

WIR STEHEN FÜR

Sicherheit im Umgang mit Strahlung.



**Fachverband für  
Strahlenschutz e.V.**

Für Deutschland und die Schweiz  
Mitgliedsgesellschaft der IRPA  
International Radiation Protection Association

**Stellungnahme  
des  
Deutsch-Schweizerischen  
Fachverbandes für Strahlenschutz  
zur Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom**

**Abschätzung der Auswirkungen geänderter  
Werte für die uneingeschränkte Freigabe**

Februar 2015

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Regelungen zu Freigrenzen und zur uneingeschränkten Freigabe .....</b>	<b>3</b>
2.1	Bestehende Regelungen zu Freigrenzen und Freigabe in Deutschland.....	3
2.2	Regelungen der EU-GN bezüglich Freigrenzen und Freigabe.....	5
<b>3</b>	<b>Abschätzung der Auswirkungen geänderter Freigabewerte für künstliche Radionuklide.....</b>	<b>6</b>
3.1	Energieversorgungsunternehmen.....	6
3.2	Großforschungseinrichtungen.....	7
3.3	Landessammelstellen.....	8
3.4	Entsorgungsfachbetrieb.....	8
3.5	Kliniken.....	9
3.6	Forschungsinstitute.....	9
<b>4</b>	<b>Freigabe von natürlich vorkommenden Radionukliden .....</b>	<b>12</b>
4.1	Grundsätzliches zu Freigabewerten.....	12
4.2	Qualitative Betrachtungen zu den Freigabewerten der natürlich vorkommenden Radionuklide.....	13
4.2.1	Allgemeine Bemerkungen.....	13
4.3	Die vorgeschlagenen Freigabewerte von natürlich vorkommenden Radionukliden im Hinblick auf Dosisbetrachtungen.....	15
4.4	Hinweise zu messtechnischen Sachverhalten bei der Bestimmung spezifischer Aktivitäten von natürlich vorkommenden Radionukliden.....	15
4.5	Ergänzende Hinweise.....	17
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Referenzen.....</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>20</b>

## **1 Einleitung**

Im Dezember 2013 wurden die neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz (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, EU-GN) verabschiedet /EUR 14/. Innerhalb von vier Jahren muss diese Richtlinie in nationales Recht umgesetzt werden. Sie betrifft auch Regelungen zu Freigrenzen und zur Freigabe radioaktiver Stoffe. Diese Regelungen betreffen beispielsweise den Rückbau von kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen in Deutschland, bei dem es zum Anfall großer Mengen potenziell freigebbaren Materials kommt, Kliniken, welche radioaktive Stoffe zu Diagnose- oder Therapiezwecken einsetzen, und Forschungsinstitute.

Die wesentliche Änderung in den EU-GN gegenüber den bestehenden Regelungen in Deutschland im Kontext der Freigabe ist, dass für die Freigrenzen und die uneingeschränkte Freigabe ein gemeinsamer Wertesatz (radionuklidspezifische, massenbezogene Aktivitätswerte) vorgesehen ist. Mehrheitlich bedeutet dies eine Absenkung der Werte für den Pfad der uneingeschränkten Freigabe. Die Möglichkeit, in nationaler Verantwortung Werte für eine zweckgerichtete Freigabe (z.B. von Feststoffen zur Deponierung oder Metallschrott zur Rezyklierung) zu erlassen, wird weiterhin anerkannt.

Mit Schreiben vom 12. Dezember 2014 hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) den Fachverband für Strahlenschutz gebeten (Aktenzeichen: RS III 5 – 13053/1), eine Einschätzung vorzunehmen, welche Auswirkungen die Umsetzung der Regelungen der EU-GN bezüglich der Freigrenzen und der uneingeschränkten Freigabe haben könnte. Die dort aufgeführten Freigabewerte für künstliche Radionuklide wurden der EU-GN entnommen. Für natürlich vorkommende Radionuklide wurden Freigabewerte auf Basis von Art. 30 Abs. 2 b) aus den EU-GN ergänzt, da sie in der Richtlinie (Anhang VII Tab. A) explizit nicht aufgeführt sind.

Die vorliegende Stellungnahme soll dazu dienen, mögliche Tendenzen aufzuzeigen und eine erste qualitative Einschätzung bezüglich dieser Fragestellung zu geben. Hierzu werden zunächst in Kapitel 2 die derzeit in Deutschland bestehenden und eine Zusammenstellung der Regelungen aus den EU-GN bezüglich der Freigrenzen und uneinge-

schränkten Freigabe wiedergegeben sowie ein Vergleich der Wertesätze angestellt. Kapitel 3 nimmt eine erste Einschätzung möglicher Auswirkungen der Umsetzung der Regelungen der EU-GN bezüglich der Freigrenzen vor, wobei unterschieden wird zwischen einem Energieversorgungsunternehmen, Großforschungseinrichtungen, einer Landesammelstelle, eines Entsorgungsbetriebs, Kliniken und Forschungsinstituten. Kapitel 4 gibt eine Einschätzung bezüglich der Ergänzung von Freigabewerten für natürlich vorkommende Radionuklide. Kapitel 5 fasst die wesentlichen Tendenzen der Abschätzungen zusammen.

## **2 Regelungen zu Freigrenzen und zur uneingeschränkten Freigabe**

Im Folgenden werden die bestehenden Regelungen zu Freigrenzen und zur uneingeschränkten Freigabe in Deutschland zusammengefasst. Des Weiteren erfolgen eine Zusammenstellung der in den EU-GN vorgesehenen Regelungen zu dieser Thematik und ein Vergleich der jeweiligen Wertesätze.

### **2.1 Bestehende Regelungen zu Freigrenzen und Freigabe in Deutschland**

Das Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) /ATG 13/ bildet die gesetzliche Grundlage der Freigabe.

§ 2 Abs. 2 Nr. 2 AtG besagt:

„(2) Die Aktivität oder spezifische Aktivität eines Stoffes kann im Sinne Absatz 1 Satz 1 außer Acht gelassen werden, wenn dieser nach einer auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnung

1. festgelegte Freigrenzen unterschreitet,
2. soweit es sich um einen im Rahmen einer genehmigungspflichtigen Tätigkeit nach diesem Gesetz oder nach einer auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnung anfallenden Stoff handelt, festgelegte Freigabewerte unterschreitet und der Stoff freigegeben ist. [...]

Die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung, StrlSchV) /STR 12/ legt in Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 und 3 Freigrenzen, d.h. Werte für die Aktivität und spezifische Aktivität, für Radionuklide fest.

Bezüglich der Freigabe wird das AtG untersetzt durch die Regelungen des § 29 „Voraussetzungen für die Freigabe“ der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in Verbindung mit Anlage III und Anlage IV StrlSchV.

Nach § 29 StrlSchV können radioaktive Stoffe sowie bewegliche Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteile, die kontaminiert oder aktiviert sind und die aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 Buchstabe a, c oder d StrlSchV stammen, als nicht radioaktive Stoffe verwendet, verwertet, beseitigt, innegehabt oder an einen Dritten weitergegeben werden, wenn die zuständige Behörde auf Antrag einen Freigabebescheid erteilt hat und daraufhin festgestellt worden ist, dass die im Freigabebescheid festgelegten Anforderungen erfüllt sind. Die Freigabe ist somit ein Verwaltungsakt, der die Entlassung aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung bewirkt. Durch die freigegebenen Stoffe darf für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine effektive Dosis im Bereich von 10 µSv im Kalenderjahr auftreten (10 µSv-Konzept).

