



**INTERNATIONALE
LÄNDERKOMMISSION
KERntechnik**

Baden-Württemberg · Bayern · Hessen



ILK-Stellungnahme

zur Beförderung von abgebrannten Brennelementen
und verglasten hochradioaktiven Abfällen

**Juli 2000
Nr.: ILK-01 D**

Zusammenfassung

Um in Zukunft bei Transporten von abgebrannten Brennelementen und verglasten hochradioaktiven Abfällen das Auftreten von Kontaminationen zu verhindern, wurde von den Betreibern der deutschen Kernkraftwerke in Zusammenarbeit mit COGEMA und BNFL ein umfassender Katalog an Verbesserungsmaßnahmen vorgestellt und zum Teil bereits umgesetzt. Diese Maßnahmen sind geeignet, die festgestellten Defizite bezüglich

- Schutz des Transportbehälters vor Kontaminationen durch Lagerbeckenwasser,
- systematische und einheitliche Erfassung sowie Auswertung der radiologischen Messwerte und
- Dokumentation aller relevanten Transportdaten sowie systematische Weiterleitung der nötigen Informationen an die beteiligten Stellen zu beheben.

Für die potentielle Strahlenexposition des Begleitpersonals (Polizeikräfte, Bahnpersonal) und der Bevölkerung wurden neben der Direktstrahlung durch den beladenen Transportbehälter die maßgeblichen Expositionspfade

- Inhalation von Partikeln mit der Atemluft,
- Ingestion von Partikeln durch Verschlucken,
- Hautexposition durch die Ablagerung eines Partikels

untersucht. Die Bewertung der aufgeführten Expositionspfade auf der Grundlage eines Crud-Partikels mit 100 µm aerodynamischen Äquivalentdurchmesser (AED) bzw. 10 µm AED als Referenzteilchen zeigt, dass bei allen drei Expositionspfaden die in der EURATOM-Richtlinie 96/29 /10/ für Einzelpersonen der Bevölkerung vorgegebenen höchstzulässigen Dosiswerte für Kleinkinder, Erwachsene und allgemeine Bevölkerung deutlich unterschritten wurden.

Eine Gefährdung des Begleitpersonals und der Bevölkerung lag durch die Kontaminationen in der Vergangenheit nicht vor und ist für zukünftige Transporte erst recht nicht zu unterstellen.

Die Internationale Länderkommission Kerntechnik - ILK - kommt deshalb zu dem Schluss, dass die Transporte

- von abgebrannten Brennelementen in die zentralen Zwischenlager Ahaus und Gorleben,
- von abgebrannten Brennelementen zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und England sowie
- von verglasten hochradioaktiven Abfällen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen nach Deutschland

aus sicherheitstechnischer Sicht wieder aufgenommen werden können.

Der Vorsitzende

Prof. Dr.-Ing. Josef Eibl
09. Juli 2000

ILK - Geschäftsstelle beim Bayerischen Landesamt für Umweltschutz

Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
D-86179 Augsburg
Telefon: +49-173-65 707-11/-10
Telefax: +49-173-65 707-98/-96
E-Mail: ilk.gs@lfu.bayern.de
<http://www.ilk-online.org>

Zusammenfassung	2
1 Einleitung	5
2 Kontaminationsbefunde bei Brennelementtransporten	6
2.1 Brennelementtransporte in Deutschland	6
2.2 Vorgehensweise auf internationaler Ebene	7
3 Potentielle Strahlenexposition	8
4 Maßnahmenkatalog zur Vermeidung von Kontaminationen	13
5 Schlussfolgerungen	15
6 Literatur	17
Mitglieder der ILK	19
Zielsetzung der ILK	20

1 Einleitung

Ende April 1998 wurde das Bundesumweltministerium (BMU) von der französischen Aufsichtsbehörde DSIN in Kenntnis gesetzt, dass bei Transporten von abgebrannten Brennelementen aus deutschen Kernkraftwerken zur Wiederaufarbeitung bei der COGEMA in La Hague Kontaminationen der Transportbehälter und -fahrzeuge aufgetreten sind /1/. Ähnliche Kontaminationen wurden an Behältern aus französischen und schweizerischen Kernkraftwerken sowie bei Leertransporten festgestellt. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen zeigte sich, dass bei Brennelementtransporten aus deutschen Kernkraftwerken zur Wiederaufarbeitung nach England und bei Behältern im Transportbehälterlager Ahaus ebenfalls Kontaminationen aufgetreten sind /1/. Diese Kontaminationsbefunde haben zu einer Einstellung der Transporte von abgebrannten Brennelementen in Frankreich, der Schweiz und Deutschland geführt. In Frankreich und der Schweiz wurden die Transporte inzwischen wieder aufgenommen (vgl. Kap. 2.2).

In Deutschland wurden vom BMU die Bedingungen für eine Wiederaufnahme der Transporte im Mai 1998 in einem sog. 10-Punkte-Plan festgelegt. Die Maßnahmen zur Umsetzung dieser Punkte wurden mittlerweile vorgelegt und bewertet (vgl. Kap. 4). Derzeit laufen in Deutschland die Vorbereitungen zur Wiederaufnahme der Transporte abgebrannter Brennelemente und verglaster hochradioaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung. Mit dem vorliegenden Bericht nimmt die Internationale Länderkommission Kerntechnik - ILK - zur Wiederaufnahme dieser Transporte Stellung.

2 Kontaminationsbefunde bei Brennelementtransporten

2.1 Brennelementtransporte in Deutschland

In Deutschland werden jährlich ca. 400 Mio. t an Gefahrgütern transportiert. Davon entfallen ca. 36.000 t auf den Transport von radioaktiven Stoffen /2/. Im Zusammenhang mit dem Kernbrennstoffkreislauf finden jährlich im Durchschnitt ca. 8.500 Transporte radioaktiver Stoffe statt. Auf abgebrannte Brennelemente entfielen dabei bis 1998 jährlich ca. 80 Transporte, die überwiegend zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und Großbritannien gingen /2/.

