

Tritium und Strahlenschutz – von der Überwachung bis zur Entsorgung

Tritium ist in Gegenwart und Zukunft als Radioisotop in vielfältiger Hinsicht für den Strahlenschutz von Bedeutung, sei es für die Umweltüberwachung, in der Wissenschaft oder auch bei Betrieb und Rückbau von kerntechnischen Anlagen.

In seinen Eigenschaften ist es charakterisiert durch eine vergleichsweise kurze Halbwertszeit (12,3 Jahre) und auch dadurch, dass es als Beta-Strahler nur eine geringe Zerfallsenergie besitzt. Dies schränkt den Nachweis von Tritium messtechnisch ein. Für die Personendosis spielt das Isotop wegen der geringen Energie der Strahlung keine Rolle, zur Körperdosis tragen allerdings Inkorporationen bei.

Tritium kommt im gasförmigen Zustand (elementar, Methan), als tritiiertes Wasser (HTO) und als organisch gebundenes Tritium (OBT) vor. Die im Beitrag behandelten Teilthemen sind eine Auswahl und decken den Strahlenschutz bei Tritium nicht vollständig ab.

Inkorporation

Normalerweise wird die Aufnahme von Radionukliden in den menschlichen Körper, soweit keine Wunden vorliegen, durch 2 Inkorporationspfade beschrieben. Dabei handelt es sich um die im beruflichen Umfeld wichtige Inhalation (Aufnahme über die Lunge) und die Ingestion (Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt). Bei tritiiertem Wasser (HTO)

kommt als weiterer Pfad die Aufnahme über die Haut hinzu. Dies ist bei der Feststellung des Erfordernisses der Inkorporationsüberwachung zu

berücksichtigen und führt zu einem Aufschlag von 50 % auf die maximal inkorporierbare Aktivität [1].

Eine regelmäßige Überwachung ist dann erforderlich, wenn die maximal mögliche inkorporierbare Aktivität bei Erwachsenen zu einer Dosis von mindestens 1 mSv führen würde. Bei ausschließlichem Umgang

mit Tritium entspricht das bei einem Inkorporationsfaktor von 0,001 einem jährlichen Umgang mit 37 GBq (HTO). Durch Behördenauflagen und für besonders schutzbedürftige Personengruppen kann sich dieser Wert nach unten verschieben.

Bei elementarem Tritium in Gasform kann die mögliche Inkorporation durch Raumluftüberwachung festgestellt werden. Ansonsten bleibt die

Ausscheidungsüberwachung über den Urin. Tritium hat eine kurze Verweildauer im Körper, entsprechend liegt das Intervall der regelmäßigen Überwachung bei 30 Tagen. Da HTO in der gesamten Körperflüssigkeit und damit auch im Urin die gleiche Konzentration hat, wird zum Nachweis keine 24-h-Probe benötigt. Es reicht die Sammlung von Spoturin (Abb. 1). Ein Aliquot der Probe wird einem Szintillationscocktail zugesetzt und in einem LSC-Gerät gemessen. Beide Messverfahren haben in der Praxis Nachweisgrenzen, die weit unter den dosimetrischen Erfordernissen liegen.

OBT kann im Körper eingebunden werden und hat gegenüber HTO eine ca. 10-mal längere biologische Halbwertszeit. Es empfiehlt sich die Sammlung einer 24-h-Probe. OBT ist mehr als doppelt so dosiswirksam wie HTO. Gasförmiges Tritium (elementar und auch Methan) verweilt nur kurz in der Lunge, die Dosisfaktoren sind um mehrere Größenordnungen kleiner.

Dekorporation

Tritium ist mit der Körperflüssigkeit gleichmäßig im Körper verteilt. Sollte eine Dekorporation erforderlich werden, kommt es darauf an, die Ausscheidungsrate zu erhöhen und durch Zufuhr kontaminationsfreier Flüssigkeit die Konzentration im Körper weiter zu verdünnen. Empfohlen wird eine Wasserzufuhr von 3 bis 4 Litern pro

HTO: Zufuhr auch über Haut



Abb. 1: Bei Tritium reicht für Ausscheidungsmessungen die Sammlung von Spoturin.
Foto: FZJ/Andreas Holz

Tag über einen Zeitraum von 3 Wochen hinweg [2]. Strahlenschutzgergesteine schworen übrigens früher nicht zuletzt wegen des harntreibenden Effektes auf den „berühmten“ Kasten Bier, mit dem das Inkorporationsopfer zur allseitigen Zufriedenheit in die Ecke gesetzt wurde.

