Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

http://www.ssk.de

Radiologische Bewertung des Plutoniums

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 88. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 7.-9. Dezember 1988
Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. 65 vom 6. April 1989
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 15

Inhaltsverzeichnis

1 Dosisfaktoren und biokinetisches Verhalten von Radionukliden 3

2 Dosisfaktoren des Plutoniums und deren Beurteilung 4

3 Meßmöglichkeiten für Plutonium 4

4 Strahlenexposition der Bevölkerung durch Plutonium 5

5 Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen 6

6 Schlußfolgerungen 7

1 Dosisfaktoren und biokinetisches Verhalten von Radionukliden

Die radiologische Bewertung aller Radionuklide in ihren unterschiedlichen chemischen Verbindungen geht aus von den physikalischen Eigenschaften dieser Radionuklide und dem Verhalten ihrer chemischen Verbindungen in der Biosphäre und im menschlichen Organismus. Die wichtigsten Größen für diese Beurteilung sind:

1. Die von dem Radionuklid ausgesandten Strahlenarten und deren Energien.

2. Die physikalische Halbwertszeit.

3. Die Art der chemischen Verbindungen.

4 Die Verteilung und der Transport in der Biosphäre.

5. Das biokinetische Verhalten im menschlichen Körper (Aufnahme, zeitliche Änderung der Verteilung in den Organen und Ausscheidung).

Für die radiologische Bewertung im Hinblick auf den Menschen sind die äußere und die innere Strahleneinwirkung zu berücksichtigen. Unter äußerer Strahleneinwirkung wird die Bestrahlung durch eine Strahlenquelle außerhalb des Organismus und unter innerer Strahleneinwirkung diejenige durch einen inkorporierten radioaktiven Stoff verstanden.

Die Dosis durch die äußere Strahleneinwirkung auf den Menschen läßt sich durch direkte Messung ermitteln oder aus der Verteilung der Radionuklide in seiner unmittelbaren Umgebung berechnen. Bei der Ermittlung der Dosis durch innere Strahleneinwirkung müssen die komplexen Vorgänge der Aufnahme des radioaktiven Stoffes und seines biokinetischen Verhaltens berücksichtigt werden. Auf der Grundlage von Beobachtungen am Menschen und Ergebnissen tierexperimenteller Untersuchungen wurden biokinetische und dosimetrische Modelle für die Berechnung von Dosisfaktoren entwickelt, die ein einheitliches Vorgehen bei der Bewertung der verschiedenen Radionuklide erlauben.

Diese Dosisfaktoren wurden für die verschiedenen Radionuklide und ihre chemischen Verbindungen und für die verschiedenen Expositionsbedingungen (Inhalation und Ingestion) berechnet. Mit Hilfe der Dosisfaktoren und der Kenntnis der zugeführten Aktivität ist es möglich, für die jeweiligen Expositionsbedingungen die Strahlendosen der exponierten Personen zu ermitteln. Somit kann man feststellen, ob die Dosisgrenzwerte bei den beruflich Strahlenexponierten und bei der Bevölkerung eingehalten werden. Die sekundären Grenzwerte (Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr) sind mit Hilfe der Dosisfaktoren abgeleitet.

Die Dosisfaktoren werden fortlaufend auf Grund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse überprüft. Die Erfahrungen der vergangenen Jahre haben gezeigt, daß neuere Untersuchungen insbesondere zu einer besseren Absicherung der vorliegenden Dosisfaktoren geführt haben. Wesentliche Änderungen waren nur bei wenigen Radionukliden erforderlich.

2 Dosisfaktoren des Plutoniums und deren Beurteilung

Die meisten Isotope des Plutoniums sind Alpha-Strahler, wobei einzelne davon mit geringer Emissionswahrscheinlichkeit niederenergetische Gamma- und Röntgen-Strahlen aussenden. Zusätzlich liefern Neutronen einen Beitrag zur Strahlenexposition. Die Bestimmung der Dosis durch äußere Strahleneinwirkung ist mit Hilfe der üblichen Methoden der Orts- und Personendosimetrie möglich.

