



BASE – FORSCHUNGSBERICHTE ZUR
SICHERHEIT DER NUKLEAREN ENTSORGUNG

Bereitstellung von Verfahren zur Berechnung von Freistellungsgrenzwerten entsprechend den neuesten Transportvorschriften sowie von Daten zum Transportaufkommen in Deutschland

AP 1:

Bereitstellung eines Verfahrens zur Berechnung von
Freistellungsgrenzwerten für Zulassungsverfahren

Vorhaben 4714R03371

AUFTRAGNEHMER:IN

Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln

J. Endres

F.-N. Sentuc



Bereitstellung von Verfahren zur Berechnung von Freistellungs- grenzwerten entsprechend den neuesten Transportvorschriften sowie von Daten zum Transportaufkommen in Deutschland

AP 1:

**Bereitstellung eines Verfahrens zur Berechnung von
Freistellungsgrenzwerten für Zulassungsverfahren**

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autor:innen. Das BASE übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

*Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der Auftragnehmer:in wieder
und muss nicht mit der des BASE übereinstimmen.*

BASE-RESFOR-023/22

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2022050232825

Berlin, Mai 2022

Impressum

**Bundesamt
für die Sicherheit
der nuklearen Entsorgung
(BASE)**

BASE – FORSCHUNGSBERICHTE ZUR
SICHERHEIT DER NUKLEAREN ENTSORGUNG

Auftragnehmer:in
Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit
(GRS) gGmbH, Köln

J. Endres
F.-N. Sentuc

030 184321-0
www.base.bund.de

Stand: Mai 2022

Bereitstellung von Verfahren
zur Berechnung von
Freistellungsgrenzwerten
entsprechend den neuesten
Transportvorschriften sowie
von Daten zum
Transportaufkommen in
Deutschland

Abschlussbericht zum Vorhaben
3614R03371: Teil 1

AP 1: Bereitstellung eines
Verfahrens zur Berechnung von
Freistellungsgrenzwerten für
Zulassungsverfahren

J. Endres
F.-N. Sentuc

September 2017

Auftrags-Nr.: 854517

Anmerkung:

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Rahmen des Vorhabens 3614R03371 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Deskriptoren:

Beförderung radioaktiver Stoffe, Instrumente und Fabrikate, alternative Aktivitätsgrenzwerte, Zulassungsverfahren, Transportvorschriften

Kurzfassung

Das Vorhaben 3614R03371 „Bereitstellung von Verfahren zur Berechnung von Freistellungsgrenzwerten entsprechend den neuesten Transportvorschriften sowie von Daten zum Transportaufkommen in Deutschland“ ist in drei Arbeitspakete (AP) gegliedert. Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse zum AP 1 „Bereitstellung eines Verfahrens zur Berechnung von Freistellungsgrenzwerten für Zulassungsverfahren“. Im Rahmen des AP 1 wurden die gefahrgutrechtlichen Randbedingungen nach 6.4.23.10 ADR zusammengestellt, die als Grundlage für die Berechnung von Freistellungsgrenzwerten dienen. In diesem Zusammenhang wurden bisherige Studien begutachtet, die Berechnungen für Freistellungsgrenzwerte durchführen. Dabei wurden insbesondere die verwendeten Szenarien und Parameter hinterfragt. Anhand dieser vorhandenen Studien wurde ein Zulassungsverfahren des Antragstellers OSRAM begleitet und die Berechnungen für den Auftraggeber verglichen und bewertet. Aus den Erfahrungen dieses Zulassungsverfahrens konnte im Rahmen des Vorhabens ein Verfahren zur Berechnung von alternativen Aktivitätsgrenzwerten entwickelt werden, das aus einem Berechnungstool und einem Leitfaden zur Antragstellung besteht.

Summary

While the project 3614R03371 „Provision of Procedures for Calculating Exemption Limits According to the Latest Transportation Regulations and Data of German Transportation Volume“ is subdivided into three work packages (AP), the present report deals with the results from AP 1 „Provision of a Procedure for Calculating Exemption Limits for Licensing Procedures“. Within the scope of AP 1 the regulatory framework for dangerous goods has been assessed according to 6.4.23.10 ADR. Available surveys covering the calculation of exemption values have been studied focussing on applied scenarios and parameters. Advice has been given to a licensing procedure initiated by the applicant OSRAM. Based on these experiences, a procedure for calculating alternative exemption values has been developed consisting of a calculation tool as well as an application guideline.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Bereitstellung eines Verfahrens zur Berechnung von Freistellungsgrenzwerten für Zulassungsverfahren	3
2.1	Gefahrgutrechtliche Randbedingungen	5
2.2	Analyse der in bisherigen Studien verwendeten Expositionsszenarien und Eingangsparameter.....	7
2.2.1	IAEA-TECDOC-1679: Exemption from Regulatory Control of Goods Containing Small Amounts of Radioactive Material	7
2.2.2	Gelder, R. et al.: Transport of Consumer Goods containing Small Quantities of Radioactive Materials, Final Report, EC Contract Number: 4.1020/D/99-006 (DG-TREN), NRPB, GRS, May 2001	10
2.2.3	Harvey et al: Assessment of the Radiological Impact of the Transport and Disposal of Light Bulbs Containing Tritium, Krypton-85 and Radioisotopes of Thorium, HPA-CRCE-008, October 2010.....	13
2.2.4	Schneider et al.: Systematic Radiological Assessment of Exemptions for Source and Byproduct Materials, USNRC, NUREG-1717, June 2001	18
2.2.5	Bewertung	19
2.3	Unterstützung des BfS/BfE im Genehmigungsverfahren OSRAM.....	23
2.4	Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung von alternativen Aktivitätsgrenzwerten	27
2.4.1	Inhalte des Leitfadens	28
2.4.2	Das Berechnungstool.....	29
3	Schlussfolgerungen	35
4	Literatur	37
	Abbildungsverzeichnis	39
	Tabellenverzeichnis	41

1 Einleitung

Die Beförderung radioaktiver Stoffe erfolgt weltweit auf der Grundlage der sogenannten Transportvorschriften, die von der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) herausgegeben und fortlaufend weiterentwickelt werden /IAEA 12a/. Gemäß diesen Transportvorschriften ist es möglich, unter bestimmten Voraussetzungen Versandstücke mit radioaktiven Stoffen als sogenannte „freigestellte Versandstücke“ (excepted packages) zu deklarieren. Dies führt zu Vereinfachungen bei der Beförderung von radioaktiven Stoffen in geringen Mengen, unter Beibehaltung eines hohen Sicherheitsniveaus. Diese Möglichkeit wird bei sehr geringen Aktivitätsmengen häufig angewendet und betrifft z. B. auch Versandstücke, die sogenannte „Instrumente oder Fabrikate“ beinhalten, deren Aktivität bestimmte Aktivitätsgrenzwerte nicht übersteigt. Für solche Instrumente und Fabrikate wurde darüber hinaus in den aktuellen Transportvorschriften der IAEO ein neues Konzept eingeführt, das unter bestimmten Bedingungen deren vollständige Freistellung (als freigestellte Sendung: exempt consignment) von den Transportvorschriften durch Genehmigung/Zulassung (multilateral approval) der zuständigen Behörden der durch den Transport betroffenen Staaten erlaubt.

In Deutschland war bis zum 30. Juni 2016 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) die zuständige Behörde für die Erteilung einer solchen Zulassung. Inzwischen ist diese Zuständigkeit auf das neu gegründete Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) übergegangen. Zur Unterstützung der Behörde bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben wurde im Rahmen dieses Vorhabens ein Verfahren für das BfS/BfE entwickelt, mit dessen Hilfe diese Genehmigungsverfahren zur Zulassung alternativer Aktivitätsgrenzwerte durchgeführt werden können. Das Verfahren wurde zur Eignung für die behördliche Praxis anhand der Erkenntnisse bei der Begleitung der ersten Zulassungsverfahren ausgearbeitet und am Ende des Vorhabens dem BfE zur weiteren Verwendung übergeben.

Die Frage nach der Exposition der Bevölkerung durch die Beförderung radioaktiver Stoffe zum Endlager Konrad ist immer wieder Gegenstand öffentlicher Diskussionen. Die Transportstudie Konrad 2009 (TSK 2009 /SEN 10/) beinhaltet diesbezüglich Aussagen, die auf Basis der zum damaligen Zeitpunkt verfügbaren Angaben repräsentativ sind für die ersten zehn Jahre des Einlagerungsbetriebs. Ein weiteres Aufgabengebiet dieses Vorhabens war daher die Bereitstellung von aktualisierten Daten zu radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die zur Einlagerung in das Endlager Konrad vorgesehen sind. Das Transportaufkommen zum Endlager Konrad

sollte auf Basis der beim BfS verfügbaren Informationen weiterverfolgt und so präzisiert werden, dass diese Daten für aktuelle Aussagen bezüglich der Strahlenexpositionen des Transportpersonals und der Bevölkerung verwendbar sind.

Dieses Vorhaben sollte des Weiteren dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und dem BfS bzw. BfE ermöglichen, Ad-hoc-Fragestellungen zu aktuellen nationalen und internationalen Themen der Transportsicherheit durch die GRS und ggf. durch externen Sachverstand zeitnah bearbeiten zu lassen.

Das Vorhaben 3614R03371 gliedert sich dementsprechend in drei Arbeitspakete (AP):

1. Bereitstellung eines Verfahrens zur Berechnung von Freistellungsgrenzwerten für Zulassungsverfahren,
2. Weiterverfolgung des Transportaufkommens zum Endlager Konrad für Expositionsanalysen,
3. Fachliche Stellungnahmen und Zuarbeiten.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse zum Arbeitspaket 1 erläutert.

2 Bereitstellung eines Verfahrens zur Berechnung von Freistellungsgrenzwerten für Zulassungsverfahren

Mit den neuen IAEQ-Vorschriften zum Transport radioaktiver Stoffe, Ausgabe 2012 (SSR-6) /IAEA 12a/, wurde erstmals eine Möglichkeit geschaffen, Sendungen mit bestimmten Inhalten (Instrumente und Fabrikate) unter bestimmten Bedingungen von den Transportvorschriften zu befreien. Die Befreiung dieser Instrumente oder Fabrikate, die nur geringe Mengen radioaktiver Stoffe enthalten dürfen, mit Hilfe von alternativen Aktivitätsgrenzwerten für eine freigestellte Sendung von den IAEQ-Transportvorschriften setzt eine behördliche Zulassung voraus. Bei der Antragstellung sind der zuständigen Behörde (gemäß para. 817 SSR-6) alle zur Prüfung erforderlichen Unterlagen wie z. B. Angaben zur maximalen Aktivität und Dosisleistung, zur chemischen und physikalischen Form, zu den Transportmodalitäten etc. vorzulegen. Dies beinhaltet auch eine Dosiserschätzung, die in Übereinstimmung mit den Grundsätzen und der Methodik der internationalen grundlegenden Sicherheitsnormen (Basic Safety Standards, BSS, in der Fassung von 1996 /IAEA 96/¹) der IAEQ durchzuführen sind. Demnach ist für eine Freistellung insbesondere die Einhaltung des „10 µSv/a-Konzepts“ nachzuweisen. Voraussetzung hierfür ist die Berechnung der zu erwartenden Strahlenexposition sowohl des Transportpersonals als auch von Einzelpersonen der Bevölkerung unter allen Transportbedingungen auf Basis von repräsentativen Beförderungsszenarien für die betreffende Sendung.

Für die behördliche Genehmigungspraxis bedeutet dies, dass im Einzelfall die vom Antragsteller beantragten alternativen Aktivitätsgrenzwerte und damit verbundenen Strahlenexpositionen eingehend zu überprüfen sind. Hierbei ist insbesondere die Identifizierung der typischen Expositionsszenarien von Bedeutung, die in Anlehnung an die Bestimmung der Freigrenzen gemäß BSS erfolgen kann, grundsätzlich sind jedoch auch transportspezifischere Szenarien denkbar.

Aufgrund der weiten Verbreitung solcher Instrumente und Fabrikate wurden bereits früher Untersuchungen zu den potentiellen Auswirkungen einer möglichen Freistellung dieser Güter von den Transportvorschriften durchgeführt (vgl. z. B. /GEL 01/). Betrachtet wurden hierbei Konsumgüter wie z. B. Produkte der Lampenindustrie (mit Kr-85

¹ Eine Überarbeitung der BSS existiert zwar inzwischen /IAEA 14/, die aktuellen Transportvorschriften SSR-6 beziehen sich jedoch noch auf die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung gültigen BSS von 1996.

oder Th-232/228), aber auch Ionisationsrauchmelder (Am-241) sowie thorierte Schweißelektroden, die einzeln zwar nur geringe Aktivitätsmengen enthalten, aber in größeren Mengen versendet werden. Es besteht seit Jahren ein großes Interesse seitens der betroffenen Industriesektoren an einer Freistellung dieser Sendungen, durch die sich eine Vereinfachung der Transportmodalitäten ergeben könnte. Insbesondere die Problematik der Transportverweigerung (denial of shipment) einiger Logistikunternehmen im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen wird hierbei als Argument vorgebracht.