Das 10 µSv-Konzept kann als erfüllt angesehen werden, wenn die in Anlage III Tabelle 1 der StrlSchV für verschiedene Freigabeoptionen festgelegten Freigabewerte eingehalten und die Festlegungen zur Freigabe in Anlage IV der StrlSchV beachtet werden.

Es werden in Anlage III Tabelle 1 der StrlSchV folgende Freigabeoptionen aufgeführt:

1. eine uneingeschränkte Freigabe von

- a) festen und flüssigen Stoffen,
- b) Bauschutt, Bodenaushub von mehr als 1000 t/a,
- c) Bodenflächen,
- d) Gebäuden zur Wieder-/Weiterverwendung;

2. Freigabe von

- a) festen Stoffen bis zu 100 t/a zur Beseitigung auf Deponien,
- b) festen und flüssigen Stoffen bis zu 100 t/a zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen,

- c) festen Stoffen bis zu 1000 t/a zur Beseitigung auf Deponien,
- d) festen und flüssigen Stoffen bis zu 1000 t/a zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen,
- e) Gebäuden zum Abriss,
- f) Metallschrott zur Rezyklierung.

## **2.2 Regelungen der EU-GN bezüglich Freigrenzen und Freigabe**

Regelungen bezüglich der Freistellung von Tätigkeiten werden in Artikel 26 „Freistellung von der Anmeldungspflicht“ aufgestellt.

Absatz 1b besagt, dass Mitgliedsstaaten beschließen können, dass für gerechtfertigte Tätigkeiten keine Anmeldepflicht besteht, falls die Aktivitätskonzentrationen des radioaktiven Materials die Freigrenzen in Anhang VII Tabelle A nicht überschreiten. Grundlage für die Feststellung, dass eine Tätigkeit ihrem Wesen nach sicher ist, ist, dass für künstliche Radionuklide die für eine Einzelperson der Bevölkerung aufgrund der freigestellten Tätigkeit erwartete effektive Dosis im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  jährlich oder weniger liegt (Anhang VII).

Regelungen zur Freigabe werden in Artikel 30 „Freigabe aus der regulatorischen Kontrolle“ aufgestellt.

In Absatz 1 wird eine Zulassung für die Beseitigung, Wiederverwertung oder Wiederverwendung von radioaktivem Material vorgeschrieben. Dies entspricht dem im deutschen Strahlenschutzrecht verankerten Verwaltungsakt, dass die Freigabe von der zuständigen Behörde auf Antrag erteilt wird (§ 29 Abs. 2 Satz 1 StrlSchV).

In Absatz 2 wird angeführt, dass eine Entlassung aus regulatorischer Kontrolle erfolgen kann, wenn für Feststoffe die Aktivitätskonzentrationen die in Anhang VII Tabelle A der EU-GN festgelegten Freigabewerte bzw. spezifische Freigabewerte, welcher in nationaler Verantwortung erlassen worden sind, nicht überschritten werden.

In Absatz 4 wird ein Verbot der absichtlichen Verdünnung von radioaktivem Material für den Zweck der Entlassung aus der regulatorischen Kontrolle ausgesprochen. Dies ist im deutschen Strahlenschutzrecht bereits verankert (§ 29 Abs. 2 Satz 4 StrlSchV).

Die entsprechenden Zahlenwerte des Anhangs VII Tabelle A der EU-GN basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Atomenergie-Organisation (International Atomic Energy Agency, IAEA) SR 44 /IAE 05/ und RS-G-1.7 /IAE 04/.

Die EU-GN geben ausschließlich Regelungen für die Freigabe und Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe vor. Eine Gegenüberstellung der Freigabewerte der EU-GN und des derzeit in Deutschland geltenden Wertesatzes für die uneingeschränkte Freigabe fester und flüssiger Stoffe in Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV (s. Anhang) zeigt, dass sich diese Wertesätze für eine Vielzahl von Nukliden unterscheiden. In einer Vielzahl von Fällen liegen die Werte in den EU-GN unterhalb der derzeit im deutschen Strahlenschutzrecht verankerten Werte, in einigen Fällen liegt sie höher.

### **3 Abschätzung der Auswirkungen geänderter Freigabewerte für künstliche Radionuklide**

In den folgenden Abschnitten werden Abschätzungen der möglichen Auswirkungen geänderter Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe auf das Abfallaufkommen und die damit in Zusammenhang stehenden Entsorgungskosten unterteilt nach verschiedenen Branchen gegeben.

#### **3.1 Energieversorgungsunternehmen**

In den deutschen Druckwasserreaktoren (DWR) liegen meist Co-60 dominierte Nuklidvektoren vor. Relevantes Nuklid im Hinblick auf die Änderungen der Werte für die uneingeschränkte Freigabe ist Cs-137 für die meisten Systeme. Cs-137 gewinnt im Laufe eines Rückbauprojektes durch die längere Halbwertszeit im Vergleich zu Co-60 eine größere Bedeutung. Es ist davon auszugehen, dass sich bei einem Co-60 dominierten Nuklidvektor die Masse der uneingeschränkt freigebbaren Stoffe durch die Anpassung der Werte mit denen für die Freigrenzen um ca. 10% reduziert.

Beton stellt einen Sonderfall dar. Liegt hier eine Kontamination vor, so ist ein höherer Cs-137-Anteil im Nuklidvektor möglich. Entsprechend sind die Auswirkungen der Änderung der Freigabewerte größer. Für den hier betrachteten DWR liegen noch keine speziellen Nuklidvektoren für Beton vor. Die Auswirkungen sind derzeit noch nicht quantifizierbar.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass bei der Freigabe von radioaktiven Reststoffen in der Regel die flächenbezogenen Freigabewerte grenzwertbestimmend sind. Dies liegt insbesondere an den in der StrlSchV festgeschriebenen Mittelungsflächen, die für die Anwendung des bundesweit bewährten Freigabeverfahrens mittels Freimessanlage zu gering sind und daher anzupassen wären. Die erlaubte Mittelungsfläche liegt gemäß Anlage IV Teil A Nr. d) der Strahlenschutzverordnung bei 1000 cm<sup>2</sup>. Die tatsächliche Oberfläche des Messguts ist in vielen Fällen jedoch deutlich größer (z.B. bei Kabeln, Isolierblechen etc.).

Die Freigabe wird von vielen Faktoren beeinflusst. Werden nach und nach mehrere Faktoren verändert z.B. durch die Erhöhung von Konservativitäten bzw. eine Herabsetzung von Grenzwerten kann dies durch die Summe der Auswirkungen ggf. den anfallenden radioaktiven Abfall erhöhen

Für die vorab vorgenommene Bewertung ist es unabdingbar, dass die zweckgerichtete Freigabe in der heute in der Strahlenschutzverordnung geregelten Form nutzbar erhalten bleibt. Darunter fällt auch die Verfügbarkeit von ausreichender Deponiekapazität über einen langen Zeitraum. Ist aufgrund gesenkter Freigabewerte keine uneingeschränkte Freigabe möglich und aufgrund von fehlenden Deponiekapazitäten auch keine zweckgerichtete Freigabe, fallen erhebliche zusätzliche Massen an radioaktivem Abfall an, woraus auch erhebliche Mehrkosten resultieren.