„Ein Kasten Bier hilft“

Kontamination

Oberflächenkontaminationen von Tritium sind schwer nachzuweisen. Es gibt wenige Geräte (Abb. 2), die zur direkten Messung in der Lage sind, erfordert sie doch ein recht spezielles Zählrohr. Diese Messungen sind geeignet für glatte Oberflächen. Ansonsten bleibt nur die Untersuchung von Wischproben. Tritt eine Oberflächenkontamination auf, ist sie in der Regel leicht zu entfernen. Der Grenzwert liegt bei 100 Bq/cm². Innerhalb von Kontrollbereichen sind unverzüglich Maßnahmen gegen die weitere Verbreitung der Kontamination und zur Verhinderung von Inkorporationen zu ergreifen, wenn der Grenzwert um das Hundertfache überschritten wird. In Überwachungsbereichen sind entsprechende Maßnahmen bereits bei

einer Überschreitung um das Zehnfache erforderlich. Außerhalb von Strahlenschutzbereichen gilt dies bei Bodenflächen, Gebäuden und beweglichen Gegenständen bereits bei Überschreiten des Grenzwertes. In diesem Fall sind die Ergebnisse der Messungen und Ermittlungen unverzüglich aufzuzeichnen.

Freigabe

Die **Freigrenze** für Tritium ist aufgrund der geringen Radiotoxizität vergleichsweise hoch und liegt bei 1 GBq, soweit es sich nicht um ein Gemisch mit anderen Radionukliden handelt. Sie regelt die Menge an Tritium, mit der genehmigungs- und anzeigefrei umgegangen werden darf.

Die **Freigabe** bedeutet die Entlassung von Materialien aus der Überwachung.

Die Freigabe wird behördlich auf Antrag erteilt, falls die Voraussetzungen erfüllt sind. Dosiskriterium für die Freigabe ist, dass durch die freizugehenden Gegenstände und Stoffe für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine effektive Dosis im Bereich von 10 µSv im Kalenderjahr auftreten kann.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit der **uneingeschränkten Freigabe**.

In diesem Fall bedarf es keinerlei Festlegungen z. B. bezüglich der Verwendung und der Weitergabe. Das setzt aber voraus, dass bei der Nachweisführung alle möglichen Nutzungen usw. berücksichtigt wurden.

Unabhängig davon kommt für eine wässrige Lösung eine uneingeschränkte Freigabe auch dann in Betracht, wenn neben dem Dosiskriterium für die Freigabe auch die Vorgaben der Trinkwasserverordnung [3] eingehalten sind.

Bauschutt kann nur uneingeschränkt freigegeben werden, wenn es sich um eine zu erwartende Menge von weniger als 1.000 Tonnen im Jahr handelt. Der Freigabewert liegt dann bei 100 Bq/g (StrSchV neu) und gilt auch für andere feste Stoffe, Öle, ölhaltige

Flüssigkeiten sowie organische Lösungs- und Kühlmittel.

Bei der **spezifischen Freigabe** sind zum Beispiel die Verwendung und die Weitergabe an Dritte eingeschränkt.

Die Einschränkungen können aus den materiellen Eigenschaften der freizugehenden Stoffe und Gegenstände, aber auch aus Anforderungen an die künftige Verwendung, Verwertung, Beseitigung usw. resultieren. Bei der spezifischen Freigabe kann die Behörde davon ausgehen, dass das Dosiskriterium für die Freigabe eingehalten ist, wenn die jeweiligen Freigabewerte eingehalten sind.

Dabei gibt es eigene Freigabewerte für

- Bauschutt (> 1.000 t/Jahr),
 - Bodenflächen,
 - feste Stoffe zur Beseitigung auf Deponien,
 - Stoffe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage
- und von
- Gebäuden (Räumen ...) zur Wieder- und Weiterverwendung,
 - Gebäuden (Räumen ...) zum Abriss sowie
 - Metallschrott zum Recycling.