Falls die spezifische Aktivität 70 kBq/kg übersteigt, sind die radioaktiven Stoffe im verkehrsrechtlichen Sinn Gefahrgüter, bei deren Beförderung die Vorschriften gemäß Gefahrgutverordnung Straße (GGVS) /3/ und Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE) /4/ einzuhalten sind. Die darin enthaltenen Regelungen zur Verpackung radioaktiver Stoffe, zu Dosisleistungs- und Kontaminationsgrenzwerten, zur Kennzeichnung etc. beruhen auf den internationalen Abkommen der verschiedenen Verkehrsträger (z. B. Straße / ADR, Schiene / RID). In diesen internationalen Abkommen sind die weltweit geltenden Empfehlungen der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe (derzeit Safety Series No. 6 /5/, ab 2001 Safety Standards Series No. ST-1 /6/) rechtsverbindlich umgesetzt. Die Vorschriften des ADR und RID gelten für die internationalen Beförderungen in nahezu allen europäischen Staaten. Außerdem existieren Rahmenrichtlinien der Europäischen Union, die die ADR- und RID-Vorschriften nicht nur für den grenzüberschreitenden Verkehr, sondern auch für die Beförderungen innerhalb der EU-Staaten vorschreiben. Abgebrannte Brennelemente sowie hochradioaktive verglaste Wiederaufarbeitungsabfälle werden in Typ B(U)F-Behältern nach Blatt 12, ADR/RID, transportiert. Diese Behälter müssen allen beim normalen Transport und bei evtl. Unfällen auftretenden mechanischen und thermischen Belastungen standhalten, ohne dass die Sicherheitsfunktionen der Verpackung (sicherer Einschluss, Abschirmung, Wärmeabfuhr, Unterkritikalität) beeinträchtigt werden.

Die Bestandsaufnahme der durchgeführten Transporte /1/ ergab, dass bei Brennelementtransporten von deutschen Kernkraftwerken nach Frankreich zwischen 1995 - 1998 bei 6 % der Behälter sowie bei 17 % der Eisenbahnwaggons Überschreitungen des Grenzwerts der Beta/Gamma-Oberflächenkontamination von 4 Bq/cm² gemäß GGVS/GGVE /3, 4/ vorlagen. Bei Transporten nach Großbritannien wurden bei 1 % der Behälter Kontaminationen festgestellt, an Eisenbahnwaggons wurden dabei keine Kontaminationen gefunden. Beim Transport von leeren Brennelementbehältern von Frankreich nach Deutschland traten von 1988 bis 1998

bei 5 % der Behälter und bei 1 % der Eisenbahnwaggons Kontaminationen auf. Bei Leertransporten aus Großbritannien wurden im gleichen Zeitraum bei 3 % der Behälter Kontaminationen oberhalb der o.g. Grenzwerte gefunden. Bei Leertransporten lag dabei die Mehrzahl der ermittelten Kontaminationswerte unter 40 Bq/cm², bei Volltransporten lagen die Werte vielfach über 400 Bq/cm² (max. ca. 4.440 Bq/cm²). Bei drei Leertransporten wurden außerdem Kontaminationen in Form von partikelförmigen Aktivitätsablagerungen bis zu ca. 100 kBq festgestellt.

Weiterhin wurden die in den Zwischenlagern für abgebrannte Brennelemente Ahaus und Gorleben bereits eingelagerten Transport- und Lagerbehälter vom Typ CASTOR hinsichtlich Kontaminationen überprüft /7/. Die Bestandsaufnahme zeigte, dass mit Ausnahme von drei Behältern mit geringfügigen Kontaminationen (< 10 Bq/cm²) bei allen CASTOR-Behältern die Grenzwerte für die Oberflächenkontamination gemäß GGVS/GGVE /3, 4/ eingehalten wurden.

2.2 Vorgehensweise auf internationaler Ebene

In Frankreich wurden die Brennelementtransporte bereits im Juli 1998 wieder aufgenommen, nachdem verschiedene Verbesserungsmaßnahmen ergriffen worden waren. Hierzu zählen technische Verbesserungen bei der Beladung, die Vereinheitlichung der Messverfahren, eine Erhöhung der Anzahl der Messpunkte und Gegenkontrollen durch eine von den Betreibern unabhängige Organisation. 1999 (bis 15.08.99) wurden bei 212 durchgeführten Transporten in folgenden 8 Fällen Grenzwertüberschreitungen festgestellt: Kontaminationen an 2 leeren Behältern (6 bzw. 12 Bq/cm²), an 2 Sattelaufliegern (20 bzw. 64 Bq/cm²), an 4 Eisenbahnwaggons (7, 9, 80 und 1.036 Bq/cm²). Die Kontamination von 9 Bq/cm² wurde an einer leicht zugänglichen Stelle auf der Wagenplattform gefunden. 15 von 20 beteiligten französischen Kernkraftwerken führten alle Transporte ohne Befund durch. Um die Öffentlichkeit umfassender zu informieren, sollen in Frankreich künftig nach Beschluss der zuständigen Behörden Grenzwertüberschreitungen bei Transporten auf der Basis der internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse INES offiziell gemeldet werden.