### **3.2 Großforschungseinrichtungen**

Am Beispiel der Freigabechargen des Jahres 2014 einer Großforschungseinrichtung konnte festgestellt werden, dass die Neuregelung der Grenzwerte keine oder nur eine unbedeutende Auswirkung auf die Freigabemengen gehabt hätte. Eine genaue Analyse aller Freigabechargen seit Inkrafttreten der derzeit geltenden Regelungen zur Freigabe in der StrlSchV von 2001 würde ähnliche Ergebnisse liefern. Hauptgrund dafür ist die Tatsache, dass zum überwiegenden Teil Hilfskomponenten wie Möbel, Werkzeuge, Lagermaterialien, Abschirmungen, Zulaufleitungen etc. den Freigabechargen zugeschlagen wurden, die aus betriebshistorischer Betrachtung keine oder kaum Kontamination oder Aktivierung erfahren haben.

Der beim Rückbau von Forschungsreaktoren anfallende Bauschutt, welcher vom Mengenteil als hoch anzusehen ist, kann nach Einhaltung des Wertesatzes der Anlage III



Tabelle 1 Spalte 6 StrlSchV (uneingeschränkte Freigabe von Bauschutt und Bodenaushub von mehr als 1000 t/a) freigegeben werden. Wie aus dem Vergleich der Wertesätze zu erkennen ist, sind die Freigrenzen der EU-GN nicht generell niedriger als die aktuell in Deutschland geltenden Werte für die uneingeschränkte Freigabe von Bauschutt, sondern es gibt auch Nuklide bei denen sie höher sind, beispielsweise Sr-90 sowie die Pu-Isotope und Am-241. Diese höheren Werte würden in einem großen Umfang die Reduzierungen anderer relevanter Nuklide wie z.B. Cs-137, Ba-133, Eu-152 und Eu-154 kompensieren. Beispielhafte Abschätzungen zeigen, dass die Anwendung der Freigrenzen der EU-GN somit im Hinblick auf die uneingeschränkte Freigabe zu keiner nennenswerten Einschränkung führen würde.

Für Heiße Labore wird es besonders durch die Grenzwertreduzierung von Cs-137 von 0,5 Bq/g auf 0,1 Bq/g beim Rückbau systemrelevanter Teile wie z.B. Abwassersystem, Abluftsystem, Gebäudestruktur und des dabei anfallenden Sekundärabfalles zu einer Reduzierung der Mengen für die uneingeschränkte Freigabe kommen. Für den Fall, dass eine zweckgerichtete Freigabe nicht zur Verfügung steht, wäre damit auch eine Erhöhung der Menge schwach radioaktiver Abfälle mit einer entsprechenden Kostensteigerung verbunden.

### **3.3 Landessammelstellen**

Nach Abschätzung einer Landessammelstelle würden die neuen Freigabewerte bei der uneingeschränkten Freigabe bezogen auf die in 2014 durchgeführten Freigaben zu einer Reduzierung der freigegebenen Mengen um etwa 20% führen. Im Ergebnis würden bei dieser Landessammelstelle etwa 650 kg Reststoff nicht uneingeschränkt freigegeben werden können, was zu zusätzlichen Aufwendungen auf Seiten der ablieferungspflichtigen Einrichtungen von ca. 100.000 EUR pro Jahr führen würde (bezogen auf die Zahlen aus dem Jahr 2014). Wir gehen davon aus, dass sich diese Situation grundsätzlich bei allen Landessammelstellen entsprechend einstellen würde.

### **3.4 Entsorgungsbetrieb**

Ein Betrieb der derzeit von einer Vielzahl Abgabepflichtiger in Deutschland Reststoffe zur weiteren Verarbeitung und Entsorgung annimmt, beziffert die übernommene Masse an Materialien, die derzeit nach Verarbeitung, Messung und Bewertung in die Freigabe gehen, auf ca. 80 Mg. Bei Zugrundelegung der neuen Freigabewerte könnten davon

zukünftig ca. 30 Mg jährlich nicht mehr freigegeben werden und müssten als radioaktiver Abfall entsorgt werden, wenn eine entsprechende zweckgerichtete Freigabe nicht zur Verfügung steht. Die sich daraus ergebenden Mehrkosten lassen sich nur grob schätzen, könnten aber im Bereich von mehreren Millionen Euro jährlich liegen.

### **3.5 Kliniken**

Die uneingeschränkte Freigabe von wässrigen Flüssigkeiten nach Abklinglagerung stellt in Kliniken eine übliche Praxis dar. Die Lagerung von Abklingabfällen aus dem Klinikbereich bis zum Erreichen der Ableitungswerte (Freigabe flüssiger Abfälle bisher nicht gestattet) zum Beispiel bei I-125 führt bei den vorgeschlagenen Freigabewerten zu einer Verlängerung der Abklingdauer um etwa 1 Jahr und verursacht am Beispiel einer Klinik dort Mehrkosten in der Größenordnung von etwa 5.000 EUR im Jahr. Unberücksichtigt ist dabei, dass Abwässer aus dem Klinikbereich noch einer zusätzlichen Behandlung bedürfen, ehe sie ins Abwassernetz geleitet werden dürfen. Die Aufwendungen für die Beschaffung einer entsprechenden Anlage werden in diesem Fall auf einmalig 50.000 bis 70.000 EUR geschätzt. In wie weit diese Abschätzung auf andere Kliniken übertragbar ist, können wir derzeit nicht abschätzen. Sicher hängt der jeweilige Investitionsbedarf in Abklinganlagen von den jeweils aktuell vorhandenen Einrichtungen ab.

### **3.6 Forschungsinstitute**

Zur Erforschung neuer Wirkstoffe zur Behandlung von Patienten, Tieren oder für den Pflanzenschutz sind Studien zur Aufklärung des Verteilungs-, Ausscheidungs- und Rückstandverhaltens sowie zur Aufklärung von Stoffwechselprozessen im Organismus (Mensch, Tier, Pflanze) durchzuführen. In Studien, die von einer Vielzahl von Firmen, Forschungsinstituten und Universitäten durchgeführt werden, werden dafür die zu untersuchenden Wirkstoffe radioaktiv markiert. Vor allem die Radionuklide H-3 und C-14 kommen hier zur Anwendung. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen sind für die entsprechenden Zulassungen durch die zuständigen Behörden unerlässlich.

Die bei den Tätigkeiten anfallenden Reststoffe, die H-3 oder C-14 enthalten, können im Wesentlichen in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Liquid Szintillationsreststoffe (LS, flüssiger organisch)
- Lösungsmittelreststoffe (organisch/ wässrig)

- Allgemeine Laborreststoffe (fest/ brennbar).

Die LS-Reststoffe resultieren aus den Bestimmungen der Aktivität mit Szintillations-Countern. Die Lösungsmittelreststoffe entstehen während der Synthese der markierten Wirkstoffe und deren Reinigung bzw. Analytik mittels Hochleistungsflüssigkeits-chromatographie (HPLC). Die allgemeinen Reststoffe aus dem Labor enthalten im Wesentlichen gebrauchte Handschuhe, Zellstoff und sonstiges kontaminiertes, brennbares Labormaterial in fester Form.

Das Freigabeverfahren nach aktueller StrISchV wird für alle diese Reststoffe soweit wie möglich in der Praxis angewandt, dies gibt Entsorgungssicherheit und spart erheblich Kosten. So kann ein großer Anteil der in diesem Forschungsbereich anfallenden Reststoffe uneingeschränkt freigegeben und anschließend als Abfall nach Kreislaufwirtschaftsgesetz entsorgt werden; nach Abschätzung im Durchschnitt etwa 50% der hier insgesamt entstehenden Reststoffe in Deutschland von durchschnittlich 100 Mg pro Jahr. Unabhängig davon, ob die Reststoffe freigegeben und dann nach Kreislaufwirtschaftsgesetz entsorgt werden oder ob sie als radioaktive Abfälle nach Strahlenschutzverordnung entsorgt werden müssen, werden alle diese Abfälle in geeigneten Anlagen verbrannt.