Freigabe auf Antrag erteilt



Abb. 2: Oberflächenkontaminations-Messungen mit einem speziellen Detektor für Tritium; Foto: FZJ/Andreas Holz



Zur Ermittlung der Freigabewerte und spezifischer Aspekte gibt es ergänzende Regelungen.

Durch Freigabemessungen ist die Einhaltung der Freigabewerte nachzuweisen. Dazu zählen auch die Oberflächenkontaminationswerte fester Oberflächen.

Das Messverfahren richtet sich nach Art und Beschaffenheit der Stoffe.

Die Freigabewerte unterscheiden sich zwischen neuer und alter StrSchV [4] teils beträchtlich. Bei Tritium sind die Freigrenze und der Oberflächenkontaminationswert nicht betroffen.

Noch gilt eine Übergangsfrist von 2 Jahren, bis die neuen Werte angewandt werden müssen. Generell gilt, dass bei Nuklidgemischen für die Freigrenzen und Freigabewerte die Anteile anderer Nuklide zu berücksichtigen sind.

Beförderung

Nach § 27 StrlSchG [5] ist für die Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe auf öffentlichen bzw. der Öffentlichkeit zugänglichen Verkehrswegen eine Genehmigung für den Beförderer erforderlich.

Eine Transportgenehmigung ist dann nicht erforderlich, wenn es sich um

Stoffe nach § 28 (1) StrlSchG handelt. Hierunter fallen u. a. Stoffe mit Aktivitäten unterhalb der Freigrenze, bei Tritium also 1 GBq [4].

Es ist ebenfalls keine Transportgenehmigung

nach StrlSchG für Stoffe erforderlich,

- die von der Anwendung der Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter befreit sind (s. u.) sowie
- für sonstige radioaktive Stoffe unter den Voraussetzungen für freigestellte Versandstücke (s. u.) nach den einschlägigen Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter.

Messverfahren sind unterschiedlich

Summenformel für Nuklidgemische

Radionuklid	Aktivitätsgrenzwert für eine freigestellte Sendung (Bq)	Aktivitätskonzentration für freigestellte Stoffe (Bq/g)
Tritium (³ H)	1 E+9	1 E+6

Tab. 1: Auszug für Tritium aus Tabelle 2.2.7.2.2.1 ADR

Freigestellte Sendungen

Radioaktive Stoffe gemäß ADR [6] enthalten Radionuklide mit einer Aktivitätskonzentration und einer Gesamtaktivität je Sendung oberhalb der in Tabelle 1 genannten Grenzwerte. Radioaktive Stoffe, deren Aktivitätskonzentration bzw. Gesamtaktivität – bei Nuklidgemischen unter Beachtung der Summenformel – die Werte der Tabelle 1 nicht überschreiten, gelten nicht als radioaktive Stoffe im Sinne der ADR-Vorschriften und sind somit befreit.

Freigestellte Versandstücke

Freigestellt sind Versandstücke z. B. dann, wenn die Aktivität je Versandstück die in Tabelle 2 aufgeführten Grenzwerte – unter Beachtung der Summenformel – nicht übersteigt.

Kennzeichnung für freigestellte Versandstücke

Versand als UN 2910 „RADIOAKTIVE STOFFE, FREIGESTELLTES VERSANDSTÜCK – BEGRENZTE STOFFMENGE“.

Weitere Voraussetzungen sind unter anderem:

- Ein Versandstück hält unter Routinebeförderungsbedingungen den radioaktiven Inhalt eingeschlossen. Als dafür geeignete Verpackung kann ein handelsüblicher stabiler Karton aus Wellpappe, eine Holzkiste oder ein stabiles Gefäß aus Metall verwendet werden.
- Die Dosisleistung überschreitet an keinem Punkt der Außenfläche des Versandstückes 5 µSv/h.
- Nicht festhaftende Kontaminationen an den Außenseiten eines Versandstückes müssen so gering wie möglich sein und dürfen unter Routinebeförderungsbedingungen die Grenzwerte 4 Bq/cm² für Beta- und Gamma-Strahler sowie Alpha-Strahler niedriger Toxizität bzw. 0,4 Bq/cm² für alle anderen Alpha-Strahler nicht überschreiten (gemittelt über 300 cm² Oberfläche).