Bei der Beurteilung der Strahleneinwirkung durch das Plutonium ist die innere Strahleneinwirkung sehr bedeutsam, wie dies auch bei anderen Alpha-Strahlern, wie z. B. bei Thorium und Radium, der Fall ist. Diese natürlichen Radionuklide haben ebenfalls mit den für den Strahlenschutz bedeutsamen Plutoniumisotopen gemeinsam, daß ihre physikalische Halbwertszeit und ihre Verweildauer im Organismus sehr lang sind. Plutonium, das inkorporiert und vornehmlich in Leber und Knochen abgelagert wird, führt zu einer lang anhaltenden Bestrahlung dieser Organe. Diese lange Zeitdauer der Bestrahlung und auch die hohe biologische Wirksamkeit der Alpha-Strahlen sind in den Dosisfaktoren berücksichtigt, so daß bei bekannter Inkorporation die daraus resultierende Strahlendosis errechnet werden kann.

Die den Neuberechnungen der Dosisfaktoren zugrunde liegenden biokinetischen Daten wurden in tierexperimentellen Studien, aber auch in sorgfältig ausgewerteten Inkorporationsfällen am Menschen ermittelt. Die direkt am Menschen vorliegenden Daten zeigen zwar erwartungsgemäß eine biologische Streubreite, bestätigen aber im wesentlichen die biokinetischen Daten, die der Ermittlung der Dosisfaktoren bisher zugrunde gelegt wurden.

Betrachtet man die Dosisfaktoren für Plutonium im einzelnen, so zeigt sich, daß sie bei der Inhalation mit denjenigen von Thorium und Uran in der gleichen Größenordnung liegen. Auch bei der Ingestion liegen die Dosisfaktoren bei diesen Elementen in gleicher Größenordnung, sie sind jedoch uni etwa den Faktor 100 niedriger als diejenigen für die Inhalation. Der Grund für den Faktor 100 liegt in der geringeren Aufnahme dieser Radionuklide aus dem Verdauungstrakt in das Blut. Diese Befunde berücksichtigen die neueren Ergebnisse über die Aufnahme von Plutonium aus dem Verdauungstrakt und seine Verteilung im Organismus. Der für die berufliche Strahlenexposition relevante Dosisfaktor für die Inhalation hat durch die neueren Untersuchungen keine wesentliche Änderung erfahren.

3 Meßmöglichkeiten für Plutonium

Die von den Plutoniumisotopen ausgesandten Alpha-Strahlen haben in Luft eine Reichweite von wenigen Zentimetern und in den menschlichen Organen eine solche von einigen Hundertstel Millimeter. Die direkte Messung der Aktivität von Plutonium beruht auf dem Nachweis der den Alpha-Zerfall begleitenden charakteristischen Röntgen-Strahlung im Bereich von 13 bis 17 keV. Wegen der niedrigen Energie und der geringen Emissionswahrscheinlichkeit ist dieses Verfahren der Direktmessung für die regelmäßige Überwachung zu unempfindlich. Es ist erst ab einer Aktivität von 300 Bq Plutonium einsetzbar und deshalb vorwiegend bei Zwischenfällen geeignet. Plutonium kann aber nachgewiesen werden in der Atemluft, in Kontaminationen des Arbeitsplatzes, der Arbeitskleidung und der Haut und in den entsprechend aufgearbeiteten menschlichen Ausscheidungen. Damit ist bezüglich der Überwachung möglicher

Inkorporationen eine ähnliche Situation gegeben wie beim Umgang mit Chemikalien, mit deren Inkorporation ein Gesundheitsrisiko für die Beschäftigten verbunden sein kann.