Neuere Untersuchungen zur Freistellung von solchen Gütern mit geringen Aktivitätsmengen finden sich in /IAEA 12b/. In diesen Studien wurden repräsentativ für das betrachtete Transportgut jeweils unterschiedliche Eingangsparameter und Szenarien für die Bestimmung der potenziellen Strahlenexpositionen verwendet. Vor dem Hintergrund der neuen Möglichkeit der Freistellung solcher Sendungen sind die dort erzielten Ergebnisse aus behördlicher Sicht eingehend zu prüfen, da sie als Basis für zukünftige Anträge dienen könnten.

In einem ersten Arbeitsschritt (AP 1.1) wurden daher die gefahrgutrechtlichen Randbedingungen und Vorschriften für das neue Zulassungsverfahren für alternative Aktivitätsgrenzwerte aufbereitet. Bereits vorhandene Studien zur Freistellung von solchen Instrumenten und Fabrikaten, insbesondere im Hinblick auf die verwendeten Annahmen und Szenarien, wurden vom Auftragnehmer analysiert und ausgewertet. Dies sind z. B. die EU-Studie zu Konsumgütern /GEL 01/ sowie /IAEA 12b/. Die Ergebnisse der Literaturlauswertung und eine Analyse der dort verwendeten Annahmen und Szenarien wurden dem Auftraggeber gemäß dem Angebot Ende 2015 zur Verfügung gestellt.

Der zweite Arbeitsschritt (AP 1.2) beinhaltet die Unterstützung des BfS bzw. BfE bei den ersten Genehmigungsverfahren. Für den Zweck der Überprüfung der Übereinstimmung der beantragten Werte mit den Anforderungen der Transportvorschriften ist die Verfügbarkeit der entsprechenden Antragsunterlagen erforderlich. Die vom Antragsteller für eine freigestellte Sendung vorgeschlagenen alternativen Aktivitätskonzentrationen und grundlegenden Expositionsszenarien wurden vom Auftragnehmer u. a. auf Vollständigkeit der zu betrachtenden Szenarien, Plausibilität der Annahmen sowie den verwendeten Rechenmethoden inklusive deren Eingangsparameter überprüft. Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes sollen das BfE in die Lage versetzen, seiner Verpflichtung zur Bearbeitung der ersten Anträge zur Zulassung von alternativen Aktivitätsgrenzwerten nachkommen zu können.

Basierend auf den in den ersten Arbeitsschritten gesammelten Erkenntnissen und Erfahrungen wurden im dritten Arbeitsschritt (AP 1.3) für die behördliche Genehmigungspraxis geeignete Arbeitsschritte und -abläufe gemäß den in den gefahrgutrechtlichen Vorschriften enthaltenen Vorgaben entwickelt, mit deren Hilfe auf der Basis der entsprechenden Antragsunterlagen die zulässigen alternativen Aktivitätsgrenzwerte für eine freigestellte Sendung überprüft werden können. Dies beinhaltet insbesondere die Vorauswahl der für die Dosisberechnung relevanten typischen Expositionsszenarien, die für derzeit gängige Instrumente oder Fabrikate und die entsprechenden Transportmodalitäten als repräsentativ angesehen werden können. Die Arbeitsergebnisse und das entwickelte Verfahren mit begleitender Dokumentation werden im Rahmen dieses Abschlussberichts dem BfE zur weiteren Verwendung übergeben.

2.1 Gefahrgutrechtliche Randbedingungen

Seit Inkrafttreten der neuen Regelungen zur Freistellung von den Transportvorschriften durch die neue Ausgabe der Gefahrgutvorschriften (z. B. ADR /ADR 15/ und RID /RID 15/) am 01.01.2015 können für Instrumente und Fabrikate Anträge für alternative Aktivitätsgrenzwerte an die zuständige Genehmigungsbehörde gestellt werden. Grundlage hierfür sind die aktuellen IAEA-Transportvorschriften (SSR-6, /IAEA 12a/) sowie die dazugehörigen grundlegenden Sicherheitsnormen der IAEA (in der Fassung von 1996 /IAEA 96/), in denen die Voraussetzungen für die behördliche Zulassung der sogenannten alternativen Aktivitätsgrenzwerte für eine Freistellung dargelegt sind.

ADR 2.2.7.2.2.2 b): „Für einzelne Radionuklide in Instrumenten oder Fabrikaten, in denen die radioaktiven Stoffe eingeschlossen oder als Bauteil des Instruments oder eines anderen Fabrikats enthalten sind und die den Vorschriften des Absatzes 2.2.7.2.4.1.3 c) entsprechen, sind zu dem in der Tabelle 2.2.7.2.2.1 angegebenen Aktivitätsgrenzwert für eine freigestellte Sendung alternative grundlegende Radionuklidwerte zugelassen, für die eine multilaterale Genehmigung erforderlich ist. Solche **alternativen Aktivitätsgrenzwerte für eine freigestellte Sendung** müssen gemäß den in den «International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources» (Internationale grundlegende Sicherheitsnormen für den Schutz vor ionisierender Strahlung und für die Sicherheit von Strahlungsquellen), Safety Series No. 115, IAEA, Wien (1996) aufgestellten Grundsätzen berechnet werden.“ /ADR 15/)

Hinweis: Die Anforderungen in /IAEA 12a/, /ADR 15/, /RID 15/ sind inhaltlich identisch.

Grundvoraussetzung hierfür ist zunächst, dass die Versandstücke mit radioaktivem Inhalt sämtliche Anforderungen für freigestellte Versandstücke erfüllen. Beispielsweise darf ein Versandstück, das radioaktive Stoffe enthält, gemäß 2.2.7.2.4.1.2 ADR als freigestelltes Versandstück klassifiziert werden, wenn die Dosisleistung an keinem Punkt der Außenfläche des Versandstückes $5 \mu\text{Sv/h}$ überschreitet. Weiterhin dürfen die enthaltenen Instrumente oder Fabrikate die in Tab. 2.1 festgelegten begrenzten Mengen nicht überschreiten (vgl. auch Tab. 2.2 für ausgewählte Nuklide). Für eine Klassifizierung z. B. unter der UN-Nummer UN 2911 (RADIOAKTIVE STOFFE, FREIGESTELLTES VERSANDSTÜCK – INSTRUMENTE oder FABRIKATE) gelten weitere Anforderungen (vgl. 2.2.7.2.4.1.3 ADR).

Tab. 2.1 Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Versandstücke, hier gemäß Tabelle 2.2.7.2.4.1.2 ADR /ADR 15/

Aggregatzustand des Inhalts	Instrumente oder Fabrikate		Stoffe
	Grenzwerte je Einzelstück ^{a)}	Grenzwerte je Versandstück ^{a)}	Grenzwerte je Versandstück ^{a)}
(1)	(2)	(3)	(4)
feste Stoffe			
in besonderer Form	$10^{-2} A_1$	A_1	$10^{-3} A_1$
in anderer Form	$10^{-2} A_2$	A_2	$10^{-3} A_2$
flüssige Stoffe	$10^{-3} A_2$	$10^{-1} A_2$	$10^{-4} A_2$
Gase			
Tritium	$2 \times 10^{-2} A_2$	$2 \times 10^{-1} A_2$	$2 \times 10^{-2} A_2$
in besonderer Form	$10^{-3} A_1$	$10^{-2} A_1$	$10^{-3} A_1$
in anderer Form	$10^{-3} A_2$	$10^{-2} A_2$	$10^{-3} A_2$

^{a)} Für Radionuklidgemische siehe Absätze 2.2.7.2.2.4 bis 2.2.7.2.2.6.

Tab. 2.2 Grundlegende Radionuklidwerte für ausgewählte Radionuklide, hier gemäß Tabelle 2.2.7.7.1 ADR /ADR 15/

Radionuklid	A_1 (TBq)	A_2 (TBq)	Aktivitätskonzentration für freigestellte Stoffe (Bq/g)	Aktivitätsgrenzwert für eine freigestellte Sendung (Bq)
Kr-85	1×10^1	1×10^1	1×10^5	1×10^4
Th-228*	5×10^{-1}	1×10^{-3}	1×10^0	1×10^4
Th-232	unbegrenzt	unbegrenzt	1×10^1	1×10^4
Th (natürlich)	unbegrenzt	unbegrenzt	1×10^0	1×10^3
* inkl. der berücksichtigten Tochternuklide gemäß Fußnote zu Tabelle 2.2.7.7.1 ADR				

2.2 Analyse der in bisherigen Studien verwendeten Expositionsszenarien und Eingangsparameter

Der Versand von Lampen und Leuchtmitteln mit geringen Mengen radioaktiver Stoffe als freigestellte Versandstücke ist international gängige Praxis. Dadurch ergeben sich für die Beförderung als Gefahrgüter bereits erhebliche Erleichterungen – entsprechend dem geringeren Gefahrenpotenzial. In den nachfolgend näher analysierten Studien wird die Fragestellung adressiert, welche radiologischen Auswirkungen mit der Beförderung dieser Güter einhergehen, d.h. ob die vollständige Freistellung von den Gefahrgutvorschriften im Einklang mit den Strahlenschutzgrundsätzen steht.

2.2.1 IAEA-TECDOC-1679: Exemption from Regulatory Control of Goods Containing Small Amounts of Radioactive Material

Diese Studie aus dem Jahr 2012 gibt einen Überblick über die Grundlagen der Freistellung von Gütern, die geringe Mengen an radioaktivem Stoffen enthalten /IAEA 12b/. Der wesentliche Fokus des Berichts liegt jedoch auf Leuchtmittel mit Kr-85 oder Th-232, da hierfür unter anderem Berechnungen durchgeführt wurden.

In einer Einführung werden die Anwendungsbereiche und die Rechtfertigung für den Einsatz von Leuchtmitteln mit radioaktiven Zusätzen beschrieben. Die Hauptanwendung liegt bei Geschäften, Einkaufszentren, Straßenbeleuchtungen, Kinos, Autocheinwerfern, etc. Als Rechtfertigung wird zum einen die Energieeffizienz (90 bis 100 Lumen pro Watt und längere Lebensdauer) angegeben, die nicht durch Alternativen erreichbar ist. Zum anderen werden Energie- und Kosteneinsparungen sowie die Reduktion von CO₂-Emissionen (Einhaltung des Kyoto-Protokolls) genannt. Es folgt eine technische Begründung für die Verwendung von Kr-85 bzw. Th-232 und die Nichtverfügbarkeit von nicht-radioaktiven Alternativen.

Die Studie bezieht sich auf Hochdruck-Entladungslampen (HID-Lampen - engl.: high-intensity discharge) mit Kr-85 oder Th-232

- a) in denen Kr-85 in einer dichten Kapsel (sealed capsule) enthalten ist bzw. Th-232 in einer festen Matrix ebenfalls in einer dichten Kapsel eingeschlossen ist (in a closely bonded solid form within a permanently sealed capsule),
- b) die keiner weiteren Verarbeitung bedürfen,

- c) bei denen jedes einzelne Produkt die Freigrenze für die Gesamtaktivität in den BSS (hier IAEA Interim von 2012, Table I.1) nicht überschreitet,
 - 10.000 Bq für Kr-85
 - 10.000 Bq für Th-232
- d) bei denen die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass die Freigrenze für die Gesamtaktivität überschritten wird, wenn eine große Stückzahl im Rahmen einer Tätigkeit (z. B. bei der Beförderung) involviert ist.

