

Informationen der Strahlenschutzkommission (SSK)  
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

Nummer 5 (1998)

## **Strahlenschutz und Strahlenbelastung im Zusammenhang mit Polizeieinsätzen anlässlich von CASTOR-Transporten**

Stellungnahmen und Empfehlungen der Strahlenschutzkommission  
sowie Erläuterungen zum Strahlenrisiko

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Strahlenschutz und Strahlenbelastung im Zusammenhang mit Polizeieinsätzen anlässlich von CASTOR-Transporten</b> Erläuterungen von Dr. G. Dietze, PTB, Stellvertretender Vorsitzender der SSK .....	1
<b>2</b>	<b>Bewertung der Kontamination beim Transport abgebrannter Brennelemente</b> Stellungnahme der SSK vom 03.06.1998 .....	21
<b>3</b>	<b>Ergebnisse von Ganzkörpermessungen an Polizeieinsatzkräften</b> Dr. W. Eschner, Prof. Dr. H. Schicha, Universität Köln.....	29
<b>4</b>	<b>Zur Strahlung bei CASTOR-Transporten</b> Stellungnahme der SSK vom 27.02.1997 .....	35
<b>5</b>	<b>Begrenzung der Strahlenexposition von Polizeieinsatzkräften bis zum 18. Lebensjahr und von Polizeibeamtinnen</b> Stellungnahme der SSK vom 19.09.1996 .....	41
<b>6</b>	<b>Stellungnahme der Strahlenschutzkommission zum Beitrag von H. Kuni, Marburg „Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR“ vom 22.09.1995 .....</b>	<b>45</b>

# **Strahlenschutz und Strahlenbelastung im Zusammenhang mit Polizeieinsätzen anlässlich von CASTOR-Transporten**

Erläuterungen von Dr. G. Dietze, PTB,  
Stellvertretender Vorsitzender der  
Strahlenschutzkommission



---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	5
2	Größen und Grenzwerte im Strahlenschutz.....	6
3	Messung der Orts- und Personendosis .....	8
4	Strahlungsfeld um CASTOR-Transportbehälter .....	9
5	Neutronenstrahlung.....	11
6	Gefährdung durch Strahlung.....	12
7	Kontaminationen an Transportfahrzeugen und Transportbehältern bei Transporten abgebrannter Brennelemente .....	13

### Anhänge

a)	Beispiele von Transportbehälterttypen .....	17
b)	Beispiele von Dosisleistungen (gemäß StrlSchV) an Transportbehältern Mittelwerte an der Behälteroberfläche .....	17
c)	Beispiele von Dosisleistungen (gemäß StrlSchV) an Transportbehältern Mittelwerte in 2 m Abstand von der Behälteroberfläche .....	18
d)	Abstandsabhängigkeit der Neutronen- und Gamma- Dosisleistung am CASTOR-Behälter IIa.....	19
e)	Effektive Dosis der Bevölkerung in Deutschland .....	20



## 1 Einleitung

Behälter vom Typ CASTOR dienen zum Transport und anschließend zur langfristigen Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen aus Kernkraftwerken und von hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen. Daneben gibt es noch französische Transportbehälter, die zum Transport abgebrannter Brennelemente von den Kernkraftwerken zur Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague benutzt werden, aber nicht zur Zwischenlagerung in Gorleben oder Ahaus.

Während bei der Beladung von Transportbehältern in den Kernkraftwerken bzw. der Be- und Entladung in einer Wiederaufarbeitungsanlage sowie bei der langfristigen Lagerung in einem Zwischenlager (z. B. in Ahaus oder Gorleben) im unmittelbaren Bereich der Transportbehälter nur Personal tätig ist, das als „beruflich strahlenexponiert“ eingestuft ist und deshalb einer regelmäßigen Überwachung der Strahlenexposition unterliegt, wird der Transport der Behälter außerhalb dieser Anlagen auf dem Schienenweg oder der Straße von der Polizei und dem Bundesgrenzschutz begleitet und bewacht - und damit von Personen, die in der Regel nicht als „beruflich strahlenexponiert“ eingestuft sind. Das hat Konsequenzen in zweierlei Hinsicht.

Es muß erstens eindeutig festgelegt werden, bis zu welchem Wert der Personendosis (bzw. der *effektiven Dosis* als Körperdosis, in der üblicherweise die Grenzwerte für die Exposition von Personen angegeben werden) eine Exposition des Begleitpersonals als zulässig und unter Strahlenschutzgesichtspunkten als ungefährlich bzw. vertretbar angesehen werden kann.

Zum anderen muß die Tatsache berücksichtigt werden, daß hier Personen zur Begleitung und zum Schutz einer beträchtlichen Strahlenquelle eingesetzt werden, die in ihrer sonstigen Tätigkeit nicht mit Strahlenquellen umgehen und deshalb in derartigen Fragen einen relativ geringen Wissensstand haben. Dieses Wissen stammt zudem häufig aus Informationen von Medien, die zum Teil ein stark verzerrtes Abbild der wirklich vorliegenden Situation liefern. Das bedeutet, daß der umfassenden Information und Aufklärung über die mit dem CASTOR-Transport zusammenhängenden Fragen des Strahlenschutzes eine wichtige Rolle zukommt. Nichtwissen oder falsche Information führt zu Unsicherheit und Mißtrauen. Das sollte unbedingt verhindert werden, wenn man andererseits erwartet, daß die Polizei und der Bundesgrenzschutz ihre vorgegebenen Aufgaben in vollem Umfang erfüllen.

Die folgenden Ausführungen geben in hoffentlich verständlicher Form einige Auskunft über Größen und Grenzwerte im Strahlenschutz, über das Strahlungsfeld am und um derartige Transportbehälter und über spezielle Aspekte

der Neutronenstrahlung. Anschließend folgt ein Abschnitt über die Frage der Gefährdung durch Strahlung. Im letzten Teil wird dann auf die bekannten gewordenen Kontaminationen an den Transportfahrzeugen und Behältern eingegangen, und auch die Frage einer Strahlengefährdung des Begleitpersonals oder der Bevölkerung wird diskutiert.

## **2 Größen und Grenzwerte im Strahlenschutz**

Die Grundlage zur quantitativen Beschreibung von Wirkungen, die z. B. von Gammastrahlung in biologischem Gewebe und damit auch im Menschen ausgelöst werden, ist die Energiedosis (definiert als die Energie, die von der Strahlung auf ein Gewebestück übertragen wird, dividiert durch die Masse dieses Gewebes). Dabei geht man für den praktischen Strahlenschutz heute davon aus, daß im niedrigen Dosisbereich (etwa unterhalb 100 mSv), der für den Strahlenschutz von Bedeutung ist, eine lineare Beziehung zwischen der Dosis und ihrer Wirkung auf den Menschen (in diesem Dosisbereich im wesentlichen die Krebsauslösung) gilt. Es ist weiterhin seit langem bekannt, daß verschiedene Strahlenarten (z. B. Gammastrahlung, Neutronenstrahlung oder Alphastrahlung) bei gleicher übertragener Energiedosis unterschiedlich starke Wirkungen hervorrufen.

Um für alle Strahlenarten eine einheitliche Bezugsgröße zu erhalten, hat man nun für den Strahlenschutz eigene spezielle Dosisgrößen definiert, nämlich Körperdosisgrößen (effektive Dosis) bzw. Äquivalentdosismeßgrößen (z. B. Ortsdosis und Personendosis). Sie sind definiert als Energiedosis in Gewebe multipliziert mit einem Wichtungsfaktor, der die unterschiedliche radiobiologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlungsarten berücksichtigt und dessen Wert die Wirksamkeit einer Strahlung im Vergleich mit der von Photonenstrahlung (damit sind Röntgen- und Gammastrahlung gemeint) angibt. Für Röntgen- und Gammastrahlung ist der Wichtungsfaktor gleich 1. Im Zusammenhang mit den CASTOR-Transporten interessiert insbesondere der Wichtungsfaktor für Neutronen. Darauf wird deshalb in einem späteren Abschnitt ausführlicher eingegangen.

Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv). In der Praxis wird die Äquivalentdosis meistens in Millisievert ( $1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv}$ ) oder in Mikrosievert ( $1 \text{ } \mu\text{Sv} = 0,001 \text{ mSv} = 0,000 \text{ } 001 \text{ Sv}$ ) angegeben.

Der Strahlenschutz hat die Aufgabe, den Menschen vor den schädlichen Wirkungen von Strahlung umfassend zu schützen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß es wegen des Vorhandenseins von natürlichen radioaktiven Stoffen in unserer Umwelt und der natürlichen Umgebungsstrahlung (aus dem Boden und aus dem Weltraum) nicht das Ziel sein kann, den Menschen grundsätzlich vor jeder Strahlung zu bewahren. Das ist prinzipiell nicht möglich, und die gesamte Entwicklung von Leben auf der Erde hat schon immer



unter den Bedingungen stattgefunden, daß es Strahlung (auch ionisierende Strahlung mit Energien, wie sie hier betrachtet werden; Neutronenstrahlung allerdings nur in relativ geringem Umfang) gibt. Es kann deshalb nur darum gehen, zusätzliche Expositionen sinnvoll und angemessen zu begrenzen. Um Strahlengefährdungen zu vermeiden bzw. auf ein sehr geringes Maß zu begrenzen, sind in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) Dosisgrenzwerte festgelegt worden, die nicht überschritten werden dürfen. Sie beziehen sich in der Regel auf die Körperdosis von Personen und basieren meistens auf internationalen Empfehlungen, z.B. von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP). Für Berufstätige, die mit radioaktiven Stoffen umgehen oder anders strahlenexponiert werden können („beruflich strahlenexponierte Personen“), gilt ein Grenzwert von 50 mSv pro Jahr. Für die Bevölkerung gilt derzeit ein Grenzwert von 1,5 mSv pro Jahr.