Die in den Betrieben der plutoniumverarbeitenden Industrie angewandten Überwachungsverfahren berücksichtigen die meßtechnischen Besonderheiten des Plutoniums. Zur regelmäßigen Kontrolle der mittleren Aktivitätskonzentration in der Luft sind in den Anlagen an repräsentativen Stellen Luftstaubsammler fest installiert, mit denen Anstiege der Luftaktivität arbeitstäglich registriert werden können. Zusätzlich werden an Arbeitsstellen mit erhöhtem Freisetzungsrisiko direkt anzeigende Monitoren mit Alarmgebern eingesetzt, damit Anstiege der Luftaktivität rasch erkannt werden können. Beim Verlassen des Kontrollbereichs müssen alle Personen eine Kontrolle mit einem Hand-Fuß-Kleidermonitor durchführen. Zeigen sich bei den Luftmessungen oder bei den Kontaminationsmessungen im Gesichtsbereich Werte oberhalb von Eingreifschwellen, so werden weitere Messungen von Nasen-Rachen-Abstrichen und von Urin- und Stuhlproben an den drei folgenden Tagen ausgelöst. In den Sonderfällen, in denen durch Beimengung gammastrahlender Radionuklide im verarbeiteten plutoniumhaltigen Material ein indirekter Nachweis des Plutoniums möglich ist, erfolgt die Messung im Ganzkörper- oder im Lungenzähler.

Aus diesen Inkorporations- und Ausscheidungsmessungen kann unter Einbeziehung der biokinetischen Daten in den besonders angezeigten Fällen die Zufuhr an Plutonium ermittelt werden. Bei normalem Betriebsablauf erfolgt die Ermittlung der Plutoniuminkorporation aus den gemessenen Werten der Luftkontamination. Zur weiteren Absicherung der Inkorporationskontrolle werden auch betriebliche Überwachungen der mit Plutonium Beschäftigten durch regelmäßige Urin- und Inkorporationsmessungen durchgeführt. Somit sind trotz der meßtechnischen Besonderheiten des Plutoniums genügend Möglichkeiten gegeben, um eine Einhaltung der Grenzwerte zu sichern.

Für beruflich strahlenexponierte Personen in der Bundesrepublik Deutschland sei hier auf die Auswertung der Plutonium-Analysen der letzten 11 Jahre verwiesen, die vom Kernforschungszentrum Karlsruhe sowohl für das eigene Personal als für das der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) und der Firma ALKEM durchgeführt wurden. Im Mittel unterlagen 900 Personen der Überwachung. In diesem Zeitraum wurde in 11 Fällen eine Überschreitung des Grenzwertes der Jahresaktivitätszufuhr festgestellt. In 98,7% der Fälle betrug die Jahresaktivitätszufuhr weniger als 5% des Grenzwertes der Jahresaktivitätszufuhr, in 92,5 % der Fälle lag die Aktivitätszufuhr unterhalb der Nachweisgrenze.

4 Strahlenexposition der Bevölkerung durch Plutonium

Es liegen Messungen der Aktivität von Pu 238, Pu 239 + 240 und Pu 241 in Gewebeproben von Personen der Normalbevölkerung vor. Aus den gemessenen Isotopenverhältnissen geht hervor, daß diese Plutonium-Aktivitäten aus dem Fallout von Kernwaffenversuchen in den sechziger Jahren bzw. von dem 1964 verglühten Satelliten SNAP-9A stammen. Für Erwachsene, die vor Beginn der Falloutperiode geboren wurden, ergaben sich aus diesen direkten Messungen der Plutonium-Aktivität in Körpergeweben folgende Mittelwerte der in 50 Jahren kumulierten Äquivalentdosen (Folgeäquivalentdosen) durch Plutonium 239 + 240:

Knochenoberfläche	1,7 mSv
Leber	0,38 mSv
Lunge	0,64 mSv
Rotes Knochenmark	0,14 mSv
Andere Gewebe	< 0,1 mSv

Der zusätzliche Dosisbeitrag durch Pu 238 und Pu 241 im Fallout ist deutlich geringer. Insgesamt beträgt die hieraus resultierende effektive Äquivalentdosis, kumuliert über 50 Jahre, etwa 0,2 mSv. Dies entspricht etwa 1/500 der mittleren natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung im gleichen Zeitraum.