Typ-A-Verpackungen

Sollten die Aktivitätswerte oberhalb der Grenzwerte für freigestellte Versandstücke liegen, so muss eine Typ-A-Verpackung verwendet werden. Dabei handelt es sich um baumustergeprüf-

Aggregatzustand des Inhaltes	Grenzwert je Versandstück
Feste Stoffe in besonderer Form*) in anderer Form	40 GBq 40 GBq
Flüssige Stoffe	4 GBq
Gase Tritium in besonderer Form*) in anderer Form	800 GBq 40 GBq 40 GBq

*) in besonderer Form: nicht dispergierender Stoff oder eine dichte Kapsel

Tab. 2: Stoffe; Aktivitätsgrenzen für freigestellte Versandstücke; nach Tabelle 2.2.7.2.4.1.2 ADR

te Verpackungen, welche in der Regel aus mehreren Komponenten (Außenverpackung, Innenverpackung, Abschirmung) bestehen. Der Aktivitätsgrenzwert für eine Typ-A-Verpackung ist für Tritium 40 TBq, sowohl für umschlossene als auch offene radioaktive Stoffe. Transporte für Typ-A-Verpackungen sind genehmigungspflichtig.

3 Komponenten der Verpackung

Rückbau

Die deutschen Kernkraftwerke gehen bis Ende 2022 außer Betrieb. Dann steht der Rückbau an (Abb. 3). Erfahrungen von bereits durchgeführten Projekten im Bereich kerntechnischer Anlagen liegen vor. In der Regel werden die Arbeitsgänge so geplant, dass keine regelmäßige Überwachung der Inkorporation erforderlich ist. In den

Nuklidvektoren wichtiger Anlagenteile spielt Tritium ohnehin keine Rolle. Die Anteile sind unterhalb der Kappungsgrenze. Dennoch muss Tritium im Freigabeprozess von Materialien

und Reststoffen berücksichtigt werden. Es kommt insbesondere als HTO und teils auch organisch gebunden in Materialien wie mineralischen Stoffen, Metallen und Kunststoffen vor. Ziel



Abb. 4: Lagerbehälter für Tritium-haltige Abwässer in Fukushima-Daiichi; Foto: TEPCO

des Freigabeprozesses ist es, Materialien aus den Kontrollbereichen zu entlassen und dem normalen Abfallkreislauf zuzuführen.

Entsorgung

Tritium, das entsorgt werden muss, fällt zum Beispiel in der einschlägigen Industrie an. Solche Abfälle sind an die Landessammelstellen (in NRW am Standort Jülich) abzugeben [7]. Dabei handelt es sich oft um brennbares Material, das nach Möglichkeit in geeigneten Einrichtungen verascht werden sollte. Die Landessammelstellen haben dann später die Endlagerung zu veranlassen.

Große Mengen an Tritium-haltigen Abfällen sind übrigens im KKW Fukushima-Daiichi in derzeit um die 700 Lagertanks (Abb. 4) gespeichert, die Wasser aus dem Kühlkreislauf enthalten. Damit sind die Grenzen der Lagerkapazitäten erreicht, zumal Platz für weitere Schritte des Rückbaus der Unglücksreaktoren geschaffen werden muss. Angedacht ist die Verklappung im angrenzenden Meer.

Peter Hill mit Lothar Poschen □

Der etwas andere Kommentar, heute zum Thema: Tritium-Strahlenschutz

Zum Tritium meint ein Tritiologe
aus Seftigen,
dies Nuklid wird gewiss noch lang
uns beschäftigen.

Drum, Strahlenschützer, passt auf!
Und achtet auch weiterhin drauf,
die Überwachungspflicht kann ich
somit nur bekräftigen.

Rupprecht Maushart, Straubenhardt



Abb. 3: Das KKW Unterweser: seit Februar 2018 im Rückbau; Foto: Preussenelektra