In den neuen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 1991 wurden ein niedrigerer Grenzwert für *beruflich strahlenexponiertes Personal* von 20 Millisievert (mSv) pro Jahr (im Mittel über 5 Jahre, in einem einzelnen Jahr werden auch 50 mSv zugelassen) und ein Grenzwert von 1 mSv pro Jahr für die allgemeine Bevölkerung vorgeschlagen. Diese Empfehlung wurde 1996 auch in eine neue Richtlinie der Europäischen Union (EU)\* übernommen, die bis zum Jahr 2000 in nationales Recht umgesetzt werden muß. Man kann deshalb annehmen, daß bei der vorgesehenen Novellierung der Strahlenschutzverordnung in Deutschland die Werte aus der EU-Richtlinie im wesentlichen übernommen werden.

Diese Grenzwerte beziehen sich alle auf eine Dosis zusätzlich zu der normalen Dosis von ca. 2,4 mSv pro Jahr, der jeder Mensch in Deutschland durch natürliche Radionuklide in unserer Umwelt (z.B. Radon in der Luft und Kalium-40 im Boden) und durch die natürliche Umgebungsstrahlung aus der Erde und dem Weltraum ständig ausgesetzt ist (s. Anhang e). Je nach Aufenthaltsort kann diese Dosis erheblich schwanken, z. B. um 1 mSv größer oder kleiner sein, ohne daß dabei in Deutschland gesundheitliche Auswirkungen sichtbar werden.

Für das Begleitpersonal bei CASTOR-Transporten hat man einen Grenzwert von 1 mSv pro Jahr festgesetzt, d. h. sie sind den Personen der allgemeinen Bevölkerung gleichgestellt. Allerdings wurde hier bereits der zukünftige Wert von 1 mSv pro Jahr aus der EU-Richtlinie zugrunde gelegt. Damit wird bei Einsatzplanungen auf jeden Fall sichergestellt, daß Polizisten nicht so

---

\* Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen

hoch exponiert werden, daß sie in die Kategorie der „beruflich strahlenexponierten Personen“ fallen.

### **3 Messung der Orts- und Personendosis**

Im Strahlenschutz wird die Äquivalentdosis mit Dosismessgeräten, den Dosimetern, gemessen. Dabei unterscheidet man zwischen Ortsdosis- und Personendosismessung.

Die Ortsdosis bezieht sich auf die Strahlung an einem Ort. Sie gibt an, welche Körperdosis eine Person erhalten würde, wenn sie sich am Meßort aufhielte. Meistens wird nicht die Ortsdosis, sondern die Dosis pro Zeiteinheit, die Ortsdosisleistung, z. B. in Millisievert pro Stunde (mSv/h) oder in Mikrosievert pro Stunde ( $\mu\text{Sv/h}$ ), angegeben (dabei ist  $1 \text{ mSv/h} = 1000 \mu\text{Sv/h}$ ). Befindet sich eine Person eine bestimmte Zeit lang an diesem Ort, so kann die von ihr empfangene Dosis aus der Ortsdosisleistung durch Multiplikation mit der Aufenthaltszeit an diesem Ort berechnet werden. Die Grenzwerte für die Strahlung in der Umgebung eines CASTOR-Transportbehälters werden z. B. als Werte der Ortsdosisleistung angegeben. Über eine Begrenzung der Aufenthaltszeit von Personen an einem Behälter läßt sich damit auch die Körperdosis dieser Personen begrenzen.

Die meisten Ortsdosimeter messen nicht die Dosis von allen Strahlenarten. Es gibt spezielle Neutronendosimeter, die z. B. nicht auf Gammastrahlung reagieren, und Gammadosimeter, die nur gering auf Neutronenstrahlung ansprechen. Die gesamte Ortsdosis an einem Punkt erhält man dann durch Addition der getrennt gemessenen Gamma- und Neutronendosisanteile. Die Empfindlichkeit derartiger Dosimeter ist in der Regel so hoch, daß sie ohne Probleme auch in Strahlungsfeldern um einen beladenen Transportbehälter verwendet werden können.

Neutronendosimeter zeigen das Problem, das bei gleicher Äquivalentdosis ihre Anzeige stark von der Energieverteilung der Neutronen (dem Neutronenspektrum) abhängt. Untersuchungen haben ergeben, daß es notwendig ist, Neutronendosimeter in einem Neutronenfeld zu kalibrieren, das dem Neutronenfeld an einem CASTOR-Behälter ähnlich ist. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und der für Strahlenschutz zuständige Länderausschuß haben deshalb im letzten Jahr den zuständigen Stellen empfohlen, daß in Zukunft alle an CASTOR-Behältern eingesetzten Ortsdosimeter für Neutronen bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) oder einer von ihr autorisierten Stelle kalibriert werden sollten, um die Meßunsicherheit auf ein akzeptables Maß (ca. 10 -20 %) zu verringern. Das ist inzwischen weitgehend erfolgt.

Die Personendosis wird mit Personendosimetern gemessen, die von den in Betracht kommenden Personen z. B. an der Brust getragen werden. Auch hier

gibt es getrennte Dosimeter für Neutronen- und Photonenstrahlung. Die Personendosis liefert in der Regel einen ausreichend genauen Schätzwert für die Körperdosis der Person, die das Dosimeter getragen hat, und damit eine individuelle Kontrolle, ob die vorgegebenen Grenzwerte eingehalten wurden.

Personendosimeter werden von beruflich strahlenexponierten Personen zur Überwachung der Strahlenexposition getragen. Die allgemeine Überwachung ist in der Strahlenschutzverordnung und weiteren Richtlinien geregelt. Personendosimeter werden von amtlich zugelassenen Meßstellen ausgegeben, nach einem Monat zurückgesandt und in den Meßstellen ausgewertet. Die gemessenen Dosen werden in einem Dosisregister registriert. Zur internen Strahlenschutzüberwachung verwenden Betriebe oft zusätzliche Personendosimeter, die neben der Messung der Personendosis auch die Möglichkeit einer Warnfunktion (z. B. einen Warnton abgeben) haben, wenn die Intensität des Strahlungsfeldes eine Schwelle überschreitet.

Hier sollte erwähnt werden, daß sich Personendosimeter in ihren Eigenschaften an ihren Aufgaben der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen (und damit an den höheren Grenzwerten 50 mSv pro Jahr für diese Personen) orientieren. Die Personendosimeter, die für die amtliche Personendosisüberwachung dieses Personenkreises eingesetzt werden, besitzen eine untere Nachweisgrenze im Bereich von 0,05 bis 0,2 mSv, d.h. daß eine kleinere Dosis nicht mehr gemessen werden kann und eine Dosis im Bereich dieser Werte auch nur mit relativ hoher Unsicherheit. Das bedeutet, daß Personendosismessungen im Dosisbereich von 0,01 bis 0,2 mSv, der bei CASTOR-Transporten von Interesse ist, nur eine begrenzte Aussagekraft in bezug auf die genaue empfangene Dosis haben. Sie stellen allerdings trotzdem eine wertvolle Ergänzung der Ortsdosismessungen dar, da mit diesen Messungen nachgewiesen werden kann, daß es zu keinen höheren Expositionen gekommen ist.

## **4 Strahlungsfeld um CASTOR-Transportbehälter**

Es gibt eine ganze Reihe von CASTOR-Transportbehälterttypen zum Transport und zur langfristigen Zwischenlagerung von Brennelementen bzw. Glasokillen, die sich in der Detailkonstruktion und der Ladekapazität unterscheiden. Alle von der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) geprüften und dann zugelassenen Behälter erfüllen die hohen Anforderungen bezüglich der Sicherheit bei Transportunfällen (z.B. Falltest aus 9 m Höhe und halbstündiger 800°-Hitzetest bei der Prüfung der Behälter). Dies soll hier nicht weiter erläutert werden. Auch die Details der Doppeldeckelkonstruktion zur Erfüllung der hohen Anforderungen an die langzeitige Dichtheit der Behälter sollen hier nicht betrachtet werden. Die Behälter besitzen eine etwa 40 - 45

cm dicke Wand aus Eisen, in die zur besseren Abschirmung der Neutronen ein Reihe von Polyethylenstäben eingelassen sind. Die in die CASTOR-Behälter eingebrachten abgebrannten Brennelemente und die in Glaskokillen eingeschmolzenen radioaktiven Abfälle senden neben Alpha- und Betastrahlung, die direkt in den Brennstäben und den Glaskokillen absorbiert werden, auch weitreichende Neutronen- und Gammastrahlung aus. Diese Strahlung wird nur teilweise in der Behälterwand absorbiert, der andere Teil entweicht aus dem Behälter in die Umgebung. Für den Strahlenschutz des Begleitpersonals interessiert im wesentlichen das Strahlungsfeld in der Umgebung derartiger Transportbehälter.

Die maximale Beladung der CASTOR-Behälter ergibt sich aus der Auslegung der Behälter und den Bestimmungen für den Transport und die Zwischenlagerung. Dabei greift insbesondere die Transportbedingung mit einer Begrenzung der Ortsdosisleistung von  $100 \mu\text{Sv/h}$  in 2 m Abstand von dem Transportbehälter (genauer: von der Oberfläche des Transportfahrzeugs) und die Zwischenlagerungsbedingung mit einer Begrenzung von  $250 \mu\text{Sv/h}$  an der Oberfläche der Behälter. In der Praxis werden die Behälter so beladen, daß diese Grenzwerte nirgendwo erreicht und deshalb an den meisten Stellen um die Behälter erheblich unterschritten werden, da die radioaktiven Stoffe nie gleichmäßig in den Brennelementen oder Glaskokillen verteilt sind. Es zeigt sich, daß bei CASTOR-Behältern mit abgebrannten Brennelementen die Strahlung an der äußeren Oberfläche in der Mitte des Behälters am höchsten ist und zu den Enden hin abnimmt, während bei den Behältern mit den radioaktiven Glaskokillen aus La Hague oder Sellafield die Verteilung der Strahlung um den Behälter erheblich gleichmäßiger ist.