Weiterhin werden verschiedene Eingangsgrößen für die Berechnungen diskutiert. Insbesondere wird auf typische Aktivitäten, spezifische Aktivität und die radiologischen Eigenschaften der beiden Radionuklide eingegangen. Dabei wird darauf hingewiesen, dass die Freigrenzen für die spezifische Aktivität bei den hier betrachteten Leuchtmitteln überschritten werden. Aus diesen prinzipiellen Eingangsgrößen werden typische Ortsdosisleistungen (ODL) an Transportpaletten abgeleitet.

a) Leuchtmittel mit Kr-85:

Die maximale Aktivität wird zu 18 MBq Kr-85 auf einer Palette (9000 Lampen mit je 2 kBq) abgeschätzt (d. h. jeweils eine einzelne Palette überschreitet bereits den Wert für eine freigestellte Sendung von 0,01 MBq für Kr-85). Gerechnet wird mit einer konservativen Annahme einer Aktivität von 20 MBq pro Palette die gleichförmig auf 1 m^3 verteilt ist. Eine Berechnung der Ortsdosisleistung mit Microshield V8.03 für $H^*(10)$ und $H'(0,07)$ unter Berücksichtigung der Bremsstrahlung (Beta-Strahler) durch den Faktor 2 wurde durchgeführt und resultiert jeweils in einer Erhöhung der ODL um 50 nSv/h an der Oberfläche der Verpackung (in 1 m Abstand von der Paletten-Oberfläche: Erhöhung um 8 nSv/h).

b) Leuchtmittel mit Th-232:

Die maximale Aktivität wird zu 4500 Bq Th-232 in einer einzelnen Lampe abgegeben (entsprechend 1 g Th-232, es werden allerdings nur bis zu 6 Stück dieser Lampen auf einer Palette gepackt). Für andere Lampentypen können sich maximal 0,1 MBq Th-232 auf einer Palette befinden (100 Lampen mit je 1000 Bq). Auch in diesem Fall wird der Wert für eine freigestellte Sendung von 0,01 MBq für Th-232 bei einer einzelnen Palette überschritten. Daher wird mit der konservativen Annahme für die Aktivität der Palette von 0,1 MBq gerechnet, die gleichförmig auf 1 m^3 ist. Eine Berechnung der Ortsdosisleistung mit Microshield V8.03 für $H^*(10)$ und $H'(0,07)$ für die resultierende Gammastrahlung, auch durch die Tochternuklide (Alpha- und Betastrahlung wird vollständig

abgeschirmt) wurde durchgeführt. Es resultiert jeweils eine Erhöhung der ODL um 47 nSv/h an der Verpackungsoberfläche (in 1 m Abstand von der Paletten-Oberfläche: Erhöhung um 8 nSv/h). Für eine einzelne Lampe ergibt sich eine Erhöhung der ODL um bis zu 123 nSv/h in einem Abstand von 0,1 m und bis zu 1 nSv/h in 1 m Abstand zur Oberfläche.

Die Expositionsanalysen für beide Radionuklide sind in den Anhängen VI und VIII der Studie durchgeführt. In beiden Fällen werden normale Expositionssituationen und Unfallszenarien betrachtet. Bei der unfallfreien Exposition wird von intakten Lampen ausgegangen, wodurch nur eine Bestrahlung durch Gammastrahlung (bei Kr-85 inklusive Bremsstrahlung) angenommen wird.

Für Kr-85 wird unter Unfallbedingungen konservativ davon ausgegangen, dass sämtliche in den Unfall involvierten Lampen sofort den gesamten Inhalt an Kr-85 freisetzen, so dass die Submersion durch das Edelgas den dominanten Expositionspfad darstellt.

Bei Thorium ist unter Unfallbedingungen die äußere Exposition durch Gammastrahlung sowie durch Alpha- und Betastrahlung an der Oberfläche der thorierten Wolframelektroden nach Zerschlagen der Lampe möglich. Inkorporation durch Inhalation ist jedoch durch die Fixierung des Th-232 in einer Wolframmatrix oder in einer festen Form nicht möglich (ebenso der Kontaminationspfad Ingestion durch Verschlucken einer kompletten Elektrode wird als sehr unwahrscheinlich betrachtet). Die Pfade Inhalation sowie Kontamination der Haut werden bei dem Brandszenario („crash and burn“) betrachtet.

Für die relevanten Szenarien beim Transport und in einer Lagerhalle wird auch auf die Ergebnisse der folgenden Studien verwiesen, sowie auf die Anhänge VI und VIII. Diese eigenen Szenarien beruhen im Wesentlichen auf den Szenarien aus RP 65 (Veröffentlichung der Europäischen Kommission zum Strahlenschutz, Radiation Protection – 65) /HAR 93/ mit dem Unterschied, dass für den Anteil der freigesetzten Aktivitätsmenge bei einem Brand nicht der Wert von RP 65 von 1 % (Faktor c , für sonstige Stoffe außer Flüssigkeiten und Gase), sondern der Wert von 0,1 % (Faktor RF , aus NUREG-1717 /NRC 01/) verwendet wird. Insgesamt wird der gesamte Lebenszyklus nach der Herstellung der Lampen abgebildet: Vom Transport über die Lagerung, den Einbau/Reparatur/Verkauf etc., der Nutzung bis zur Entsorgung.

Wichtige Eingangsparameter sind stets:

- Anzahl der Paletten mit entsprechenden Aktivitäten/Transporte pro Jahr
- Dosisleistung in Abhängigkeit vom Abstand zur Palette
- Aufenthaltszeit in diesem Abstand pro Jahr

Für Kr-85 werden insgesamt vier Szenarien betrachtet. Dabei handelt es sich jeweils um die effektive Dosis sowie die Hautdosis bei normalen Bedingungen, sowie bei Submersion in einem Unfallszenario. Der dominierende Pfad ist die externe Exposition bei normalem Umgang. Hier wird für die bereits erwähnte ODL von 8 nSv/h in einem Meter Abstand zu einer Palette mit 20 MBq Kr-85 eine Expositionsdauer von 400 h/a angesetzt. Damit erhält ein Mitarbeiter maximal eine Dosis von 3,2 µSv pro Jahr. Skaliert auf das 10 µSv/a-Konzept würde dies einer alternativen Aktivitätsgrenze von 62,5 MBq entsprechen.

Für Thorium werden mehr Szenarien betrachtet, die in Anlehnung an RP 65 gestaltet und in vier Abschnitte unterteilt sind: Transportunfälle mit zerbrochenen Lampen, Unfall in einer Lagerhalle mit Brand, Umgang nach der Verwendung und Entsorgung, sowie das Einsetzen eines Leuchtmittels in eine Leuchte. Der dominierende Pfad für Thorium ist nach dieser Studie die Exposition durch Inhalation von Staub oder flüchtigen Anteilen, die im Rahmen des Lagerhallen-Brands berechnet wird. Es wird hier von 24 Paletten mit je 6 Lampen mit je einer Aktivität von 4500 Bq ausgegangen, die im Feuer zerstört werden. Die Gesamtaktivität beläuft sich daher auf 648 kBq. Obwohl das Thorium fest in einer Matrix eingebunden ist, wird hier von einem Anteil ausgegangen, der zu Asche verbrannt wird und damit für die Inhalation zur Verfügung steht. Dieser Anteil wird wie bereits beschrieben mit 0,1 % angesetzt und ist damit der einzige Unterschied zu dem entsprechenden Szenario aus RP 65, bei dem 1 % angenommen wird. Es resultiert eine effektive Dosis von 5 µSv pro Unfall. Auf das 10 µSv-Konzept skaliert würde dies einer alternativen Aktivitätsgrenze von 1,3 MBq entsprechen.

2.2.2 Gelder, R. et al.: Transport of Consumer Goods containing Small Quantities of Radioactive Materials, Final Report, EC Contract Number: 4.1020/D/99-006 (DG-TREN), NRPB, GRS, May 2001

In einem gemeinsamen Projekt erstellten das National Radiological Protection Board (NRPB) und die GRS 2001 einen Bericht über den Transport von Konsumgütern, die geringe Mengen an radioaktivem Material enthalten /GEL 01/. Insgesamt werden verschiedene Produkte betrachtet:

- Ionisationsrauchmelder
- Thorierte Schweißelektroden
- Leuchtmittel mit Thorium oder Krypton
- Thorium enthaltende Glühstrümpfe

Für die Leuchtmittel wurden sowohl Analysen für normalen Transport als auch für Unfallszenarien durchgeführt. Der Normaltransport berücksichtigt vier Szenarien mit jeweils einer Betrachtung der externen Exposition für folgende Personengruppen:

- Der Arbeiter, der Versandstücke handhabt, be- und entlädt, vorbereitet, etc.
- Der LKW-Fahrer, der die Transporte durchführt
- Die Bevölkerung, die durch vorbeifahrende LKW exponiert wird
- Anwohner entlang der Transportrouten

Die getroffenen Annahmen unterscheiden nicht zwischen Krypton und Thorium, da in der Studie eine Dosisleistung für Krypton angenommen wird, die stets geringer als die von Thorium ist. Damit wird die Berechnung für Thorium durchgeführt und die Ergebnisse gelten abdeckend auch für Krypton. Für die vier Szenarien ergeben sich Werte von maximal 0,4 $\mu\text{Sv/a}$, wobei der dominierende Wert für den Arbeiter errechnet wurde.

Das Unfallszenario dieser Studie betrachtet einen Unfall eines LKW, der mit 20 Paletten beladen ist, die jeweils 25000 Lampen mit je 20 Bq enthalten. Dies entspricht einer Gesamtaktivität von 100 MBq. Es wird angenommen, dass das Thorium Bestandteil der festen Wolfram-Elektrode ist und daher nicht für eine Freisetzung oder Dispersion in lungengängigen Größen und bis 20 μm (AED) zur Verfügung steht, auch wenn die Integrität der Lampe bei dem Unfall zerstört wird. Im Gegensatz zu Thorium wird das gasförmige Krypton bei Zerstörung der Lampen in die Umgebung freigesetzt. Da für diesen Fall die radiologischen Konsequenzen höher sind als für Thorium, wird in der Studie die Berechnung auf Krypton beschränkt. Diese Berechnung zieht das Q-System heran und skaliert den A_2 -Wert auf die in dieser Studie vorliegende Aktivität. Aus dem Q-System geht hervor, dass 10 TBq Kr-85 in einer Hautdosis von 500 mSv resultieren. Die in dieser Studie betrachteten 100 MBq entsprechen demnach einer Hautdosis von 5 μSv pro Unfall für den Fall einer 100 %igen Zerstörung der Ladung. Für eine realistischere Annahme von einer 50 %igen Zerstörung der Ladung ergeben sich 2,5 μSv pro Unfall.

Primär für die weiteren in der Studie betrachteten Produkte befindet sich in Anhang III eine Berechnung nach RP 65 für Unfallszenarien. Insbesondere ist diese Methode für die Ionisationsrauchmelder, jedoch nicht für die Leuchtmittel angewendet worden. Zusammenfassend sind die Ergebnisse der Studie in Abb. 2.1 dargestellt.

Table 20 Summary of public and occupational radiation dose estimates arising from normal (incident-free) transportation of bulk shipments of consumer products

Product category	<u>Annual effective dose* ($\mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$)</u>	
	Public dose	Occupational dose
Ionisation smoke detectors	< 0.01	< 1
Thoriated welding electrodes	< 0.01	< 5 **
Lighting products and related devices	< 0.01	< 0.5 **
Incandescent gas mantles	< 0.01	< 5 **
	* Upper estimate	
	** Loading/unloading and carriage operations	

Table 21 Potential radiological consequences of severe transport accidents involving bulk shipments of consumer products

Product category	<u>Effective/equivalent dose* (μSv)</u>	
	Public	Fire fighting/clean-up and landfill personnel
Ionisation smoke detectors	< 0.5	<20
Thoriated welding electrodes	insignificant	insignificant
Lighting products and related devices	< 2.5 (skin)	insignificant
Incandescent gas mantles	< 1	< 20
	* Representative for a severe "crash and burn" accident scenario and associated recovery operations	

Abb. 2.1 Ergebnisse der NRPB/GRS-Studie

2.2.3 Harvey et al: Assessment of the Radiological Impact of the Transport and Disposal of Light Bulbs Containing Tritium, Krypton-85 and Radioisotopes of Thorium, HPA-CRCE-008, October 2010

Die Health Protection Agency (HPA) wurde von der European Lamp Companies Federation (ELC) beauftragt, eine Studie über die radiologischen Auswirkungen beim Transport und bei der Entsorgung von Glühbirnen zu erstellen, die Tritium, Krypton-85 und Thorium Radioisotope beinhalten /HAR 10/.

Betrachtet werden Hochdruck-Entladungslampen (HID-Lampen) mit Kr-85 und Th-232/228 sowie Lampen mit Tritium. Letztere werden im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Der Bericht basiert auf Annahmen typischer Lampentypen, deren Aktivität und Aktivitätskonzentration pro Lampe, den Packungsgrößen, Palettengrößen und damit verbundenen Aktivitäten pro Palette, sowie verschiedener transportspezifischer Szenarien. Zum einen werden fünf Szenarien für den routinemäßigen Transport angenommen (T1 – T5) und zum anderen drei Unfallszenarien (A1 – A3). Ein weiterer Teil des Berichts befasst sich mit Betrachtungen nach einer Verbringung zur Deponie und den damit verbundenen langfristigen Folgen, die jedoch nicht für den Transport relevant sind und daher hier nicht weiter diskutiert werden.

