



Radioaktive Abfälle in Österreich



2021

AGES - GESCHÄFTSFELD STRAHLENSCHUTZ

Juli 2021

Inhalt

Einleitung	3
Entstehung radioaktiver Abfälle in Österreich	4
Lebenszyklus von Strahlenquellen/radioaktiver Stoffe in Österreich.....	4
Freigabe von radioaktivem Material	7
Betroffene Unternehmen	8
Zuständige Stelle	8
Verfahrensablauf.....	9
Natürliche Radioaktivität – Materialien, die natürliche Radioaktivität enthalten, aber nicht wegen der Radioaktivität verwendet werden	9
Beispiele der Anwendung radioaktiver Stoffe bzw. von Strahlenquellen	11
Forschung	11
Medizin.....	13
Industrie	15
Abfallproduzenten.....	17
Klassifizierung von radioaktiven Abfällen	19
Klassifizierung auf Basis der Zerfallseigenschaften	19
Klassifizierung nach IAEO	20
Klassifizierung nach physikalisch-chemischer Form.....	21
Ausblick.....	22
Glossar	23
Abbildungsverzeichnis.....	25
Literatur.....	26

Einleitung

Radioaktive Abfälle fallen in Österreich bereits seit mehr als 100 Jahren an. Die Verwendung radioaktiver Substanzen war zunächst auf wenige Forschungsinstitute beschränkt. Dabei wurden die in Mineralien vorkommenden natürlichen Radionuklide konzentriert und in dieser Form untersucht. Die aus diesen Prozessen resultierenden Abfallstoffe blieben über Jahrzehnte an den betreffenden Instituten gelagert. Erst in den letzten Jahrzehnten wurden diese Abfälle in die zentrale österreichische Sammel-, Verarbeitungs- und Konditionierungsanlage der Nuclear Engineering Seibersdorf (NES) im Forschungszentrum Seibersdorf gebracht.

Zunächst waren Radiumpräparate kostbare und teure Investitionen für Krankenhäuser. Durch die Nutzung der Kernspaltung wurde der Weg zu billigeren Präparaten erschlossen, die somit auch für nicht so wohlhabende Krankenanstalten leistbar wurden. Daneben wurden auch in der Industrie viele weitere Anwendungsgebiete für Radionuklide erschlossen. Die relativ weite Verbreitung von Radionukliden und die Erkenntnisse, die man schon früh über das Verhalten von Strahlung gewonnen hatte, führten schon bald zur Erkenntnis, dass radioaktive Abfälle einer besonderen Behandlung zugeführt werden müssen. Die Methode der innerbetrieblichen Zwischenlagerung aller produzierten Abfälle, die in der Anfangsphase praktiziert wurde, konnte mit steigendem Abfallvolumen nicht mehr sinnvoll weiterverfolgt werden. In den meisten Fällen reichten die Lagerräume nicht aus, um die Abfälle aufzunehmen. Viele Abfälle fielen außerdem in einer Form an, die für die Lagerung aus sicherheitstechnischen Gründen wenig geeignet war.

In dieser Situation hat die „Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie“ in den 1970ern begonnen, diese Abfälle zur Lagerung in Seibersdorf zu übernehmen. Im Laufe der Jahre wurde diese Übernahme immer stärker ausgebaut. Schließlich erstellte das ÖFZS (Österr. Forschungszentrum Seibersdorf) ein Konzept zur Entsorgung radioaktiver Abfälle auf österreichischem Bundesgebiet. Dieses Konzept beinhaltete auch die Errichtung einer Anlage zur Konditionierung der Abfälle. Die Anlage wurde entsprechend dem Abfallaufkommen von Universitätsinstituten, Krankenhäusern, der Industrie und drei Kernkraftwerken geplant. In der Zwischenzeit erfolgte kontinuierlich die Übernahme von radioaktiven Abfällen der Abfallproduzenten. Kernkraftwerksabfälle gibt es keine.

Die mit den radioaktiven Abfällen verbundenen Tätigkeiten werden heute von der Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH (NES¹) durchgeführt. Dabei handelt es sich um

- Transport und Übernahme von Abfällen
- Sammlung, Sortierung und Zwischenlagerung unkonditionierter Abfälle
- Konditionierung (Wasserreinigung, Verbrennung, Kompaktierung, Verfestigung)
- Zwischenlagerung konditionierter Abfälle

¹ <https://www.nes.at>

Ziel dieses Berichts ist es, einen Überblick über die in Österreich geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen bei Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen zu geben. Außerdem soll aufgezeigt werden, für welche Zwecke radioaktive Stoffe verwendet wurden. Darüber hinaus versucht der Bericht eine kurze Darstellung darüber zu geben, dass die bereits existierenden radioaktiven Stoffe einen möglichst sicheren langfristigen Entsorgungsweg benötigen.

Entstehung radioaktiver Abfälle in Österreich

Lebenszyklus von Strahlenquellen/radioaktiver Stoffe in Österreich

Werden in einem Unternehmen Tätigkeiten ausgeführt, bei denen Strahlenquellen eine erhöhte Strahlenbelastung von Arbeitnehmerinnen/Arbeitnehmern bewirken können, so ist die Gesundheit dieser Personen bestmöglich zu schützen. Beispiele für Strahlenquellen sind einerseits Geräte, die ionisierende Strahlung erzeugen, wie etwa Röntgenanlagen, und andererseits radioaktive Stoffe, die ionisierende Strahlung aussenden.

Um die Gesundheit von Personen, die mit Strahlenquellen arbeiten, bestmöglich zu schützen, existieren rechtliche Vorgaben. Deren Einhaltung liegt primär in der Verantwortung der betreffenden Unternehmen. Grundprinzipien dieser Regelungen sind, dass die Anwendung ionisierender Strahlung in jedem Fall gerechtfertigt sein muss und die Strahlenbelastung für Mensch und Umwelt so niedrig wie vernünftig möglich zu halten ist. Eine Anwendung ist gerechtfertigt, wenn der Nutzen die Nachteile und Risiken überwiegt.

Auf der Grundlage einer EU-Richtlinie (Richtlinie 2013/59/EURATOM²) wurde das gesamte Strahlenschutzrecht neu gefasst. Diese neuen rechtlichen Vorgaben traten im Jahr 2020 in Kraft.

Das Strahlenschutzgesetz 2020 bringt folgende wesentliche Neuerungen: Die bisherige Unterscheidung zwischen dem Einsatz künstlicher Strahlenquellen (als „Umgang mit

² RICHTLINIE 2013/59/EURATOM DES RATES vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom, Rat der Europäischen Union, 17.01.2014

Strahlenquellen" bezeichnet) und Betätigungen, bei denen natürliche Strahlenquellen in Arbeitsprozessen zu erhöhter Strahlenbelastung führen können („Arbeiten mit Strahlenquellen“), ist weggefallen. Außerdem tritt künftig anstelle des Umgangsbeziehungsweise Arbeitsbegriff der Begriff der „Tätigkeit“.

Wie schon bisher der Umgangsbegriff ist auch der nunmehrige Tätigkeitsbegriff im Strahlenschutzrecht sehr weit gefasst. Insbesondere als Tätigkeiten sind anzusehen:

- der Betrieb von Strahlengeneratoren sowie
- die Herstellung, Erzeugung, Verarbeitung, Handhabung, Beseitigung, Verwendung, Lagerung und Beförderung von radioaktiven Materialien unabhängig davon, ob diese künstliche oder natürliche radioaktive Stoffe enthalten.

Die "Ausübung von Tätigkeit" stellt eine menschliche Betätigung dar, welche die Exposition von Personen gegenüber Strahlung aus einer Strahlenquelle erhöhen kann und als geplante Expositionssituation behandelt wird. Nicht unter den Tätigkeitsbegriff fallen hingegen Betätigungen, die eine Exposition durch Radon oder kosmische Strahlung bewirken.