In den vergangenen Jahren wurden von verschiedenen Institutionen, u.a. auch von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), umfangreiche Messungen an beladenen CASTOR-Behältern durchgeführt. Dabei wurde sowohl der Beitrag der Gammastrahlung als auch der der Neutronenstrahlung an verschiedenen Positionen um den Behälter als auch in verschiedenen Abständen bestimmt. Es wurden insbesondere die Ortsdosisleistung und das Energiespektrum der Neutronen- und Gammastrahlung gemessen. Es zeigt sich, daß die Neutronen erheblich zur gesamten Äquivalentdosis im Strahlungsfeld um die CASTOR-Behälter beitragen. Je nach der Zusammensetzung des radioaktiven Materials im Behälter liegt ihr Dosisanteil zwischen 20 % und 90 % der gesamten Dosis. In allen Fällen wurden allerdings die oben angegebenen zulässigen Grenzwerte der Dosisleistung beträchtlich unterschritten (siehe Anhänge b und c). Das gilt auch für die nach Ahaus transportierten Behälter (3 vom Typ V/19, 3 vom Typ V/52), deren Daten allerdings nicht in den Anhängen aufgeführt sind.

Im Nahbereich eines CASTOR-Behälters (Abstand  $< 20$  m) nimmt die Ortsdosisleistung wegen der großen Dimensionen des Behälters angenähert linear mit wachsendem Abstand ab, während bei größeren Abständen der Behälter als Punktquelle betrachtet werden kann, so daß die Dosisleistung dort mit dem Quadrat des Abstandes abfällt (s. Anhang d).

## 5 Neutronenstrahlung

Der hohe Anteil an Neutronenstrahlung war insbesondere die Ursache für viele Unklarheiten und Unsicherheiten im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz bei CASTOR-Transporten. Das hat verschiedene Gründe.

Erstens ist der Nachweis von Neutronen und die Messung einer Neutronendosis erheblich schwieriger und oft mit größeren Unsicherheiten behaftet als bei Gammastrahlung, sodaß die Meßdaten, die vor einigen Jahren im Zusammenhang mit dem Strahlungsfeld am CASTOR bekannt wurden, nicht widerspruchsfrei waren. Diese Situation hat sich allerdings, wie oben erwähnt, infolge der Messung der Neutronenspektren an CASTOR-Behältern bei den Ortsdosimetern im letzten Jahr erheblich gebessert.

Zweitens hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) aufgrund einer sorgfältigen neuen Analyse der radiobiologischen Wirksamkeit der Neutronen 1991 eine Neubewertung der Wichtungsfaktoren für Neutronenstrahlung vorgenommen und diese Werte erhöht (auf max. 20 statt bisher 10). Auch diese Empfehlung wurde 1996 in die neue Strahlenschutz-Richtlinie der EU übernommen. In Deutschland werden diese Werte allerdings erst mit der Novellierung der StrlSchV und des damit verbundenen Übergangs zu den neuen Dosisgrößen in das gesetzliche Meßwesen und den Strahlenschutz eingeführt werden. Bis dahin gilt in Deutschland noch der alte Wichtungsfaktor nach der gültigen StrlSchV.

Trotzdem sind diese neuen Werte bei den Messungen an CASTOR-Behältern schon oft benutzt worden. Es zeigte sich dabei allerdings, daß auch bei Anwendung der neuen Werte die vorgegebenen Grenzwerte nicht überschritten wurden.

Drittens haben in Deutschland einige Wissenschaftler in Zusammenhang mit den CASTOR-Transporten behauptet, daß die 1991 veröffentlichte und derzeit international akzeptierte und empfohlene Bewertung der Neutronenstrahlung relativ zur Photonenstrahlung nicht richtig sei, sondern sehr viel höhere Werte angesetzt werden müßten (bis zu 600 statt max. 20). Diese Behauptung ist wissenschaftlich in keiner Weise ausreichend begründet. Sie wird derzeit weder von der Strahlenschutzkommission noch von internationalen Gremien für richtig gehalten. Aus dem großen Umfang radiobiologi-

scher Untersuchungen zu diesem Thema stützt sich die Hypothese auf einige wenige Experimente, deren Ergebnisse und Interpretation zudem noch sehr umstritten sind, und ignoriert viele andere. Dabei ist insbesondere zu beachten, daß es bei biologischen Wirkungen von Strahlung sehr unterschiedliche Effekte gibt und für den Strahlenschutz im niedrigen Dosisbereich eigentlich nur der Effekt der Krebserzeugung im Menschen von Bedeutung ist. Aus ethischen Gründen kann man dies - und insbesondere die unterschiedliche Wirkung von Neutronen- und Photonenstrahlung - allerdings durch direkte Experimente an Menschen nicht untersuchen. Man ist auf Untersuchungen an Tieren oder Zellproben angewiesen, aus denen dann Folgerungen abgeleitet werden.

## **6 Gefährdung durch Strahlung**

Trotz aller Information über das Strahlungsfeld am und um einen CASTOR-Transportbehälter und über die Relation zu den Grenzwerten bleibt die offensichtlich wichtigste Frage für viele - insbesondere auch für das Begleitpersonal: Wie gefährlich ist denn nun diese Strahlung bzw. eine Körperdosis von 1 mSv?

Die Antwort auf diese Frage ist schwierig. Insbesondere auch deshalb, weil Gefahren im Alltag oft sehr subjektiv empfunden werden. Das Unbekannte, besonders wenn man es nicht sehen kann, schätzt man oft als gefährlicher ein als etwas, mit dem man täglich umgeht. Ein Risiko, das man selber freiwillig eingeht, trägt man leichter als das, was einem von anderen aufgedrängt wird.

Ein objektiver Maßstab, was gefährlich und was ungefährlich ist, existiert in der Regel nicht, da dieser immer auch von dem allgemeinen Sicherheitsstandard in einer Gesellschaft abhängt. Man hilft sich deshalb hier mit Vergleichen, z. B. indem man Schadensstatistiken heranzieht, wie etwa das Unfallrisiko an Arbeitsplätzen oder beim Autofahren oder Schäden infolge gefährlicher chemischer Stoffe.

Die ICRP kommt auf der Grundlage von Untersuchungen und zahlreicher Überlegungen für den Strahlenschutz bei der Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Gesundheitsschadens zu einem Risikoeffizienten von  $5 \cdot 10^{-5}$  pro mSv, d.h. bei einer Exposition von 1 mSv ergibt sich die Wahrscheinlichkeit eines dadurch ausgelösten Gesundheitsschadens (hier im wesentlichen Krebserkrankung bzw. Tod infolge von Krebs) zu 0,000 05. Das ist eine Größenordnung, bei der man sich fragen kann, inwieweit dies noch als individuelles Risiko im Vergleich mit anderen größeren persönlichen Risiken, die Personen ohne nachzudenken eingehen, empfunden wird. Die ICRP hat diesen Grenzwert von 1 mSv deshalb auch mehr mit Blick auf das kollektive Risiko und damit auf den Schutz großer Bevölkerungsgruppen, die insgesamt exponiert werden, festgelegt als mit Blick auf einzelne Personen.

Zusätzlich ist dabei zu berücksichtigen, daß Krebs heute in Deutschland eine sehr häufige Todesursache ist (Wahrscheinlichkeit ca. 0,22 - 0,24), wobei neben dem spontan auftretenden Krebs viele Faktoren des persönlichen Verhaltens (z. B. Rauchen, Eßgewohnheiten) die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung in weit größerem Maße beeinflussen als eine Strahlenexposition von einigen mSv.

Ein anderer Vergleichsmaßstab ergibt sich aus der Umgebungsstrahlung, der jeder Mensch ausgesetzt ist (siehe Anhang e). Hier wird als Beurteilungskriterium oft herangezogen, daß die Schwankungsbreite der Exposition infolge natürlicher Strahlungsquellen in Deutschland nicht unerheblich ist. Sie ist sicherlich in der Größenordnung von 1 mSv pro Jahr, ohne daß man etwa eine Korrelation mit der Krebshäufigkeit in bestimmten Regionen beobachtet hat. Diese Schwankungsbreite wird allgemein auch nicht als besorgniserregend empfunden, und die Strahlenschutzkommission ist einhellig der Meinung, daß es bei Schwankungen der natürlichen Umgebungsstrahlung in dieser Größenordnung keinen Anlaß gibt, irgendwelche speziellen Maßnahmen zu initiieren. Auch Strahlenschutzüberlegungen hinsichtlich des natürlichen Radons orientieren sich an sehr viel höheren Dosen als 1 mSv. Als Beispiel sei auch genannt, daß infolge der erhöhten kosmischen Strahlung in größerer Höhe z. B. ein Nordatlantikflug (Frankfurt - New York - Frankfurt) zu einer zusätzlichen Dosis von ca. 0,1 mSv führt.

Die zusätzlichen medizinisch bedingten Expositionen durch Untersuchungen in der Röntgendiagnostik und der Nuklearmedizin (z. B. 0,1 bis 1 mSv bei einer Röntgenaufnahme, bis zu einigen mSv bei einer Aufnahme mit dem Computertomographen) können bei dieser Diskussion außen vor gelassen werden, da hier andere Kriterien gelten und der Nutzen für den einzelnen Patienten ein Strahlenrisiko in der Regel weit übertrifft.