Transportszenarien unter normalen Bedingungen:

Szenario T1: Transport von der Fertigungsanlage zum Verteilerzentrum auf der Straße

Szenario T2: Transport vom Verteilerzentrum zum Einzelhandelszentrum per Flugzeug

Szenario T3: Transport vom Verteilerzentrum zum Einzelhandelszentrum per Schiff

Szenario T4: Transport von gebrauchten Lampen zu einer Deponie

Szenario T5: Transport von gebrauchten Lampen zu einer Wiederverwertungsanlage

Unfallszenarien:

Szenario A1: Verkehrsunfall

Szenario A2: Beschädigung des Versandstücks an einem Umschlagplatz

Szenario A3: Brand in der Verladestelle eines Lagerhauses

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Szenarien T1 – T3 für Neuware gelten und T4 – T5 für gebrauchte Produkte ohne Verpackung.

Für die jeweiligen Szenarien werden teilweise verschiedene Betroffene betrachtet. So werden beispielsweise in Szenario T1 sowohl die Exposition der LKW-Fahrer, Lagerarbeiter, sowie die Exposition der Bevölkerung berechnet. Die Art der Exposition in den Fällen T1 – T5 ist auf externe Exposition beschränkt. Zusätzlich werden in den Unfallszenarien auch generell die Inhalation und in A2 auch speziell die Hautdosis von Lagerarbeitern berücksichtigt.

Es wird angenommen, dass maximal 20 Paletten gemeinsam transportiert werden. Ein Arbeiter, z. B. beim Verladen, wird jeweils mit einer Palette konfrontiert. Für die Szenarien T4 – T5 werden zusätzlich noch kleinere Einheiten angesetzt. Es ist hier anzumerken, dass insbesondere bei dem in A1 betrachteten Verkehrsunfall von einer betroffenen Palette ausgegangen wird, auch wenn die Gesamtladung 20 Paletten umfasst. Insgesamt ergeben sich durch diese Annahmen maximal beförderte Aktivitäten von 360 MBq für Kr-85 und 2 MBq für Thorium.

Die Ergebnisse der Studie lassen sich in vier Tabellen darstellen, die sowohl die berechneten Dosen pro Jahr für die verschiedenen Lampentypen als auch die daraus resultierende Aktivitätsgrenze für Krypton und Thorium für jedes Szenario beinhalten. Diese Tabellen sind aus der Studie entnommen und als Abbildungen im Folgenden eingefügt. Abb. 2.2 zeigt die Ergebnisse für Krypton für die Szenarien T1 – T5, Abb. 2.3 für die Unfallszenarien von Krypton. Entsprechend sind die Ergebnisse für Thorium in Abb. 2.4 und Abb. 2.5 dargestellt.

Zusammenfassend konnten in der HPA-Studie alternative Aktivitätsgrenzwerte für Kr-85 und Thorium ermittelt werden. Es ergeben sich folgende Werte, die beide durch das Szenario T5 dominiert sind:

$4,0 \cdot 10^7$ Bq für Kr-85

$6,3 \cdot 10^4$ Bq für Thorium

Diese Werte liegen um einen Faktor 4000 bzw. 60 über den gültigen Aktivitätsgrenzwerten nach den IAEA-Transportregularien /IAEA 12a/ bzw. den in Deutschland verbindlichen Regelungen wie z. B. des ADR /ADR 15/ etc.

Zusätzlich wird als Ergebnis eine Bewertung lediglich der neuwertigen, verpackten und unbenutzten Produkte erstellt. Dies entspricht der Vernachlässigung von den Szenari-

en T4 - T5. Die daraus resultierenden maximalen alternativen Aktivitätsgrenzwerte belaufen sich auf $5,0 \cdot 10^8$ Bq für Kr-85 und $2,9 \cdot 10^6$ Bq für Thorium. Die ausschlaggebenden Szenarien sind nun T1 sowohl für Kr-85 als auch für Thorium. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Hautdosis für Thorium aus Szenario A2 mit $3,4 \cdot 10^5$ Bq noch einen geringeren Wert für die alternative Aktivitätsgrenze darstellt.

Table 10. Doses from transport of lamps containing ⁸⁵Kr for routine scenarios

Scenario	Dose ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)			Activity corresponding to exemption dose criterion (Bq)*
	LKR85_1	LKR85_2	LKR85_3	
Transport from manufacturing to distribution centre by road (Scenario T1)				
Lorry driver	$7.2 \cdot 10^0$	$3.6 \cdot 10^0$	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^8$
Warehouse worker	Loading lamps	$2.8 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$
	Other duties	$5.2 \cdot 10^0$	$2.6 \cdot 10^0$	$9.8 \cdot 10^{-5}$
	Total	$5.5 \cdot 10^0$	$2.7 \cdot 10^0$	$1.9 \cdot 10^{-3}$
Member of the public	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$7.8 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{11}$
Transport from distribution centre to retail centre by plane (Scenario T2)				
Flight crew	$2.5 \cdot 10^0$	$1.3 \cdot 10^0$	$8.8 \cdot 10^{-4}$	$7.2 \cdot 10^8$
Passengers	$2.4 \cdot 10^{-1}$	$1.2 \cdot 10^{-1}$	$8.4 \cdot 10^{-5}$	$7.5 \cdot 10^9$
Workers loading lamps on planes	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$5.6 \cdot 10^{-2}$	$3.9 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^9$
Transport from distribution centre by sea (Scenario T3)				
Crew members on ferry	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$7.5 \cdot 10^{-2}$	$5.3 \cdot 10^{-5}$	$2.4 \cdot 10^{10}$
Transport to landfill site (Scenario T4)				
Waste collector	$4.1 \cdot 10^{-5}$	$4.1 \cdot 10^{-5}$	$3.5 \cdot 10^{-5}$	$8.2 \cdot 10^7$
Transport to recycling plant (Scenario T5)				
Waste collector	Driving	$8.6 \cdot 10^{-2}$	$4.3 \cdot 10^{-2}$	$4.3 \cdot 10^{-3}$
	Loading	$3.4 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$
	Total	$8.9 \cdot 10^{-2}$	$4.5 \cdot 10^{-2}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$

Notes:
*: For routine transport scenarios the dose criterion is $10 \mu\text{Sv y}^{-1}$.

Abb. 2.2 Ergebnisse für Kr-85 – Szenarien T1 – T5

Table 11. Doses from transport of lamps containing ⁸⁵Kr for accident scenarios

Scenario	Dose (mSv y^{-1})			Activity corresponding to exemption dose criterion (Bq)*
	LKR85_1	LKR85_2	LKR85_3	
Road accident (Scenario A1)				
Lorry driver	$3.2 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-7}$	$5.7 \cdot 10^{10}$
Clean-up worker	-	-	-	-
Members of the public	$2.6 \cdot 10^{-8}$	$1.3 \cdot 10^{-8}$	$9.1 \cdot 10^{-9}$	$6.9 \cdot 10^{14}$
Package damaged at cargo handling bay (Scenario A2)				
Fork lift truck driver	$8.5 \cdot 10^{-8}$	$4.2 \cdot 10^{-8}$	$4.2 \cdot 10^{-12}$	$1.4 \cdot 10^{12}$
Repackaging	Skin dose	-	-	-
	Effective dose	-	-	-
Fire at a cargo handling bay (Scenario A3)				
Fire-fighter	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$7.8 \cdot 10^{-8}$	$1.6 \cdot 10^{12}$
Clean-up worker	-	-	-	-

Notes:
*: For accident scenarios the dose criterion for exemption is 1 mSv for effective dose and 50 mSv y^{-1} for dose to the skin.

Abb. 2.3 Ergebnisse für Kr-85 - Szenarien A1 - A3

Table 12. Doses from transport of lamps containing ²³²Th for routine scenarios

Scenario	Dose ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)				Activity corresponding to exemption dose criterion (Bq)*
	LTH232_1	LTH232_2	LTH232_3	LTH232_4	
Transport from manufacture to distribution centre by road (Scenario T1)					
Lorry driver	$7.0 \cdot 10^0$	$7.0 \cdot 10^0$	$1.7 \cdot 10^0$	$7.0 \cdot 10^{-2}$	$2.9 \cdot 10^6$
Warehouse worker	Loading lamps	$2.7 \cdot 10^{-1}$	$2.7 \cdot 10^{-1}$	$6.8 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$
	Other duties	$5.0 \cdot 10^0$	$5.0 \cdot 10^0$	$1.3 \cdot 10^0$	$5.0 \cdot 10^{-2}$
	Total	$5.3 \cdot 10^0$	$5.3 \cdot 10^0$	$1.3 \cdot 10^0$	$5.3 \cdot 10^{-2}$
Member of the public	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$5.5 \cdot 10^{-3}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$9.1 \cdot 10^8$
Transport from distribution centre to retail centre by plane (Scenario T2)					
Flight crew	$2.4 \cdot 10^0$	$2.4 \cdot 10^0$	$6.1 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$4.1 \cdot 10^6$
Passengers	$2.3 \cdot 10^{-1}$	$2.3 \cdot 10^{-1}$	$5.8 \cdot 10^{-2}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$4.3 \cdot 10^7$
Workers loading lamps on planes	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$2.7 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$9.3 \cdot 10^6$
Transport from distribution centre by sea (Scenario T3)					
Crew members on ferry	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$3.6 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^8$
Transport to landfill site (Scenario T4)					
Waste collector	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-3}$	$2.6 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^5$
Transport to recycling plant (Scenario T5)					
Waste collector	Driving	$3.0 \cdot 10^{-1}$	$3.0 \cdot 10^{-1}$	$7.6 \cdot 10^{-2}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$
	Loading	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$
	Total	$3.2 \cdot 10^{-1}$	$3.2 \cdot 10^{-1}$	$7.9 \cdot 10^{-2}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$

Notes:
 *: For routine transport scenarios the dose criterion for exemption is $10 \mu\text{Sv y}^{-1}$

Abb. 2.4 Ergebnisse für Thorium – Szenarien T1 - T5

Table 13. Doses from transport of lamps containing ²³²Th for accident scenarios

Scenario	Dose (mSv y^{-1})				Activity corresponding to exemption dose criterion (Bq)*, #	
	LTH232_1	LTH232_2	LTH232_3	LTH232_4		
Road accident (Scenario A1)						
Lorry driver	-	-	-	-	-	
Clean-up worker	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$6.7 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^9 - 1.7 \cdot 10^9$	
Members of the public	$2.4 \cdot 10^{-5}$	$2.4 \cdot 10^{-5}$	$6.0 \cdot 10^{-5}$	$2.7 \cdot 10^{-7}$	$3.7 \cdot 10^9 - 4.2 \cdot 10^9$	
Package damaged at cargo handling bay (Scenario A2)						
Fork lift truck driver	-	-	-	-	-	
Repackaging	Skin dose	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$3.4 \cdot 10^5$
	Effective dose	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-7}$	$2.9 \cdot 10^{-9}$	$1.2 \cdot 10^{-9}$	$8.6 \cdot 10^8$
Fire at a cargo handling bay (Scenario A3)						
Fire-fighter	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$6.7 \cdot 10^{-5}$	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$6.5 \cdot 10^9 - 7.4 \cdot 10^9$	
Clean-up worker	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-5}$	$7.5 \cdot 10^8 - 8.4 \cdot 10^8$	

Notes:
 *: For accident scenarios the dose criterion for exemption is 1 mSv y^{-1} for effective dose and 50 mSv y^{-1} for dose to the skin.
 #: Lower value is for LTH232_4

Abb. 2.5 Ergebnisse für Thorium - Szenarien A1 - A3

2.2.4 Schneider et al.: Systematic Radiological Assessment of Exemptions for Source and Byproduct Materials, USNRC, NUREG-1717, June 2001

Das Dokument NUREG-1717 /NRC 01/ der USNRC von 2001 ist eine weitreichende und systematische Studie über die Freistellung von radioaktiven Quellen und Nebenprodukten. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus von Produkten betrachtet, die nicht ausschließlich transportspezifisch sind. Insbesondere wird die Strahlenexposition der Bevölkerung betrachtet, sowohl für den normalen Lebenszyklus als auch für Unfallszenarien. Der normale Lebenszyklus enthält die Verteilung und den Transport, den normalen Umgang sowie die Entsorgung des Produkts. Für die Unfallszenarien und den Missbrauch werden im Gegensatz zu dem normalen Umgang nur individuelle Dosen ermittelt.