In der Schweiz waren Häufigkeit und Ausmaß der festgestellten Kontaminationen in den Jahren 1988 bis 1998 nach Aussage der zuständigen Aufsichtsbehörde HSK (Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen) /8/ grob quantitativ mit denen bei deutschen Transporten festgestellten Werten vergleichbar. Die HSK war in ihrer Stellungnahme /8/ zu dem Schluss gekommen, dass eine Wiederaufnahme der Transporte verantwortbar ist, da die Häufigkeit und das Ausmaß von Grenzwert-

Überschreitungen in Zukunft durch zusätzliche Maßnahmen deutlich reduziert werden kann, auch wenn eine absolute Verhinderung nicht erreichbar ist. Als Maßnahmen wurden technische Verbesserungen wie die Verwendung einer neuartigen Schutzfolie bei der Beladung, ein erweitertes Messprogramm sowie administrative und organisatorische Verbesserungen eingeführt. In der Schweiz fand der erste Brennelementtransport nach dem Transportstopp im September 1999 statt. Mittlerweile sind in der Schweiz zehn Transporte ohne Kontaminationsbefunde durchgeführt worden.

Die Brennelementtransporte innerhalb Großbritanniens wurden nie unterbrochen. Dies trifft auch auf die Brennelementtransporte innerhalb von Schweden zu. Da alle schwedischen Kraftwerke und das zentrale Zwischenlager für Brennelemente (CLAB) an der Küste liegen, werden seit 1983 ca. 100 Transporte pro Jahr mit einem Spezialschiff durchgeführt. Hierfür werden TN 17-Behälter französischer Bauart eingesetzt. Auch in Schweden kam es bei Ankunft der Behälter im Zwischenlager vereinzelt zu Grenzwertüberschreitungen (z. T. bis einige 1.000 Bq/cm²). Für solche Fälle gibt es eine Meldepflicht.

In den USA spielen Transporte von abgebrannten Brennelementen aus Leistungsreaktoren keine Rolle, da die Brennelemente bislang am Standort zwischengelagert werden.

3 Potentielle Strahlenexposition

An den Transportbehältern und Eisenbahnwaggons wurden zwei verschiedene Arten von Kontaminationen festgestellt. Zum einen traten flächige Kontaminationen auf, deren Aktivität selten 2.000 Bq/cm² überstieg /9/. Diese flächigen Kontaminationen werden durch die Umwandlung von festhaftender Kontamination in abwischbare Kontamination infolge der Umgebungsbedingungen beim Transport, wie z.B. Temperaturschwankungen, Regen oder Staubablagerungen, hervorgerufen. Die für dieses Phänomen, das in der Literatur „Weeping“ oder „Ausschwitzten“ genannt wird, verantwortlichen physikalisch-chemischen Prozesse und maßgeblichen Parameter sind nicht vollständig bekannt /1/. Zum anderen wurden auf der Behälteroberfläche und innerhalb der Schutzhaube sogenannte Crud-Partikel gefunden, die aus Ablagerungen auf den Brennelementen resultieren. Radiologisch sind vor allem diese Crud-Partikel von Bedeutung, da sie sich u.a. von der Oberfläche des Transportbehälters bzw. Eisenbahnwaggons lösen könnten und eine vergleichsweise hohe Aktivität von bis zu ca. 100 kBq aufweisen /9/.

Eine potentielle Strahlenexposition des Begleitpersonals und der Bevölkerung kann deshalb neben der Direktstrahlung (s. S. 12) durch den beladenen Transport-

behälter vor allem durch Crud-Partikel erfolgen /8, 9/. Für die Ermittlung der möglichen Exposition wurden unter Einbeziehung der aerodynamischen Eigenschaften der Crud-Partikel drei relevante Szenarien identifiziert /9/:

- Inhalation von Partikeln mit der Atemluft,
- Ingestion von Partikeln durch Verschlucken,
- Hautexposition durch die Ablagerung eines Partikels.

Der aerodynamische Äquivalentdurchmesser (AED) der Crud-Partikel charakterisiert die Eigenschaft des Partikels beim luftgetragenen Transport und bei der Inhalation. Der AED ist der rechnerische Durchmesser eines Partikels, das in Luft die gleiche Sinkgeschwindigkeit aufweist wie ein kugelförmiges Vergleichspartikel bei einer angenommenen Dichte von 1 g/cm³.

Wie in /8, 9/ dargelegt, werden je nach Größe und damit Sinkgeschwindigkeit die Partikel entweder innerhalb des Transportfahrzeuges (z. B. in der Auffangwanne) abgelagert oder von der Luftströmung nach außen transportiert. Die Auswertung der an den Transportbehältern und Waggons festgestellten Kontaminationen führte zu dem Ergebnis, dass der überwiegende Anteil der punktförmigen Kontaminationen durch Crud-Partikel mit einer Größe unter 100 µm AED hervorgerufen wurde. Größere Crud-Partikel mit entsprechend höherer Aktivität bis zu 100 kBq wurden nur vereinzelt in den Kühlstacheln der TN-Behälter oder der Auffangwanne der Waggons gefunden. Bei Partikeln in der Größe von 100 µm AED tritt als Folge des Transports in einem Luftstrom die Ablagerung auf Oberflächen, wie z.B. Kleidern oder Böden, auf, denn aufgrund der Trägheit folgen so große Partikel nur noch teilweise dem Luftstrom /9/. Die Auswahl eines Crud-Partikels mit 100 µm AED als Referenzteilchen ist bezüglich der potentiellen Strahlenexposition ein konservativer Ansatz. Kleinere Partikel beinhalten weniger Aktivität und führen deshalb zu kleineren Dosen. Größere Partikel sind so schwer und so wenig flugfähig, dass sie nach einer Ablösung vom Transportbehälter nach unten, d.h. vor allem in die Auffangwanne der Waggons, fallen und dort liegen bleiben.

Aerosolpartikel von 100 µm AED verfügen über eine Transportfähigkeit in der Luft von etwa hundert Metern. Daher sind Teilchen dieses Durchmessers von 100 µm AED als die Partikel mit der maximalen Aktivität anzusehen, die in der unmittelbaren Umgebung der Transportbehälter im Ingestions- und Hautexpositionsszenario zu betrachten sind /9/. Für den Inhalationspfad ist die Größe des Partikels durch seine Lungengängigkeit auf einen maximalen Durchmesser von 10 µm AED begrenzt.