Die vorgehenden Bemerkungen sollen allerdings nicht das allgemeine Ziel des Strahlenschutzes verwässern, zusätzliche Expositionen mit angemessenen Maßnahmen so gering wie möglich zu halten (ALARA-Prinzip). Dieses Prinzip ist im Sinne der Vorsorge richtig, um zu verhindern, daß sich aus einer Addition verschiedenster Strahlungsquellen, z.B. im beruflichen und privaten Bereich, unnötigerweise höhere Expositionen ergeben.

Die obigen Überlegungen machen deutlich, daß der Wert von 1 mSv pro Jahr, den die Behörden als Grenzwert für das Begleitpersonal festgesetzt haben, ein Vorsorgewert ist, der eine direkte Gefährdung ausschließen soll. In diesem Sinne hat auch die Strahlenschutzkommission diesen Wert für vernünftig gehalten. Im übrigen haben die letzten Transporte gezeigt, daß es insbesondere bei Bahntransporten möglich ist, die zusätzliche Exposition des Begleit-

personal bei sehr geringen Werten weit unter dem Grenzwert von 1 mSv zu halten.

## **7 Kontaminationen an Transportfahrzeugen und Transportbehältern bei Transporten abgebrannter Brennelemente**

Vor kurzem ist bekannt geworden, daß sich an den Eisenbahnwagen und den Behältern zum Transport abgebrannter Brennelemente von deutschen Kernkraftwerken zur französischen Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague mit radioaktiven Stoffen kontaminierte Stellen befanden, die nach den nationalen und internationalen Transportvorschriften nicht zulässig sind. Bei insgesamt 73 Transporten in den Jahren 1997/98 wurden an 13 Fahrzeugen und 3 Behältern derartige Kontaminationen festgestellt. Zusätzlich hat man auch festgestellt, daß sich an zurückkommenden Waggons ebenfalls Kontaminationen befanden, die über dem zulässigen Grenzwert liegen. An den CASTOR-Transportbehältern in Gorleben und in Ahaus hat man dagegen (bis auf eine minimale Kontamination von 7 Bq pro Quadratzentimeter an drei Schrauben eines CASTOR-Behälters in Ahaus) keine kontaminierten Stellen gefunden.

Einen Gegenstand bezeichnet man als an der Oberfläche kontaminiert, wenn sich auf seiner Oberfläche radioaktive Stoffe (Radionuklide) befinden. Im vorliegenden Fall handelt es sich im wesentlichen um radioaktive Kobalt- und Cäsiumatome (Co-60- und Cs-137-Atome), die bei ihrem Zerfall Gammastrahlung aussenden.

Die Menge eines radioaktiven Stoffes und damit indirekt auch die Intensität der Strahlung wird durch die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde (1 Becquerel (Bq) = 1 Zerfall pro Sekunde) charakterisiert. Die Masse ist oft sehr gering. So entsprechen 100 000 Bq etwa 0,0016 Mikrogramm Kobalt-60.

Zum Vergleich:

Radioaktive Stoffe kommen auch in unserer natürlichen Umwelt vor. Jeder Mensch enthält ca. 8 000 Bq radioaktive Stoffe (überwiegend Kalium-40), die er mit der Nahrung aufgenommen hat. 1 kg Kalidünger enthält bis zu 14 000 Bq natürliche radioaktive Stoffe. In jedem Kubikmeter Luft findet man ca. 7 Bq Radon (in Häusern in Deutschland im Mittel ca. 40 Bq/m<sup>3</sup>).

Bei kontaminierten Oberflächen gibt man in der Regel an, wieviel Becquerel sich auf einer bestimmten Fläche befinden, z. B. auf einem Quadratzentimeter. Dann findet man eine Angabe in Bq/cm<sup>2</sup>. Bei den vorliegenden Transporten darf die Oberflächenkontamination einen Wert von 4 Bq/cm<sup>2</sup> nicht überschreiten (international festgelegter Grenzwert



für Beta- und Gammastrahler, wobei über eine Fläche von 300 cm<sup>2</sup> gemittelt wird). Dieser Grenzwert ist so niedrig festgelegt worden, damit es auch bei großflächigen Kontaminationen (z.B. auf einigen m<sup>2</sup>) nicht zu einer gefährlichen Strahlenexposition kommt. Bezogen auf einen Quadratmeter ergäbe sich dabei z. B. ein Grenzwert von 40 000 Bq/m<sup>2</sup>.

Die hier betrachteten Kontaminationen aus 1997/1998 befanden sich innerhalb der Schutzhauben der Transportfahrzeuge am Waggon und in geringerem Umfang auch an drei Transportbehältern. Die Kontaminationen waren dabei auf kleine Flächen von wenigen cm<sup>2</sup> begrenzt (deshalb oft als „hot spots“ bezeichnet). Es wurden Kontaminationen bis zu 13 400 Bq auf einer derartigen Fläche gefunden. Damit war auf diesen Flächen auch dann, wenn man diese Kontamination gemäß der Vorschrift über 300 cm<sup>2</sup> mittelt der zulässige Transportgrenzwert von 4 Bq/cm<sup>2</sup> eindeutig überschritten. Der Waggon mit der größten Kontamination enthielt ca. 10 „hot spots“ mit einer Gesamtaktivität von etwa 28 000 Bq, bei anderen kontaminierten Waggons lag die Gesamtaktivität unter 16 000 Bq.

An aus Frankreich zurückkommenden Waggons mit leeren Behältern wurden vor kurzem ebenfalls Kontaminationen mit derartigen „hot spots“ gefunden. Nach mir vorliegenden Informationen befand sich an einem der rückgeführten Wagen z. B. ein „hot spot“ von 23 000 Bq. Da die Kontaminationen offensichtlich von gleicher Größenordnung wie oben sind, soll auf diese Wagen im folgenden nicht gesondert eingegangen werden.

Die Kontaminationen an den Fahrzeugen waren während des Transportes nicht zugänglich, da sie sich am Waggon unterhalb des Transportbehälters und damit innerhalb der Schutzhauben befanden. An den Außenflächen der Schutzhauben und außen am Waggon wurden in Deutschland keine unzulässigen Kontaminationen festgestellt. Zusätzliche Messungen des Eisenbahnbundesamtes an der Außen- bzw. Innenseite der Schutzhauben und an nachfolgenden Wagen haben das gleiche ergeben. Deshalb kann man davon ausgehen, daß das Begleitpersonal nicht direkt mit den kontaminierten Flächen in Berührung gekommen ist. Die andere Möglichkeit, daß sich ein Teil des radioaktiven Materials während der Fahrt von der Oberfläche löst und in die Umwelt gelangt, kann zwar nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden, führt allerdings wegen der sehr geringen beobachteten Gesamtaktivität an einem Wagen zu keiner allgemeinen Strahlengefährdung in der Umwelt, d.h. der Bevölkerung.

Eine Gefährdung des Begleitpersonals durch die Kontaminationen ist im Prinzip durch die direkte Bestrahlung des Körpers oder über die Aufnahme radioaktiver Teilchen in den Körper durch

- Einatmen und damit Aufnahme über die Lunge oder
- Verschlucken und damit Aufnahme über den Magen und Darm möglich.

Die direkte Gammastrahlung einer flächenmäßig kleinen radioaktiven Kobalt-60-Quelle von 13 400 Becquerel bewirkt in 1 Meter Abstand eine Strahlenexposition eines Menschen von weniger als 0,000 005 Millisievert pro Stunde. Dies ist erheblich geringer als die Exposition durch die natürliche Umgebungsstrahlung (Gammastrahlung), die ca 0,000 070 Millisievert pro Stunde ergibt. Beide Strahlungen sind allerdings gegenüber der direkten Strahlung aus dem Transportbehälter, bei der nach den Transportbestimmungen ein Wert von maximal 0,1 mSv pro Stunde in 2 m Entfernung vom Fahrzeug zugelassen ist, völlig unerheblich. Dies gilt auch, wenn man die gesamte Aktivität an einem Wagen von max. 28 000 Bq betrachtet.

Es bleibt die Frage, ob die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in der oben genannten Größenordnung zu einer Strahlengefährdung führen kann. Hier kann man davon ausgehen, daß es in der Praxis ausgeschlossen ist, daß eine einzelne Person in der Umgebung des Fahrzeuges das gesamte radioaktive Kobalt oder Cäsium, das sich am Fahrzeug befindet und dort relativ fest haftet, in sich aufnimmt.

Selbst für den extrem unrealistischen Fall einer vollständigen Aufnahme der höchsten gemessenen lokalen Kontamination von 13 400 Becquerel Cäsium-137 oder Kobalt-60 in den Körper einer einzelnen Person würde sich für diese Person eine Dosis von weniger als 0,5 mSv ergeben.

Aus diesen Überlegungen heraus hat die Strahlenschutzkommission in ihrer Stellungnahme erklärt, daß die Kontaminationen, die an den Transportwagen und den Behältern bei den Transporten nach La Hague in Frankreich festgestellt wurden, zu keiner Strahlengefährdung für die Bevölkerung und das Begleitpersonal geführt haben.