Insgesamt wird eine Vielzahl an Produkten betrachtet. Die Studie umfasst sowohl Leuchtfarben (z. B. für Autoschlösser, Kompass und Navigationsinstrumente) als auch unbearbeitetes Eisenerz, gasgefüllte Detektoren, mit Thorium bestückte Produkte (z. B. Schweißelektroden, Glühlampen, Neutronendosimeter, Vakuumröhren, optische Linsen, Nickel-Thorium-Legierungen im Flugzeugbau), etc. Aufgrund dieser systematischen Studie umfassen die Glühlampen lediglich einen geringen Anteil und decken nur Thorium-Lampen ab, jedoch keine mit Krypton gefüllten Lampen.

Neben den Szenarien des routinemäßigen Umgangs (Verteilung, Transport, Verwendung und Entsorgung) werden Unfallszenarien betrachtet, die die Zerstörung der Lampen und ein Feuer in einer Lagerhalle berücksichtigen. Ohne konkrete Lampentypen anzunehmen wird eine Abschätzung anhand der allgemeinen Vorgehensweise für alle Produkte der Studie (beschrieben in Anhang A des Dokuments) durchgeführt. Im Fall des normalen Umgangs wird die effektive Dosis für z. B. den Transport von 1 Millionen Lampen pro Jahr mit je 45 µg Thorium mit kleiner als $1 \cdot 10^{-5}$ mSv/a abgeschätzt.

Für die beiden Unfallszenarien ergeben sich folgende Ergebnisse. Das Zerschlagen einer einzelnen Lampe in einem Raum führt unter Berücksichtigung von Inhalation und Ingestion zu einer effektiven Dosis von 0,002 mSv. Für das zweite Szenario, dem Brandfall, wurden sowohl Wohnräume (27 m^3), ein kleiner Lagerraum (300 m^3), als auch eine Lagerhalle (3000 m^3) betrachtet. Die größte Belastung ergibt sich in dem kleinen Lagerraum unter der Annahme, dass sich hier 1000 Lampen mit maximaler Aktivität befinden. Die effektive Dosis wird zu 0,09 mSv berechnet. Dabei wurde kein Atemschutz (bei einer Atemrate von $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$) angenommen.

Zusammenfassend stellt der Bericht die Strahlenbelastung von Thorium-Lampen als sehr gering dar, gibt jedoch keine Aktivitätsgrenzwerte an. Eine Übersicht der berechneten Werte ist in Abb. 2.6 gegeben.

Table 3.7.1 Summary of Potential Radiation Doses From Use of Electric Lamps Containing Thorium ^a

Exposure Scenario	Individual Annual Effective Dose Equivalent (mrem)^c	Collective Effective Dose Equivalent^b (person-rem)^c
Distribution and transport ^b	<0.001 ^d	<0.001
<u>Routine use</u>		
Lighting ^e	<0.001 ^f	0.02
Auto signal lamps	<0.001 ^g	0.09
<u>Disposal^b</u>		
Landfills	<0.001 ^h	0.01 ⁱ
Incinerators	<0.001 ^j	<0.001
<u>Accidents or misuse^k</u>		NA ^m
Lamp breakage	<0.001	
Home fire	<0.001	
Storage room fire	0.008 ^l	
Warehouse fire	<0.001	

Abb. 2.6 Ergebnis der NUREG-1717 Studie

2.2.5 Bewertung

Das im Rahmen des Vorhabens 3611R03300 entwickelte Berechnungstool BerFg „Programm zur Berechnung von Freigrenzen gemäß RP65“ wurde für die Verwendung in diesem Vorhaben weiterentwickelt. Um einzelne oder eine individuelle Gruppe an Szenarien zu betrachten, z. B. nur transportspezifische Szenarien, erlaubt eine graphische Oberfläche nun die Selektion jedes möglichen Szenarios. Die anschließende Berechnung der Freigrenzen berücksichtigt die aktivierten Szenarien und ermittelt dadurch alternative Werte für Freigrenzen. Diese Anpassung des Berechnungstools wurde insbesondere im Hinblick auf die Unterstützung des BfS bzw. BfE im Genehmigungsverfahren OSRAM, siehe Abschnitt 2.3, und die Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung von alternativen Aktivitätsgrenzwerten, siehe Abschnitt 2.4, durchgeführt.

Im Zuge der Bewertung der bereits vorliegenden Berichte und Berechnungen wurden weitere Excel-basierte Rechentools entwickelt, die zum einen die dargelegten Rechnungen nachvollziehen können aber zum anderen auch die Möglichkeit für Anpassun-

gen von Eingangsparametern erlauben. Die Berechnungstools werden im Folgenden im Detail beschrieben.

a) IAEA-TECDOC-1679, siehe Abschnitt 2.2.1

Alle angegebenen Szenarien wurden nachvollzogen und den entsprechenden RP 65 Szenarien gegenübergestellt. Sämtliche Eingangsparameter sind individuell zugänglich und können variiert werden, um direkt den Einfluss auf die alternativen Werte für Freigrenzen ablesen zu können. Dabei wurden zwei unabhängige Tabellenblätter für jeweils Krypton und Thorium erstellt. Ein Beispiel ist in Tab. 2.3 gegeben. Hier ist das Szenario anlehnend an A1.1 aus RP 65 für Thorium abgebildet. In der ersten Spalte befindet sich die physikalische Größe, in Spalte zwei der im TECDOC-1679 gewählte Wert, in Spalte drei die entsprechende Einheit, sowie in Spalte vier der Vergleichswert aus RP 65. Eine Abfrage innerhalb des Tools erlaubt die Ermittlung der alternativen Freigrenzen, die aus allen verwendeten Szenarien hervorgeht.

b) NRPB/GRS-Bericht, siehe Abschnitt 2.2.2

In einem ähnlichen Verfahren wie für das oben genannte Berechnungstool wurden die Szenarien im NRPB/GRS-Bericht abgebildet. Hierbei wurden sowohl die Berechnungen für Krypton und Thorium, als auch die Szenarien in Appendix III des NRPB/GRS-Berichts nachvollzogen. Zwar sind letztere Rechnungen insbesondere für Am-241 ausgelegt, können aber in Zukunft ebenfalls relevant werden, z. B. für allgemeine Verfahren zur Berechnung von alternativen Aktivitätsgrenzwerten. Da sich die Szenarien in Appendix III auf RP 65 Szenarien beziehen, wurden diese entsprechend mit in das Tool zum direkten Vergleich aufgenommen.

c) HPA-CRCE-008, siehe Abschnitt 2.2.3

In Analogie zu den bereits beschriebenen Berechnungstools wurden die dominierenden Szenarien aus der HPA-Studie nachvollzogen. Dabei wurde der Fokus auf die Szenarien T1 – T5 und A1 – A3 jeweils für Krypton und Thorium gelegt. Ein Beispiel für das Szenario T1 für Krypton ist in Tab. 2.4 gegeben. Hier befindet sich der Parameter, bzw. die physikalische Größe in Spalte eins, während der Wert und die entsprechende Einheit in den Spalten zwei und drei angegeben sind. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Dosisleistungskoeffizienten (DR) nicht explizit in der Studie angegeben sind. Über eine Rückwärtsrechnung wurde in allen Fällen der vermutlich in der HPA-Studie eingesetzte Wert ermittelt. Eine Plausibilitätsprüfung erfolgte durch die unabhängige Bestimmung der Dosisleistungskoeffizienten durch

Berechnungen mit MicroShield (Version 6.02) sowie teilweise durch den Monte-Carlo-Code Geant4. In den Fällen T1 – T5 konnte eine gute Übereinstimmung mit den Rückwärtsrechnungen erzielt werden, sodass die Dosisleistungskoeffizienten als plausibel angenommen werden konnten. Abweichungen von im Mittel 5 % können durch die nicht eindeutig beschriebene Geometrie oder die gewählten Abschirmungen erklärt werden. Für die Unfallszenarien A1 – A3 sind die Geometrien nicht detailliert genug beschrieben, um eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen.

Tab. 2.3 Beispiel aus dem TECDOC-1679-Berechnungstool

Szenario External exposure by handling			
A1.1	TECDOC	Unit	RP65
A_limit	1,39E+03	Bq/g	6,33E+03
E	0,52	μSv/accident	1,58E-03
R_7	1,65E-07	Sv/h/(Bq/cm ²)	1,65E-07
R_24	1,94E-06	Sv/h/(Bq/cm ²)	1,94E-06
T	2	h	25
contact	100	cm ²	179
body	10000	cm ²	10000
w_skin	0,01		0,01
C	72	Bq/g	1
U	17,100	g/cm ²	0,168
As	1231,200	Bq/cm ²	0,168
M	-	g	30

Tab. 2.4 Beispiel aus dem HPA-CRCE-008-Berechnungstool

85Kr

Szenario: T1 (Lorry driver)		
Parameter	Value	Unit
A_limit	5,00E+08	Bq
E	7,20E+00	μSv/a
A	3,60E+08	Bq
DR	5,00E-17	Sv/h/Bq
T	400	h/a

Ein wichtiger Aspekt bei den Berechnungen von Kr-85 ist der Anteil der durch die Betastrahlung erzeugten Bremsstrahlung an der Dosisleistung. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,434 % resultiert aus einem Zerfall von Kr-85 ein Gammaquant mit einer Energie von 514 keV. Jedoch werden die Betastrahlen, die ein kontinuierliches Energiespektrum aufweisen (maximale Energie: 687 keV, mittlere Energie:

251 keV) bereits in der Hülle des Leuchtmittels gestoppt. Dabei können Wechselwirkungen auftreten, die eine Entstehung von Bremsstrahlung zur Folge haben. Sowohl die 514 keV-Linie (DL_{514}) als auch die Bremsstrahlungsphotonen (DL_{Brems}) erzeugen einen Anteil an der Dosisleistung. Das Verhältnis der beiden Anteile wird in den Dokumenten unterschiedlich angegeben. Während $DL_{\text{Brems}} / DL_{514}$ im TECDOC-1679 Dokument mit 1 angegeben ist, verwendet die HPA-Studie einen Wert von 0,7. Für die weiteren Berechnungen ist eine Annahme dieses Verhältnisses sinnvoll, da die MicroShield Rechnungen, die z. B. in der HPA Studie als Basis für die Dosisleistungskoeffizienten gewählt wurde, Sekundärprozesse wie Bremsstrahlung nicht berücksichtigen kann. Detaillierte Monte-Carlo-Simulationen im Rahmen des Vorhabens konnten eine Erklärung liefern. In den Dokumenten ist nicht eindeutig dargelegt, welche Dosisleistungsgröße bestimmt wurde. Insbesondere unterscheiden sich die verschiedenen Größen in der Eindringtiefe der Strahlung in ein Medium, z. B. menschliches Gewebe. Die Simulationen haben ergeben, dass je nach Eindringtiefe unterschiedliche Verhältnisse resultieren. Dies ist aufgrund der unterschiedlichen Energieverteilungen der beteiligten Gamma-Quanten zu erwarten, denn die niederenergetischen Photonen der Bremsstrahlung werden in den ersten Millimetern des Gewebes bereits verhältnismäßig stark absorbiert, bzw. gestreut. Durch die Simulationen konnten beide Werte reproduziert werden und stellen somit nicht unbedingt einen Widerspruch dar, sondern resultieren möglicherweise aus unterschiedlichen Annahmen und Vorgehensweisen. Dabei zeigt sich, dass ein Verhältnis von 1 abdeckend ist und ein Wert von 0,7 weiterhin konservativ. Diese Aussage resultiert daraus, dass in der Realität der menschliche Körper eine Dicke aufweist und daher nicht die Dosisleistung an einer bestimmten Tiefe ausschlaggebend ist, sondern der Mittelwert über die gesamte Breite des Körpers, bzw. eines Körperteils. Und da das betrachtete Verhältnis mit zunehmender Gewebedicke abnimmt, stellt auch ein Wert von 0,7 einen ausreichend konservativen Wert dar. Beide Studien haben demnach die resultierende Dosisleistung konservativ behandelt und nicht unterschätzt. Unter diesem Gesichtspunkt können beide Vorgehensweisen als nachvollziehbar und gerechtfertigt angenommen werden.

Generell zeichnet sich ab, dass die in der HPA-Studie gewählten Szenarien eine gute Ausgangslage für transportspezifische Berechnungen darstellt. Die Szenarien decken sowohl normale Transportbedingungen (T1 – T5) als auch Unfallszenarien während des Transports (A1 – A3) ab. Während die Szenarien T1 – T5 externe Expositionen berücksichtigen, werden im Fall der Unfallszenarien zusätzlich Inhalation und in einem Fall auch die Hautdosis betrachtet. Es ist darauf hinzuweisen, dass die

gewählten Szenarien für den Transport von Leuchtmitteln sinnvoll gewählt sind, jedoch für andere Güter nicht unbedingt abdeckend sein müssen. Daher sollte je nach Transportgut und dessen Umgang eine Anpassung vorgenommen werden, die unter Umständen auch Ingestion oder eine intensivere Betrachtung der Hautdosis beinhaltet.

d) USNRC NUREG-1717, siehe Abschnitt 2.2.4

Die Studie stellt eine Übersicht über viele Produkte dar ohne im Detail spezifisch auf Lampen einzugehen und die Szenarien an diese eine Thematik anzupassen. Insbesondere sind Krypton-haltige Lampen nicht diskutiert. Außerdem werden keine Grenzwerte angegeben, die als alternative Aktivitätsgrenzwerte herangezogen werden könnten.