Der Anteil der uneingeschränkt freigebbaren Reststoffe am Gesamtvolumen der aus dem Bereich Life-Science stammenden Abfälle wird bei Anwendung der Kriterien der EU-GN erheblich reduziert. Denn die Freigabewerte wurden gerade für H-3 und C-14 jeweils deutlich herabgesetzt (s. Anhang).

Weiterhin ist hier nur die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen vorgesehen. Eine Abschätzung hat ergeben, dass damit der Anteil der uneingeschränkt freigebbaren Reststoffe von aktuell etwa 50% der Gesamtmenge anfallender Reststoffe auf zukünftig << 5% absinken wird. Für diese zukünftig nicht mehr uneingeschränkt freigebbaren Reststoffe müssten neue Entsorgungswege gefunden werden. Beispielsweise könnten sie zukünftig zur Beseitigung freigegeben werden, vorausgesetzt, die Einhaltung des 10 µSv-Konzepts kann gezeigt werden und eine entsprechende Regelung in der nationalen Umsetzung der EU-GN in deutsches Recht wird festgeschrieben. Allerdings wird der Bürokratieaufwand im Vergleich zu heute erheblich steigen; schon das aktuelle Verfahren zur Freigabe zur Beseitigung ist im Vergleich zum Verfahren für die uneingeschränkte Freigabe wesentlich komplexer (z.B. Beteiligung der für das Kreislaufwirt-

schaftsgesetz zuständigen Behörde und des Entsorgungsbetriebs). Daraus resultierende Kostensteigerungen, z.B. aufgrund zusätzlichen Platzbedarfs für verlängerte Zeiten für die Zwischenlagerung von zur Freigabe zur Beseitigung anstehenden Reststoffen bis zum jeweiligen Abschluss von Freigabeverfahren, können derzeit nicht quantitativ abgeschätzt werden. Die folgende Tabelle zeigt eine Abschätzung der Mehrkosten für ein Fraunhofer-Institut, welche sich bei ausschließlicher Nutzung von C-14 für das Jahr 2014 ergeben hätten. Dabei ist zu beachten, dass die Mengen maßgeblich von der Auftragslage abhängen. Hier ist aktuell eine Spannweite von ½ bis doppelt so viel Reststoffmassen pro Jahr möglich.

Tabelle 1: Abfallmengen eines Fraunhofer-Instituts in 2014 (ausschließliche Nutzung von C-14)

Verbrauchsmaterial	bisheriger Freigabewert nach Spalte 5	Durchschnittliche Abfallmasse pro Jahr in kg (ca.-Werte)	Behandlung als Abfall zur uneingeschr. Freigabe		Behandlung als radioaktiver Abfall		Mehrkosten
			Preis pro kg	Kosten	Preis pro kg	Kosten	
Szintillatorvials	80 Bq/g	900	2,80 €	2.520,00 €	20,00 €	18.000,00 €	15.480,00 €
Wischtücher & Pipettenspitzen		150	0,10 €	15,00 €	46,00 €	6.900,00 €	6.885,00 €
<b>Mehrkosten gesamt:</b>							<b><u>22.365,00 €</u></b>

Die Tabelle berücksichtigt folgende Randbedingung:

1. Die Absenkung des Wertes zur uneingeschränkten Freigabe für C-14 auf 1 Bq/g.
2. Bei den betrachteten Verbrauchsmaterialien liegt die durchschnittliche Kontamination auf jeden Fall höher als 1 Bq/g.
3. Die Preise pro kg entsprechen für
 

den normalen Abfall	:	den Preisangaben von Abfallentsorgern aus dem Hochsauerland
den radioaktiven Abfall	:	den Preisangaben der Landessammelstelle Jülich

Es gehen derzeit fünf Fraunhofer-Institute, neben anderen Radionukliden, mit C-14 um. Die für die Zukunft anfallenden Mehrkosten können für diese Institute schätzungsweise auf jeweils ca. ¼ bis max. ½ der in Tabelle 1 ermittelten Mehrkosten beziffert werden. Um diese genauer bestimmen zu können, müssten die Arbeitsabläufe insbesondere bei der Trennung des Abfalls verändert werden. Die Problematik besteht in der uneingeschränkten Freigabe von Verbrauchsmaterialien (z.B. Szintillatorvials, Wischtücher, Pipettenspitzen), die in der Regel in höherer Anzahl auftreten. Eine Abschätzung der Massen und Kosten ist allerdings sehr schwierig, da bisher, entsprechend der behördlichen Genehmigungen, diese Verbrauchsmaterialien mit dem allgemeinen Labormüll entsorgt wurden, d.h. eine Trennung nach radioaktiven Stoffen ist nicht erforderlich. Die Mehrkosten sind erheblich, der Mehraufwand muss auch erst einmal erwirtschaftet werden und wird sich auf die Forschungskosten entsprechend auswirken.

Zu den betrachteten Mehrkosten kommen weitere Kosten hinzu:

- Neugestaltung von Arbeitsabläufen:  
z.B. Geänderte Abfalltrennung;
- ggf. Veränderung von Räumlichkeiten:  
z.B. erhöhter Platzbedarf in Abfalllagern (d.h. im schlimmsten Fall Umbau und/o-  
der Erweiterung, u. ä.);
- Änderungen von Genehmigungen:  
Kosten durch Gebühren und Bindung von Arbeitszeit;
- Kosten durch Verzug bei der Auftragsbearbeitung.

Diese Aspekte kostenmäßig zu beziffern ist schwer möglich. Sollten Umbaumaßnahmen notwendig oder Verzugskosten veranschlagt werden müssen, können sich diese zu fünfstelligen Beträgen am Beispiel eines Fraunhofer-Instituts summieren.

Zusammenfassend ist hier festzustellen, dass der gesamte Bereich der Lebenswissenschaften stark von den Auswirkungen betroffen ist. Sollte zukünftig der überwiegende Teil der resultierenden Reststoffe nicht mehr freigebbar sein, würden die Entsorgungskosten hier sehr stark ansteigen und sich auf die Forschungskosten insgesamt entsprechend auswirken.

## **4 Freigabe von natürlich vorkommenden Radionukliden**

### **4.1 Grundsätzliches zu Freigabewerten**

Für die Interpretation bzw. Bewertung der natürlich vorkommenden Radionuklide gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Die Freigabewerte bzw. Freigrenzen sollten auf Herleitungsmethoden aufbauen, die wissenschaftlich fundiert, nach Stand der Technik praktisch durchführbar und zweifelsfrei nachvollziehbar sind.
- Durch die Neufassung der EU-GN ist die anthropogene Strahlenexposition infolge natürlich vorkommender Radionuklide stärker als bisher integraler Teil des Strahlenschutzes.

- Die Freigabewerte beziehen sich stets auf die zusätzliche spezifische Aktivität (kontaminationsbedingte Aktivität), die in das zu prüfende Material auf Grund des genehmigten Umgangs eingetragen worden ist.
- Soweit die Freigabewerte nicht weit über den naturbedingten (materialspezifischen) spezifischen Aktivitäten („Basiswert“) liegen, ist es nötig, die kontaminationsbedingte spezifische Aktivität als Differenz von Messwerten zu ermitteln.
- Die hier diskutierten Freigabewerte natürlich vorkommender Radionuklide sollen auf der Basis des 10 µSv-Konzeptes nur in der Umsetzung des Art. 30 Abs. 3 der EU-GN zur Anwendung kommen.