Das gilt in besonderem Maße auch für das Begleitpersonal bei den CASTOR-Transporten in die Zwischenlager in Gorleben und Ahaus, da die aktuellen Überprüfungen der Behälter mit Ausnahme einer geringfügigen Kontamination von 7 Becquerel pro Quadratcentimeter an drei Schrauben eines Behälters im Transportbehälterlager Ahaus keine Überschreitung der Oberflächenkontaminationsgrenzwerte zeigten. Der Strahlenschutz des Begleitpersonals und die damit verbundene Einsatzplanung hat sich deshalb bei den letzten Transporten nach Gorleben und Ahaus richtigerweise an der Strahlung ausgerichtet, die direkt von den Transportbehältern ausgeht. Dies kann auch heute als richtiger Maßstab angesehen werden und sollte auch für die Zukunft gelten.

Der Nachweis der Aufnahme von radioaktiven Stoffen durch eine Person (Inkorporation) kann durch eine Messung mit einem Ganzkörperzähler erfolgen; solche Geräte werden zum Beispiel in nuklearmedizinischen Kliniken zur Strahlenschutzüberwachung des Personals eingesetzt. Damit werden inkorporierte Radionuklide nachgewiesen, die Gammastrahlung aussenden, wie zum Beispiel Co-60 oder Cs-137. Inkorporationsmessungen an Polizeieinsatzkräften, die den Transport nach Ahaus begleiteten, haben ergeben, daß diese Radionuklide nicht inkorporiert wurden. Radioaktive Stoffe, die nur Alphateilchen aussenden, können nur mit Ausscheidungsmessungen nachgewiesen werden.

Die Strahlenschutzkommission hat mit Nachdruck betont, daß beim Transport radioaktiver Stoffe in jedem Fall die Grenzwerte der geltenden Strahlenschutz- und Transportvorschriften einzuhalten sind und Überschreitungen nicht geduldet werden dürfen. Dies gilt selbstverständlich auch dann, wenn aus den oben angeführten Gründen eine Strahlengefährdung der Bevölkerung oder des den Transport begleitenden Personals durch die derzeit bekannt gewordenen Kontaminationen ausgeschlossen werden kann.

## Anhänge

### a) Beispiele von Transportbehältertypen

CASTOR Ia	für 4 Brennelemente aus Druckwasserreaktoren
CASTOR Ib	für 4 Brennelemente aus Druckwasserreaktoren
CASTOR Ic	für 16 Brennelemente aus Siedewasserreaktoren
CASTOR IIa	für 9 Brennelemente aus Druckwasserreaktoren
CASTOR V/19	für 19 Brennelemente aus Druckwasserreaktoren
CASTOR V/52	für 52 Brennelemente aus Siedewasserreaktoren
TS 28 V	für Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung
CASTOR HAW 20/28 GG	für Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung
CASTOR HAW 20/29	für Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung

### b) Beispiele von Dosisleistungen (gemäß StrISchV) an Transportbehältern

Mittelwerte an der Behälteroberfläche

(Grenzwert gemäß Einlagerungsbedingungen: 250  $\mu\text{Sv/h}$ )

Behältertyp	Gesamtdosisleistung in $\mu\text{Sv} / \text{h}$	Neutronenanteil in %
CASTOR Ic	15	84 %
CASTOR IIa	66	76 %
CASTOR V/19-002	79	27 %
CASTOR V/19-003	88	30 %
CASTOR V/19-004	103	30 %
TS 28 V	42	52 %
CASTOR HAW 20/28-02	170	72 %
CASTOR HAW 20/28-03	133	66 %

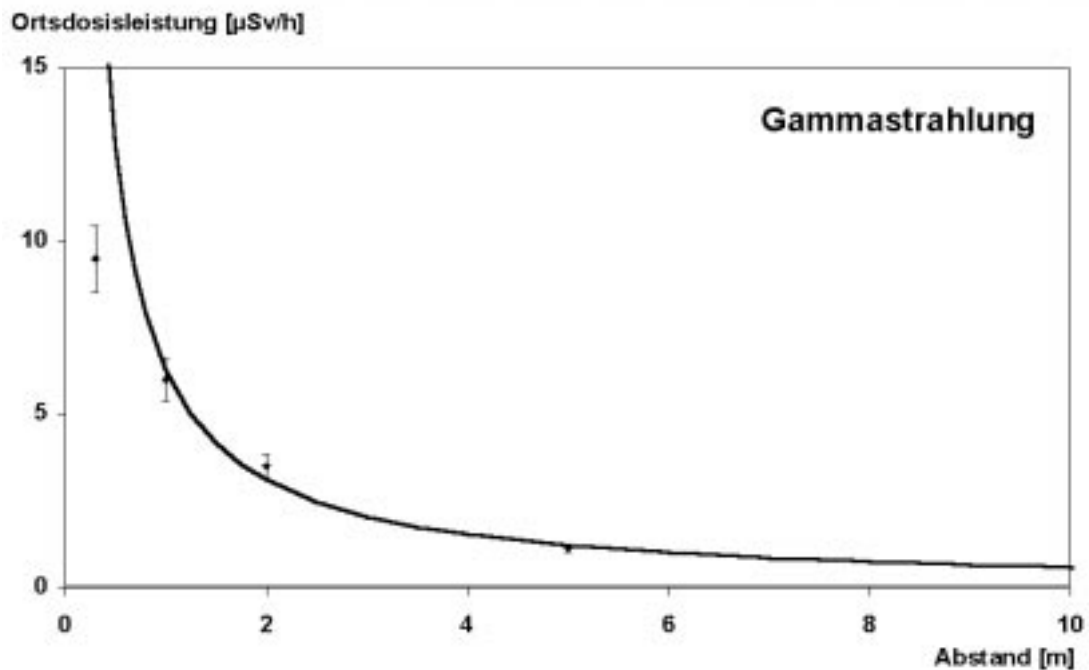
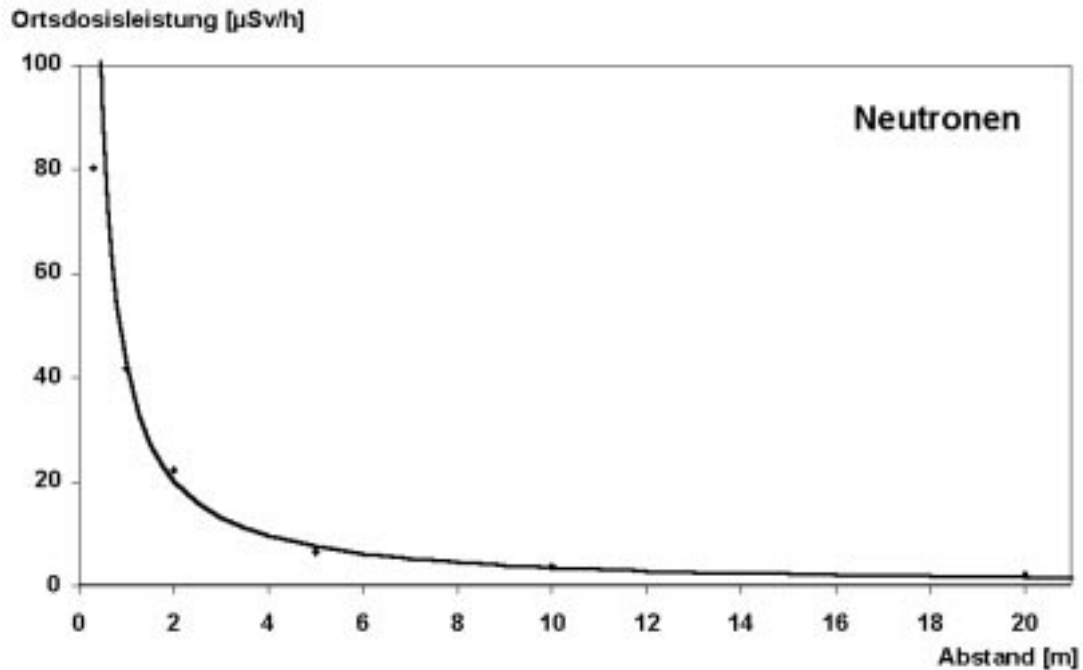
### c) Beispiele von Dosisleistungen (gemäß StrISchV) an Transportbehältern

Mittelwerte in 2 m Abstand von der Behälteroberfläche  
(Grenzwert gemäß Transportbedingungen in 2 m Abstand von der Oberfläche des Transportfahrzeuges: 100  $\mu\text{Sv/h}$ )

Behältertyp	Gesamtdosisleistung in $\mu\text{Sv} / \text{h}$	Neutronenanteil in %
CASTOR Ic	4,5	84 %
CASTOR IIa	19,6	76 %
CASTOR V/19-002	23	27 %
CASTOR V/19-003	26	30 %
CASTOR V/19-004	31	30 %
TS 28V	12,5	52 %
CASTOR HAW 20/28-02	51	72 %
CASTOR HAW 20/28-03	40	66 %

d) **Abstandsabhängigkeit der Neutronen- und Gamma-Dosisleistung am CASTOR-Behälter IIa**

Die Linie stellt 1/a-Abhängigkeit dar (a = Abstand vom Transportbehälter in Meter); nach H. Heimlich, BfS-ET-24/97



e) **Effektive Dosis der Bevölkerung in Deutschland**

**Mittlere effektive Dosis im Jahre 1995** **ca. 4 mSv**

**Dosis durch natürliche Strahlenexposition**

durch kosmische Strahlung (in Meereshöhe)		ca. 0,3 mSv
durch terrestrische Strahlung von außen		ca. 0,4 mSv
bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)	ca. 0,1 mSv	
bei Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)	ca. 0,3 mSv	
durch Einatmen von Radon und Folgeprodukten		ca. 1,4 mSv
durch Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)	ca. 0,2 mSv	
durch Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)	ca. 1,2 mSv	
durch Essen von natürlich radioaktiven Stoffen		ca. 0,3 mSv