Im Vergleich zu diesem Plutonium aus dem Fallout ist die Plutonium-Aktivität im Menschen, die durch die Emissionen kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland verursacht wird, erheblich niedriger und meßtechnisch nicht nachweisbar. Auf Grund der vorliegenden Messungen der Plutonium-Emissionen von Kernkraftwerken ist zu erwarten, daß die hierdurch bedingte Aktivität und Dosis, im Nahbereich dieser Anlagen um mindestens einen Faktor 10 niedriger ist als der Beitrag von Plutonium aus dem Fallout.

5 Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen

In den USA sowie in Großbritannien wurden Untersuchungen an Plutonium-exponierten Kollektiven durchgeführt. Diese Kollektive schließen auch Gruppen von Beschäftigten ein, bei denen es durch Unfälle zu erhöhten Plutonium-Expositionen gekommen war. Auf Grund der Anreicherungen von Plutonium in verschiedenen Organen waren die Inzidenzen folgender Tumoren von Interesse:

– Lungentumoren

– Osteosarkome

– Lebertumoren

– Leukämien/Lymphome.

Aus den bisher zur Verfügung stehenden Ergebnissen folgt:

Im Vergleich zu Mortalitätsraten der normalen Bevölkerung, auch für Tumorerkrankungen, sind die Mortalitätsraten der in der Nuklearindustrie Beschäftigten fast durchweg geringer; dies gilt auch für die Beschäftigten, die entweder höhere Aktivitäten von Plutonium inkorporiert haben oder auf Inkorporation von Plutonium und anderen Radionukliden überwacht wurden. Die verringerte Mortalität bezüglich der verschiedenen Ursachen entspricht dem häufig beobachteten "Healthy Worker Effect". Bei mehreren Nuklearbetrieben ist jedoch der "Healthy Worker Effect" für die auf die Inkorporation von Radionukliden überwachten Beschäftigten

deutlich weniger ausgeprägt als für die Gesamtheit aller Beschäftigten, d. h. die relativen Mortalitätsraten in internen Vergleichen sind für diejenigen, die möglichen Radionuklidinkorporationen ausgesetzt waren, höher. Eine kausale Beziehung zur Inkorporation von Radionukliden kann nicht ausgeschlossen werden, folgt aber auch nicht aus diesen Untersuchungen, da die auf die Inkorporation von Radionukliden überwachten Personen auch chemischen Karzinogenen ausgesetzt gewesen sein konnten und sich möglicherweise auch in anderen bisher noch ungenügend untersuchten Aspekten (z. B. Rauchgewohnheiten) von den übrigen Beschäftigten unterscheiden.

6 Schlußfolgerungen

Die vorhergehenden Betrachtungen zeigen, daß sich die Methoden zur Bewertung der Strahlenexposition durch Plutonium und des damit verknüpften Strahlenrisikos nicht von denjenigen bei anderen Radionukliden unterscheiden.

Für beruflich strahlenexponierte Personen kann durch sorgfältige Planung und Durchführung der Überwachungsmaßnahmen bei Plutonium sichergestellt werden, daß die Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden.

Die langjährigen Beobachtungen bei Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zeigen, daß die geringen Plutonium-Emissionen zu einer Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von Kernkraftwerken führen, die weitaus geringer ist als diejenige durch andere Radionuklide. Die Gesamtdosis als Folge der Emissionen aller Radionuklide aus Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen ist klein gegenüber der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition.

Das System der Dosisbegrenzung, wie es in der derzeitigen Strahlenschutzverordnung und in der 2. Verordnung zur Änderung der Strahlenschutzverordnung niedergelegt ist, gilt für alle kerntechnischen Anlagen und damit auch für Wiederaufarbeitungsanlagen. Damit ist sichergestellt, daß generell die aus dem bestimmungsgemäßen Betrieb von kerntechnischen Anlagen resultierenden Strahlendosen der Bevölkerung im Schwankungsbereich der natürlichen Strahlenexposition liegen.