In den meisten Fällen bedürfen Tätigkeiten einer behördlichen Bewilligung. Nur Tätigkeiten, aus denen de facto keine Gesundheitsgefährdung resultiert, sind von der Bewilligungspflicht ausgenommen (§ 7 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020³); in solchen Fällen muss die Tätigkeit aber üblicherweise der Behörde gemeldet werden.

Abhängig von Art und Gefährdungspotential der beabsichtigten Tätigkeit sieht das Strahlenschutzrecht unterschiedliche Bewilligungsverfahren vor (einstufig bzw. zweistufig, siehe "Bewilligungspflichtige Tätigkeiten mit Strahlenquellen"). Darüber hinaus besteht für Geräte (Typen), die in größerer Stückzahl eingesetzt werden, die Möglichkeit von gerätebezogenen Zulassungen ("Bauartzulassungen").

Die Bezieherin/der Bezieher einer hoch radioaktiven umschlossenen Strahlenquelle hat grundsätzlich eine Vereinbarung mit der Herstellerin/dem Hersteller oder der Lieferantin/dem Lieferanten zur späteren Rücknahme der Strahlenquelle abzuschließen (§ 44 Strahlenschutzgesetz 2020⁴). Nur in begründeten Einzelfällen kann die Behörde Ausnahmen von dieser Verpflichtung zulassen.

Im Bewilligungsbescheid legt die Behörde konkrete Auflagen und Bedingungen fest, die das Unternehmen – zusätzlich zu den Vorgaben des Strahlenschutzrechts – zu erfüllen hat. Eine wichtige Maßnahme zum Gesundheitsschutz ist die Einstufung jener

³ Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz und der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über allgemeine Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 – AllgStrSchV 2020); BGBl. II Nr. 339/2020

⁴ Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzgesetz 2020 – StrSchG 2020); BGBl. I Nr. 50/2020

Arbeitnehmerinnen/Arbeitnehmer, die erhöhten Strahlenbelastungen ausgesetzt sein könnten, als strahlenexponierte Arbeitskräfte durch die Behörde. Hier wird zwischen der Kategorie A (höheres Gefährdungspotential) und der Kategorie B (niedrigeres Gefährdungspotential) unterschieden. Diese Einstufung hat zur Folge, dass das Unternehmen für diese Personen spezielle Schutz- und Überwachungsmaßnahmen veranlassen muss. Beispiele dafür sind das Tragen eines Personendosimeters, periodische Unterweisungen, schriftliche Arbeitsanweisungen und bei Einstufung in Kategorie A zusätzlich eine jährliche ärztliche Untersuchung.

Gewisse Tätigkeiten im Rahmen des Bewilligungsumfangs bedürfen einer gesonderten Zustimmung durch die Strahlenschutzbehörde. Dazu zählen unter anderem

- die Änderung oder Erweiterung der Tätigkeit
- die grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe oder radioaktiver Abfälle
- die Freigabe oder Ableitung radioaktiver Stoffe
- die Entsorgung radioaktiver Abfälle

Damit die Strahlenschutzbehörde die ordnungsgemäße Erfüllung der Vorgaben kontrollieren kann, hat die BewilligungsinhaberIn/der BewilligungsinhaberIn eine Reihe von Meldepflichten an die Behörden beziehungsweise die Zentralen Strahlenschutzregister zu erfüllen. Darüber hinaus werden seitens der Behörde bei allen Unternehmen, die einer behördlichen Kontrolle unterliegen, periodische Vorort-Überprüfungen gemäß § 61 Strahlenschutzgesetz 2020 vorgenommen.

Grundsätzlich hat jedes Unternehmen bei der Ausübung von Tätigkeiten im Sinn der Strahlenschutzgesetzgebung danach zu trachten, radioaktive Abfälle zu vermeiden oder zumindest zu minimieren. Radioaktive Abfälle sind radioaktive Materialien, die für eine Weiterverwendung nicht vorgesehen sind. Sie unterliegen der behördlichen Kontrolle.

Fallen radioaktive Abfälle an, ist das Unternehmen für eine sichere Entsorgung verantwortlich. Daher sind bereits im Zuge des strahlenschutzrechtlichen Bewilligungsverfahrens einer Tätigkeit der Behörde Unterlagen vorzulegen, die unter anderem Angaben zu radioaktiven Abfällen enthalten (§ 10 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020):

- die Art und durchschnittliche Menge pro Jahr,
- der enthaltenen Radionuklide sowie deren Aktivitätskonzentrationen,
- die vorgesehene Art der Beseitigung,
- einer allfälligen temporären Lagerung.

Fallen bei Tätigkeiten radioaktive Abfälle an, müssen diese bereits im Unternehmen unter Berücksichtigung der Übernahmebedingungen der Entsorgungsanlage gesammelt und gekennzeichnet werden. Die Sammlung hat in ausschließlich für diesen Zweck bestimmten Behältern zu erfolgen (§ 116 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020).

Sofern sie nicht abgeleitet oder freigegeben werden können, sind radioaktive Abfälle an die Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH (NES) zur Behandlung und Zwischenlagerung abzugeben (§ 125 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020).

Die Freigabe sowie die Ableitung ermöglichen es einem Unternehmen, radioaktive Stoffe mit sehr geringen Radioaktivitätswerten zu verwerten, zu verwenden oder an die Umwelt abzugeben, ohne dass diese Stoffe einer weiteren Strahlenschutzüberwachung bedürfen. Voraussetzung dafür ist das Erfüllen bestimmter Kriterien und die Bewilligung durch die Strahlenschutzbehörde.

Erfüllen radioaktive Stoffe nicht die Voraussetzungen für die Freigabe oder Ableitung, müssen sie als radioaktive Abfälle entsorgt werden.

Freigabe von radioaktivem Material

Als Freigabe bezeichnet man die Entlassung von radioaktiven Materialien aus der strahlenschutzbehördlichen Kontrolle. Üblicherweise handelt es sich dabei um radioaktive Materialien, die im Rahmen der Tätigkeit nicht mehr benötigt werden (§ 73 Strahlenschutzgesetz 2020 sowie §§ 110 bis 115 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020). Diese Vorgehensweise ist für Material mit sehr geringen Radioaktivitätswerten möglich. Voraussetzung dafür ist die Bewilligung durch die Strahlenschutzbehörde.

Sobald die von der zuständigen Behörde festgelegten Freigabekriterien erfüllt sind, gelten die betroffenen Materialien nicht mehr als radioaktiv. Ab diesem Zeitpunkt bedürfen diese Stoffe keiner weiteren Strahlenschutzüberwachung.

Unterschieden wird zwischen der uneingeschränkten und der eingeschränkten Freigabe. Ausschlaggebend für diese Unterscheidung sind die in Anlage 1 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung 2020 festgelegten Freigabewerte (Abschnitt D, Tabelle 1 für künstliche Radionuklide und Tabelle 3 für natürlich vorkommende radioaktive Materialien).

Uneingeschränkte Freigabe: eine allfällige künftige Nutzung der freigegebenen Materialien ist keiner behördlichen Einschränkung unterworfen.

Eingeschränkte Freigabe: eine allfällige künftige Nutzung der freigegebenen Materialien ist behördlichen Einschränkungen unterworfen (zum Beispiel Art der Deponierung, Beschränkung für Arten der Verwertung).

Sind keine Freigabewerte vorgegeben beziehungsweise anwendbar, kann eine Freigabe unter bestimmten Voraussetzungen trotzdem erfolgen. Dazu muss das Unternehmen der zuständigen Behörde nachweisen, dass die in der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung 2020 festgelegten Dosisbeschränkungen eingehalten werden.