## **4.2 Qualitative Betrachtungen zu den Freigabewerten der natürlich vorkommenden Radionuklide**

### **4.2.1 Allgemeine Bemerkungen**

Diese Überlegungen gelten nach Artikel 30 Abs. 3 EU-GN ausschließlich für natürlich vorkommende Radionuklide die aus zugelassenen Tätigkeiten stammen, bei denen natürliche Radionuklide aufgrund ihrer Radioaktivität, Spaltbarkeit oder Bruteigenschaft verarbeitet werden, wie etwa:

- Uranbergbau (U-238sec, verschiedene Ungleichgewichte)
- Brennelementefertigung (U-238+, U-235+)
- Medizinische Radionuklide (Ac-227+, Ac-227++, Ra-223+, ...)

Für NORM-bezogene Tätigkeiten (naturally occurring radioactive materials, NORM) gelten die Freigrenzen von 1 Bq/g nach Anlage VII, Tabelle A Teil 2 von 1 Bq/g.

Für die natürlich vorkommenden Radionuklide sind in Tabelle 22 die vorgeschlagenen Freigabewerte natürlicherweise im Boden enthaltenen Werten (für die Radonfolgeprodukte auch im Staub) gegenübergestellt. Für folgende Radionuklide (grüne Markierung) ist der Freigabewert so hoch, dass Messergebnisse zu diesen Radionukliden (in der Regel) ohne Berücksichtigung des natürlichen Basiswertes beurteilt werden können:

Bi-210, Bi-212+, Ra-223+, Ac-228, Th-227, Th-231, Th-234 +

Bei den folgenden Radionukliden ist der Freigabewert nur gering (weniger bis 5-fach) höher als der Basiswert:

Pb-210+, Ra-228+, Ac-227+, Ac-227++, Th-228+, Th-230, Th-232, Pa-231

Eine belegbare Freigabe setzt daher gute Kenntnisse zum Basiswert voraus. Diese Kenntnisse erfordern zusätzliche Messungen, die für einen (statistisch sicheren) Nachweis auch den Schwankungsbereich des Basiswertes bestimmen müssen. Der Umfang solcher Messungen kann ggf. erheblich sein.

**Tabelle 2: Vergleich vorgeschlagene Freigabewerte /EUR 14/ mit allgemeinen Werten im Boden und für Radonfolgeprodukte im Staub /BFS 10/**

	Freigabewert [Bq/kg]	Allgemeiner Wert im Boden [Bq/kg]	Freigabewert/ Allgemeiner Wert Boden	Allgemeiner Wert Staub
Pb-210+	100	50	2	6000
Pb-210++	20	50	0,4	6000
Bi-210	1,00E+06	50	20000	6000
Bi-212+	1,00E+06	50	20000	
Po-210	1000	50	20	600
Ra-223+	10000	2	5000	
Ra-224+	1000	40	25	
Ra-226+	10	50	0,2	
Ra-226++	10	50	0,2	
Ra-228+	100	40	2,5	
Ac-227+	10	2	5	
Ac-227++	7	2	3,5	
Ac-228	100000	40	2500	
Th-227	10000	2	5000	
Th-228+	100	40	2,5	
Th-230	100	50	2	
Th-231	1,00E+06	2	500000	
Th-232	100	40	2,5	
Th-232sec	20	40	0,5	
Th-234	100.000	50	2000	
Pa-231	10	2	5	
U-234	1000	50	20	
U-235+	1000	50	20	
U-238+	1000	50	20	
U-238sec	9	50	0,18	

Bei folgenden Radionukliden (gelbe Markierung) ist der Freigabewert kleiner als der hier angesetzte Basiswert (der als Orientierung auch für Bauschutt und mineralische Stoffe dienen kann):

Pb-210++; Ra-226+, Ra-226++, Th-232sec, U-238sec

Eine messtechnisch belegbare Freigabe ist für diese Radionuklide teilweise nicht durchführbar. So ist es praktisch nicht möglich, unter Beachtung von Messunsicherheiten exakt nachzuweisen, dass in Staubproben von Luftfiltern, in denen die naturbedingte spezifische Aktivität von Pb-210 im Bereich von 5000 – 10000 Bq/kg (TM) liegt, die Kontamination unter 20 Bq/kg beträgt. Ein Freigabewert, welcher im Schwankungsbereich der Aktivität der natürlich geogen vorhandenen Radionuklide liegt, ist messtechnisch nicht kontrollierbar.

#### **4.3 Die vorgeschlagenen Freigabewerte von natürlich vorkommenden Radionukliden im Hinblick auf Dosisbetrachtungen**

Bei den vom BMUB vorgeschlagenen Freigabewerten/ Freigrenzen fällt auf, dass für eine Vielzahl von natürlich vorkommenden Radionukliden die Freigabewerte angehoben sind (Tabelle 3). Speziell für den Bereich der natürlich vorkommenden Radionuklide entstehen durch die Verwendung der Freigabewerte Widersprüche, die nicht erklärbar sind. Hier fällt auf, dass z.B. der Wert für Po-210 bei 1 Bq/g liegt, während die Werte für Pb-210 bei 0,1 Bq/g und für Pb-210++ (also Pb-210+Bi-210+Po-210) bei 0,02 Bq/g ausgewiesen werden. Der gleiche Sachverhalt gilt auch für Ra-226+ und Ra-226++.

#### **4.4 Hinweise zu messtechnischen Sachverhalten bei der Bestimmung spezifischer Aktivitäten von natürlich vorkommenden Radionukliden**

Alle Annahmen zu Kontaminationen durch natürlich vorkommende Radionuklide müssen berücksichtigen, dass diese Radionuklide in der Regel nicht isoliert vorkommen und/ oder Tochternuklide nachwachsen. Die Frage, wie ein Radionuklidvektor beschaffen ist, wenn bestimmte gammastrahlende Radionuklide gemessen wurden, ist keineswegs trivial – und es gibt genügend Praxisbeispiele, die von falschen Annahmen ausgingen (typisch: Fehlinterpretationen in der Th-232-Reihe).

Für folgende Radionuklide dürfte es besonders schwierig sein, mittels Gammaskopie verlässliche Aussagen zu erhalten: Ac-227, Pa-231

Der Grund hierfür ist, dass die Messunsicherheiten im Bereich der nachzuweisenden spezifischen Aktivitäten erheblich sind.



Es ist auf dem Niveau von 10 – 100 Bq/kg schwierig, nachzuweisen, dass die Zerfallsreihen U-238sec und Th-232sec tatsächlich vorliegen. Bei mineralischen Stoffen ist für Thorium diese Annahme unter Umständen zu rechtfertigen, für Uran ist das aufgrund der sehr langen Halbwertszeit (HWZ) von Tochternukliden nicht möglich.

Eine Anwendung der Summenformel führt zu noch höheren Anforderungen an die Ermittlung von Basiswerten.

