf frühere Tätigkeiten der Uhrenindustrie zurückgeht, ausgesetzt sein. Aus diesem Grund hat der Bundesrat an seiner Sitzung vom 10. April 2019 die Verlängerung des Aktionsplans Radium um weitere drei Jahre beschlossen. Somit können die fast 1'000 Liegenschaften (Gebäude und Gärten), die als potenziell mit ^{226}Ra kontaminiert identifiziert wurden, bis 2022 untersucht und gegebenenfalls saniert werden. Dieses Kapitel zeigt den Stand der Arbeiten der verschiedenen Achsen des Aktionsplans. Von den 668 bislang bereits kontrollierten Gebäuden wiesen 113 ein für die Bewohnerinnen und Bewohner inakzeptables Expositionsniveau auf und müssen saniert werden. Bis heute wurden bereits 97 Gebäude saniert.

Verlängerung des Aktionsplans Radium

Im Kontext des Aktionsplans Radium erteilte das Bundesamt für Gesundheit (BAG) dem Historischen Institut der Universität Bern 2016 einen Rechercheauftrag: Ziel war es, die Liegenschaften zu ermitteln, in denen bei Tätigkeiten der Uhrenindustrie bis in die 1960er-Jahre ^{226}Ra verwendet wurde. Die Universität Bern identifizierte rund 1'000 potenziell kontaminierte Liegenschaften; bei der Ausarbeitung des Aktionsplans war diese Zahl noch auf 500 geschätzt worden.

Aus diesem Grund drängte sich eine Verlängerung des Aktionsplans um drei Jahre auf, damit die Gesamtheit der Liegenschaften geprüft und allenfalls saniert werden kann. Der Bundesrat hat an seiner Sitzung vom 10. April 2019 diese Verlängerung genehmigt und zusätzliche 4 Millionen Franken für die Jahre 2020–2022 zur Verfügung gestellt. Das BAG hatte in einem Bericht den Stand der Arbeiten des Aktionsplans Radium am 31. Dezember 2018 aufgezeigt. Der Bericht ist verfügbar unter: www.bag.admin.ch/radium-altlasten. Die am stärksten betroffenen Kantone (Bern, Solothurn und Neuenburg), die bereits für den Zeitraum 2015–2019 einen freiwilligen Beitrag leisteten, haben ihre weitere Unterstützung zugesichert. Auch die Uhrenindustrie unterstützt die Verlängerung des Aktionsplans mit einem freiwilligen finanziellen Beitrag.

Stand der diagnostischen Untersuchungen

Eine diagnostische Untersuchung besteht aus der Messung der Dosisleistung auf der gesamten Grundfläche des betroffenen Gebäudes oder der betroffenen Außenfläche. Wenn in Innenräumen Spuren von ^{226}Ra vorhanden sind, berechnet das BAG anhand der Dosisleistungen und Expositionsszenarien die zusätzliche Jahresdosis, der sich die Gebäude-Nutzenden aussetzen könnten. Zeigen die Berechnungen, dass der für die Schweizer Bevölkerung zulässige Grenzwert von 1 Millisievert (mSv) pro Jahr überschritten ist, werden die Räumlichkeiten saniert. Gärten sind sanierungsbedürftig, wenn die Konzentration von ^{226}Ra in der Erde den Grenzwert von 1'000 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) übersteigt.

Bislang wurden bei 668 Liegenschaften mit insgesamt fast 3'900 Wohnungen (oder Gewerbelokalen) diagnostische Messungen durchgeführt. 113 dieser Liegenschaften müssen saniert werden; dies entspricht 74 Wohnungen (oder Gewerbelokalen) und 74 Aussenflächen. Fast 90% der sanierungsbedürftigen Gebäude sind Wohngebäude. In den meisten Fällen lag die berechnete effektive Dosis in den Innenräumen zwischen 1 und 10 mSv/Jahr. Bei fünf Gebäuden wurde jedoch eine Dosis zwischen 10 und 17 mSv/Jahr festgestellt. Die maximalen gemessenen ^{226}Ra -Werte in Bodenproben von zu sanierenden Gärten lagen durchschnittlich bei 26'500 Bq/kg. In einem Fall wurden punktuell Werte von gegen 670'000 Bq/kg gemessen. Der Stand des Aktionsplans am 31. Dezember 2019 ist in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1:
Stand des Aktionplans Radium am 31. Dezember 2019.

	Stand der diagnostischen Messungen	Ergebnisse der diagnostischen Messungen		Stand der Sanierung
		Anzahl durchgeführter Messungen	Anzahl Fälle ohne Sanierungsbedarf	
Kanton BE	212	161	51	47
Kanton NE	281	247	34	28
Kanton SO	98	77	21	19
Andere Kantone	77	70	7	3
Total	668	555	113	97

Sanierungsarbeiten

97 Liegenschaften sind bereits saniert worden oder werden derzeit saniert. Das Sanierungskonzept beinhaltet die Planung, die Beseitigung der Kontamination, die Wiederherstellung, die Schlusskontrolle und die Entsorgung der Abfälle. Mit einer Innenraumsanierung soll eine Senkung der effektiven Dosis für die Bewohnerinnen und Bewohner auf 1 mSv/Jahr erreicht werden. Für die Aussenflächen wird eine Konzentration von weniger als 1'000 Bq/kg im Boden angestrebt. Ziel ist es, die Kontaminationen so stark wie möglich zu verringern und an jedem Punkt eine Umgebungs-Äquivalentdosisleistung von weniger als 100 Nanosievert pro Stunde (nSv/h) netto zu erreichen.