Die Regelungen für die Freigabe von künstlichen radioaktiven Stoffen sind weitgehend ident zu den bisher geltenden Regelungen. Hinsichtlich Freigabewerte gibt es allerdings drei wesentliche Änderungen gegenüber bisher:

- Die vorgesehenen Freigabewerte gelten nur für feste Stoffe.
- Es gibt nur noch einen Wertesatz für die uneingeschränkte Freigabe, wobei die Werte ident mit den Freigrenzen für große Materialmengen sind.
- Es gibt nur noch eingeschränkte Freigabewerte für die Beseitigung auf Deponien bzw. die Verbrennung.

Neben den Regelungen für die Freigabe von künstlichen radioaktiven Stoffen gibt es seit 1. August 2020 auch analoge Regelungen für die Freigabe von natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien. Letzterer kommt eine besondere Bedeutung zu, da in diesem Tätigkeitsbereich sehr große Materialmengen anfallen können und diese bei Einhaltung bestimmter Bedingungen wiederverwertbar oder deponiefähig sind.

Unter bestimmten Umständen ist auch eine Verbringung radioaktiver Abfälle an ausländische Einrichtungen zur Aufarbeitung oder Entsorgung möglich (§ 146 Strahlenschutzgesetz 2020). Eine solche Verbringung unterliegt der Radioaktive Abfälle-Verbringungsverordnung. Derartige Verbringungen sind allerdings aufwendig, da entsprechende Genehmigungen und Zustimmungen der Behörden des Ursprungs- und des Empfängerlandes, sowie allfälliger Durchfuhrländer einzuholen sind. Die Entsorgung österreichischer radioaktiver Abfälle im Ausland (und vice versa) ist zurzeit nicht vorgesehen.

Betroffene Unternehmen

- Betroffen sind Unternehmen, die Tätigkeiten mit Strahlenquellen ausüben (sofern nicht eine Ausnahme von der Bewilligungspflicht gemäß § 7 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 gegeben ist). Anders als im bisherigen Strahlenschutzrecht unterliegen auch Unternehmen, die Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien ausüben, der Bewilligungspflicht, sofern keine Ausnahmebestimmung zutrifft.
- Unternehmen, bei denen radioaktive Abfälle anfallen.

Zuständige Stelle

Grundsätzlich ist der Antrag zur Bewilligung von Tätigkeiten beim jeweiligen Amt der Landesregierung einzubringen. Bei Bewilligungen in Verfahrenskonzentration mit einer gewerblichen Betriebsanlagengenehmigung ist der Antrag bei der zuständigen Bezirksverwaltungsbehörde einzubringen.

Im Rahmen der radioaktiven Abfälle sind folgende Behörden zuständig:

- für die Bewilligung zur Entsorgung im Rahmen der Bewilligung von Tätigkeiten: die strahlenschutzrechtliche Bewilligungsbehörde

- für Verbringungen ins Ausland: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Abteilung V/8 – Strahlenschutz (→ BMK)
- für Freigabeverfahren: jeweilige strahlenschutzrechtliche Bewilligungsbehörde

Verfahrensablauf

Das Bewilligungsverfahren von Tätigkeiten erfolgt auf schriftlichen Antrag des Unternehmens. Der Antrag hat alle Unterlagen zu enthalten, die der Behörde die Prüfung ermöglichen, ob die Voraussetzungen für eine sichere Ausübung der Tätigkeit gegeben sind.

Nach positivem Abschluss der Prüfung erlässt die Behörde innerhalb von sechs Monaten nach Antragstellung einen Bewilligungsbescheid. Für diagnostische Röntgeneinrichtungen hat die Behörde innerhalb von drei Monaten nach Antragstellung einen Bescheid zu erlassen. Der Bescheid kann Auflagen und Bedingungen enthalten, die vom Unternehmen einzuhalten sind.

Im Rahmen des strahlenschutzrechtlichen Bewilligungsverfahrens von Tätigkeiten erfolgt die Festlegung, wie radioaktive Abfälle zu entsorgen sind. Dafür muss die Bewilligungswerberin/der Bewilligungswerber im Zuge des Verfahrens entsprechende Angaben zum erwarteten Abfallaufkommen bereitstellen.

Ist eine Verbringung von radioaktiven Abfällen ins Ausland vorgesehen, erfolgt der Antrag unter Verwendung eines einheitlichen Begleitscheins gemäß Anlage 1 Radioaktive Abfälle-Verbringungsverordnung.

Eine Freigabe bedarf in der Regel einer gesonderten behördlichen Bewilligung (§ 73 Strahlenschutzgesetz 2020). Dem Antrag dazu sind entsprechende Unterlagen beizulegen (§ 110 Abs 3 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020) damit die Behörde prüfen kann, ob die Voraussetzungen für eine Freigabe, insbesondere die Einhaltung der Freigabewerte, gegeben sind. Nach dem Erhalt der Freigabebewilligung (Bescheid) sind vom Unternehmen entsprechende Vorschriften einzuhalten (§ 112 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020) wie beispielsweise die Durchführung von Freimessungen, die Entfernung vorhandener Kennzeichnungen und das Führen von Aufzeichnungen über durchgeführte Freigaben.

Natürliche Radioaktivität – Materialien, die natürliche Radioaktivität enthalten, aber nicht wegen der Radioaktivität verwendet werden

Für den Schutz von Arbeitskräften und der Bevölkerung bei natürlichen Strahlenquellen gibt es einige spezielle Bestimmungen:

In einigen Bereichen, in denen sich Personen berufsbedingt aufhalten, kann es durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe zu einer erhöhten Strahlenbelastung kommen. Bisher galten für den Schutz von Arbeitskräften vor solchen natürlichen Strahlenquellen gesonderte Regelungen (Natürliche Strahlenquellen-Verordnung sowie die Strahlenschutzverordnung fliegendes Personal).

Mit dem am 1. August 2020 in Kraft getretenen neuen Strahlenschutzrecht werden die Strahlenschutzregelungen betreffend künstliche radioaktive Stoffe und terrestrische natürliche radioaktive Stoffe weitgehend vereinheitlicht. Aus diesem Grund sind die Bestimmungen für beide Teilbereiche in der Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 verankert. Die Natürliche Strahlenquellen-Verordnung ist außer Kraft getreten. Das bedeutet unter anderem, dass – anders als früher – auch Unternehmen, die Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien ausüben, der Bewilligungs- oder Meldepflicht gemäß §§ 15 bis 17 Strahlenschutzgesetz 2020 unterliegen, sofern keine Ausnahmebestimmung gemäß §§ 7 oder 8 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 zutrifft.

Die Arbeitsbereiche, in denen eine erhöhte Strahlenbelastung der Arbeitskräfte durch terrestrische natürliche radioaktive Stoffe möglich ist, werden in Anlage 3 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 aufgelistet. Es handelt sich dabei – wie auch schon bisher – insbesondere um folgende Unternehmensbereiche:

- Wasserversorgungsunternehmen
- Radon-Kureinrichtungen
- Industrielle/gewerbliche Verwendung von thoriumhaltigen Produkten
- Hochdruckflüssigkeitsschneiden und Sandstrahlen
- Verarbeitung von Rohphosphaten zum Beispiel in der Düngemittelindustrie
- Zirkon- und Zirkonoxidindustrie

Im Einklang mit den Vorgaben der EU sind drei Industriezweige zusätzlich in den Geltungsbereich aufgenommen worden: die Zementherstellung einschließlich der Wartung von Klinkeröfen, die Produktion von Primäreisen sowie die Zinn-, Blei- und Kupferschmelze.

Fallen bei Arbeitsprozessen Rückstände an, die mit natürlichen radioaktiven Stoffen angereichert sind, sind wie bisher Strahlenschutzmaßnahmen zu treffen.