**Tabelle 3: Erhöhung von Freigabewerten innerhalb der Zerfallsreihen der natürlich vorkommenden Radionuklide**

	Vorschlag BMUB	StrlSchV	Faktor
U-238sec	0,009	0,009	1
U-234	1	0,5	2
Th-230	0,1	0,05	2
Ra-226++	0,01	0,01	1
Ra-226+	0,01	0,03	3
Pb-210++	0,02	0,02	1
Pb-210+	0,1	0,03	3,3
Po-210	1	0,04	25
U-235+	1	0,5	2
Pa-231	0,01	0,007	1,4
Ac-227++	0,007	0,007	1
Ra-223+	10	0,5	20
Th-227	10	0,2	50
Th-232sec	0,02	0,02	1
Th-232	0,1	0,03	3,3
Ra-228+	0,1	0,07	1,4
Th-228+	0,1	0,1	1
Ra-224+	1	10	10

#### **4.5 Ergänzende Hinweise**

Auch in normalem, handelsüblichem Blei ist die Pb-210-Aktivität (in der Regel) deutlich höher als der Freigabewert von 20 Bq/kg. Außer bei zertifiziertem Abschirmblei gibt es keine Spezifikation der Pb-210-Aktivität. Daher wäre eine Weiterverwendung von Bleiziegeln, die in einer zugelassenen Tätigkeit (z.B. als Abschirmung vom Messplätzen) eingesetzt waren, auch nach Dekontamination der Oberflächen nicht möglich, da der Basiswert nicht nachträglich bestimmt werden kann – und Messwerte höher als 20 Bq/kg liegen.

Aus Strahlenschutzsicht ist zu fragen, warum die natürlichen Zerfallsketten U-238sec und Th-232sec aufgenommen wurden, das Radionuklid K-40 aber nicht. Die „Exclusion“ von K-40 betrifft nur die innere Exposition, nicht die äußere Exposition. K-40 kann sicherlich bei ungünstigen Szenarien Expositionen in der Größenordnung von 10  $\mu$ Sv/a erzeugen.

Im Zusammenhang mit Freigaben ist auch zu klären, wie die Freisetzung von Radon aus freizugebenden Reststoffen zu bewerten ist, soweit Radiumisotope (insbesondere Ra-226) als Bestandteil des Materials anzusehen sind. Dabei sind ggf. alle Radon-Isotope zu berücksichtigen.

### **5 Zusammenfassung**

Die neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz (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, EU-GN) /EUR 14/, welche im Dezember 2013 verabschiedet wurden und innerhalb von vier Jahren in nationales Recht überführt werden müssen, sehen zukünftig einen einheitlichen Wertesatz für die Freigrenzen und die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe vor. Eine Gegenüberstellung der Freigabewerte der EU-GN und des derzeit in Deutschland geltenden Wertesatzes für die uneingeschränkte Freigabe fester und flüssiger Stoffe in Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV (s. Anhang) zeigt, dass sich diese Wertesätze für eine Vielzahl von Nukliden unterscheiden. In einer Vielzahl von Fällen liegen die Werte in den EU-GN unterhalb der derzeit im deutschen Strahlenschutzrecht verankerten Werte, in einigen Fällen liegt sie höher.

Abschätzungen der Auswirkungen dieser geänderten Werte auf die Entsorgungswege der derzeit in Deutschland in unterschiedlichen Branchen anfallenden radioaktiven Reststoffe zeigen unterschiedliche Tendenzen auf.

So erwartet ein Energieversorgungsunternehmen für einen Druckwasserreaktor mit einer Verringerung des uneingeschränkt freigebbaren Metalls von 10%.

Deutsche Großforschungseinrichtungen erwarten für Bauschutt, welcher beim Rückbau der kerntechnischen Forschungsanlagen anfällt, keine nennenswerten Einschränkungen, da sich die niedrigeren Werte für beispielsweise Cs-137, Ba-133, Eu-152 und Eu-154 durch höhere Werte für beispielsweise Sr-90 sowie die Pu-Isotope und Am-241 kompensieren. Der niedrigere Wert für Cs-137 führe jedoch zu einer Abnahme an uneingeschränkt freigebbaren Reststoffen beim Rückbau von Heißen Laboren.

Für Kliniken führen niedrigere Werte zu einer Verlängerung der Abklingdauern, beispielsweise bei I-125 zu einer Verlängerung um etwa 1 Jahr.

Bei Forschungseinrichtungen, welche vor allem die Radionuklide H-3 und C-14 als Tracer einsetzen, wird abgeschätzt, dass der Anteil der uneingeschränkt freigebbaren Abfälle von aktuell etwa 50% der Gesamtmenge anfallender Abfälle auf zukünftig << 5% absinken wird. Zu Mehrkosten können des Weiteren die Neugestaltung von Arbeitsabläufen (z.B. geänderte Abfalltrennung), ggf. Veränderung von Räumlichkeiten (z.B. erhöhter Platzbedarf in Abfalllagern, d.h. im schlimmsten Fall Umbau und/oder Erweiterung), Änderungen von Genehmigungen (Kosten durch Gebühren und Bindung von Arbeitszeit), Kosten durch Verzug bei der Auftragsbearbeitung führen. Diese Mehrkosten werden für Forschungseinrichtungen sehr erheblich sein und sich auf die Forschungskosten im Bereich Lebenswissenschaften insgesamt entsprechend auswirken.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass für die vorab vorgenommene Bewertung es unabdingbar ist, dass die zweckgerichtete Freigabe in der heute in der Strahlenschutzverordnung geregelten Form nutzbar erhalten bleibt. Darunter fällt auch die Verfügbarkeit von ausreichender Deponiekapazität über einen langen Zeitraum. Ist aufgrund gesenkter Freigabewerte keine uneingeschränkte Freigabe möglich und aufgrund von fehlenden Deponie- oder Verbrennungskapazitäten auch keine zweckgerichtete Freigabe, fallen erhebliche zusätzliche Massen an radioaktivem Abfall an, woraus auch erhebliche Mehrkosten für sämtliche Branchen resultieren.

Die hier in einem kurzen Abriss erörterten, bisherigen Erfahrungen aus der Praxis zu den natürlich vorkommenden Radionukliden in der Freigabe zeigen, dass die vorgeschlagenen Werte kritisch überprüft werden sollten. Die vorgeschlagenen Freigabewerte für natürlich vorkommenden Radionuklide sind derzeit in einigen Fällen kaum messtechnisch belastbar nachzuweisen.

## 6 Referenzen

- /ATG 13/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I, S. 1565), zuletzt geändert durch Artikel 5 Fünftes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und anderer Gesetze vom 28. August 2013 (BGBl.I, S. 3313)
- /EUR 14/ Rat der Europäischen Union  
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/Eurotom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom  
Amtsblatt der Europäischen Union, 17.01.2014
- /IAE 04/ Internationale Atomenergie-Organisation  
Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance  
Safety Guide No. RS-G-1.7  
Wien, 2004
- /IAE 05/ Internationale Atomenergie-Organisation  
Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance  
Safety Reports Series No. 44  
Wien, 2005

- /STR 12/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I, S. 1714), zuletzt geändert durch Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24. Februar 2012 (BGBl. I, S. 212, 249)
- /BFS 10/ Bundesamt für Strahlenschutz  
Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau)  
BfS-SW-07/10  
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt  
Salzgitter, März 2010, urn:nbn:de:0221-20100329966

## **7 Anhang**

Die nachfolgende Tabelle stellt den Wertesatz für die Aktivitätskonzentrationen für die Freigabe von Materialien nach Anhang VII Tabelle A Teil 1 der EU-GN dar. Dieser Wertesatz der EU-GN wird voraussichtlich bei der Umsetzung der EU-GN die entsprechenden derzeit in Deutschland geltenden Werte für die uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen nach Anhang III Tabelle 1 Spalte 5 der StrlSchV ersetzen, welche ebenfalls in die nachfolgenden Tabelle aufgeführt sind.