Neben den aerodynamischen Eigenschaften bestimmt die nuklidspezifische Zusammensetzung der Crud-Partikel die potentielle Strahlenexposition. Durch Auswer-

tung zahlreicher radiochemischer Untersuchungen zur nuklidspezifischen Zusammensetzung wurden in /9/ Nuklidvektoren für Crud aus Siedewasser- und Druckwasserreaktoren abgeleitet und für die Berechnung der potentiellen Strahlenexposition herangezogen. Auf der Grundlage dieser Nuklidvektoren weist ein Crud-Partikel mit 100 µm AED eine Gesamtaktivität von maximal ca. 1.800 Bq auf /9/.

Bei der Bewertung der effektiven Dosis durch Inhalation und Ingestion wurde gemäß /9/ auf die EURATOM-Richtlinie 96/29 /10/ zurückgegriffen, die den mit ICRP 60 /11/ übereinstimmenden Stand von Wissenschaft und Technik wiedergibt. Die Hautdosis wurde gemäß /9/ mit den Dosisfaktoren aus der entsprechenden SSK-Empfehlung /12/ berechnet. Auf Grundlage der Angaben in /9, 10, 11/ ergeben sich für Kleinkinder (1 Jahr (a)) und Erwachsene die in Tabelle 1 aufgeführten effektiven Folgedosen (Expositionsdauer Kleinkinder 70 a bzw. Erwachsene 50 a) durch die Inhalation von 10 µm AED-Partikeln (siehe oben, größere Teilchen sind nicht lungengängig) bzw. durch die Ingestion von 100 µm AED-Partikeln. Ferner ist die Teilkörperdosis der Haut durch Exposition mit einem 100 µm AED großen Partikel aufgeführt. Bei diesen relevanten Expositionsszenarien wird der überwiegende Anteil der Exposition durch höherenergetische Beta/Gamma-Strahler (z. B. Co-60) verursacht. In Tabelle 1 sind außerdem die entsprechenden Grenzwerte für die Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung gemäß EURATOM-Richtlinie 96/29 /10/ aufgeführt. Wie die Angaben in Tabelle 1 zeigen, werden bei keinem der betrachteten Expositionspfade diese höchstzulässigen Dosiswerte für die allgemeine Bevölkerung erreicht.

Pfad	Bezugs- personen	Potentielle Strahlenexposition		Grenzwerte
		SWR-Nuklid- verhältnis (Sv)	DWR-Nuklid- verhältnis (Sv)	EURATOM-Richt- linie 96/29 (Sv)
Inhalation ^a 10 µm AED	Kleinkind (1a)	^c 2,4 E -8	^c 1,2 E -8	1,0 E -3
	Erwachsener	^c 1,2 E -8	^c 5,4 E -9	1,0 E -3
Ingestion ^a 100 µm AED	Kleinkind (1a)	^c 1,5 E -5	^c 5,5 E -6	1,0 E -3
	Erwachsener	^c 2,0 E -6	^c 1,1 E -6	1,0 E -3
Hautexposition ^b 100 µm AED	Bevölkerung	^d 8,3 E -3	^d 5,4 E -3	5,0 E -2

^a effektive Dosis ^b Äquivalentdosis für die Haut ^c Berechnungsgrundlage /11/ ^d Berechnungsgrundlage /12/

Tab. 1: Effektive Dosis und Hautexposition pro Crud-Partikel im Vergleich zu den entsprechend EURATOM-Richtlinie 96/29 /10/ höchstzulässigen Dosiswerten für die Bevölkerung /9/

Andere Studien /13, 14, 15/ berechnen die potentielle Strahlenexposition für die aufgeführten Expositionspfade auf der Grundlage des größten gefundenen Crud-Partikels mit einer Gesamtaktivität von ca. 100 kBq (ca. 180 µm AED). Aufgrund des größeren Aktivitätsinventars des betrachteten Crud-Partikels kommen diese Studien zu entsprechend höheren Werten für die potentielle Strahlenexposition /13, 14/. Unter Heranziehung der Wahrscheinlichkeit für dieses Szenario wird für die Expositionspfade Inhalation, Ingestion und Hautexposition das Risiko für eine Strahlenexposition der Bevölkerung und des Begleitpersonals durch die beobachteten Kontaminationen jedoch ebenfalls als vernachlässigbar eingestuft /14, 15/. Im Gegensatz dazu wird in der Stellungnahme des Öko-Instituts /13/ die Einbeziehung der Wahrscheinlichkeit für das gewählte Szenario nicht durchgeführt und nur die potentielle Strahlenexposition einer Person aus einer bestimmten Bevölkerungsgruppe berechnet.

Für eine Abschätzung der Größenordnung für die Wahrscheinlichkeit einer Exposition von Personen durch Crud-Partikel von Transportbehältern sind nach /9/ die Anzahl der Emissions-Ereignisse und die Anzahl der potentiell betroffenen Personen zu berechnen. Die Auswertung der Kontaminationsbefunde /1/ hinsichtlich Anzahl und Größenverteilung der Crud-Partikel zeigt, dass in der Vergangenheit ca. 20 kontaminierte Transporte pro Jahr aufgetreten sind. Weiterhin wird konservativerweise angenommen, dass pro kontaminierten Transport ca. 10 Crud-Partikel freigesetzt wurden /9/. Die Transporte erfolgten von den Standorten der Kernkraftwerke der BRD hauptsächlich nach La Hague und Sellafield, einige wenige auch in die Zwischenlager nach Ahaus und Gorleben. Die mittlere Transportstrecke beträgt bei diesen Transporten etwa 1.000 km. Nach dem Entweichen eines 100 µm AED großen Partikels kann dieses bei mittleren Windgeschwindigkeiten von etwa 3 m/s nur noch weniger als 100 m transportiert werden. Durch die bis zu 100 Meter weite Verfrachtung kann auf der Strecke von 1.000 km ein Gebiet von etwa 100 km²/Transport potentiell betroffen werden. Unter Zugrundelegen einer mittleren Bevölkerungsdichte in Europa von etwa 200 Einwohnern pro Quadratkilometer halten sich in dieser Fläche etwa 20.000 Personen auf. Unter der Annahme, dass sie etwa 20 % der Zeit im Freien verbringen, können 4.000 Personen während eines einzelnen Transportes betroffen sein.