**Summe der Dosis durch natürliche Strahlenexposition 1995** **ca. 2,4 mSv**

**Zivilisatorische Strahlenexposition**

durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin		ca. 1,5 mSv
durch kerntechnische Anlagen		< 0,01 mSv
durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt		< 0,01 mSv
Industrieerzeugnisse	< 0,01 mSv	
technische Strahlenquellen	< 0,01 mSv	
Störstrahler	< 0,01 mSv	
durch Flugverkehr		< 0,01 mSv
durch berufliche Strahlenexposition (Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung)		< 0,01 mSv
durch Fallout von Kernwaffenversuchen		< 0,01 mSv
von außen im Freien	< 0,01 mSv	
durch inkorporierte radioaktive Stoffe	< 0,01 mSv	
Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl		< 0,02 mSv

**Summe der Dosis durch zivilisatorische Strahlenexposition 1995** **ca. 1,6 mSv**

# **Bewertung der Kontamination beim Transport abgebrannter Brennelemente**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission





## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
1 Vorbemerkung .....	25
2 Transporte abgebrannter Brennelemente nach Frankreich.....	25
3 CASTOR-Transporte innerhalb Deutschlands .....	26
4 Schlußfolgerungen .....	27



## **1 Vorbemerkung**

Berichte über erhöhte radioaktive Kontaminationen (oberflächliche Verunreinigungen) bei Transporten abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken in den Jahren 1997 und 1998 zur französischen Wiederaufarbeitungsanlage La Hague und dadurch bedingte Überschreitungen der Grenzwerte der Oberflächenkontamination haben die Strahlenschutzkommission erneut veranlaßt, die Strahlenexposition von Begleitpersonal und Bevölkerung im Hinblick auf mögliche gesundheitliche Gefährdungen zu bewerten. Vorausschickend stellt die Strahlenschutzkommission fest, daß Grenzwerte in jedem Fall entsprechend den geltenden rechtlichen Regelungen einzuhalten sind, um den Schutz der Bevölkerung und der beruflich mit radioaktiven Stoffen umgehenden Personen auf einem hohen Schutzniveau vorsorglich und nachhaltig sicherzustellen.

## **2 Transporte abgebrannter Brennelemente nach Frankreich**

Die festgestellten Kontaminationen befanden sich nach Angaben der französischen Regierung innerhalb der Schutzhauben der Transportfahrzeuge an Waggons oder Behältern und waren dort flächenmäßig eng begrenzt. Es handelt sich um Oberflächenkontaminationen durch Cäsium-137 und Kobalt-60, die an einzelnen Stellen bis zu 13 400 Becquerel betragen. Die Dichtigkeit der Behälter war auch nach französischen Angaben stets gegeben. Die kontaminierten Oberflächen waren während des Transportes nicht zugänglich. An den Außenflächen der Schutzhauben und außen am Waggon wurden keine unzulässigen Kontaminationen festgestellt. Auch Stichprobenmessungen des Eisenbahnbundesamtes an der Außen- und Innenseite der Schutzhauben und an dem nachfolgenden Waggon haben keine unzulässigen Kontaminationen gezeigt.

Eine Gefährdung von Menschen durch die festgestellten Kontaminationen wäre zum einen durch die Aufnahme radioaktiver Partikel in den Körper durch Aufnahme über die Lunge (Inhalation) oder über den Magen-Darm-Trakt (Ingestion) oder zum anderen durch die direkte Bestrahlung des Körpers denkbar.

Die direkte Gammastrahlung einer solchen flächenmäßig eng umgrenzten radioaktiven Kontamination von 13 400 Becquerel bewirkt in 1 Meter Abstand eine Strahlenexposition von weniger als 0,000 005 Millisievert pro Stunde für Kobalt-60 bzw. weniger als 0,000 002 Millisievert pro Stunde für Cäsium-137. Zum Vergleich: die natürliche Umgebungsstrahlung führt zu einer

Exposition der Bevölkerung von ca. 0,000 070 Millisievert pro Stunde und beträgt damit mehr als das Zehnfache.

Nimmt man den sehr unwahrscheinlichen Fall an, daß eine Person die höchste festgestellte Kontamination von 13 400 Becquerel durch Inhalation oder Ingestion aufnimmt, so würden für sich Cäsium-137 oder Kobalt-60 die in der folgenden Tabelle aufgeführten Strahlendosen ergeben:

Radionuklide	Exposition infolge	
	Inhalation	Ingestion
	Dosis in Millisievert	
Cäsium-137	0,5	0,2
Kobalt-60	0,4	0,05

Eine derartige Aufnahme dieser Aktivität durch eine Einzelperson der Bevölkerung oder des Begleitpersonals ist aber praktisch auszuschließen.

Die Strahlenschutzkommission stellt deshalb fest:

1. Die Kontaminationen, die bei diesen Transporten festgestellt wurden, verursachen keine Erhöhung der Strahlenbelastung für die Bevölkerung und damit auch keine Gesundheitsgefährdung.
2. Diese Kontaminationen stellen ebenso keine Erhöhung der Strahlenbelastung für das Begleitpersonal der Transporte dar, eine Gesundheitsgefährdung ist damit ausgeschlossen.

### **3 CASTOR-Transporte innerhalb Deutschlands**

Die von Polizeieinsatzkräften begleiteten CASTOR-Transporte in die Zwischenlager Gorleben und Ahaus zeigten bei aktuellen Überprüfungen – mit Ausnahme einer Kontamination von 7 Becquerel pro Quadratcentimeter bei einem Behälter – keine Überschreitung des Grenzwertes für die Oberflächenkontamination.

Die Strahlenschutzkommission stellt fest, daß auch in diesem Fall für das Begleitpersonal keine Gesundheitsgefährdung und insbesondere keine Erhöhung des Krebsrisikos durch diese Kontaminationen vorliegt.

Die Strahlenschutzkommission hat bereits am 27. Februar 1997 „Zur Strahlung bei CASTOR-Transporten“ Stellung genommen. Berücksichtigt wurde der Aufenthalt in unmittelbarer Nähe des CASTOR-Behälters. Dabei wurde davon ausgegangen, daß die Grenzwerte der Oberflächenkontamination ein-

gehalten werden. In dieser Stellungnahme heißt es: „Das Strahlenrisiko durch die Begleitung eines CASTOR-Transportes liegt innerhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß sich diese Beurteilung an den höchsten möglichen Strahlendosen orientiert. Die tatsächliche Strahlenexposition – und damit das Risiko – sind in der Regel noch weit geringer.“ An dieser Feststellung ändert sich auch durch die bekannt gewordenen Kontaminationen nichts.

#### **4      Schlußfolgerungen**

Die Strahlenschutzkommission stellt zusammenfassend fest, daß die jetzt bekannt gewordenen Kontaminationen weder bei Transporten abgebrannter Brennelemente nach La Hague noch bei CASTOR-Transporten innerhalb der Bundesrepublik Deutschland zu einer Erhöhung der Strahlenbelastung des Begleitpersonals oder der Bevölkerung geführt haben. Sie bestätigt die Aussagen ihrer Stellungnahme „Zur Strahlung bei CASTOR-Transporten“ vom 27. Februar 1997. Sie fordert nach wie vor nachdrücklich, den hohen Sicherheitsstandard des Strahlenschutzes in der Bundesrepublik Deutschland durch Einhaltung der rechtlich festgelegten Grenzwerte zu gewährleisten.



# **Ergebnisse von Ganzkörpermessungen an Polizeieinsatzkräften**

Dr. W. Eschner, Inkorporationsmeßstelle  
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin  
der Universität zu Köln

Prof. Dr. H. Schicha,  
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin  
der Universität zu Köln,  
Stellvertretender Vorsitzender der  
Strahlenschutzkommission

Köln, den 2. Juli 1998





Im Rahmen der Live-Sendung „Schwerpunkt“ des Kölner Senders PHOENIX am 27. Mai 1998 mit dem Thema „Strahlende Atomtransporte – Kippt das Entsorgungskonzept?“ war von der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität zu Köln angeboten worden, daß sich Polizeibeamte, die zur CASTOR-Begleitung eingesetzt waren, im Ganzkörperzähler auf eine mögliche Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper (Inkorporation) untersuchen lassen können.

Beim Ganzkörperzähler handelt es sich um eine gegenüber der Umgebungsstrahlung abgeschirmte Meßkammer, in der die in einem Menschen enthaltene Radioaktivität mit hoher Empfindlichkeit und Genauigkeit bestimmt werden kann. Ein solches Gerät wird in nuklearmedizinischen Kliniken und Strahlenschutzmeßstellen benutzt, um beruflich strahlenexponierte Personen (z.B. Nuklearmediziner) im Rahmen einer Strahlenschutzüberwachung regelmäßig auf inkorporierte radioaktive Stoffe zu untersuchen.

Mit der Methode der Gammaskopie können unbekannte radioaktive Stoffe identifiziert und in der Menge genau bestimmt werden. Aber auch das natürliche radioaktive Kalium-40, das in jedem Menschen enthalten ist, kann hiermit gemessen werden, z.B. bei Untersuchungen des Stoffwechsels.

Es haben sich 24 Polizistinnen und Polizisten bei uns gemeldet. Alle waren bei der Begleitung des CASTOR-Transportes in das Zwischenlager Ahaus am 19./20.3.1998 eingesetzt. Alle waren aufgrund der Berichterstattung in den Medien besorgt wegen einer möglichen „Verstrahlung“.

Daher erfolgte eine Ganzkörpermessung auf unbekannte radioaktive Stoffe, wobei besonders auf die Radionuklide Kobalt-60 und Cäsium-137 geachtet wurde. Die Messungen bedürfen keiner besonderen Vorbereitung. Die untersuchte Person muß lediglich 15 Minuten im Ganzkörperzähler ruhig liegen.

