



universität
wien

MASTER THESIS

Titel der Master Thesis / Title of the Master's Thesis

„Eine Analyse der bestehenden Schutzmaßnahmen
von Einsatzkräften bei Verkehrsunfällen
mit Beteiligung radioaktiver Stoffe“

verfasst von / submitted by

Markus Gassner

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2017 / Vienna 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt: /
Postgraduate programme code as it appears on
the student record sheet:

A 992 242

Universitätslehrgang lt. Studienblatt: /
Postgraduate programme as it appears on
the student record sheet:

Risikoprävention und Katastrophenmanagement

Betreut von: / Supervisor:

Univ.-Prof. Dipl.-Geogr. Dr. Thomas Glade

Danksagung

Es ist mir an dieser Stelle ein besonderes Anliegen, mich bei jenen zu bedanken, die mich während des Studiums begleitet und mich beim Gelingen dieser Arbeit unterstützt haben.

An erster Stelle danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. Thomas Glade, der für mich als Betreuer jederzeit ein offenes Ohr für meine Fragen hatte und mich durch diese Arbeit optimal begleitet hat.

Herrn Mag. Stefan Schönhacker, BSc., bin ich besonders dankbar. Er hat sich trotz seiner spärlichen Freizeit bereiterklärt, mich fachlich zu begleiten. Mit seiner umfangreichen Expertise und seinen wertvollen Hinweisen hat er einen großen Teil zur Vollendung dieser wissenschaftlichen Arbeit beigetragen.

Für die persönliche Konsultation und die Bereitstellung von bzw. Hinweis auf Fachunterlagen und Fachexperten möchte ich an dieser Stelle auch meinen Dank an Herrn Ministerialrat Günter Timal, MBA MPA, Leiter des Referates II/13/d (Bevölkerungs- und Zivilschutzausbildung) im Bundesministerium für Inneres, und Dr. Peter Hofer, Abteilung I/7 (Strahlenschutz) im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft richten. Ebenso möchte ich allen anderen Personen aus dem Bundesministerium für Inneres, dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und privaten Firmen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben und mir tatkräftig zu Seite gestanden sind, meinen Dank aussprechen.

Ganz besonders möchte ich meiner Familie und meiner Lebenspartnerin Sonja danken. Ihr hattet während des gesamten Studiums und besonders während der Erstellung meiner Masterarbeit Verständnis für die Zeit, die ich hierfür aufbringen musste und habt dadurch bei vielen Anlässen auf mich verzichten müssen!

Der größte Dank gebührt meiner Tochter Nadine. Ohne Dich wären mein Studium und besonders diese Arbeit nicht möglich gewesen. Du warst mir durch Deinen Fleiß, den Du für Dein eigenes Studium aufbringst, ein großes Vorbild und hast mich in unseren Gesprächen kontinuierlich motiviert, meine Ziele zu erreichen!

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Hainfeld, August 2017

Markus Gassner

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Eigenständigkeitserklärung	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XI
Anhangsverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Kurzzusammenfassung	XV
Abstract	XVI
Vorwort	XVII
1 Einleitung/Hintergrund	1
1.1 Ziel der Arbeit	1
1.2 Problemstellung im Rahmen der Bewältigung von Strahlenunfällen	2
1.3 Eingrenzung des Forschungsfeldes	3
2 Hypothesen und Forschungsfragen	5
3 Begriffsbestimmungen	8
4 Methoden	11
4.1 Literaturrecherche	11
4.1.1 Verwendete Keywords	11
4.1.2 Schneeballprinzip	12
4.1.3 Rückwärts- bzw. Vorwärtssuche	13
4.1.4 Dokumentation der Literaturrecherche	13
4.1.5 Inhaltsanalyse	13
4.1.6 Verwendung von nicht öffentlich zugänglichen Daten	14
4.2 Datenanalyse	14
4.2.1 Besonderheit der Daten und die Verwendung von nicht öffentlich zugänglichen Datensätzen	14
4.2.2 Externe Datensätze und Beschreibung ihrer Berechnungen	15
4.2.3 Statistische Daten und deren Aufbereitung	18
5 Grundlagen der Strahlenphysik, Strahlenbiologie und des Strahlenschutzes	21
5.1 Der Aufbau von Materie	21