Für die Berechnung der Hautexposition durch die freigesetzten Crud-Partikel wird eine Hautfläche pro Person von etwa 0,5 m² angesetzt. Bei jährlich 20 Transporten mit jeweils 10 freigesetzten Crud-Partikeln beträgt die Wahrscheinlichkeit (W_{bev}), dass irgendeine sich nahe der Bahnstrecke aufhaltende Person als Folge eines kontaminierten Transportes von einem 100 µm AED großen Teilchen mit einer Gesamtaktivität von ca. 1.800 Bq exponiert wird, 4 E -3 pro Jahr (vgl. Gl. 1)

$$W_{\text{Bev.}} = \frac{20.000 \text{ Personen} \cdot 0,2 \cdot 0,5\text{m}^2 \cdot 10 \text{ Crud - Partikel} \cdot 20 \text{ Transporte/Jahr}}{100 \text{ km}^2 \text{ Fläche}} = 4 \text{ E-3/Jahr.}$$

Gl. 1

Für die Einzelperson der betrachteten Bevölkerungsgruppe von 20 000 Personen beträgt die Wahrscheinlichkeit (W_P) für die Hautexposition etwa 2 E^{-7} pro Jahr (vgl. Gl. 2) /9/

$$W_P = \frac{4\text{E} - 3}{20.000 \text{ Personen}} = 2 \text{ E-7 pro Jahr und Person.}$$

Gl. 2

In der IBEU-Studie /14/ werden zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Exposition von Personen, z.B. hinsichtlich betroffener Flächenbereich, Bevölkerungsdichte, Anzahl der Kontaminationsbefunde etc., ähnliche Annahmen getroffen. Lediglich für die Anzahl der freigesetzten Crud-Partikel wurde in Abhängigkeit von der Teilchengröße ein abweichender Ansatz gewählt /14/. Je nach Teilchengröße ergeben sich aus dieser Studie Wahrscheinlichkeiten für eine Hautexposition einer Einzelperson von $2,8 \text{ E-8}$ pro Jahr (1000 Bq-Teilchen) bis $2,8 \text{ E-11}$ pro Jahr (100 kBq-Teilchen) /14/. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Ungenauigkeiten bestätigt die IBEU-Studie /14/, dass die oben durchgeführte Berechnung der potentiellen Strahlenexposition auf Grundlage eines Crud-Partikels mit $100 \mu\text{m}$ AED bei allen drei betrachteten Expositionspfaden zu ausreichend konservativen Ergebnissen führt.

Zur Feststellung von tatsächlichen Strahlenexpositionen durch Inhalation oder Ingestion von Crud-Partikeln wurden in den Ländern Frankreich, Schweiz und Deutschland Ganzkörpermessungen an Kraftwerkspersonal, Bahnpersonal und Polizisten durchgeführt. Die Auswertung dieser Untersuchungen ergab, dass in keinem Fall durch die festgestellten Kontaminationsbefunde zusätzliche Strahlenexpositionen auftraten /7, 8/.

Neben den drei aufgeführten Expositionspfaden kann die Direktstrahlung des beladenen Transportbehälters zu einer potentiellen Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung und vor allem des Begleitpersonals führen. In Anlehnung an die EURATOM-Richtlinie 96/29 /10/ und auf Grundlage der Empfehlungen der deutschen Strahlenschutzkommission /7/ wurde für die als Begleitpersonal eingesetzten Polizeikräfte ein Dosisgrenzwert von 1 mSv pro Jahr festgelegt. Damit gilt für die Polizeikräfte der gleiche Grenzwert wie für die allgemeine Bevölkerung. Die Auswertung der entsprechenden Messungen bei Brennelement-Transporten /7, 8/ hat gezeigt, dass der Grenzwert von 1 mSv für die Bevölkerung gemäß /10/ sowohl für das Begleitpersonal als auch für die Bevölkerung sicher eingehalten wird /7/.

4 Maßnahmenkatalog zur Vermeidung von Kontaminationen

Die festgestellten Kontaminationsbefunde sind auf aktivierte Korrosionsprodukte bzw. auf Spaltprodukte zurückzuführen, die während der Handhabung im Kernkraftwerk oder in der Wiederaufbereitungsanlage als Partikel oder in gelöster Form an schwer zugänglichen Stellen der Behälteroberfläche haften /1/. Zur Vermeidung von Kontaminationen haben die Betreiber der deutschen Kernkraftwerke in Zusammenarbeit mit den Wiederaufbereitungsanlagen in Frankreich und England einen umfassenden Katalog an technischen, organisatorischen und administrativen Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen und z.T. bereits umgesetzt /16/. Dieser Katalog besteht aus:

- technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Kontaminationsschutzes bei der Beladung im Kernkraftwerk und der Entladung in der Wiederaufbereitungsanlage,
- einer Verbesserung und Systematisierung der Strahlenschutzmessungen,
- einem detaillierten Informations- und Meldesystem für die Beförderung abgebrannter Brennelemente sowie verglaster hochradioaktiver Abfälle sowie
- organisatorischen Verbesserungen bei den am Transport beteiligten Institutionen.