Dennoch bieten die allgemeinen Ansätze und Diskussionen in der Studie eine wichtige Grundlage und Rechtfertigung für die Verwendung von einzelnen Parametern wie z. B. Resuspensionsfaktoren und Freisetzunganteile. Diese sind in Anhang A.1 des NUREG-1717-Dokuments diskutiert und mit entsprechenden Referenzen belegt.

Zusammenfassend dient die Studie als wissenschaftliche Grundlage für einige Eingangsparameter und sollte nicht außer Acht gelassen werden, die einzelnen Szenarien sind jedoch für transportspezifische Fragestellungen zu allgemein gehalten und werden daher im Rahmen des Vorhabens nicht weiter berücksichtigt.

2.3 Unterstützung des BfS/BfE im Genehmigungsverfahren OSRAM

Entgegen den Erwartungen traf der erste Antrag für die Genehmigung alternativer Aktivitätsgrenzwerte durch die Lampenindustrie erst mit einiger Verzögerung ein. Der erste Antrag der Lighting Europe (LE) Association vom 3. April 2015 genügte jedoch u. a. nicht den formalen Anforderungen des para. 817 SSR-6 (bzw. entsprechend 6.4.23.10 ADR, s. u.).

Mit E-Mail vom 15.09.2015 wurde der Auftragnehmer mit der Bewertung des Antrags der OSRAM GmbH vom 10.08.2015 beauftragt. Die ersten Ergebnisse der Prüfung des Antrages inklusive der entsprechenden Anlage mit dem Antragsinhalt gemäß para. 817 IAEO SSR-6 wurde dem Auftraggeber am 09.11.2015 in einer kurzen Stellungnahme übermittelt.

6.4.23.10 ADR: „Der Antrag auf Zulassung alternativer Aktivitätsgrenzwerte für eine freigestellte Sendung von Instrumenten oder Fabrikaten muss enthalten:

- a) eine Bezeichnung und genaue Beschreibung des Instruments oder Fabrikats, dessen vorgesehene Verwendungen und das oder die enthaltenen Radionuklide;
- b) die höchste Aktivität des oder der Radionuklide im Instrument oder Fabrikat;
- c) die vom Instrument oder Fabrikat ausgehenden höchsten äußeren Dosisleistungen;
- d) die chemischen und physikalischen Formen des oder der im Instrument oder Fabrikat enthaltenen Radionuklide;
- e) Einzelheiten über den Bau und die Bauart des Instruments oder Fabrikats, insbesondere in Bezug auf die Umschließung und Abschirmung des Radionuklids unter Routine-Beförderungsbedingungen, normalen Beförderungsbedingungen und Unfall-Beförderungsbedingungen;
- f) das anwendbare Managementsystem, einschließlich der für Strahlenquellen, Bauteile und Endprodukte anzuwendenden Qualitätsprüfungs- und Nachweisverfahren, um zu gewährleisten, dass die höchste festgelegte Aktivität der radioaktiven Stoffe oder die für das Instrument oder Fabrikat festgelegten höchsten Dosisleistungen nicht überschritten werden und dass die Instrumente oder Fabrikate gemäß den Bauartspezifikationen gebaut sind;
- g) die höchste Anzahl von Instrumenten oder Fabrikaten, die voraussichtlich je Sendung und jährlich zu befördern sind;
- h) Dosis einschätzungen in Übereinstimmung mit den Grundsätzen und der Methodik, die in den «International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources» (Internationale grundlegende Sicherheitsnormen für den Schutz vor ionisierender Strahlung und für die Sicherheit von Strahlungsquellen), Safety Series No. 115, IAEA, Wien (1996) enthalten sind, einschließlich der Individualdosen für Transportarbeiter und die Öffentlichkeit und, sofern zutreffend, der Kollektivdosen, die bei Routine-Beförderungsbedingungen, normalen Beförderungsbedingungen und Unfall-Beförderungsbedingungen auftreten, auf der Grundlage von repräsentativen Beförderungsszenarien, denen die Sendungen ausgesetzt sind.“

Kernkritikpunkt an dem Antrag der OSRAM GmbH ist die unzulässige Vermischung von Werten und Angaben aus unterschiedlichen Dokumenten, die nicht einfach übertragen werden können, da in vielen Fällen den Werten unterschiedliche Szenarien oder

Annahme zugrunde liegen, die sich jedoch nur aus der vertieften Beschäftigung mit den Originalstudien und weiterer Literatur erschließen. In vielen Punkten sind die Ausführungen zudem unzureichend, gravierende Mängel zeigen sich insbesondere zu den Punkten c) und h) 6.4.23.10 ADR, so dass eine eindeutige Bewertungsgrundlage für die vorgeschlagenen alternativen Aktivitätsgrenzwerte fehlt. Des Weiteren sind die allgemeinen Annahmen und Szenarien in der HPA-Studie nicht maßgeblich für die Bewertung, sondern es sind OSRAM-spezifische Quantifizierungen und abdeckende Annahmen erforderlich, die von OSRAM beschrieben werden müssen. Die deutsche Übersetzung der HPA-Studie wurde aufgrund gravierender Mängel zunächst nicht bewertet, sondern das englische Original betrachtet.

Diese fehlenden Punkte wurden nochmals am 21.01.2016 in einem Dokument detailliert aufgeschlüsselt und dem Auftraggeber als Vorbereitung für ein Treffen des BfS mit dem Vertreter der OSRAM GmbH am 28.01.2016 zur Verfügung gestellt. Die GRS hat an diesem Treffen teilgenommen und die offenen Punkte wurden ausführlich zwischen den Teilnehmern diskutiert. Insbesondere wurde deutlich, dass von OSRAM neben den geforderten Details und Eingangsparameter auch die Betrachtung der Beförderung ausgedienter Produkte zum Recycling nachgeliefert werden muss. Die HPA-Studie kann insgesamt eine Grundlage für die von OSRAM zu erbringenden Nachweise bilden, ist jedoch wegen ihres allgemein gehaltenen Charakters nicht ausreichend. Vielmehr sind die für Deutschland gültigen Bedingungen und abdeckenden Szenarien zu spezifizieren und zu berücksichtigen. Mit den zum Teil auch widersprüchlichen Angaben im bisherigen Antrag können die beantragten alternativen Aktivitätsgrenzwerte vom Auftragnehmer nicht bestätigt werden. Dementsprechend wurde OSRAM vom BfS aufgefordert, die „Anlage zum Antragsschreiben“ und die deutsche Übersetzung der HPA-Studie entsprechend der Ergebnisse der Besprechung zu überarbeiten.

In einer ersten Reaktion auf die Entscheidung des BfS hat OSRAM eine weitere Studie bei Public Health England (PHE), ehemals HPA, in Auftrag gegeben, die in Anlehnung an die HPA-Studie eine für OSRAM in Deutschland spezifische Auswertung enthalten soll. Ein erster Entwurf der vorgeschlagenen Methodik wurde dem BfE, vormals BfS, und der GRS am 8. März 2017 zur Verfügung gestellt. In einer gemeinsamen Video-Konferenz am 15. März 2017 wurde der Entwurf durch Vertreter von PHE, OSRAM, BfE, BMUB sowie GRS diskutiert. Die zu überarbeitenden Aspekte wurden in einem Protokoll durch die GRS festgehalten. Die mit allen Teilnehmern abgestimmte Version des Protokolls wurde den Teilnehmern am 22. Mai 2017 zur Verfügung gestellt. Obwohl der Entwurf bereits die Situation von OSRAM in Deutschland berücksichtigte,

konnten einige Aspekte identifiziert werden, die nicht ausreichend dargelegt wurden. So wurde zum einen nicht eindeutig herausgearbeitet, nach welchen Kriterien die betrachteten Leuchtmittel-Typen ausgewählt wurden und ob sie eine abdeckende Auswahl darstellen. Als Lösung wurde vorgeschlagen, eine vollständige Liste aller Leuchtmittel mit radioaktiven Isotopen zur Verfügung zu stellen, anhand derer die engere Auswahl der Typen für die Berechnungen nachvollzogen werden kann. Weiterhin sollten die Berechnungen vollständig samt Eingangsparameter, insbesondere die anhand anderer Programme bestimmten Dosisleistungskoeffizienten, dargelegt werden. Dies schließt die Begründung der Wahl der verwendeten Werte mit ein. Bezüglich der einzelnen Szenarien wurde beschlossen, die Transporte durch Flugzeuge sowie Schiffe ebenfalls zu berücksichtigen und auch Transportunfälle detaillierter zu betrachten. Weiterhin sollte die Bevölkerung in den Szenarien berücksichtigt werden.

Am 8. August 2017 übersendete PHE eine überarbeitete Version der Methodik, die im Wesentlichen die geforderten Ergänzungen berücksichtigt. Nicht explizit beantwortet wurden die Fragen nach dem Einfluss eines Feuers in einem Tunnel sowie der Hintergrund von einem Anteil an radioaktiven Leuchtmitteln von lediglich 1 % in den Lagern bei bis zu 50 % radioaktiver Leuchtmittel bei den Transporten. Da jedoch generell ein Brand-Szenario bei den Unfall-Szenarien gewählt und diskutiert wurde, dass es sich hierbei um das dominierende Unfall-Szenario handelt, kann von einer impliziten Beantwortung ausgegangen werden. Bezüglich des prozentualen Anteils der radioaktiven Leuchtmittel im Lager bzw. bei den Transporten geben die neuen detaillierten Angaben in dem Entwurf ein deutlicheres Bild der Transport-Situation von OSRAM, sodass die Darlegungen als ausreichend angesehen werden können. Generell stellt somit die neue Methodik der PHE eine deutliche Verbesserung dar und deckt die verlangten Ergänzungen bisher zufriedenstellend ab. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass nicht alle Forderungen der Genehmigungsbehörde bereits in der Methodik umzusetzen sind, sondern sich auch auf die Umsetzung der Berechnungen und deren Dokumentation beziehen. Dies betrifft beispielsweise als wesentlichen Aspekt die Dokumentation der verwendeten Dosisleistungskoeffizienten, um die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen zu gewährleisten. Da die Berechnungen der Dosisleistungskoeffizienten zum Vorhabensende noch nicht vorliegen, kann deren Dokumentation noch nicht geprüft werden.

Weiterhin wurde vom BfE eine Sicherheitsspanne gefordert, mit der die Ergebnisse zu belegen sind, um zukünftige Veränderungen, Unsicherheiten und die Robustheit der Berechnungen zu berücksichtigen. Darüber hinaus gilt es, die Ergebnisse dahingehend

darzustellen, dass deren Konservativität gegeben und klar herausgearbeitet ist. Da bisher lediglich der Entwurf für die Methodik vorliegt und nicht der fertige Bericht der Studie sowie die entsprechenden Ergebnisse, können diese Aspekte derzeit nicht begutachtet werden. Des Weiteren dient die Studie lediglich dem wissenschaftlichen Hintergrund und den Berechnungen, während der Antragsteller OSRAM anhand dieser Daten einen neuen Antrag bei der Genehmigungsbehörde einzureichen hat. Auch die Qualität und Vollständigkeit dieses Antrags muss den Anforderungen des BfE entsprechen. Da das Einreichen eines neuen Antrags durch OSRAM derzeit nicht absehbar ist, kann auch hier keine Prüfung im Vorhabenszeitraum durchgeführt werden.

2.4 Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung von alternativen Aktivitätsgrenzwerten

Wie in Abschnitt 2.2 dargelegt, können mit den dort beschriebenen Berechnungstools grundsätzlich bereits alternative Aktivitätsgrenzwerte nachvollzogen bzw. mit veränderten Parametern neu berechnet werden. Für das weitere Vorgehen im Rahmen dieses Vorhabens war geplant, die transportspezifischen Szenarien der HPA-Studie /HAR 10/ als Ausgangsbasis für das erstellte Berechnungsverfahren zu verwenden. Dementsprechend wurde das bereits 2015 vorhandene Berechnungstool ausgeweitet und insbesondere mit einer bedienerfreundlichen Nutzeroberfläche versehen. Dabei sollten die wichtigen Eingangsparameter in einer Eingabemaske abgefragt werden. Die zugrundeliegenden Berechnungsformeln wurden in entsprechenden Datenblättern für die einzelnen Szenarien hinterlegt. Darüber hinaus wurde auch die Möglichkeit zur Definition von neuen Szenarien durch den Anwender gegeben, um auf geänderte Randbedingungen in zukünftigen Anträgen reagieren zu können.