Fällt ein Unternehmen in den Geltungsbereich der Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020, muss dessen Inhaberin/Inhaber eine behördlich ermächtigte Überwachungsstelle beauftragen. Die Beauftragung umfasst eine Dosisabschätzung für jene Arbeitskräfte, die einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt sein könnten, sowie gegebenenfalls die Ermittlung der Aktivitätskonzentration von Rückständen und von mit der Luft oder dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffen.

Abhängig von den Ergebnissen der Abschätzungen und Ermittlungen trifft auf die Unternehmen entweder eine Bewilligungspflicht, eine Meldepflicht oder die Ausnahme von der Meldepflicht zu. Letztere Möglichkeit besteht, wenn aufgrund der Ergebnisse von sehr geringer Strahlenschutzrelevanz ausgegangen werden kann.

Bewilligungspflichtig ist ein Unternehmen, wenn Arbeitskräfte als "strahlenexponierte Arbeitskräfte" einzustufen sind oder wenn die Ableitungen oder Rückstände gewisse Werte, die in § 7 Abs 2 Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 festgelegt sind, überschreiten. In diesem Fall gelten die Bestimmungen für bewilligungspflichtige Tätigkeiten.

Meldepflichtig ist ein Unternehmen, wenn die Aktivitätskonzentrationen der Rückstände zwar erhöht sind, aber die Grenzen für die Bewilligungspflicht nicht überschreiten und die zu erwartenden Strahlendosen der Arbeitskräfte und die Ableitungswerte im Normalbereich liegen. In der Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 sind Werte für Aktivitätskonzentrationen festgelegt, oberhalb derer sie als strahlenschutzrelevant anzusehen sind.

Unterliegt das Unternehmen der Bewilligungs- oder Meldepflicht, hat es durch geeignete technische und/oder organisatorische Maßnahmen dafür zu sorgen, dass die Strahlenbelastung von Personen und Umwelt so niedrig wie vernünftig möglich gehalten wird.

Die Einhaltung des Strahlenschutzes wird von der Behörde periodisch kontrolliert; bei bewilligungspflichtigen Unternehmen mindestens alle drei Jahre, bei meldepflichtigen Unternehmen mindestens alle fünf Jahre (§ 61 Strahlenschutzgesetz 2020).

Bei Rückständen wird von der Überwachungsstelle festgestellt, ob diese vom Strahlenschutzstandpunkt unbedenklich sind und somit unter Einhaltung der abfallrechtlichen Bestimmungen beseitigt oder wiederverwertet werden können. Andernfalls sind diese Rückstände als radioaktive Abfälle zu entsorgen.

Beispiele der Anwendung radioaktiver Stoffe bzw. von Strahlenquellen

Forschung

Die Nutzung radioaktiver Stoffe in der Forschung beruht hauptsächlich auf drei Anwendungsprinzipien:

- Die von Radionukliden ausgesandte Strahlung kann mit sehr hoher Empfindlichkeit gemessen werden,
- Absorptions- und Streueffekte der Strahlung in Wechselwirkung mit Materie liefern Informationen über das bestrahlte Material,
- Radionuklide werden zur Markierung von Stoffen verwendet.

In den meisten Fällen ist die Nachweisempfindlichkeit der Radioaktivitätsmessung für Radionuklide weitaus besser als jede andere analytische Methode. Diese extremen

Nachweisempfindlichkeiten ermöglichen auch eine sehr sichere Handhabung von radioaktivem Material, da bereits niedrige Aktivitäten für einen eindeutigen Nachweis des radioaktiven Materials ausreichend sind. Die hohe Nachweisempfindlichkeit ermöglicht Anwendungen vor allem im Bereich der chemischen Analyse:

- Anwendungen aufgrund natürlich vorhandener Radioaktivität
- Radioreagensverfahren
- Radioaktivierungsverfahren

Bei den Anwendungen aufgrund der natürlichen Radioaktivität kann man besser von einer Ausnützung der Radioaktivität sprechen. Man nutzt eine naturgegebene Eigenschaft einiger chemischer Elemente zum analytischen Nachweis, so wie man viele andere Eigenschaften, wie Dichte oder Farbe zur analytischen Kennzeichnung verwendet. Analytische Bestimmungen aufgrund der natürlichen Radioaktivität sind üblich für die Elemente Uran, Radium und Thorium sowie deren Folgeprodukte. So werden Mengenverhältnisse von Mutter- und Tochternukliden zur Altersbestimmung von Mineralien herangezogen. Auch zur Unterscheidung von Produkten, die sowohl auf biologischem Weg, als auch aus Erdöl und Kohle synthetisch gewonnen werden können, kann eine Altersbestimmung herangezogen werden. Ebenso zählt die in der Archäologie und der Datierung von Grundwässern verwendete Radiokohlenstoffmethode zu den Anwendungen natürlicher Radioaktivität.

Bei der Radioreagensmethode fügt man einer zu bestimmenden Probe ein Radionuklid zu, um einen besseren Nachweis zu erzielen oder einen Nachweis überhaupt zu ermöglichen. So lassen sich Enzyme mittels radioaktiver Substrate bestimmen. Auf diese Art kann man beispielsweise die Schädigung eines Organismus durch Pestizide feststellen.

In der medizinischen Forschung hat die Radioreagensmethode in Zusammenhang mit der Isotopenverdünnung bei Radioimmunoassay-Verfahren breite Anwendung gefunden. Diese Verfahren werden in der medizinischen Routineanalyse zur Bestimmung wichtiger Verbindungen im menschlichen Organismus angewendet. Diese Bestimmungen können im Labor ohne Belastung des Patienten mit Chemikalien oder Strahlung durchgeführt werden.

Methoden mit radioaktiven Markierungen finden inzwischen in allen Bereichen der Naturwissenschaften breite Anwendung. Ein Element kann in einer Verbindung durch ein radioaktives Isotop ersetzt werden. Es ist dann möglich, das Verhalten dieses Elements bei Transportvorgängen oder chemischen bzw. biochemischen Umsetzungen zu verfolgen. Durch die Entwicklung hochsensitiver Analysemessgeräte im Bereich stabiler Nuklide kann zunehmend auf den Einsatz radioaktiver Markierungen verzichtet werden.

Bei der Radioaktivierung wird das zu bestimmende Element mittels geeigneter Kernreaktionen in ein Radionuklid umgewandelt, welches dann anhand der ausgesandten Strahlung mit hoher Nachweiswahrscheinlichkeit bestimmt werden kann. Aufgrund der hohen Nachweisempfindlichkeit für ionisierende Strahlung gehört die Aktivierungsanalyse zu den Verfahren, die vorteilhaft in der Spurenanalyse oder zur Bestimmung von Nebenbestandteilen eingesetzt werden können. Die Möglichkeit, Analysen an sehr kleinen Probenmengen

durchführen zu können, hat sie zu einem der wichtigsten Analyseverfahren von wertvollen Materialien gemacht. So ist die Aktivierungsanalyse eines der am häufigsten eingesetzten Verfahren bei der Analyse von extraterrestrischem Materialien, wie Mondgestein.

Für diese Aktivierungsanalysen werden Neutronenquellen oder Forschungsreaktoren benötigt. Verglichen mit den Reaktoren zur Energiegewinnung (*Leistungsreaktoren*) ist die Leistung eines Forschungsreaktors im Allgemeinen um Größenordnungen geringer, dementsprechend auch sein Bedarf an Kernbrennstoff und die erzeugte Menge an radioaktiven Abfällen. Österreich hatte drei Forschungsreaktoren:

- ASTRA Reaktor in Seibersdorf, Leistung 10 MW, stillgelegt im Jahr 2000
- SAR-GRAZ in Graz, Leistung 10 kW, stillgelegt im Jahr 2005
- TRIGA II Vienna in Wien, Leistung 250 kW.

Der Forschungsreaktor am TRIGA Center des Atominstutts der Technischen Universität Wien ist heute der einzige noch in Betrieb stehende Kernreaktor Österreichs.