Die technischen Verbesserungsmaßnahmen betreffen vor allem die Transporte mit TN-Behältern in die Wiederaufbereitungsanlage der COGEMA in La Hague /16, 18/. Diese Behälter weisen zur Wärmeabfuhr eine Kühlstachelzone auf, die nur mit großem Aufwand hinreichend sicher dekontaminierbar ist. Zur Vermeidung von Kontaminationen werden deshalb für diese Behälter in der Regel insbesondere für die Kühlstachelzone ein weiteres Kontaminationsschutzhemd aus Plastikgewebe für den Gesamtbehälter oder zusätzliche Schutzkappen für den oberen und unteren Behälterbereich bei der Beladung eingesetzt /16, 18/. Weiterhin werden die entladenen Behälter bei der COGEMA vor Wiedereinsatz außen und innen gereinigt. Für die Transporte zur Wiederaufarbeitung bei BNFL, die mit Behältern vom Typ NTL 11, CASTOR S1 und Excellox 6 durchgeführt werden, und für den Transport von abgebrannten Brennelementen in die Zwischenlager Ahaus und Gorleben mit CASTOR-Transportbehältern liegen positive Betriebserfahrungen vor /1/, wie z.B. Verwendung einer Multi-Element-Bottle für den Excellox 6-Behälter. In Zukunft wird jedoch auch bei der Beladung dieser Transportbehälter als zusätzliche Maßnahme ein Kontaminationsschutzhemd aus Plastikgewebe verwendet.

Die Systematisierung der Strahlenschutzmessungen umfasst die Kontrollmessungen an Behältern und Fahrzeugen, das anzuwendende Messverfahren sowie die Dokumentation und Auswertung der Messwerte. Hierzu wurden Vereinbarungen zur

Harmonisierung zwischen den Betreibern der Kernkraftwerke und der COGEMA bzw. BNFL getroffen, die sich auf die Eingangs- und Ausgangsmessungen bei den Kernkraftwerken, bei den Wiederaufarbeitungsanlagen und bei den Umladestationen zum Wechsel der Transportmittel beziehen /16, 18/. Die Kontamination der leeren Transportbehälter wird insbesondere auch durch integrale direkte Messverfahren, die die gesamte Behälteroberfläche erfassen, kontrolliert. Diese Systematisierung der Strahlenschutzmessungen ist für die Transporte zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und England, für die Rückführung von verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung sowie für die Transporte in die Zwischenlager anzuwenden /18, 19, 20/.

Zur Verbesserung des Informationsflusses wurde von den Betreibern das „Transport-, Kontroll- und Informationssystem TKI“ für Transporte bestrahlter Kernbrennstoffe und entleerter Behälter installiert /17/. Dieses Informations- und Meldesystem erfasst die Informationspflichten und -wege zwischen den am Transport Beteiligten im In- und Ausland sowie die Meldepflichten und Meldewege gegenüber den nationalen Aufsichtsbehörden. Dieses EDV-unterstützte Dokumentationssystem erfasst alle relevanten Transportdaten für alle Kernkraftwerke in Deutschland einheitlich. Die Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert, auf die alle Kernkraftwerke und die zuständigen Aufsichtsbehörden Zugriff haben. Zusätzlich wurden in dem Meldesystem Fristen und Schwellenwerte integriert, die abgestuft nach der Höhe der Überschreitung von Grenzwerten die weitere Vorgehensweise bestimmen.

Die technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Verbesserung des Kontaminationsschutzes bei Transporten von abgebrannten Brennelementen zu den Wiederaufarbeitungsanlagen wurden mittlerweile von der GRS und dem Öko-Institut einer eingehenden Prüfung unterzogen und bei Beachtung der zahlreichen Gutachtensbedingungen als geeignet bewertet /18/. Inzwischen liegt auch die positive Stellungnahme der GRS und des Öko-Instituts zur Umsetzung dieser Gutachtensbedingungen vor /21/. Für den Transport von abgebrannten Brennelementen in die Zwischenlager Ahaus und Gorleben liegt ebenfalls ein umfangreicher Maßnahmenkatalog vor, der von der GRS und dem Öko-Institut als ausreichend bewertet wurde /19, 22/. Zu dem gleichen Ergebnis kamen GRS und Öko-Institut bei der Überprüfung der Maßnahmen im Zusammenhang mit den Rücktransporten von verglasten hochradioaktiven Abfällen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen nach Deutschland /20, 23/.

5 Schlussfolgerungen

Die im Zusammenhang mit den Transporten von abgebrannten Brennelementen an Transport-Behältern und Eisenbahnwaggons festgestellten Kontaminationen sind z.T. auf die Mobilisierung von festhaftenden Kontaminationen und vor allem auf die Ablagerungen von Crud-Partikeln in schwer zugänglichen Ritzen und Spalten der Behälter zurückzuführen. Diese Kontaminationen werden durch im Wasser des Brennelement-Lagerbeckens gelöste Radionuklide sowie suspendierte Partikel verursacht.

Die festgestellten Kontaminationsbefunde stellen nach geltendem Verkehrsrecht eine Überschreitung des Grenzwerts für die Oberflächenkontamination von Typ B(U)F-Behältern dar. Die darin enthaltenen Regelungen beruhen auf den internationalen Abkommen der verschiedenen Verkehrsträger und sind, wie in nahezu allen europäischen Staaten, bei der Beförderung von abgebrannten Brennelementen und von verglasten hochradioaktiven Abfällen rechtsverbindlich umgesetzt. Die Kontaminationsgrenzwerte des Verkehrsrechts sind jedoch abgeleitete Werte, die vorsorglich eingeführt wurden, um eine Gefährdung der mit der Handhabung der Versandstücke befassten Personen auszuschließen. Ihre Überschreitung allein bedeutet noch keine konkrete radiologische Gefährdung von Personen. Darüber hinaus sind diese Grenzwerte gemäß Verkehrsrecht vor allem als Richtwerte für die Ergreifung von Dekontaminationsmaßnahmen an den Transportbehältern zu verstehen /8/.