5.2	Radionuklide und Strahlungsarten	21
5.2.1	Alphastrahlung.....	23
5.2.2	Betastrahlung	24
5.2.3	Photonenstrahlung.....	25
5.2.4	Neutronenstrahlung	26
5.3	Radionuklide und ihre Halbwertszeiten	28
5.4	Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung	29
5.5	Strahlenwirkung und Strahlenrisiko	31
5.5.1	Wirkung von ionisierender Strahlung auf die Zelle	32
5.5.2	Deterministische Schäden	32
5.5.3	Stochastische Schäden	34
5.6	Grundsätze im Strahlenschutz	35
5.6.1	ALARA-Prinzip.....	37
5.6.2	Gesetzliche und normative Grundlagen	38
5.6.3	Grundsätzliche Bedeutung von Dosisrichtwerten und Dosisgrenzwerten	45
5.7	Ergebnisse der Berechnung der Strahlenwirkung auf Einsatzkräfte.....	46
5.7.1	Unversehrtes Versandstück Typ A und Typ B.....	46
5.7.2	Beschädigtes Versandstück Typ A ohne Kontamination	49
5.7.3	Beschädigtes Versandstück Typ A (Belastung durch einen kontaminierten Patienten)	52
5.7.4	Beschädigtes Versandstück Typ B	53
6	Gefahrguttransport der Klasse 7 auf österreichischen Straßen	55
6.1	Rechtliche Bestimmungen.....	55
6.2	Grundlegende Bestimmungen zur Beförderung radioaktiver Stoffe auf der Straße.....	56
6.2.1	Klassifizierung und Ausnahmen.....	56
6.2.2	Dokumentation – Beförderungspapiere und Fahrzeugkennzeichnung	57
6.2.3	Anforderungen an einzelne Versandstückarten	58
6.2.4	Kategorien von Versandstücken	61
6.2.5	Sicherheits- und Schutzerfordernungen für die Beförderung.....	62
6.3	Auswertung statistischer Unfalldaten	63
6.3.1	Unfälle beim Transport gefährlicher Güter in Österreich	63
6.3.2	Vergleichende Betrachtung mit dem Vereinigten Königreich Großbritannien	64
7	Erfassung der Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte.....	67

7.1	Allgemeine einsatztaktische Grundlagen	67
7.2	Rechtliche Grundlagen für Schutzmaßnahmen und Einsatztaktiken	70
7.2.1	Radiologische Notfallplanung	70
7.2.2	Persönliche Schutzausrüstung	72
7.2.3	Organisationsübergreifende Strahlenschutz Ausbildung	74
7.3	Die Einsatzorganisation Feuerwehr	76
7.3.1	Österreichweite Grundausbildung der Freiwilligen Feuerwehren	76
7.3.2	Feuerwehrtaktische Vorgehensweise bei Unfällen beim Transport radioaktiver Stoffe	80
7.3.3	Feuerwehrspezifische Persönliche Schutzausrüstung	81
7.4	Der Notarzt- und Rettungsdienst im Österreichischen Roten Kreuz	82
7.4.1	Ausbildung und taktische Vorgehensweise der Sanitätskräfte	83
7.4.2	Persönliche Schutzausrüstung	84
7.4.3	Ausbildung von Notärzten	85
7.4.4	Notfallmedizinische Maßnahmen im Kontext von Strahlenunfällen	85
7.5	Die österreichische Bundespolizei	86
7.5.1	Grundausbildung im Polizeidienst	87
7.5.2	Taktische Vorgehensweise am Unfallort und Persönliche Schutzausrüstung	88
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	90
8.1	Zusammenfassung zur Hypothese 1	90
8.1.1	Gesetzliche und normative Grundlagen als Reglement für den Transport von Gefahrgut der Klasse 7	90
8.1.2	Gesetzliche und normative Grundlagen zum Schutz von Leib und Leben	94
8.1.3	Häufigkeit von Sach- und Personenschäden bei Verkehrsunfällen mit Gefahrgut der Klasse 7	95
8.1.4	Zu erwartende Dosisleistungswerte am Unfallort und mögliche deterministische bzw. stochastische Schäden für die Einsatzkräfte	96
8.2	Folgerungen zur Hypothese 1	99
8.3	Zusammenfassung zur Hypothese 2	100
8.3.1	Einsatztaktische Grundsätze und Bereitstellung von Schutzausrüstung für Einsatzkräfte	100
8.3.2	Umfang und Inhalte der Grundausbildung der Einsatzorganisationen	104
8.4	Folgerungen zur Hypothese 2	105
9	Perspektiven und Ausblick	107
9.1	Anregungen für eine weiterführende Bearbeitung des Themas	107