Die Ergebnisse der Ganzkörpermessungen sind in der Tabelle zusammengestellt. Die Schwankungen der Aktivität des natürlich vorkommenden Kalium-40 sind in erster Linie auf die unterschiedliche Muskelmasse der untersuchten Personen zurückzuführen. Bei keiner der untersuchten Personen konnten nichtnatürliche Radionuklide identifiziert werden, insbesondere wurde bei keiner Person Kobalt-60 oder Cäsium-137 nachgewiesen.

Untersuchte Person			gemessene Radionuklide Aktivität in Bq			Maximal mögliche effektive
Lfd. Nr.	Geschlecht	Alter	K-40*	Co-60*	Cs-137*	Dosis (mSv)**
1	m	29	5220	-	-	< 0,029
2	m	23	4748	-	-	< 0,030
3	f	22	3186	-	-	< 0,026
4	m	38	5351	-	-	< 0,034
5	m	26	7224	-	-	< 0,034
6	f	21	3750	-	-	< 0,028
7	m	24	5684	-	-	< 0,032
8	m	22	5095	-	-	< 0,031
9	m	30	5527	-	-	< 0,033
10	m	24	4705	-	-	< 0,030
11	m	25	5374	-	-	< 0,032
12	m	25	5812	-	-	< 0,031
13	f	27	3346	-	-	< 0,030
14	m	35	4848	-	-	< 0,034
15	m	26	5536	-	-	< 0,033
16	m	30	5126	-	-	< 0,032
17	m	31	5181	-	-	< 0,033
18	f	23	4187	-	-	< 0,032
19	m	25	5119	-	-	< 0,032
20	m	29	7018	-	-	< 0,035
21	m	31	5495	-	-	< 0,035
22	m	44	4611	-	-	< 0,031
23	f	32	3911	-	-	< 0,034
24	m	22	5434	-	-	< 0,036

\* Ein „-“ in der jeweiligen Spalte bedeutet: Meßwert unterhalb der Nachweisgrenze.

\*\*Es wurden diejenigen Zufuhrpfade und Stoffklassen unterstellt, die zur höchsten effektiven Dosis geführt hätten ( Co-60: Inhalation, Stoffklasse Y, AMAD 1 µm, Dosiskoeffizient

$5,9 \cdot 10^{-8}$  Sv/Bq; Cs-137: Ingestion, Dosiskoeffizient  $1,4 \cdot 10^{-8}$  Sv/Bq). K-40 ist hierbei nicht berücksichtigt.

Wegen der natürlichen Umgebungsstrahlung und der natürlichen Körperaktivität gibt es eine untere Nachweisgrenze für inkorporierte Radionuklide. Diese ist abhängig vom Körpergewicht und betrug ca. 65 Bq für Kobalt-60 und ca. 80 Bq für Cäsium-137. Zum Vergleich: ein Liter Frischmilch enthält ca. 50 Bq natürliches Kalium-40 (Bq = Becquerel, Maß für die Aktivität).

Körperaktivitäten von Cäsium-137, die deutlich über der Nachweisgrenze lagen, wurden kurz nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl praktisch immer gemessen. In Einzelfällen wird dies auch heute noch beobachtet (z.B. 100 bis

150 Bq im Kölner Raum), insbesondere bei Personen, die überdurchschnittlich viel Waldpilze oder Wild essen.

Da die Messungen im Juni 1998 durchgeführt wurden, lag der Zeitpunkt der CASTOR-Begleitung und einer möglichen Inkorporation etwa 3 Monate zurück. Daher wäre ein Teil der möglicherweise inkorporierten Aktivität zum Zeitpunkt der Messung bereits wieder ausgeschieden gewesen. Dies bedeutet, daß zu diesem Zeitpunkt nur noch ca. 1/7 des Kobalt-60 und 1/3 des Cäsium-137 im Körper gewesen wäre. Hieraus läßt sich eine Aktivitätsobergrenze berechnen. Das ist diejenige Aktivität, die bei der CASTOR-Begleitung maximal inkorporiert worden sein könnte, ohne daß man dies heute noch sicher nachweisen kann. Diese Aktivitätsobergrenze beträgt ca. 500 Bq für Kobalt-60 und ca. 240 Bq für Cäsium-137.

Aus einer inkorporierten Aktivität kann eine Strahlendosis berechnet werden. Da bei keiner der untersuchten Personen eine Inkorporation nachgewiesen wurde, ist eine hierdurch bedingte Strahlenexposition nicht feststellbar. Geht man jedoch von den oben erwähnten Aktivitätsobergrenzen aus, so läßt sich eine maximal mögliche Dosis hieraus berechnen. Diese ist in der letzten Spalte der Tabelle angegeben und beträgt zwischen 0,026 und 0,036 mSv.

Eine solche Strahlenexposition wäre in Anbetracht einer natürlichen Strahlenexposition von ca. 2 bis 5 mSv pro Jahr gering. Zum Vergleich: Ein Flug Frankfurt - New York und zurück führt zu etwa 0,1 mSv. Ein gesundheitliches Risiko ist hierdurch nicht gegeben.



## **Zur Strahlung bei CASTOR-Transporten**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission



## Bewertung der Strahlendosis

Die wiederholten Äußerungen des Marburger Professors Kuni über das Strahlenrisiko von CASTOR-Transporten haben zu einer erheblichen Verunsicherung der zum Schutz der Transporte eingesetzten Polizeieinsatzkräfte geführt. Mit der vorliegenden Risikobetrachtung soll die Diskussion versachlicht werden.

Ein mit abgebrannten Brennelementen oder Glaskokillen beladener Transport- und Lagerbehälter (z.B. CASTOR) sendet ionisierende Strahlung aus. Diese besteht aus Gamma- und Neutronenstrahlung; die jeweiligen Anteile hängen von der Art des Inhalts und vom Behältertyp ab. Alle eingesetzten Behälter entsprechen den nationalen und internationalen Schutzbestimmungen. Die Oberfläche der Behälter ist nicht mit radioaktiven Stoffen kontaminiert, so daß das Begleitpersonal nicht mit radioaktiven Stoffen in Berührung kommen kann.

Meß- und Grenzwerte im Strahlenschutz werden nach der Strahlenschutzverordnung in Sievert (Sv), bzw. einem tausendstel Sievert gleich ein Millisievert (mSv) angegeben. Diese Dosisgröße berücksichtigt die unterschiedliche strahlenbiologische Wirksamkeit bzw. das unterschiedliche Strahlenrisiko der verschiedenen Strahlenarten für die menschliche Gesundheit.

Die neue Richtlinie 96/29/Euratom des Rates [1] begrenzt die zusätzliche Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung auf 1 mSv pro Jahr. In ihrer Stellungnahme „Begrenzung der Strahlenexposition von Polizeieinsatzkräften bis zum 18. Lebensjahr und von Polizeibeamtinnen“ von 1996 [2] hat die SSK bereits festgestellt, daß sich die Einsatzplanung der Polizei an diesem Grenzwert orientieren sollte und ein darüberhinausgehender Schutz von Frauen und Personen zwischen 16 und 18 Jahren nicht notwendig ist.

Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt einen Vergleich mit anderen Strahlendosen:

Situation	Dosis
Natürliche Umgebungsstrahlung in Deutschland einschließlich Radon	1 - 10 mSv pro Jahr
Typische Röntgenaufnahmen	0,1 - 1 mSv
Medizinische Computertomographie	mehrere mSv
Nordatlantikflug, z.B. Frankfurt - New York - Frankfurt	etwa 0,1 mSv
Begleitung von CASTOR-Transporten	maximal 1 mSv pro Jahr
Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen	maximal 50 mSv pro Jahr



In der vorstehenden Tabelle wird die Strahlenexposition beim Aufenthalt in unmittelbarer Nähe des CASTOR-Behälters mit anderen Strahlenexpositionen, denen der Mensch ausgesetzt ist bzw. ausgesetzt sein kann, verglichen. Die maximalen Strahlendosen durch die Begleitung eines CASTOR-Transportes sind geringer als die natürliche Strahlenexposition, der der Mensch Jahr für Jahr ausgesetzt ist.

## **Bewertung der Gefährlichkeit der Neutronenstrahlung**

Neutronen treten auch in der natürlichen Umgebungsstrahlung auf. Im Strahlenschutz erfolgt die biologische Bewertung der Wirksamkeit von Neutronenstrahlen gegenüber Gammastrahlen durch Multiplikation der gemessenen oder berechneten Energiedosis mit einem von der jeweiligen Strahlungsenergie abhängigen Bewertungsfaktor, der nach der derzeit gültigen Strahlenschutzverordnung 10 beträgt. Nach den neueren Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission von 1991 (ICRP 60) [3] und der EURATOM-Richtlinie [1] liegt dieser Wert in Abhängigkeit von der Neutronenenergie zwischen 5 und 20. Diese Werte werden in die Strahlenschutzverordnung übernommen.

In letzter Zeit hat Prof. Kuni immer wieder behauptet, daß im Strahlenschutz ein Bewertungsfaktor für Neutronen angenommen werden müsse, der um einen Faktor 300 - oder neuerdings sogar 600 - höher sei als der für Gammastrahlung.

Die Strahlenschutzkommission hat die Behauptungen von Kuni bereits in ihrer Stellungnahme „Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR“ von 1995 [4] als unbegründet und fehlerhaft zurückgewiesen. Dies gilt genauso für den neuerdings behaupteten Wert von 600 [5].