Um in Zukunft bei Transporten von abgebrannten Brennelementen und verglasten hochradioaktiven Abfällen das Auftreten von Kontaminationen zu verhindern, wurde von den Betreibern in Zusammenarbeit mit COGEMA und BNFL ein umfassender Katalog an Verbesserungsmaßnahmen vorgestellt bzw. zum Teil bereits umgesetzt. Diese Maßnahmen sind geeignet, die festgestellten Defizite bezüglich

- Schutz des Transportbehälters vor Kontaminationen durch Lagerbeckenwasser,
- systematische und einheitliche Erfassung sowie Auswertung der radiologischen Messwerte und
- Dokumentation aller relevanten Transportdaten sowie systematische Weiterleitung der nötigen Informationen an die beteiligten Stellen

zu beheben. Durch diesen Maßnahmenkatalog wurden somit alle Voraussetzungen geschaffen, Kontaminationen von Transportbehältern für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochradioaktive Abfälle zu verhindern. Die Umsetzung vergleichbarer Maßnahmen in Frankreich und der Schweiz führte zu dem Ergebnis, dass die Transporte für abgebrannte Brennelemente bereits wieder aufgenommen wurden /8/. Die Erfahrungen in Frankreich zeigen, dass durch die ergriffenen

Maßnahmen das Auftreten von Kontaminationsbefunden wirksam reduziert wird /8/. In der Schweiz sind mittlerweile zehn Transporte ohne Kontaminationsbefunde durchgeführt worden.

Für die potentielle Strahlenexposition des Begleitpersonals (Polizeikräfte, Bahnpersonal) und der Bevölkerung wurden neben der Direktstrahlung durch den beladenen Transportbehälter die maßgeblichen Expositionspfade

- Inhalation von Partikeln mit der Atemluft,
- Ingestion von Partikeln durch Verschlucken,
- Hautexposition durch die Ablagerung eines Partikels

untersucht. Die flächigen Kontaminationen, die durch das sogenannte Weeping-Phänomen hervorgerufen werden, sind bezüglich der potentiellen Strahlenexposition gegenüber Kontaminationen durch Crud-Partikel vernachlässigbar. Die Bewertung der aufgeführten Expositionspfade auf der Grundlage eines Crud-Partikels mit 100 µm AED bzw. 10 µm AED als Referenzteilchen zeigt, dass bei allen drei Expositionspfaden die in der EURATOM-Richtlinie 96/29 /10/ vorgegebenen höchstzulässigen Dosiswerte für Kleinkinder, Erwachsene und allgemeine Bevölkerung deutlich unterschritten wurden. Darüber hinaus zeigt die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit für eine Strahlenexposition durch Crud-Partikel, dass das damit verbundene Risiko vernachlässigbar gering ist. Eine Gefährdung des Begleitpersonals und der Bevölkerung durch die Kontaminationen lag in der Vergangenheit nicht vor und ist für zukünftige Transporte erst recht nicht zu unterstellen. Andere Studien zu diesem Thema, die zum Teil auf anderen Annahmen beruhen, kommen bezüglich potentieller Strahlenexposition und Wahrscheinlichkeit zu vergleichbaren Ergebnissen /14, 15/. Die Berechnung der Strahlenexposition durch das Öko-Institut /13/, beruht auf extrem konservativen Annahmen und berücksichtigt die Wahrscheinlichkeit einer Exposition nicht. Somit führt sie zu einer Überschätzung der potentiellen Strahlenexposition der Bevölkerung.

Durch die Messung der Direktstrahlung von beladenen Transportbehältern bzw. durch Ganzkörpermessungen des Begleitpersonals wurde in Deutschland und der Schweiz nachgewiesen /7, 8/, dass der Grenzwert von 1 mSv pro Jahr gemäß EURATOM-Richtlinie 96/29 /10/ sowohl für die Bevölkerung als auch für das Begleitpersonal, wie z.B. Bahnpersonal und Polizeikräfte, sicher eingehalten wird.

6 Literatur

- /1/ GRS
Gutachterliche Stellungnahme zu aufgetretenen Kontaminationen bei der Beförderung von Behältern mit abgebrannten Brennelementen aus deutschen Kernkraftwerken, September 1998
- /2/ G. Schwarz
Beförderung radioaktiver Stoffe im Kernbrennstoffkreislauf (Transportsysteme, Transportaufkommen und Strahlenschutz)
Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 47. Jg. (1997) Heft 8
- /3/ Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf Straßen (Gefahrgutverordnung Straße - GGVS) vom 12.12.1996, in Form der 1. Änderungsverordnung mit Neufassung vom 22.12.1998
- /4/ Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen (Gefahrgutverordnung Eisenbahn - GGVE) vom 12.12.1996, in Form der 1. Änderungsverordnung mit Neufassung vom 22.12.1998
- /5/ IAEA
Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material,
1985 Edition (As Amended 1990), Safety Series No. 6, Vienna, 1990
- /6/ IAEA
Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material,
1996 Edition Safety Standards Series No. ST-1/Requirements, Vienna, 1996
- /7/ SSK
Strahlenschutz und Strahlenbelastung im Zusammenhang mit Polizeieinsätzen anlässlich von CASTOR-Transporten, SSK-Information Nr. 5, Juli 1998
- /8/ HSK
Stellungnahme der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen zu den Kontaminationen beim Transport von abgebrannten Brennelementen in der Schweiz
HSK-AN-3504, März 1999
- /9/ M.F. Filß, J. B. Zech
Potentielle Strahlenexposition durch CRUD von Brennelementtransporten
Neue Entwicklungen im Strahlenschutz, Seminar TÜV Akademie, Juli 1999
- /10/ Europäische Gemeinschaft
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 Strahlung
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 159/1 vom 29.06.1996
- /11/ ICRP
The ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public
(Version 1.0); Pergamon, ICRP 1998