Neben den Aktivierungsanalysen wurde insbesondere der Seibersdorfer ASTRA Reaktor für die Untersuchung von Kernbrennstoffen und von Strahlenschäden in Strukturmaterialien verwendet.

Aus dem Bereich der Forschung und Entwicklung stammen mengenmäßig die meisten radioaktiven Abfälle, die endgelagert werden müssen. Diese sind durch den Rückbau nicht mehr genutzter Forschungseinrichtungen in Seibersdorf, Universitätseinrichtungen und Altbeständen der Radium- sowie Thoriumforschung und Produktion angefallen. Insbesondere aus der Untersuchung von Kernbrennstoffen stammen langlebige radioaktive Abfälle wie Plutonium- und Americiumisotope. Die (verbrauchten) Kernbrennstoffe selbst werden nicht in Österreich entsorgt, sondern über Rücknahmevereinbarungen an die Hersteller zurückgegeben.

Medizin

Radioaktive Stoffe werden in der Medizin seit Anfang des letzten Jahrhunderts verwendet. Zunächst nutzte man die gewebezerstörende Wirkung der von Radium und seinen Tochterprodukten abgegebenen Strahlung um Krebswachstum zurückzudrängen und Schmerzen zu lindern. Schon damals wurde Radium wie auch Thorium in fester Form sowohl von außen appliziert (Radiummoulagan, Radiumeinlagen und zur Gammatherapie aus einiger Distanz „Radiumkanonen“) als auch als Salz gelöst, intravenös verabreicht. Dabei wurden die Stoffwechseleigenschaften verschiedener Salze genutzt, um eine höhere Konzentration der Strahlenquellen am gewünschten Ort ihrer Wirkung, z. B. im Knochen, zu erzielen. Zurzeit sind solche Anwendungen vor allem in der Schmerztherapie unter dem Namen „Targeted Alpha

Therapy“ jedoch mit relativ kurzlebigen Isotopen von Radium und Thorium wieder weit verbreitet.

Mitte der 1930er Jahre ermöglichte die Erfindung des Zyklotrons die Herstellung künstlicher Radioisotope, von denen vor allem Phosphor-32 und Iod-131 zur Behandlung von Blut- bzw. Schilddrüsenerkrankungen eingesetzt wurden. Nach 1945 wurden durch den Betrieb von Kernreaktoren der Medizin eine große Anzahl an weiteren künstlichen Radionukliden zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig erlaubte die Entwicklung hochempfindlicher Nachweisgeräte für die von diesen Stoffen abgegebene Strahlung die Verabreichung kleinster Aktivitäten an den Menschen, ohne eine biologische Schädigung befürchten zu müssen. Damit konnten sie in der klinischen Forschung und Diagnostik eingesetzt werden. Auf beiden Gebieten ergaben sich bedeutende Fortschritte. So wurde Radium als Gamma-Strahlungsquelle durch Cobalt-60 in der Fernbestrahlung und durch Cäsium-137 und Iridium-192 in der Nahbestrahlung ersetzt.

Das identische Stoffwechselverhalten aller radioaktiven Isotope des gleichen chemischen Elements erlaubt es, ein solches Element oder auch eine seiner chemischen Verbindungen mit einem seiner radioaktiven Isotope zu „markieren“. Durch messtechnische Verfolgung des Weges der Radionuklide durch den menschlichen Körper können Rückschlüsse auf einen normalen oder abnormalen Stoffwechsel gezogen werden. Die Erforschung dieser Phänomene führte zur Entwicklung eines eigenen Fachgebiets der Medizin, der Nuklearmedizin, deren Hauptarbeitsgebiet heute durch die Erforschung physiologischer Vorgänge und durch die Diagnostik krankhafter Zustände bestimmt wird. Die Herstellung markierter Verbindungen hat in ähnlicher Weise zur Entwicklung eines weiteren eigenen Fachgebietes, der Radiopharmazie, geführt. Heute sind viele Hunderte solcher Verbindungen im Handel erhältlich, die mit Tritium, Kohlenstoff-14, Schwefel-35, Iod-125 usw. markiert, breite Anwendung finden.

Bei der Anwendung von Radionukliden und Radiopharmaka in der diagnostischen Medizin lassen sich zwei große Gebiete unterscheiden:

- Dynamische Funktionsuntersuchungen
- Lokalisationsuntersuchungen

Zur ersten Gruppe gehören die hämodynamischen Untersuchungen des Blutflusses durch Organe, wie Gehirn, Herz, Leber oder Nieren mit markierten Eiweißstoffen, die Lungenfunktionsprüfungen mit radioaktiven Edelgasen und die Untersuchungen der Schilddrüsenfunktion mit verschiedenen Radioisotopen.

Lokalisationsuntersuchungen dienen der Abbildung von Form und Struktur gewisser Radionuklide speichernder Organe oder der Suche nach abnormen kontrastgebendem Gewebe wie Metastasen bösartiger Tumore. Die Verabreichung erfolgt meist oral oder durch Injektion, die Ausscheidung meist über Harn und/oder Stuhl.

Insgesamt sind die diagnostischen Anwendungen der Radionuklide heute außerordentlich vielfältig und unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung. Die Bedachtnahme auf eine

möglichst geringe Strahlenbelastung der untersuchten Patienten hat zu einer Bevorzugung kurzlebiger Radionuklide geführt. Heute werden zu diagnostischen Zwecken nur noch selten Radionuklide verwendet, deren physikalische Halbwertszeit mehrere Wochen übersteigt. Kurzlebige Radionuklide werden in Abklingeinrichtungen gelagert, bis sie wie inaktiver Abfall entsorgt werden können. Längerlebige Radionuklide treten allenfalls produktionsbedingt als Verunreinigung des eigentlichen Radiopharmazeutikums auf. Diese müssen mit den anderen Abfallstoffen wie Bestrahlungsquellen derzeit zur Konditionierung zur Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH verbracht werden.

Industrie

Die Anwendung radioaktiver Isotope in Industrie und Wirtschaft hat eine derart große Bedeutung erlangt, dass sie in allen Industrienationen aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken ist. Man kann im Wesentlichen zwei große Anwendungsgebiete unterscheiden:

- Produktionssteuerung und –kontrolle
- Leitisotopenuntersuchung

Bei der Produktionssteuerung und -kontrolle werden meist radiometrische Verfahren eingesetzt, während bei der Leitisotopenmethode radioaktive Isotope für Verfahrens- und Prozessuntersuchungen herangezogen werden.

Radiometrische Messverfahren basieren physikalisch auf den verschiedenen Wechselwirkungen der ionisierenden Strahlung mit Materie. Die Strahlung kann gestreut, reflektiert oder absorbiert werden. Mittels der Absorption können berührungslos Dickenmessungen durchgeführt werden. Je nach Art und Energie der Strahlung werden Materialstärken von dünnen Plastikfolien bis hin zu dicken Stahlblechen gemessen. Die Dicke von Papierbahnen kann so direkt an der Maschine bestimmt und der Messwert für die Regelung des Herstellungsprozesses verwendet werden.

Die Isotopentechnik erlaubt es auch, berührungslos die Stärken von Auflagenschichten zu ermitteln. In der Galvanik wird durch genaues Einhalten der Sollsichtdicken wertvolles Material eingespart. Die Streuung von Neutronen wird dazu benutzt, die Feuchte von Sand oder den Bitumengehalt von Straßenbelägen zu bestimmen.

In der Bauindustrie wird diese Methode schon seit langem verwendet, um bei der Fertigbetonherstellung das Zement-Wasser-Verhältnis genau einzuhalten, wodurch die Güte und Gleichmäßigkeit des Betons verbessert werden.