	geplante Werte	bisherige StrSchV Sp. 5	Änderung	neuer Wert ist ... als aktuell gültiger Wert	Verhältnis neu/bisherige StrSchV
H-3	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01
Be-7	1,00E+01	3,00E+01	ja	niedriger	3,33E-01
C-14	1	8,00E+01	ja	niedriger	1,25E-02
F-18	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Na-22	1,00E-01	1,00E-01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Na-24	1	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Si-31	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Si-32	1,00E+02	4,00E+02	ja	niedriger	2,50E-01
P-32	1,00E+03	2,00E+01	ja	höher	5,00E+01
P-33	1,00E+03	2,00E+02	ja	höher	5,00E+00
S-35	1,00E+02	6,00E+01	ja	höher	1,67E+00
Cl-36	1	3,00E-01	ja	höher	3,33E+00
Cl-38	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
K-42	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
K-43	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ca-41	1,00E+02	2,00E+01	ja	höher	5,00E+00
Ca-45	1,00E+02	7,00E+01	ja	höher	1,43E+00
Ca-47+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Sc-46	1,00E-01	3,00E-01	ja	niedriger	3,33E-01
Sc-47	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00

Sc-48	1	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
V-48	1	1,00E+00	nein	keine Änderung	1,00E+00
Cr-51	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Mn-51	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Mn-52	1	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Mn-52m	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Mn-53	1,00E+02	6,00E+01	ja	höher	1,67E+00
Mn-54	1,00E-01	4,00E-01	ja	niedriger	2,50E-01
Mn-56	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Fe-52	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Fe-55	1,00E+03	2,00E+01	ja	höher	5,00E+01
Fe-59	1	1,00E+00	nein	keine Änderung	1,00E+00
Co-55	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Co-56	1,00E-01	2,00E-01	ja	niedriger	5,00E-01
Co-57	1	2,00E+01	ja	niedriger	5,00E-02
Co-58	1	9,00E-01	ja	höher	1,11E+00
Co-58m	1,00E+04	1,00E+04	nein	keine Änderung	1,00E+00
Co-60	1,00E-01	1,00E-01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Co-60m	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Co-61	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Co-62m	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ni-59	1,00E+02	3,00E+02	ja	niedriger	3,33E-01

Ni-63	1,00E+02	3,00E+02	ja	niedriger	3,33E-01
Ni-65	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Cu-64	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Zn-65	1,00E-01	5,00E-01	ja	niedriger	2,00E-01
Zn-69	1,00E+03	1,00E+04	ja	niedriger	1,00E-01
Zn-69m+	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Ga-72	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ge-71	1,00E+04	4,00E+03	ja	höher	2,50E+00
As-73	1,00E+03	1,00E+02	ja	höher	1,00E+01
As-74	1,00E+01	3,00E+00	ja	höher	3,33E+00
As-76	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
As-77	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Se-75	1	3,00E+00	ja	niedriger	3,33E-01
Br-82	1	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Rb-86	1,00E+02	2,00E+02	ja	niedriger	5,00E-01
Sr-85	1	1,00E+00	nein	keine Änderung	1,00E+00
Sr-85m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Sr-87m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Sr-89	1,00E+03	2,00E+01	ja	höher	5,00E+01
Sr-90+	1	6,00E-01	ja	höher	1,67E+00
Sr-91	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Sr-92	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00



Y-90	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Y-91	1,00E+02	2,00E+01	ja	höher	5,00E+00
Y-91m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Y-92	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Y-93	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Zr-93	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Zr-93+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Zr-95	1	5,00E-01	ja	höher	2,00E+00
Zr-97+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Nb-93m	1,00E+01	4,00E+02	ja	niedriger	2,50E-02
Nb-94	1,00E-01	2,00E-01	ja	niedriger	5,00E-01
Nb-95	1	2,00E+00	ja	niedriger	5,00E-01
Nb-97	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Nb-98	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Mo-90	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Mo-93	1,00E+01	4,00E+00	ja	höher	2,50E+00
Mo-99	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Mo-101+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Tc-96	1	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Tc-96m	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Tc-97	1,00E+01	6,00E+00	ja	höher	1,67E+00
Tc-97m	1,00E+02	8,00E+01	ja	höher	1,25E+00

Tc-99	1,00E+00	6,00E-01	ja	höher	1,67E+00
Tc-99m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ru-97	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Ru-103+	1,00E+00	4,00E+00	ja	niedriger	2,50E-01
Ru-105	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ru-106+	1,00E-01	1,00E+00	ja	niedriger	1,00E-01
Rh-103m	1,00E+04	1,00E+04	nein	keine Änderung	1,00E+00
Rh-105	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pd-103+	1,00E+03	3,00E+02	ja	höher	3,33E+00
Pd-109	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01
Ag-105	1,00E+00	4,00E+00	ja	niedriger	2,50E-01
Ag-108m+	1,00E-01	2,00E-01	ja	niedriger	5,00E-01
Ag-110m+	1,00E-01	1,00E-01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ag-111	1,00E+02	4,00E+01	ja	höher	2,50E+00
Cd-109+	1,00E+00	2,00E+01	ja	niedriger	5,00E-02
Cd-115	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Cd-115m+	1,00E+02	2,00E+01	ja	höher	5,00E+00
In-111	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
In-113m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
In-114m+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
In-115m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Sn-113+	1,00E+00	2,00E+00	ja	niedriger	5,00E-01

Sn-125	1,00E+01	8,00E+00	ja	höher	1,25E+00
Sb-122	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Sb-124	1,00E+00	5,00E-01	ja	höher	2,00E+00
Sb-125+	1,00E-01	8,00E-01	ja	niedriger	1,25E-01
Te-123m	1,00E+00	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Te-125m	1,00E+03	6,00E+01	ja	höher	1,67E+01
Te-127	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Te-127m+	1,00E+01	2,00E+01	ja	niedriger	5,00E-01
Te-129	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Te-129m+	1,00E+01	2,00E+01	ja	niedriger	5,00E-01
Te-131	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Te-131m+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Te-132	1,00E+00	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-02
Te-133	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Te-133m+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Te-134	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
I-123	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
I-125	1,00E+02	3,00E+00	ja	höher	3,33E+01
I-126	1,00E+01	2,00E+00	ja	höher	5,00E+00
I-129	1,00E-02	6,00E-02	ja	niedriger	1,67E-01
I-130	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
I-131	1,00E+01	2,00E+00	ja	höher	5,00E+00

I-132	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
I-133+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
I-134	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
I-135+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Cs-129	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Cs-131	1,00E+03	9,00E+02	ja	höher	1,11E+00
Cs-132	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Cs-134	1,00E-01	2,00E-01	ja	niedriger	5,00E-01
Cs-134m	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Cs-135	1,00E+02	2,00E+01	ja	höher	5,00E+00
Cs-136	1,00E+00	1,00E+00	nein	keine Änderung	1,00E+00
Cs-137+	1,00E-01	5,00E-01	ja	niedriger	2,00E-01
Cs-138	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ba-131+	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ba-133	1,00E-01	1,00E+00	ja	niedriger	1,00E-01
Ba-140+	1,00E+00	2,00E+00	ja	niedriger	5,00E-01
La-140	1,00E+00	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Ce-139	1,00E+00	9,00E+00	ja	niedriger	1,11E-01
Ce-141	1,00E+02	7,00E+01	ja	höher	1,43E+00
Ce-143	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Ce-144+	1,00E+01	9,00E+00	ja	höher	1,11E+00
Pr-142	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00