- /12/ BMU
Veröffentlichung der SSK, Band 18, Maßnahmen nach Kontaminationen der Haut mit radioaktiven Stoffen, Gustaf Fischer Verlag, Stuttgart 1992
- /13/ Öko-Institut
Potentielle Strahlenexposition für Bevölkerung und Begleitpersonal durch die Beförderung abgebrannter Brennelemente in äußerlich kontaminierten Behältern, Darmstadt, Juni 1999
- /14/ Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik, IBEU
Ergänzendes Gutachten zum IBEU-Gutachten vom Januar 1999 über mögliche Strahlenexpositionen von Personen durch den Transport von abgebrannten Brennelementen nach Frankreich, Jülich, Januar 2000
- /15/ J. Kiefer
Zur Bedeutung der Hautdosis bei Risikobetrachtungen Strahlencentrum der Justus Liebig-Universität Gießen, Gießen, August 1999
- /16/ Bayernwerk
Organisatorisches und technisches Maßnahmenkonzept der Betreiber,
Schreiben von Dr. Otto Majewski an Frau Bundesministerin Dr. Angela Merkel vom 13.08.1998
- /17/ Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
Transport- Kontroll- und Informationssystem TKI für bestrahlte Kernbrennstoffe und entleerte Behälter (Kurzbeschreibung)
Datenaufflistung (Stand 22.07.98), TEP 2 Schl/6080400/TKIKURZ7.doc/22.07.98
GNS 1998, Anhang 2, E-Nr. 07528-98
- /18/ GRS / Öko-Institut
Gutachten zur Beförderung abgebrannter Brennelemente in die Wiederaufarbeitungsanlagen
November 1999
- /19/ GRS / Öko-Institut
Gutachten zu innerdeutschen Brennelementtransporten in deutsche Zwischenlager, Mai 1999
- /20/ GRS / Öko-Institut
Gutachten zur Beförderung von verglasten hochradioaktiven Abfällen, Juni 1999
- /21/ GRS / Öko-Institut
Stellungnahme zur Erfüllung der Empfehlungen und Hinweise aus dem „Gutachten zur Beförderung abgebrannter Brennelemente in die Wiederaufarbeitungsanlagen“ April 2000
- /22/ GRS / Öko-Institut
Stellungnahme zur Erfüllung der Empfehlungen und Hinweise aus dem „Gutachten zu innerdeutschen Brennelementtransporten in deutsche Zwischenlager“ September 1999
- /23/ GRS / Öko-Institut
Stellungnahme zur Erfüllung der Empfehlungen und Hinweise aus dem „Gutachten zur Beförderung von verglasten hochradioaktiven Abfällen“, Oktober 1999

1. **Prof. Dr. George Apostolakis, USA**
Professor für Kerntechnik am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, USA
2. **Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. techn. h.c. Josef Eibl, Deutschland**
(Vorsitzender der ILK)
Ehemaliger Leiter des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe
3. **Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Dieter Fischer, Deutschland**
Inhaber des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik der Ruhr-Universität Bochum
4. **Ing. Bo Gustafsson, Schweden**
Geschäftsführer von SKB International AB (Internationale Tochtergesellschaft der Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company)
5. **Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kröger, Schweiz**
Direktionsmitglied und Leiter Forschungsbereich Nukleare Energie und Sicherheit, Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen
Inhaber des Lehrstuhls für Sicherheitstechnik an der ETH Zürich
6. **Dr.-Ing. Erwin Lindauer, Deutschland**
Geschäftsführer der KSG Kraftwerks-Simulator-Gesellschaft mbH
Geschäftsführer der GfS Gesellschaft für Simulatorschulung mbH
7. **Dr. Serge Prêtre, Schweiz**
Direktor (a.D.) der schweizerischen atomrechtlichen Aufsichtsbehörde HSK (Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen)
8. **Ing. Louis Reynes, Frankreich**
Vizepräsident (a.D.) der Université de Technologie de Troyes
9. **Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Roos, Deutschland** (stellv. Vorsitzender der ILK)
Inhaber des Lehrstuhls für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre der Universität Stuttgart
Direktor der Staatlichen Materialprüfungsanstalt, Universität Stuttgart
10. **Prof. Dr. Frank-Peter Weiß, Deutschland**
Professor für Anlagensicherheit an der TU Dresden
Direktor des Instituts für Sicherheitsforschung im Forschungszentrum Rossendorf e.V., Dresden

(Liste in alphabetischer Reihenfolge)

Zielsetzung der von Baden-Württemberg, Hessen und vom Freistaat Bayern eingerichteten Internationalen Länderkommission Kerntechnik - ILK -

Leitgedanke

Unabhängige und objektive Beratung der Länder Baden-Württemberg und Hessen sowie des Freistaates Bayern auf höchstem international anerkannten wissenschaftlichen Niveau in Fragen der Sicherheit kerntechnischer Anlagen, der geordneten Entsorgung radioaktiver Abfälle und der friedlichen Nutzung der Kernenergie vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Energieversorgung.

Ziele

1. Erhalt und Verbesserung des hohen Sicherheitsstandards der (süd-)deutschen Kernkraftwerke und Weiterentwicklung des Entsorgungskonzepts radioaktiver Abfälle, jeweils entsprechend dem international anerkannten Stand von Wissenschaft und Technik.
2. Anwendung eines ganzheitlicher Systemansatzes Mensch - Technik - Organisation.
3. Rechtzeitige Erkennung von Sicherheitsmängeln vor dem Hintergrund des Wettbewerbs im liberalisierten europäischen Strommarkt und Erarbeitung von Gegenmaßnahmen.
4. Einbeziehung der international anerkannten Praxis in die deutsche Sicherheitsphilosophie und Sicherheitskonzeption zur Verbesserung der staatlichen Aufsicht und zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus der Anlagen.
5. Behandlung und Beurteilung von ausgewählten Sicherheitsfragen im Lichte neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Erarbeiten von Empfehlungen zur Harmonisierung kerntechnischer Standards auf europäischer Ebene.