Radioaktive „Strahlenschranken“ (analog zu Lichtschranken) ermöglichen es, den Füllstand anzugeben und automatische Befüllungsanlagen zu bauen. Mit der Durchstrahlungsmethode werden Schweißnähte routinemäßig auf Güte und Vollständigkeit geprüft.

Die Leitisotopenmethode beruht auf der Tatsache, dass sich einerseits die radioaktiven Isotope eines Elements chemisch nicht von dessen stabilen Isotopen unterscheiden und dass sich andererseits bereits geringste Spuren der Radioaktivität gut mit einfachen Mitteln nachweisen lassen. Man kann deshalb durch Beimischung von geringen, aber genau bekannten Mengen eines radioaktiven Isotops zu einem Element oder Material die Wege, Aufenthaltsorte und Gleichgewichtsverhältnisse dieses Elements oder Materials an Hand der durch die ionisierende Strahlung gegebenen Spuren bestimmen, ohne irgendwelche Eingriffe in das zu untersuchende System machen zu müssen. Mit dieser Methode wird ermittelt, wie die Produktionsvorgänge im Einzelnen ablaufen, welche Parameter einen Einfluss ausüben und wie man den Prozess optimieren kann. Auf diese Art lassen sich unter anderem auch Klärteiche, Emissionsvorgänge oder die Verbreitung von Schadstoffen in Gewässern und Böden untersuchen. Dabei handelt es sich um Aufgaben zur Beherrschung von Umweltbelastungen.

Die Leitisotopenmethode bietet auch Möglichkeiten genaue Volumenbestimmungen von kompliziert aufgebauten Behältern und Leitungssystemen durchzuführen. Eine wichtige Frage ist auch oft die nach der optimalen Mischzeit. Wird zu kurz gemischt, ist das Material noch nicht homogen, wird zu lange gemischt, kostet es Zeit und Energie. Außerdem kann in manchen Fällen auch eine Entmischung auftreten. Daneben ist die Untersuchung von Verteilungen und des Transportes innerhalb eines Systems oft von großem Interesse.

Ein für die Anlagensicherheit wichtiges Thema betrifft die Grenzflächenvorgänge Korrosion und Verschleiß. Mit der Leitisotopenmethode lassen sich die wichtigen Anfangsphasen von Korrosion und Verschleißvorgängen, bei denen nur geringste Materialspuren abgetragen werden, genau untersuchen. Gleichfalls untersucht werden auf diese Art die mit dem Verschleiß eng zusammenhängenden Fragen der Schmierung zur Optimierung der Bedingungen und Schmiermittel.

Neben diesen beiden Einsatzgebieten radioaktiver Stoffe in der Industrie können zahlreiche verschiedene Produkte aus unterschiedlichen Materialien, mit unterschiedlichen Dichten sowie in unterschiedlichen Konfigurationen und Ausführungen mit Hilfe von Gammastrahlung sterilisiert werden. Produkte, die mittels Gammastrahlung behandelt werden können, sind u. a.:

- Medizinische Produkte
- Pharmazeutische Produkte
- Kombination aus Arzneimitteln und Geräten/Vorrichtungen
- Produkte für die Tierhaltung
- Archivgut/Akten
- Kosmetika und Hygieneartikel
- Arbeitsmaterialien in der Hortikultur
- Verpackungen

Bei dem Gammasterilisationsverfahren wird Kobalt-60-Strahlung verwendet, um Mikroorganismen auf einer Vielzahl unterschiedlicher Produkte abzutöten. Die Gammastrahlung ermöglicht kurze Durchlaufzeiten, durchdringt die Verpackung sowie das

Produkt und eignet sich optimal für unterschiedliche Materialien. Am Standort Seibersdorf betreibt die Firma Mediscan & Co KG eine Gammabestrahlungsanlage des Typs Gammatron 1500 mit einer Maximalkapazität von 55,5 Peta-Bequerel ($55,5 \cdot 10^{15}$ Bq).

Abfallproduzenten

Es kann davon ausgegangen werden, dass von jeder Anlage, für die genehmigte Tätigkeiten mit Radionukliden über den zulässigen Freigrenzen bestehen, radioaktive Abfälle anfallen, die der Entsorgung zugeführt werden müssen. Ausnahmen davon sind lediglich bei jenen Bewilligungsinhabern möglich, die ihre Abfälle an die Herstellerfirma der Ausgangsmaterialien zurückgeben können. Derartige Rücknahmevereinbarungen lagen beispielsweise für die Brennstäbe aller österreichischen Forschungsreaktoren vor, weshalb weder bei der Stilllegung des ASTRA Reaktors in Seibersdorf noch des SAR-Graz Reaktors Kernbrennstoff als radioaktiver Abfall angefallen ist. Durch die bestehenden Rücknahmevereinbarungen für den Forschungsreaktor des TRIGRA Centers am Atominstytut der TU Wien sind auch künftig keine Brennstoffabfälle in Österreich zu erwarten.

Grundsätzlich möglich ist auch, dass bewilligte Tätigkeiten mit ausschließlich kurzlebigen Radionukliden erfolgen, sodass durch Lagerung in Abklingräumen der Bewilligungsinhaber die Abfälle bis zum Erreichen der jeweiligen zulässigen Freigabewerte aufbewahrt werden, um dann wie inaktiver Abfall entsorgt zu werden.

Derzeit werden von rund 200 Stellen, verteilt über das gesamte Bundesgebiet, in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen Abfälle an NES zur Zwischenlagerung geliefert. Die Abfallproduzenten lassen sich in Österreich drei großen Anwendungsbereichen zuordnen:

- Medizin: Krankenhäuser inkl. Universitätskliniken und diagnostische Laboratorien
- Forschung: nichtmedizinische Bereiche der universitären Forschung, außeruniversitäre Forschungsinstitute, Bundes- und Ländereinrichtungen mit industriell orientierter Anwendung wie auch Grundlagenforschung
- Industrie: gewerblicher und industrieller Einsatz.

Dazu kommen noch einzelne Anlieferungen durch Privatpersonen, nach Portalmonitorfunden oder nicht freigebbare Abfälle von Materialien, die natürliche Radionuklide enthalten, deren Radioaktivität aber nicht Grund der Verwendung des Materials war. Der mittlere anfallende Roh-Abfall pro Jahr aus den Jahren 2010 bis 2020 ist in Abbildung 1 dargestellt.