Entsorgung

Gemäss Artikel 116 StSV können schwach kontaminierte brennbare Abfälle mit Zustimmung des BAG und nach Mitteilung an den Kanton in einer Verbrennungsanlage entsorgt werden. Die wöchentlich zur Verbrennung zugelassene Aktivität darf jedoch die tausendfache Bewilligungsgrenze gemäss StSV nicht überschreiten, d. h. 2 MBq für ^{226}Ra . Zwischen 2015 und 2019 wurden bereits über 160 m³ brennbare Abfälle verbrannt.

Schwach kontaminierte inerte Abfälle können gemäss Artikel 114 StSV mit Zustimmung des BAG, des Kantons und des Deponiebetreibers an eine Deponie zur Ablagerung abgegeben werden, sofern ihre maximale spezifische Aktivität das Tausendfache der Befreiungsgrenze nicht überschreitet. Diese liegt bei 10 Bq/kg für ^{226}Ra . Im Rahmen des Aktionsplans wurden bereits über 2'000 m³ inerte Abfälle zur Ablagerung abgegeben.

Abfälle, deren Kontamination die genannten Werte übersteigt, werden unter Aufsicht des BAG in das Bundeszwischenlager nach Würenlingen befördert. Bislang wurden knapp 2 m³ Abfälle aus dem Aktionsplan auf diesem Weg entsorgt.

Problematik Mischkontaminationen

Das BAG hat rund zehn ehemalige Industriestandorte identifiziert, bei denen aufgrund einer ^{226}Ra -Kontamination eine Sanierung erforderlich ist. Diese sind allerdings bereits im Kataster der belasteten Standorte gemäss Altlasten-Verordnung aufgeführt. Anfang 2019 hat das BAG eine neue Unterstützungsgruppe «Mischkontaminationen» aufgebaut, in der auch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und die Suva vertreten sind. Die Gruppe soll – unter Berücksichtigung der Strahlenschutz- und der Umweltschutzgesetzgebung sowie der Vorschriften zum Schutz der Arbeitskräfte – Lösungen für den Umgang mit komplexen Fällen chemischer und radiologischer Mischkontaminationen finden.



Figur 1:
Vorgehen zur Ermittlung und Klassifizierung der Deponien nach Risiko bezüglich ^{226}Ra .

Die Unterstützungsgruppe hat bereits ein Pilotprojekt dazu ausgewertet. Es ging um die Sanierung mehrerer benachbarter mit ^{226}Ra kontaminierten Parzellen im Kanton Neuenburg, die gleichzeitig durch organische Chlorverbindungen und Schwermetalle kontaminiert waren. Das Steuerungskomitee und der betroffene Kanton haben das Projekt genehmigt. Die Dekontaminierung nahm rund zwei Monate in Anspruch (Figur 2).

Mit dem Labor Spiez wurde eine Zusammenarbeit initiiert, um die Aktivität bei mit ^{226}Ra kontaminierten Proben zu senken. Somit können die chemischen Schadstoffe dieser Proben in konventionellen Laboren analysiert werden. Darüber hinaus können inerte radioaktive Abfälle mit chemischen Kontaminationen im Laufe von 2020 gemäss den gesetzlichen Vorgaben im Bundeszwischenlager entsorgt werden.



Figur 2:
Dekontaminierungsarbeiten auf einer mischkontaminierten Parzelle.

Überwachung ehemaliger Deponien

2018-2019 hat das BAG in Zusammenarbeit mit dem BAFU eine Strategie erarbeitet, um aus dem Kataster der belasteten Standorte diejenigen ehemaligen Deponien herauszufiltern, die potenziell mit ^{226}Ra kontaminierte Abfälle enthalten könnten. Die so ausgewählten Deponien werden anhand festgelegter Kriterien in drei Risikokategorien eingeteilt. Figur 16 zeigt das Vorgehen zur Ermittlung und Klassifizierung der Deponien.

2019 hat das BAG diese Strategie den drei am stärksten betroffenen Kantonen vorgestellt: Bern, Neuenburg und Solothurn. Währenddessen war die Klassifizierung der ehemaligen Deponien noch im Gang. Bei Deponien, die gemäss ihrer Einstufung Strahlenschutzmassnahmen bei Öffnung erfordern, muss in den kantonsinternen Katastern der belasteten Standorte ein entsprechender Vermerk erfasst werden, damit die Information erhalten bleibt. Die radiologische Überwachung von Altdeponien ist langfristig und wird in die Grundaufgaben des BAG mit einbezogen.