Das Strahlenrisiko durch die Begleitung eines CASTOR-Transportes liegt innerhalb der Schwankungsbreite des Risikos der natürlichen Strahlenexposition. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß sich diese Beurteilung an den höchsten möglichen Strahlendosen für das Begleitpersonal orientiert. Die tatsächliche Strahlenexposition – und damit das Risiko – sind in der Regel noch weit geringer.

**Literatur:**

- [1] Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 159, 39. Jahrg., 29. Juni 1996
- [2] Strahlenschutzkommission: „Begrenzung der Strahlenexposition von Polizeieinsatzkräften bis zum 18. Lebensjahr und von Polizeibeamtinnen“. Stellungnahme, verabschiedet in der 140. Sitzung am 19./20. September 1996
- [3] ICRP (International Commission on Radiological Protection): 1990 Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford 1991
- [4] Strahlenschutzkommission: „Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR“. Stellungnahme zum Beitrag von H. Kuni, Marburg, verabschiedet in der 132. Sitzung am 22. September 1995
- [5] Dietze, G.: „Gefahr durch Neutronen bei CASTOR-Transporten?“, Diskussionspapier zur Informationsveranstaltung am 16.01.1997 in Bonn



# **Begrenzung der Strahlenexposition von Polizeieinsatzkräften bis zum 18. Lebensjahr und von Polizeibeamtinnen**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission



Zu der vom Niedersächsischen Innenministerium dem BMU vorgelegten Frage, ob bei einem Einsatz von Polizeikräften, der mit einer Strahlenexposition verbunden sein könnte, für Frauen und Männer sowie für Personen zwischen 16 und 18 Jahren unterschiedliche Strahlenschutzmaßstäbe erforderlich sind, stellt die SSK folgendes fest:

1. Die neue EU-Richtlinie 96/29/Euratom des Rates [1] begrenzt die zusätzliche Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung auf 1 mSv pro Jahr. Die zusätzliche Strahlenexposition eines ungeborenen Kindes soll ebenfalls 1 mSv nicht überschreiten.
2. Die Einsatzplanung der Polizei sollte sich an diesen Grenzwerten orientieren.
3. Aus Sicht des Strahlenschutzes ist kein darüberhinausgehender Schutz von Frauen und Personen zwischen 16 und 18 Jahren notwendig.

[1] Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 159, 39. Jahrg., 29. Juni 1996



**Stellungnahme der Strahlenschutzkommission  
zum Beitrag von H. Kuni, Marburg  
*„Gefährdung der Gesundheit  
durch Strahlung des CASTOR“***





In seinem Beitrag „Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR“ führt Herr Kuni aus, daß der nach den Bestimmungen der Gefahrstoffverordnung beim Transport gültige Grenzwert durch den CASTOR-Behälter zwar nicht überschritten werde, daß jedoch die Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung die besondere biologische Wirkung von Neutronenstrahlung nicht hinreichend berücksichtigten. Da ein beträchtlicher Teil der Strahlenexposition durch den CASTOR-Behälter durch Neutronen verursacht wird, sei daher der Schutz des begleitenden Personals und der Bevölkerung in der Nähe der Transportwege nicht gewährleistet. Die SSK nimmt dazu im folgenden Stellung.

Die Argumentation von Herrn Kuni stützt sich auf die Annahme, Neutronenstrahlung sei bei gleicher Energiedosis bis zu 300mal wirksamer als  $\gamma$ -Strahlung und müsse daher in der Berechnung der effektiven Äquivalentdosis weit stärker gewichtet werden, als es nach den geltenden Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung der Fall ist. Diese Aussage steht im Gegensatz zur Bewertung durch die maßgebenden internationalen Fachgremien. Sie wird im Beitrag von Herrn Kuni nicht schlüssig begründet, sondern resultiert aus mehrfachen Multiplikationen mit Faktoren, die nicht gerechtfertigt sind:

- Der Strahlungswichtungsfaktor, ein Maß für die biologische Wirkung der Neutronen, ist abhängig von der Energie der Neutronen. Er wird abgeleitet aus strahlenbiologischen Experimenten. Herr Kuni unterstellt pauschal einen Strahlungswichtungsfaktor von 25 ohne Rücksicht auf dessen Energieabhängigkeit. Nach den neuen Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (ICRP-60) ist dieser Faktor für die aus dem CASTOR-Behälter austretenden Neutronen geringer als 20.
- Sodann postuliert Herr Kuni eine Verdoppelung der Strahlungswichtungsfaktoren für Neutronen, um der Tatsache Rechnung zu tragen, daß zelluläre Reparaturprozesse nach Neutronenbestrahlung weniger ausgeprägt sind als nach  $\gamma$ -Bestrahlung. Der besseren Reparatur von Strahlenschäden nach  $\gamma$ -Bestrahlung hat die ICRP mit einem Reduktionsfaktor von 2 bei niedrigen Dosen und Dosisleistungen Rechnung getragen. Gleichzeitig hat ICRP festgestellt, daß ein solcher Faktor für Strahlung mit hohem LET, also auch Neutronen, bei der Bewertung des Risikos nicht verwendet worden ist. Bei der Festlegung der Strahlungswichtungsfaktoren in ICRP 60 ist der Aspekt der geringeren Reparatur nach Neutronenbestrahlung bedacht worden. Es ist daher falsch, dieselbe Tatsache ein zweites Mal durch einen Multiplikationsschritt in Rechnung zu stellen.
- Sodann wird eine nochmalige Verdoppelung der Strahlungswichtungsfaktoren postuliert. Dies wird mit der falschen Aussage begründet, die Strahlungswichtungsfaktoren der ICRP bezögen sich auf Röntgenstrahlung als Referenzstrahlung und nicht auf die als nur halb so wirksam an-

genommenen  $\gamma$ -Strahlen. Tatsächlich beziehen sich die Strahlungswichtungsfaktoren der ICRP jedoch gleichermaßen auf Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlung.

- Schließlich nimmt Herr Kuni noch eine zusätzliche Verdreifachung der Strahlungswichtungsfaktoren für Neutronen an. Dies soll durch eine Wirkungssteigerung bei geringer Dosisleistung zustandekommen. Auch dieser Faktor ist nicht gerechtfertigt, da die Unterschiede in der Dosis- und Dosisleistungsabhängigkeit verschiedener Strahlenarten in ICRP 60 diskutiert und in den dort aufgeführten Strahlungswichtungsfaktoren berücksichtigt sind.

Der im Beitrag von Herrn Kuni postulierte Strahlungswichtungsfaktor von 300 für Neutronen ergibt sich also aus der Multiplikation der Faktoren  $25 \times 2 \times 2 \times 3$ . Wie ausgeführt worden ist, sind insbesondere die Faktoren  $2 \times 2 \times 3$  nicht gerechtfertigt; ebenso unbegründet sind die Schlußfolgerungen hinsichtlich der resultierenden Strahlenrisiken.

Der Strahlungswichtungsfaktor 10 für Neutronen der Strahlenschutzverordnung geht auf die Empfehlung der ICRP von 1977 zurück. Aufgrund neuerer Daten hat ICRP im Jahr 1990 einen Strahlungswichtungsfaktor empfohlen, der von der Energie der Neutronen abhängt und einen Wert von maximal 20 erreicht. Die SSK hält diese Bewertung für angemessen. Die in Überarbeitung befindlichen EU-Grundnormen sehen diese Bewertung ebenfalls vor. Die anschließende Novellierung der Strahlenschutzverordnung sollte die Bewertung übernehmen.

Die Argumentation von Herrn Kuni ist, wie im folgenden dargelegt wird, noch in zusätzlicher Hinsicht fehlerhaft:

Stochastische Strahlenschäden - wie Krebs oder Erbschäden - durch Neutronen konnten bisher am Menschen nicht nachgewiesen werden. Unsere Kenntnisse beruhen auf experimentellen strahlenbiologischen Untersuchungen, wie z.B. Tierexperimenten. In solchen Studien wurden, je nach untersuchtem System, unterschiedliche Werte der relativen biologischen Wirkung von Neutronen gefunden. Die Untersuchungen, bei denen sich überdurchschnittlich hohe Werte ergeben haben, sind meist dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkung der zum Vergleich herangezogenen Röntgen- oder  $\gamma$ -Strahlung bei geringen Dosen überproportional abnimmt. Diese hohen Werte für die relative biologische Wirkung von Neutronen sind damit Ausdruck einer besonders geringen Wirkung der Röntgen- oder  $\gamma$ -Strahlung bei kleinen Dosen, und nicht - wie Herr Kuni annimmt - einer unerwartet hohen Wirkung der Neutronen.

Eine weitere Überlegung ergibt sich aus den Beobachtungen an den Überlebenden von Hiroshima, die eine wichtige Grundlage der Risikoschätzung sind. Wären die Neutronen tatsächlich 300mal wirksamer als  $\gamma$ -Strahlung, so wären die beobachteten Gesundheitsschäden zum größten Teil nicht mehr der  $\gamma$ -Strahlung, sondern überwiegend der Neutronenstrahlung zuzuschreiben. Damit würden sich die Risikoschätzungen für Röntgen- oder  $\gamma$ -Strahlung entsprechend stark verringern. Die Aussagen von Herrn Kuni sind daher in sich unstimmg.

Zusammenfassend ergibt sich, daß die im Beitrag von Herrn Kuni postulierten hohen Strahlungswichtungsfaktoren für Neutronen unbegründet sind und darüber hinaus die Argumentation in sich fehlerhaft ist. Damit erweisen sich die Aussagen von Herrn Kuni als haltlos. Von gesundheitsgefährdenden Strahlenbelastungen des Begleitpersonals oder der Bevölkerung durch die CASTOR-Transporte kann nicht die Rede sein.