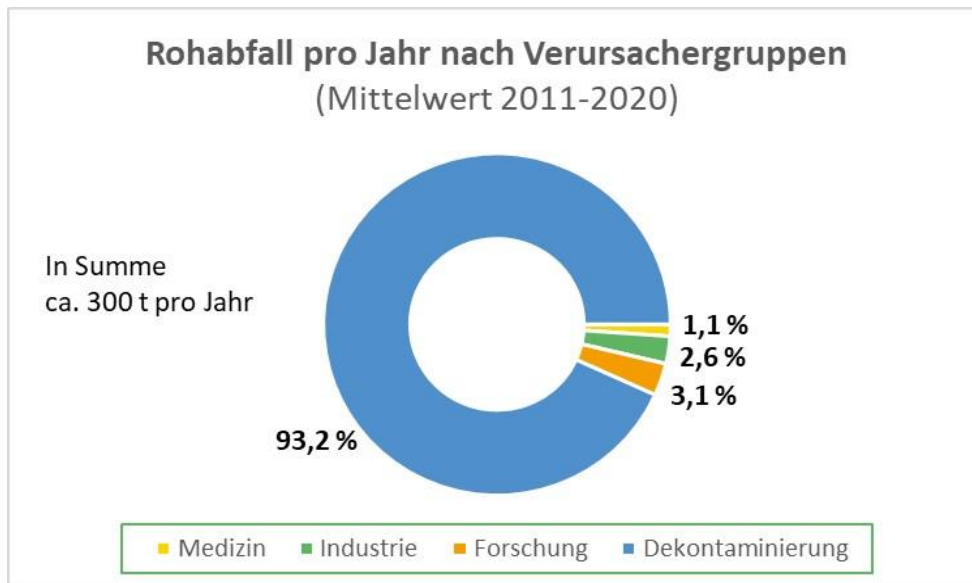


Abbildung 1: Mittlerer bei NES angelieferter Rohabfall der Jahre 2011 bis 2020

Der größte Teil der österreichischen radioaktiven Abfälle stammt aus Rückbauprojekten und Altlastensanierungen. In der Abbildung sind die Anteile der Dekommissionierungsabfälle getrennt von den übrigen Anteilen aus Medizin, Industrie und Forschung ausgewiesen. Es ist anzumerken, dass die Anteile an Abfällen in den einzelnen Bereichen starken jährlichen Schwankungen unterliegen. So stammt beispielsweise im Jahr 2019 der größte Anteil mit 63% aus der Verursachergruppe Medizin. Der Anteil der Verursachergruppe „Forschung“ betrug im Jahr 2018 8% während er im Jahr 2019 auf 16% anstieg. Dagegen sank im selben Zeitraum der Anteil der Verursachergruppe Industrie von 74% im Jahr 2018 auf 21% im Jahr 2019.

Abbildung 2 zeigt einen Verlauf der Anzahl der jährlich von 1979 bis 1996 bei NES eingelagerten Fässer. An einer Fortführung dieser Verlaufsdarstellung bzw. einer weiteren Aufschlüsselung nach Verursacher wird zurzeit in Zusammenarbeit mit NES gearbeitet. Mit Stand 31.12.2020 sind 12.000 Fässer bei NES gelagert.

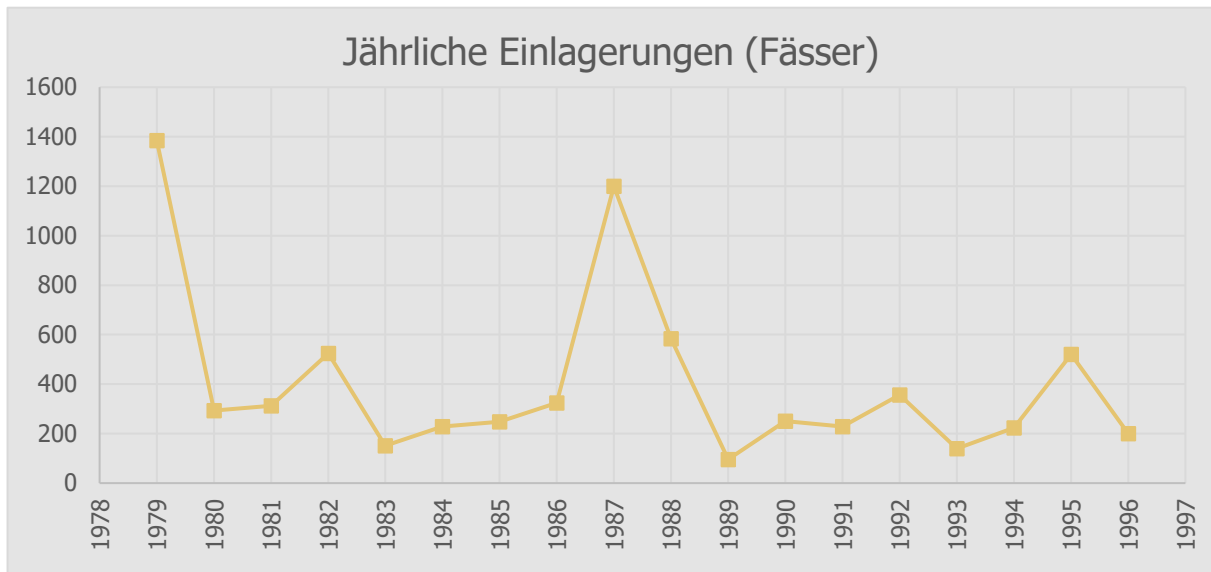


Abbildung 2: Jährliche Einlagerung von Fässern bei NES von 1979 - 1996

Klassifizierung von radioaktiven Abfällen

Klassifizierung auf Basis der Zerfalleigenschaften

Bis zur Einführung eines internationalen Klassifizierungssystems wurden radioaktive Abfälle basierend auf den Eigenschaften Wärmeerzeugung, Oberflächendosisraten und Beständen von langlebigen Radionukliden klassifiziert:

Hochaktiver Abfall:

- (i) Hochradioaktive Flüssigkeiten, die hauptsächlich Spaltprodukte sowie einige Aktiniden enthalten und die bei der chemischen Wiederaufbereitung von bestrahltem Kernbrennstoff aus dem ersten Extraktionszyklus und die damit verbundenen Abfallströme abgetrennt werden,
- (ii) Beliebige andere Abfälle mit Aktivitäten, die intensiv genug sind, um erhebliche Wärmemengen als Folge des radioaktiven Zerfallsprozesses zu erzeugen,
- (iii) verbrauchte Brennelemente, wenn sie als Abfall deklariert werden.

Mittelaktiver Abfall:

Abfälle, die aufgrund ihres Radionuklidgehalts eine Abschirmung erfordern, jedoch aufgrund der geringen Wärmeproduktion ($<2 \text{ kW/m}^3$) durch den radioaktiven Zerfall wenig oder keine

Vorkehrungen für die Wärmeableitung während der Handhabung und den Transport benötigen.

Mittelaktive Abfälle umfassen typischerweise Harze, chemische Schlämme und Metallbrennstoffhüllen sowie kontaminierte Materialien aus der Stilllegung des Reaktors bzw. der Dekommissionierung von Forschungseinrichtungen. Kleinere Gegenstände und nicht feste Stoffe können zur Entsorgung in Beton oder Bitumen verfestigt werden. Es macht in allen Staaten, in denen derartige Abfälle anfallen durchschnittlich <10% des Volumens und wenige Prozent der Radioaktivität aller radioaktiven Abfälle aus.

Schwachaktiver Abfall:

Abfälle, die aufgrund ihres geringen Radionuklidgehalts während der normalen Handhabung und des Transports nicht abgeschirmt werden müssen. Schwachaktive Abfälle wurden üblicherweise mit einer Aktivität von nicht mehr als 4 Giga-Becquerel pro Tonne (GBq/t) Alpha-Aktivität oder 12 GBq/t Beta-Gamma-Aktivität charakterisiert.

Schwachaktive Abfälle werden in medizinischen und industriellen Anwendungen erzeugt und bestehen typischerweise aus Papier, Lappen, Werkzeugen, Kleidung, Filtern usw., die geringe Mengen meist kurzlebiger Radioaktivität enthalten. Um das Volumen zu reduzieren, werden schwachaktive Abfälle häufig vor der Entsorgung verdichtet oder verbrannt. Diese Abfallkategorie macht in allen Ländern den größten Anteil des Volumens an Abfällen, aber nur wenige Prozent der Aktivität aller radioaktiven Abfälle aus.

Zu den schwachaktiven Abfällen zählen auch solche, die radioaktive Stoffe in einer Menge enthalten, die als nicht schädlich für Menschen oder die Umwelt angesehen werden. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Material wie Beton, Gips, Ziegel, Metall, Ventile, Rohrleitungen usw., das während der Sanierungs- oder Demontearbeiten an Industrie- und Forschungsstandorten anfällt. Andere Industrien wie Lebensmittelverarbeitung, Chemie, Stahl usw. produzieren aufgrund der Konzentration natürlicher Radioaktivität in bestimmten Mineralien, die in ihren Herstellungsprozessen verwendet werden, ebenfalls schwachaktive Abfälle. Diese werden zumeist durch Verbrennung oder Deponierung entsorgt, obwohl Länder wie Frankreich derzeit speziell konzipierte Entsorgungsanlagen entwickeln.