Pr-143	1,00E+03	4,00E+01	ja	höher	2,50E+01
Nd-147	1,00E+02	5,00E+01	ja	höher	2,00E+00
Nd-149	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pm-147	1,00E+03	2,00E+02	ja	höher	5,00E+00
Pm-149	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Sm-151	1,00E+03	5,00E+02	ja	höher	2,00E+00
Sm-153	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Eu-152	1,00E-01	2,00E-01	ja	niedriger	5,00E-01
Eu-152m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Eu-154	1,00E-01	2,00E-01	ja	niedriger	5,00E-01
Eu-155	1	3,00E+01	ja	niedriger	3,33E-02
Gd-153	1,00E+01	2,00E+01	ja	niedriger	5,00E-01
Gd-159	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01
Tb-160	1	6,00E-01	ja	höher	1,67E+00
Dy-165	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Dy-166+	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01
Ho-166	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01
Er-169	1,00E+03	1,00E+02	ja	höher	1,00E+01
Er-171	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Tm-170	1,00E+02	4,00E+01	ja	höher	2,50E+00
Tm-171	1,00E+03	5,00E+02	ja	höher	2,00E+00
Yb-175	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01

Lu-177	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01
Hf-181	1	4,00E+00	ja	niedriger	2,50E-01
Ta-182	1,00E-01	5,00E-01	ja	niedriger	2,00E-01
W-181	1,00E+01	6,00E+01	ja	niedriger	1,67E-01
W-185	1,00E+03	1,00E+02	ja	höher	1,00E+01
W-187	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Re-186	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Re-188	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Os-185	1	5,00E-01	ja	höher	2,00E+00
Os-191	1,00E+02	9,00E+01	ja	höher	1,11E+00
Os-191m	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Os-193	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ir-190+	1,00E+00	2,00E+00	ja	niedriger	5,00E-01
Ir-192	1,00E+00	1,00E+00	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ir-194	1,00E+02	2,00E+00	ja	höher	5,00E+01
Pt-191	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Pt-193m	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pt-197	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pt-197m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Au-198	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Au-199	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Hg-197	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00

Hg-197m	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Hg-203	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Tl-200	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Tl-201	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Tl-202	1,00E+01	7,00E+00	ja	höher	1,43E+00
Tl-204	1,00E+00	4,00E+01	ja	niedriger	2,50E-02
Pb-203	1,00E+01	1,00E+02	ja	niedriger	1,00E-01
Pb-210+	1,00E-01	3,00E-02	ja	höher	3,33E+00
Pb-210++	2,00E-02	2,00E-02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pb-212	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Bi-206	1,00E+00	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Bi-207	1,00E-01	2,00E-01	ja	niedriger	5,00E-01
Bi-210	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Bi-212+	1,00E+03	1,00E+01	ja	höher	1,00E+02
Po-203	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Po-205	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Po-207	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Po-210	1,00E+00	4,00E-02	ja	höher	2,50E+01
At-211	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ra-223+	1,00E+01	5,00E-01	ja	höher	2,00E+01
Ra-224+	1,00E+00	1,00E+01	ja	niedriger	1,00E-01
Ra-225	1,00E+01	2,00E-01	ja	höher	5,00E+01

Ra-226+	1,00E-02	3,00E-02	ja	niedriger	3,33E-01
Ra-226++	1,00E-02	1,00E-02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ra-227	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ra-228+	1,00E-01	7,00E-02	ja	höher	1,43E+00
Ac-227+	1,00E-02	1,00E-01	ja	niedriger	1,00E-01
Ac-227++	7,00E-03	7,00E-03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Ac-228	1,00E+02	1,00E+01	ja	höher	1,00E+01
Th-226+	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Th-227	1,00E+01	2,00E-01	ja	höher	5,00E+01
Th-228+	1,00E-01	1,00E-01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Th-229+	1,00E-01	2,00E-02	ja	höher	5,00E+00
Th-230	1,00E-01	5,00E-02	ja	höher	2,00E+00
Th-231	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Th-232	1,00E-01	3,00E-02	ja	höher	3,33E+00
Th-232sec	2,00E-02	2,00E-02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Th-234+	1,00E+02	1,00E+01	ja	höher	1,00E+01
Pa-230	1,00E+01	6,00E+00	ja	höher	1,67E+00
Pa-231	1,00E-02	7,00E-03	ja	höher	1,43E+00
Pa-233	1,00E+01	2,00E+01	ja	niedriger	5,00E-01
U-230+	1,00E+01	3,00E-01	ja	höher	3,33E+01
U-231	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
U-232	6,00E-02	6,00E-02	nein	keine Änderung	1,00E+00



U-232+	1,00E-01	4,00E-02	ja	höher	2,50E+00
U-233	1,00E+00	4,00E-01	ja	höher	2,50E+00
U-234	1,00E+00	5,00E-01	ja	höher	2,00E+00
U-235+	1,00E+00	3,00E-01	ja	höher	3,33E+00
U-236	1,00E+01	5,00E-01	ja	höher	2,00E+01
U-237	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
U-238+	1,00E+00	6,00E-01	ja	höher	1,67E+00
U-238sec	9,00E-03	9,00E-03	nein	keine Änderung	1,00E+00
U-239	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
U-240	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01
Np-237+	1,00E+00	9,00E-02	ja	höher	1,11E+01
Np-239	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Np-240	1,00E+01	1,00E+01	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pu-234	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pu-235	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pu-236	1,00E+00	1,00E-01	ja	höher	1,00E+01
Pu-237	1,00E+02	1,00E+02	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pu-238	1,00E-01	4,00E-02	ja	höher	2,50E+00
Pu-239	1,00E-01	4,00E-02	ja	höher	2,50E+00
Pu-240	1,00E-01	4,00E-02	ja	höher	2,50E+00
Pu-241	1,00E+01	2,00E+00	ja	höher	5,00E+00
Pu-242	1,00E-01	4,00E-02	ja	höher	2,50E+00

Pu-243	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Pu-244+	1,00E-01	4,00E-02	ja	höher	2,50E+00
Am-241	1,00E-01	5,00E-02	ja	höher	2,00E+00
Am-242	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Am-242m+	1,00E-01	5,00E-02	ja	höher	2,00E+00
Am-243+	1,00E-01	5,00E-02	ja	höher	2,00E+00
Cm-242	1,00E+01	8,00E-01	ja	höher	1,25E+01
Cm-243	1,00E+00	7,00E-02	ja	höher	1,43E+01
Cm-244	1,00E+00	8,00E-02	ja	höher	1,25E+01
Cm-245	1,00E-01	4,00E-02	ja	höher	2,50E+00
Cm-246	1,00E-01	5,00E-02	ja	höher	2,00E+00
Cm-247+	1,00E-01	5,00E-02	ja	höher	2,00E+00
Cm-248	1,00E-01	1,00E-02	ja	höher	1,00E+01
Bk-249	1,00E+02	3,00E+01	ja	höher	3,33E+00
Cf-246	1,00E+03	1,00E+03	nein	keine Änderung	1,00E+00
Cf-248	1,00E+00	5,00E-01	ja	höher	2,00E+00
Cf-249	1,00E-01	7,00E-02	ja	höher	1,43E+00
Cf-250	1,00E+00	1,00E-01	ja	höher	1,00E+01
Cf-251	1,00E-01	7,00E-02	ja	höher	1,43E+00
Cf-252	1	2,00E-02	ja	höher	5,00E+01
Cf-253+	1,00E+02	4,00E+00	ja	höher	2,50E+01
Cf-254	1	1,00E-01	ja	höher	1,00E+01

Es-253	1,00E+02	2,00E+00	ja	höher	5,00E+01
Es-254+	1,00E-01	4,00E-01	ja	niedriger	2,50E-01
Es-254m+	1,00E+01	4,00E+00	ja	höher	2,50E+00
Fm-254	1,00E+04	1,00E+04	nein	keine Änderung	1,00E+00
Fm-255	1,00E+02	1,00E+03	ja	niedriger	1,00E-01