Das Berechnungstool wurde dem BfE beim Projektgespräch am 12. und 13. Dezember 2016 vorgestellt. Da sich zu diesem Zeitpunkt der Antragsteller OSRAM entschieden hatte, eine neue Studie durch HPE erstellen zu lassen, verzögerte sich das Verfahren auf unbestimmte Zeit und ist wie bereits beschrieben zum Ende dieses Vorhabens noch nicht abgeschlossen. Das Berechnungstool hatte jedoch zum Ziel, die zur Genehmigung führenden Berechnungen abzubilden und zu generalisieren. Dies ist ebenfalls aufgrund des noch laufenden Genehmigungsverfahrens nicht vollständig möglich und es konnte nicht wie geplant aus den Erfahrungen profitiert werden. Daher wurde entschieden, die Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung von alternativen Aktivitätsfreigrenzen nicht nur auf der Entwicklung des Berechnungstools fußen zu lassen.

Auf dem Projektgespräch am 12. und 13. Dezember 2016 wurde beschlossen, einen Leitfaden für die Antragstellung zu entwickeln, der Unterstützung zu einer erfolgreichen Antragstellung bieten kann. Dieser Leitfaden wurde im Entwurf dem BfE am 23. Mai 2017 zur Abstimmung zur Verfügung gestellt. Zum Abschluss des Vorhabens wird der Leitfaden in seiner ergänzten Fassung dem BfE übergeben. Dieser Leitfaden deckt die Erfahrungen mit dem Antragsteller OSRAM ab und hat zum Ziel, dem Antragsteller Hilfestellung für die Erstellung eines strukturierten und vollständigen Antrags zu bieten. Darin spiegeln sich zudem die Erwartungen der Genehmigungsbehörde, sowie ein Vorschlag für Berechnungsmethoden und der erwartete Detaillierungsgrad der notwendigen Angaben wider. Die wesentlichen aufzuführenden Aspekte werden in dem Leitfaden hervorgehoben, um so dem Antragsteller eine klare und strukturierte Vorgabe für seinen Antrag zur Verfügung zu stellen. Weitere Details werden im Abschnitt 2.4.1 vorgestellt. Würde ein Antrag dem Leitfaden folgend eingereicht, kann das Berechnungstool herangezogen werden, um die Berechnungen nachzuvollziehen. Die Übersichtlichkeit des Tools bietet die Möglichkeit, unkompliziert und zeitnah eine Beurteilung der Berechnungen durchzuführen. Details über das Berechnungstool werden im Abschnitt 2.4.2 präsentiert. Zusammenfassend wurde das Ziel der Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung von alternativen Aktivitätsfreigrenzen durch die Kombination eines Leitfadens zur Antragstellung und eines Berechnungstools für die Genehmigungsbehörde erreicht.

2.4.1 Inhalte des Leitfadens

Der Leitfaden zur Antragserstellung auf Genehmigung alternativer Aktivitätsgrenzwerte ist nach den Vorgaben von 6.4.23.10 ADR strukturiert. Die im ADR geforderten Aspekte werden daher im Leitfaden im Anschluss an eine generelle Einleitung sukzessive diskutiert. Wie bereits in Abschnitt 2.3 vorgestellt, handelt es sich dabei um acht Anforderungen, die von a) bis h) durchnummeriert sind. Entsprechend dieser Vorgabe ist auch der Leitfaden kapitelweise gegliedert. Jedes Kapitel, das sich mit einer dieser Nummern a) bis h) gemäß 6.4.23.10 ADR beschäftigt, ist weiterhin in eine Einleitung, eine Merkpostenliste und eine Erläuterung untergliedert. Diese Wiederkehrende Struktur soll dem Antragsteller helfen, sowohl den Hintergrund der Anforderung zu verstehen, als auch die geforderte Detailtiefe umzusetzen. Dabei bietet insbesondere die Merkpostenliste eine klare Aufzählung aller wichtigen im Antrag darzulegenden Aspekte, die der Antragsteller gezielt abarbeiten kann, um einen lückenlosen Antrag zu erstellen. Der jeweilige Abschnitt mit den Erläuterungen enthält sowohl Aussagen zu der

geforderten Detailtiefe als auch Hinweise, die aus den Erfahrungen mit dem Antragsteller OSRAM gewonnen werden konnten. Insbesondere wurde das Kapitel zur Dosisberechnung mit detaillierten Informationen zu einer möglichen Vorgehensweise versehen. Dabei wurden Gleichungen sowohl für den Normaltransport sowie für Unfallszenarien zur Verfügung gestellt. Diese Gleichungen basieren auf der HPA-Studie und decken bei korrekter Anwendung die notwendigen Berechnungen für den Antrag ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die konkreten Szenarien an die Gegebenheiten des Antragstellers anzupassen sind. Die Auswahl der Gleichungen ist jedoch derart gestaltet, dass sie sich für die meisten denkbaren Szenarien anwenden lassen. Entsprechend greift das Berechnungstool diese Gleichungen auf und ermöglicht der Genehmigungsbehörde eine einfache und schnelle Prüfung der Berechnungen des Antragstellers. Die Details und die Nutzung des Tools werden im folgenden Abschnitt vorgestellt.

2.4.2 Das Berechnungstool

Wie bereits beschrieben, stellt die HPA-Studie aus Sicht der GRS sowie der Genehmigungsbehörde einen Satz an Szenarien mit entsprechenden Gleichungen vor, die einer Begutachtung standgehalten haben, mit dem Ergebnis, dass die Studie als ausreichende Basis für eine Antragstellung für alternative Aktivitätsgrenzwerte erachtet wird. Daher wurde diese Berechnungsgrundlage ebenfalls im Leitfaden zur Antragserstellung auf Genehmigung alternativer Aktivitätsgrenzwerte verwendet und kann dem Antragsteller als mögliche Vorlage dienen. Geht ein Antrag bei der Genehmigungsbehörde ein, so ist dieser inklusive der Berechnungen zu prüfen. Um der Behörde eine schnelle Prüfung der Berechnungen zu ermöglichen, wurde im Rahmen des Vorhabens neben dem Leitfaden ein begleitendes Berechnungstool entwickelt, das die Berechnungen der HPA-Studie abbildet und zusätzlich die Möglichkeit gibt, eigene Szenarien zu gestalten. Das Tool hat zum Ziel, eine übersichtliche und nutzerfreundliche Struktur zu bieten, damit sich ein Behördenvertreter möglichst schnell und unkompliziert in das Tool einfinden und ohne besonderen Zeitaufwand eigene Berechnungen durchführen kann.

Das Tool wurde aus den genannten Gründen mit einem Programm erzeugt, auf das die Behörden Zugriff haben und somit keine neue Software installieren müssen. Aufgrund dieser Vorgehensweise wurde das Programm Microsoft Excel verwendet. Das Tool wurde mit Excel VBA programmiert und die einzelnen Funktionen sowie graphischen Oberflächen werden im Folgenden vorgestellt.

Das Tool startet mit einer nutzerfreundlichen graphischen Oberfläche, siehe Abb. 2.7, von der aus die Navigation in die weiteren Schritte erfolgt.



Abb. 2.7 Graphische Oberfläche beim Start des Berechnungstools

Es stehen vier Optionen zur Verfügung:

- Ein Szenarienmanagement
- Start der Berechnungen
- Ansicht oder Druck der Originaltabellen der HPA-Studie
- Beenden des Programms

Des Weiteren kann die HPA-Studie /HAR 10/ zum Nachschlagen von Details etc. aufgerufen werden.

Das Szenarienmanagement verwaltet gespeicherte Szenarien und deren Parameter, die bereits eingegeben wurden. Als Standard sind die Parameter der HPA-Studie hinterlegt, die jederzeit aufgerufen werden können. Möchte der Nutzer einen neuen Satz an Parametern eingeben, kann er direkt über „Berechnung starten“ zur entsprechenden Maske gelangen. Diese Maske ist in Analogie zur HPA-Studie in zwei Bereiche unterteilt, den Normaltransport (T) sowie die Unfallszenarien (A). Ein einfaches Aufrufen des jeweils anderen Bereichs ist über einen Navigationsbutton im oberen linken Teil der Maske möglich. Die beiden Bereiche sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Während in Abb. 2.8 die Szenarien und Parameter der Normalbedingungen gezeigt sind, präsentiert Abb. 2.9 die entsprechende Maske für Unfallbedingungen.

Berechnung "T" (Transport Scenarios)
 Szenario: "Standard (Daten der Originalstudie)" vom 01.11.2010, 12:00:00 Uhr

Annahme pro Lampe

Nuclide	Activity [Bq]	Max. act. conc. [Bq/g]
⁸⁵ Kr	2.00E+03	6.70E+06
²³² Th	1.00E+03	7.40E+01

Limits

1.00E+01 [Bq/g]	Generell exemption level
1000 Bq	Th(nat): Exemption limit
1.00E+04 Bq	⁸⁵ Kr: Exemption activity limit
1.00E+05 Bq/g	⁸⁵ Kr: Exemption activity conc.

ERGEBNIS für alternative Freigrenzen:

Szenarios	Nuclide	Activity [Bq]	Dose [mSv/a]	Limit [Bq]	Ex. Level [Bq]
T1 - T3	⁸⁵ Kr	3.60E+08	7.20E+00	5.00E+08	1.00E+04
	Th(nat)	2.00E+06	7.00E+00	2.86E+06	1.00E+03
T1 - T5	⁸⁵ Kr	3.60E+05	8.94E-02	4.03E+07	1.00E+04
	Th(nat)	2.00E+03	3.11E-01	6.43E+04	1.00E+03

85Kr

Szenario: T1 (Lorry driver)			Szenario: T2 (Flight crew)			Szenario: T3			Szenario: T4			Szenario: T5					
Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value1	Value2	E_total	Unit	
DR	5.00E-17	Sv/h/Bq	DR	1.11E-16	Sv/h/Bq	DR	1.04E-16	Sv/h/Bq	DR	6.16E-16	Sv/h/Bq	DR	5.97E-16	4.72E-16		Sv/h/Bq	
A	3.60E+08	Bq	A	1.80E+08	Bq	A	3.60E+08	Bq	A	3.33E+02	Bq	A	3.60E+05	3.60E+05		Bq	
T	400	h/a	T	125	h/a	T	4	h/a	T	200	h/a	T	400	20		h/a	
E	7.20E+00	µSv/a	E	2.50E+00	µSv/a	E	1.50E-01	µSv/a	E	4.10E-05	µSv/a	E	8.60E-02	3.40E-03		µSv/a	
A_limit	5.00E+08	Bq	A_limit	7.20E+08	Bq	A_limit	2.40E+10	Bq	A_limit	8.12E+07	Bq	A_limit				4.03E+07	Bq

232Th

Szenario: T1 (Lorry driver)			Szenario: T2 (Flight crew)			Szenario: T3			Szenario: T4			Szenario: T5					
Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value1	Value2	E_total	Unit	
DR	8.75E-15	Sv/h/Bq	DR	1.92E-14	Sv/h/Bq	DR	1.88E-14	Sv/h/Bq	DR	3.90E-13	Sv/h/Bq	DR	3.75E-13	2.75E-13		Sv/h/Bq	
A	2.00E+06	Bq	A	1.00E+06	Bq	A	2.00E+06	Bq	A	3.33E+02	Bq	A	2.00E+03	2.00E+03		Bq	
T	400	h/a	T	125	h/a	T	4	h/a	T	200	h/a	T	400	20		h/a	
E	7.00E+00	µSv/a	DR	2.40E+00	µSv/a	E	1.50E-01	µSv/a	E	2.60E-02	µSv/a	E	3.00E-01	1.10E-02		µSv/a	
A_limit	2.86E+06	Bq	A_limit	4.17E+06	Bq	A_limit	1.33E+08	Bq	A_limit	1.28E+05	Bq	A_limit				6.43E+04	Bq

Farbcodierungen:

Eingabefelder

Festwerte

Formel / Zwischenrechnung

Formel / Ergebnis

Standard laden

Speichern

Schließen

Drucken

Abb. 2.8 Maske zur Eingabe und Berechnung unter Normalbedingungen

◀ Berechnung "T" **Berechnung "A" (Accident Scenarios)**
 Szenario: "Standard (Daten der Originalstudie)" vom 01.11.2010, 12:00:00 Uhr