Klassifizierung nach IAE0

Die Internationale Atomenergieorganisation (IAEO) hat im Jahr 2009 ein neues Klassifizierungssystem für radioaktive Abfälle, das in direktem Zusammenhang mit der

Sicherheit der endgültigen Entsorgung steht, vorgeschlagen⁵. Das Grundprinzip ist, dass je höher die Aktivität des Abfalls ist, desto größer der Abstand zum Oberflächenökosystem ist und weitere technische Barrieren erforderlich sind. Die Akronyme für die Abfallkategorien sind:

- **VSLW Very short-lived low-level waste** – sehr kurzlebiger niedrigaktiver Abfall
- **VLLW Very low-level waste** – sehr niedrig aktiver Abfall
- **LLW Low-level waste** – niedrig aktiver Abfall
- **ILW Intermediate-level waste** - mittelaktiver Abfall
- **HLW High-level waste** – hochaktiver Abfall

Die IAEO gibt jedoch keine Grenzen zwischen den Klassen an. Es ist vielmehr Sache der nationalen Behörden, die Grenzwerte auf der Grundlage der spezifischen nationalen Situation festzulegen. Die Grenzwerte hängen dabei üblicherweise vom spezifischen Endlager-Design und den geologischen Bedingungen ab. Es kann aber festgehalten werden, dass VLLW und LLW volumenmäßig dominant sind. VLLW wird zurzeit international meist in oberirdischen Deponien entsorgt, während LLW in oberflächennahen Endlagern entsorgt wird.

Klassifizierung nach physikalisch-chemischer Form

In der Praxis hat es sich als zweckmäßig erwiesen, eine Einteilung durchzuführen, die auf dem österreichischen Hauptaufkommen an radioaktiven Abfällen aus den Bereichen Medizin, Industrie und Forschung beruht:

Flüssig brennbar (LB): Die Radionuklide liegen in einem organischen Lösungsmittel vor oder sind Bestandteil des Lösungsmittels.

Flüssig nicht brennbar (LN): Die Radionuklide liegen zumeist in Ionenform in einem Lösungsmittel vor, das überwiegend aus anorganischen Verbindungen besteht.

Flüssig nicht brennbar (LN/C): Darunter fallen nicht brennbare Flüssigkeiten mit einem CSB-Wert >200mg O₂/Liter. Der CSB-Wert (CSB = Chemischer Sauerstoff Bedarf) ist ein Maß für die Summe aller unter bestimmten Bedingungen in Wasser oxidierbaren Stoffe.

Fest brennbar (SB): Die Radionuklide sind entweder Bestandteil einer bei Raumtemperatur festen, überwiegend organischen Matrix oder haften ihr als Kontamination an.

Fest nicht brennbar (SN): Die Radionuklide sind entweder Bestandteil einer bei Raumtemperatur festen, überwiegend anorganischen Matrix oder haften ihr als Kontamination an.

⁵ Classification of radioactive waste: general safety guide. IAEA Safety Standard Series No GSG-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2009

Abklingabfälle fest brennbar (ASB): Abfälle der Kategorie fest brennbar, die ausschließlich Radionuklide mit Halbwertszeiten unter 100 Tagen haben.

Biologische Abfälle (BA): All jene Abfälle, die bei Lagerung bei Raumtemperatur verwesen, vergären oder verfaulen. Diese Abfälle bedürfen einer besonderen Behandlung bei der Zwischenlagerung vor der Konditionierung.

Sonderabfälle (SO): Da radioaktive Abfälle grundsätzlich in allen möglichen physikalischen und chemischen Formen und Verbindungen vorliegen können, sind insbesondere für Stoffe mit einem daraus resultierenden Gefahrenpotential besondere Vorkehrungen zu treffen. Dies gilt beispielsweise für selbstentzündliches oder explosives und hochreaktives Material. Ebenso für Stoffe, die bei Lagerung oder Verbrennung korrosive Gase abgeben und Stoffe, die mit Wasser brennbare Gase entwickeln.

Umschlossene radioaktive Stoffe (QU): In diese Gruppe gehören die ausgedienten Strahlenquellen.

Zusammengesetzte Abfälle (ZU): In diese Gruppe werden aus Gründen der arbeitstechnisch möglichen Vorgänge beim Abfallproduzenten, Abfälle verschiedener Aggregatzustände zusammengefasst, deren Auftrennung für das jeweilige Personal unzumutbar ist.

Gemäß dieser Einteilung erfolgt zurzeit die Lagerung und anschließende Aufarbeitung der Abfälle. Eine darüberhinausgehende weitere Auftrennung der Abfälle, insbesondere in Gruppen mit bestimmten Halbwertszeiten, erfolgt nicht.

Ausblick

Der vorliegende Bericht fasst den per 31.12.2020 erhobenen aktuellen Stand der verfügbaren Dokumente und Unterlagen zum Inventar an radioaktiven Abfällen in Österreich zusammen. Der Bestand an radioaktiven Abfällen ist aufgrund von Neuanlieferungen aber auch Re- und Nachkonditionierungen kontinuierlichen Veränderungen unterworfen. Eine detaillierte Erhebung der zurzeit eingelagerten Radionuklide, ihrer Aktivitäten, sowie eine Prognose der zukünftig anfallenden Abfälle waren nicht Ziel dieses Berichtes. Für eine zielgerichtete Diskussion der möglichen Entsorgungsoptionen für die bereits existierenden und künftig anfallenden radioaktiven Stoffe unter Minimierung der Auswirkungen auf die Umwelt und die darin lebenden Menschen werden diese Daten jedoch notwendig sein.

Glossar

Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. Allg. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben.
Becquerel (Bq)	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus Elektronen besteht, die beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesendet werden.
Endlager	Einrichtung zur Lagerung nicht weiter verwertbarer radioaktiver Abfälle, deren spätere Entfernung aus dem Lager nicht vorgesehen ist.
Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann.
Halbwertszeit	Zeitspanne, nach der die Anzahl der radioaktiven Atome eines Elementes auf die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome gesunken ist. Nach einer Halbwertszeit hat sich entsprechend auch die Aktivität des Radionuklides halbiert.
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können.
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl, zB.: Ordnungszahl 1: Wasserstoff H-1, Deuterium H-2 (auch D), Tritium H-3 (auch T).
Kontamination	Speziell: Verunreinigung von Gegenständen, Räumen, Wasser, Lebensmitteln oder Menschen mit radioaktiven Stoffen.
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart.

Radioaktive Abfälle	Radioaktive Materialien, für die eine Weiterverwendung nicht vorgesehen ist und die als radioaktiver Abfall der behördlichen Kontrolle unterliegen.
Radioaktive Materialien	Materialien, die radioaktive Stoffe enthalten.
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden.
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden.
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von ionisierender Strahlung in andere Nuklide zerfallen.
Zwischenlager	Einrichtung zur Lagerung von radioaktiven Abfällen, die einer späteren Behandlung zugeführt werden sollen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mittlerer bei NES angelieferter Rohabfall der Jahre 2011 bis 2020	18
Abbildung 2: Jährliche Einlagerung von Fässern bei NES von 1979 - 1996	19

Literatur

RICHTLINIE 2013/59/EURATOM DES RATES vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom, Rat der Europäischen Union, 17.01.2014

Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzgesetz 2020 – StrSchG 2020); BGBl. I Nr. 50/2020

Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz und der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über allgemeine Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 – AllgStrSchV 2020); BGBl. II Nr. 339/2020

Classification of radioactive waste: general safety guide. IAEA Safety Standard Series, No GSG-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2009

Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH - NES: <https://www.nes.at/>



GESUNDHEIT FÜR MENSCH, TIER & PFLANZE

www.ages.at