9.2	Weitere Forschungsgebiete für kleinräumige radiologische Ereignisse	109
9.2.1	Unfälle auf der Schiene, im Luftverkehr und auf Binnengewässern.....	109
9.2.2	Unfälle mit einem Massenansturm von Verletzten, kontaminierten Personen und sonstigen Betroffenen	110
9.2.3	Zwischenfälle in Anlagen, Labors und sonstigen Einrichtungen	110
9.2.4	Sicherheitspolizeiliche Einsätze	111
9.3	Abschließende Perspektiven	111
10	Literaturverzeichnis	113
11	Anhänge	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gefährliche Strahlenquellen im Sinne der IAEA (Datengrundlage: BMLFUW 2011a: 7; eigene Darstellung).....	8
Tabelle 2: Keywords der Literaturrecherche (eigene Darstellung)	12
Tabelle 3: Einteilung der Strahlungsarten (Quelle: SCHÖNHACKER 2009: 8.20)..	27
Tabelle 4: Krebsletalität durch Bestrahlung (ICRP 1990) (Quelle: HERMANN et al. 2006: 146, Tabelle 7.1).	35
Tabelle 5: Ausgewählte Beta-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung).....	49
Tabelle 6: Ausgewählte Gamma-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung)	51
Tabelle 7: Ausgewählte Alpha-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf drei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung).....	52
Tabelle 8: Offene Radionuklide mit ihren effektiven Dosiswerten durch eine kontaminierte Person über eine festgelegte Zeitdauer. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung).....	53
Tabelle 9: Ausgewählte Beta- und Gamma-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung)	54
Tabelle 10: Kategorien der Versandstücke, Umverpackungen und Container (Datengrundlage: ADR 2017: Tabelle 5.1.5.3.4; eigene Darstellung).....	61
Tabelle 11: Auszug aus der Auswertung der statistischen Daten im Vergleich der Verkehrsunfälle und der Gefahrgutunfälle in Österreich im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2015 (Datengrundlage: Statistik Austria 2016a und 2016b: https://www.statistik.at/web_de/intern/Redirect/index.html?dDocName=003162 (27.12.2016, 14:47 Uhr) und https://www.statistik.at/web_de/statistiken/meschen_und_gesellschaft/gesundheit/unfaelle/strassenverkehrsunfaelle/index.html (27. Dezember 2016, 15:05); eigene Darstellung)	63