Limits	
1.00E+00	mSv/a Accident limit for E_eff
5.00E+01	mSv/a Accident limit for E_skin

ERGEBNIS für alternative Freigrenzen:					
Szenarios	Nuclide	Activity [Bq]	Dose [mSv/a]	Limit [Bq]	Ex. Level [Bq]
A1 - A3	⁸⁵ Kr	1.80E+07	3.17E-04	5.68E+10	1.00E+04
	Th(nat)	1.00E+03	1.80E-01	2.78E+05	1.00E+03

⁸⁵Kr

Szenario: A1 (Lorry driver)			Szenario: A2 (fork lift truck driver)			Szenario: A3 (fire fighter)		
Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
V	7	m ²	V	300	m ²	V	300	m ²
R_inh	1.2	m ³ /h	R_inh	1.2	m ³ /h	R_inh	1.2	m ³ /h
k	5	1/h	k	4	1/h	k	4	1/h
T	0.25	h/a	T	1	h/a	T	0.5	h/a
RF	1	-	RF	1	-	RF	1	-
A	1.8E+07	Bq	A	1.2E+05	Bq	A	3.6E+08	Bq
C	1.47E+06	g/cm ²	C	9.82E+01	g/cm ²	C	5.19E+05	Bq/m ²
E_inh	0.00E+00	mSv/a	E_inh	0.00E+00	mSv/a	E_inh	0.00E+00	mSv/a
E_ext_cloud	3.17E-04	mSv/a	E_ext_air	8.48E-08	mSv/a	E_ext_air	2.24E-04	mSv/a
E	3.17E-04	mSv/a	E	8.48E-08	mSv/a	E	2.24E-04	mSv/a
A_limit	5.68E+10	Bq	A_limit	1.41E+12	Bq	A_limit	1.61E+12	Bq

²³²Th

Szenario: A1 (Clean-up worker)			Szenario: A2 (Warehouse worker)			Szenario: A3 (clean-up worker)		
Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
T	4	h/a	T	0.5	h/a	T	8	h/a
S	78.5	m ²	SF	0.36	-	RF	1.00E-03	-
R_res	1.00E-05	1/m	M	6	g	R_inh	1.2	m ³ /h
f_res	0.01	-	rho	5	g/cm ³	TIAC	6.00E-03	Bq*s/m ² /Bq
RF	1.00E-03	-	d1/2	0.5	cm	DR_dep	1.44E-13	Sv/h/Bq
R_inh	1.2	m ³ /h	w_skin	0.01	-	A	2.0E+06	Bq
DR_dep	1.09E-13	Sv/h/Bq	body	3.00E+03	cm ²	A_dep	1.998E+06	Bq
A	1.0E+05	Bq	A	1.0E+03	Bq	C	4.17E-04	Bq/m ²
A_dep	9.99E+04	Bq	contact	2.4	cm ²	E_inh	1.00E-04	mSv/a
C	1.27E-04	g/cm ²	As	4.17E+02	Bq/cm ²	E_ext_air	8.70E-14	mSv/a
E_inh	1.53E-05	mSv/a	E_skin	1.80E-01	mSv/a	E_ext_dep	2.30E-03	mSv/a
E_ext_air	4.36E-05	mSv/a	E_eff	1.44E-06	mSv/a	E	2.40E-03	mSv/a
E_ext_dep	1.33E-14	mSv/a	A_limit_eff	6.95E+08	Bq	A_limit	8.33E+08	Bq
E	5.88E-05	mSv/a	A_limit_skin	2.78E+05	Bq			
A_limit	1.70E+09	Bq						

Farbcodierungen:

Standard laden **Speichern** Schließen Drucken

Abb. 2.9 Maske zur Eingabe und Berechnung unter Unfallbedingungen

Eine farbliche Codierung der Felder führt den Nutzer durch die einzelnen Szenarien. Dabei sind die weiß hinterlegten Felder freie Eingabefelder, bei denen der Nutzer Änderungen vornehmen kann. Diese Parameter stehen demnach für Anpassungen zur Verfügung. Die Berechnungen erfolgen automatisch, sodass die neuen Ergebnisse direkt eingesehen werden können. Möchte der Nutzer die neu eingegebenen Parameter speichern, so steht ein entsprechender Button „speichern“ zur Verfügung. Daraufhin wird der Nutzer aufgefordert dem neuen Satz an Parametern einen Titel zu vergeben, der danach im Szenarienmanagement geführt wird. Dieser Satz an Parametern kann bei einer späteren Sitzung im Szenarienmanagement wieder geladen werden.

Für jedes Szenario wird als Zwischenergebnis die Dosis pro Jahr sowie das resultierende Aktivitätslimit errechnet und ausgegeben. Dabei sind jeweils getrennte Eingaben für die Nuklide ^{85}Kr und ^{232}Th vorgesehen. Prinzipiell ist bei den Szenarien unter Normalbedingungen eine Nutzung für andere Nuklide möglich, da die Eingabefelder sämtliche in den Berechnungen verwendeten Parameter abdecken. Es wird nicht auf weitere nuklidspezifische Daten zurückgegriffen. Für die Unfallszenarien liegt derzeit eine Beschränkung auf die angegebenen Nuklide vor, da nuklidspezifische Parameter in den Berechnungen genutzt werden, die in der Datenbank des Berechnungstools hinterlegt sind. Prinzipiell ist es jedoch möglich, diese Datenbank zu erweitern und somit die Berechnung weiterer Nuklide zu ermöglichen.

Im oberen linken Bereich der Maske werden aus den Zwischenergebnissen die finalen Ergebnisse der Berechnung ausgegeben, indem das Szenario mit der höchsten Dosisleistung ermittelt wird. Das aus den Berechnungen resultierende alternative Aktivitätslimit wird ebenfalls ausgegeben. In der HPA-Studie wurden nicht alle Werte für die einzelnen Parameter angegeben, z.B. für die Dosisleistungskoeffizienten, die lt. Angabe in der Studie mit MicroShield errechnet wurden. Für die Szenarien der Normaltransporte konnten die fehlenden Werte jedoch durch eine Rückwärtsrechnung ermittelt werden. Zusätzlich wurde durch die GRS eine Plausibilitätsprüfung mit MicroShield durchgeführt, wodurch die rückwärts ermittelten Werte bestätigt werden konnten. Für die Unfallszenarien waren nicht alle Berechnungen der HPA-Studie vollständig nachvollziehbar, da die resultierende Dosisleistung teilweise aus mehreren Beiträgen besteht. Daher konnte eine Rückwärtsrechnung nur bedingt Aufschluss auf nicht angegebene Parameter geben. Zusammenfassend konnten jedoch hinreichend genaue Übereinstimmungen mit den HPA-Ergebnissen erzielt werden, sodass die Gleichungen in dem Berechnungstool vollständig implementiert werden konnten und somit die Programmierung erfolgreich abgeschlossen wurde.

3 Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde ein Berechnungstool zur Unterstützung der Genehmigungsbehörde erstellt. Dieses auf Excel VBA basierende Tool ermöglicht es, die Berechnungen eines eingehenden Antrags zu prüfen, wobei die Gleichungen der HPA-Studie hinterlegt sind. Dabei hat der Nutzer die Möglichkeit, neue Parametersätze einzugeben und zu verwalten. In der aktuellen Ausgestaltung des Tools zeigt sich seine Entwicklung daher parallel zu dem vorgestellten Antragsverfahren für Lampen, es ist jedoch so flexibel, dass es generell auch für andere Arten von Produkten, Nukliden etc. verwendet werden kann.

Die Erfahrungen mit der ersten Antragsstellung zeigten, dass die Entwicklung eines entsprechenden Leitfadens sowohl für den Antragsteller als auch für die Genehmigungsbehörde wertvolle Unterstützung bieten könnte. Daher wurde das ursprüngliche Vorhabensziel in Abstimmung mit dem Auftraggeber um diesen Punkt (Ausarbeitung eines Leitfadens) erweitert. Der Leitfaden bietet einem Antragsteller eine Vorgabe zur Strukturierung seines Antrags und weitergehende Informationen, welche Angaben zu den einzelnen Kapiteln des Antrags erwartet werden und welcher Detaillierungsgrad empfehlenswert ist. Insbesondere beinhaltet der Leitfaden auch Vorschläge für die durchzuführenden Berechnungen und die entsprechenden Gleichungen, die sich ebenfalls im Berechnungstool wiederfinden. Somit stellt die Kombination aus Leitfaden und Berechnungstool ein Verfahren zur Unterstützung der Genehmigungsbehörde für die Bearbeitung von Anträgen für alternative Aktivitätsgrenzwerten dar. Die im AP 1 definierten Ziele konnten somit erreicht werden, auch wenn das begleitete Antragsverfahren nicht innerhalb dieses Zeitraums abgeschlossen werden konnte.

4 Literatur

- /ADR 15/ Anlage zur Bekanntmachung der Neufassung der Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) (ADR 2015) in der Fassung vom 1. Januar 2015, zuletzt geändert 17. April 2015 (BGBl. II, Anlagenband 2015 Nr. 13).
- /GEL 01/ Gelder, R., Shaw, K. B., Warner Jones, S. M., Schwarz, G., Fett, H.-J., Lange, F.: Transport of Consumer Goods containing Small Quantities of Radioactive Materials, Final Report, EC Contract Number: 4.1020/D/99-006 (DG TREN). National Radiological Protection Board (NRPB), May 2001.
- /HAR 93/ Harvey, M., Mobbs, S., Cooper, J., Chapuis, A. M., Sugier, A., Schneider, T., Lochard, J., Janssens, A.: Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption values) Below which Reporting is not Required in the European Directive, XI-028/93. Hrsg.: Commission of the European Communities, Radiation Protection, Nr. 65, 100 S., 1993.
- /HAR 10/ Harvey, M. P., Anderson, T., Cebianca, T.: Assessment of the Radiological Impact of the Transport and Disposal of Light Bulbs Containing Tritium, Krypton-85 and Radioisotopes of Thorium. Health Protection Agency (HPA), HPA-CRCE-008, October 2010.
- /IAEA 96/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series, No. 115: Vienna, February 1996.
- /IAEA 12a/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2012 Edition, Specific Safety Requirements. IAEA Safety Standards Series, No. SSR-6, 168 S., ISBN 978-92-0-133310-0: Vienna, 2012.
- /IAEA 12b/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Exemption from Regulatory Control of Goods Containing Small Amounts of Radioactive Material. IAEA TECDOC, IAEA-TECDOC-1679: Vienna, 2012.

- /IAEA 14/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3. IAEA Safety Standards Series, GSR Part 3, 436 S., ISBN 978-92-0-135310-8: Vienna, 2014.
- /NRC 01/ Systematic Radiological Assessment of Exemptions for Source and By-product Materials (NUREG-1717), zuletzt geändert June 2001.
- /RID 15/ Zwischenstaatliche Organisation für den internationalen Eisenbahnverkehr (OTIF) (Hrsg.): RID 2015, Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF), Anhang C - Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID), Gültig ab 1. Januar 2015. 2015.
- /SEN 10/ Sentuc, F.-N., Brücher, W., Büttner, U., Fett, H.-J., Lange, F., Martens, R., Schmitz, B. M., Schwarz, G.: Transportstudie Konrad 2009, Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-256, 190 S., ISBN 978-3-939355-31-1: Köln, 2010.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Ergebnisse der NRPB/GRS-Studie.....	12
Abb. 2.2	Ergebnisse für Kr-85 – Szenarien T1 – T5.....	16
Abb. 2.3	Ergebnisse für Kr-85 - Szenarien A1 - A3.....	16
Abb. 2.4	Ergebnisse für Thorium – Szenarien T1 - T5	17
Abb. 2.5	Ergebnisse für Thorium - Szenarien A1 - A3.....	17
Abb. 2.6	Ergebnis der NUREG-1717 Studie	19
Abb. 2.7	Graphische Oberfläche beim Start des Berechnungstools	30
Abb. 2.8	Maske zur Eingabe und Berechnung unter Normalbedingungen.....	31
Abb. 2.9	Maske zur Eingabe und Berechnung unter Unfallbedingungen.....	32

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Aktivitätsgrenzwerte für freigestellte Versandstücke, hier gemäß Tabelle 2.2.7.2.4.1.2 ADR /ADR 15/	6
Tab. 2.2	Grundlegende Radionuklidwerte für ausgewählte Radionuklide, hier gemäß Tabelle 2.2.7.7.1 ADR /ADR 15/	6
Tab. 2.3	Beispiel aus dem TECDOC-1679-Berechnungstool	21
Tab. 2.4	Beispiel aus dem HPA-CRCE-008-Berechnungstool	21