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Tabelle 12: Verkehrsunfälle beim Transport radioaktiver Stoffe. UK 2005–2012 (Datengrundlage: HUGHES et al. 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012; eigene Darstellung).....	65
Tabelle 13: 3A-Regel (Datengrundlage: ÖBFV 2012: Abschnitt "Gelb"; eigene Darstellung)	78
Tabelle 14: GAMS-Regel (Datengrundlage: ÖBFV 2011: 4; eigene Darstellung)	79
Tabelle 15: Einsatzdosiswerte der Österreichischen Feuerwehren (ÖBFV 2012: Abschnitt „Gelb“; eigene Darstellung)	81
Tabelle 16: Maßnahmen der Bundespolizei bei Transportunfällen in Verbindung mit radioaktiven Stoffen (Datengrundlage: BM.I 2005: Punkt 4.3.; eigene Darstellung)	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Alphazerfall in Modelldarstellung (Quelle: VOLKMER 2012: 13, Abb. 2.01).....	23
Abbildung 2: Modell zur Entstehung der Beta- – Strahlen (Quelle: VOLKMER 2012: 13, Abb. 2.02).....	24
Abbildung 3: Abgabe eines Gammaquants aus einem Atomkern (Modelldarstellung) (Quelle: VOLKMER 2012: 14, Abb. 2.04).....	26
Abbildung 4: Modell zur Spaltung eines Kernes von U-235 (Quelle: VOLKMER 2012: 15, Abb. 2.06).....	27
Abbildung 5: Österreichkarte mit Messwerten aus dem Strahlenfrühwarnsystem (Quelle: BMLFUW 2017: http://sfws.lfrz.at/ (13.04.2017, 16:36 Uhr) ...	29
Abbildung 6: Kennzeichnung von Strahlenbereichen und radioaktiven Stoffen. Strahlenwarzeichen (Quelle: AllgStrSchV 2006: Anlage 3, A).....	42
Abbildung 7: Ergänzendes Warnzeichen vor ionisierender Strahlung (Quelle: Österreichisches Normungsinstitut 2007: ÖNORM ISO 21482:2007, Bild 1).....	44
Abbildung 8: Großzettel (Placard) für radioaktive Stoffe der Klasse 7 (Quelle: ADR 2017: Absatz 5.3.1.7.2, Muster 7D).....	58
Abbildung 9: Bezettelung der Versandstückkategorie (Quelle: Fachverband für Strahlenschutz e.V 2015: 4. Ausgabe, 21).....	61
Abbildung 10: Zoneneinteilung und Schadensplatzorganisation, Grundaufbau bei Einsatzbeginn am Beispiel der Schweizer Feuerwehr (Quelle: FKS 2014: Version 4, 2.12, 2.07).....	71

Anhangsverzeichnis

Anhang 1	Maßeinheiten	122
Anhang 2	Effektive Dosiswerte bei unversehrten Versandstücken des Typs A und B bei verschiedenen Entfernungen und verschiedenen Aufenthaltszeiten (Berechnungsergebnisse in tabellarischer Form)	123
Anhang 3	Effektive Dosiswerte bei direktem durchgehenden Kontakt zu Versandstücken des Typs A und B (Berechnungsergebnisse in tabellarischer Form)	124
Anhang 4	E-Mail Schriftverkehr mit der Bundesanstalt Statistik Austria	125
Anhang 5	Statistische Auswertung der Unfälle mit Gefahrgut in Österreich im Zeitraum 1989 bis 2015 (Quelle: Statistik Austria 2016a: https://www.statistik.at/web_de/intern/Redirect/index.html?dDocName=003162 (27. Dezember 2016, 14:47 Uhr))	126
Anhang 6	Statistische Auswertung der Unfallgeschehen 1992 bis 2015 nach Bundesländer (Quelle: Statistik Austria 2016b: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/gesundheit/unfaelle/strassenverkehrsunfaelle/index.html am (27. Dezember 2016, 15:05 Uhr))	127
Anhang 7	Auswertung der statistischen Daten im Vergleich der Verkehrsunfälle und der Gefahrgutunfälle in Österreich im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2015 (Datengrundlage: Statistik Austria 2016a und 2016b: https://www.statistik.at/web_de/intern/Redirect/index.html?dDocName=003162 (27.12.2016, 14:47 Uhr) und https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/gesundheit/unfaelle/strassenverkehrsunfaelle/index.html (27. Dezember 2016, 15:05)); eigene Darstellung	130
Anhang 8	Curriculum vitae	131

Abkürzungsverzeichnis

3A	Abstand-Abschirmung-Aufenthaltszeit (einsatztaktische Regel)
ABC	Atomar Biologisch Chemisch
ADR	Accord europeen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
AllgStrSchV	Allgemeine Strahlenschutzverordnung
AschG	ArbeitnehmerInnenschutzgesetz
BM.I	Bundesministerium für Inneres
Bq	Becquerel
CBRN	Chemisch Biologisch Radiologisch Nuklear
Ci	Curie
CRCE	Centre for Radiation, Chemical and Environment Hazards
DNA	Desoxyribonukleinsäure
EKG	Elektrokardiogramm
FFP3	Filtering Face Piece (Stufe 3)
GAMS	Gefahr erkennen - Absperren - Menschenrettung - Spezialkräfte (einsatztaktische Regel)
GGBG	Gefahrgutbeförderungsgesetz
HWZ	Halbwertszeit
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
IntV	Interventionsverordnung
IP	industrial packing (Industrieverpackung)
LNT	linear-non-threshold model (lineares Model ohne Schwellenwert)
LSA	low specific activity material (Versandstück)
NAS	National Academy of Sciences
ÖBFV	Österreichischer Bundesfeuerwehrverband

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

ONR	Office for Nuclear Regulation
ÖRK	Österreichisches Rotes Kreuz
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PSASV	PSA-Sicherheitsverordnung
RAMTED	Radioactive Materials Transport Event Database
RIS	Rechtsinformationssystem des Bundes
San-AV	Sanitäter-Ausbildungsverordnung
SanG	Sanitätergesetz
SCO	surface contaminated objects (oberflächenkontaminierte Gegenstände)
SIAK	Sicherheitsakademie
SPG	Sicherheitspolizeigesetz
StrSchG	Strahlenschutzgesetz
Sv	Sievert
TI	Transportindex
UNSCEAR	Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organisation (Welt-Gesundheits-Organisation)
α	Alpha Strahlung
β	Beta-Strahlung
γ	Gamma-Strahlung

Kurzzusammenfassung

Verkehrsunfälle mit Beteiligung radioaktiver Substanzen stellen Österreichs Einsatzkräfte der Feuerwehr, des Rettungsdienstes und der Bundespolizei aufgrund ihres seltenen Vorkommens vor besondere Herausforderungen. Da ionisierende Strahlung nicht mit den menschlichen Sinnen erkennbar und nur mit hierfür speziellen Messgeräten detektierbar ist, können Probleme bei der professionellen Bewältigung eines Strahlenunfalls durch die First Responder der Einsatzorganisationen auftreten. Die vorliegende Arbeit analysiert die aktuellen Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei einem Gefahrgutunfall mit radioaktiven Stoffen.

Durch szenarienorientierte Berechnungen, basierend auf Transportdaten des Jahres 2015 und statistischen Erhebungen der Unfallhäufigkeit dieser Transporte in Österreich, soll die Exposition der Einsatzkräfte am Schadensort und das Gefährdungsrisiko derartiger Ereignisse dargestellt werden. Mit einer Beleuchtung der gesetzlichen und normativen Grundlagen werden die strengen Sicherheitsvorkehrungen beim Transport von radioaktiven Substanzen auf österreichischen Straßen aufgezeigt.

Der darstellende Vergleich der Einsatztaktik und der Persönlichen Schutzausrüstung sowie des Lehrumfangs zum Thema Einsatz beim Strahlenunfall in der Grundausbildung soll schließlich Rückschlüsse auf die bestehende Einsatzbereitschaft der ersteintreffenden Kräfte der Österreichischen Feuerwehren, des Notarzt- und Rettungsdienstes des Österreichischen Roten Kreuzes und der Bundespolizei zulassen.

Abstract

Traffic accidents involving radioactive substances present special challenges for Austria's emergency services. Forasmuch ionizing radiation cannot be identified the human senses and can only be detected with special measuring instruments. Therefore, problems can arise in the professional management of an accident with radioactive agents by first responder organizations.

The present Master Thesis analyzes the current protective measures of the civil protection staff in the case of a hazardous materials accident. Scenario-oriented calculations, based on transport data from the year 2015 and statistical surveys of the frequency of these transports in Austria are intended to illustrate the exposure of the emergency personnel at the place of the damage and the risk of such events. The strict safety precautions for the transport of radioactive substances on Austrian roads are highlighted by an interpretation of the legal and normative principles. The representative comparison of the tactics and the personal protective equipment as well as the scope of teaching on the topic of radiation accidents in the basic education will finally provide conclusions on the existing operational readiness of the first responder units of the Austrian fire brigades, the emergency medical service of the Austrian Red Cross and the Federal Police.

Vorwort

Den Wunsch nach einer intensiveren Betrachtung des gewählten Themas besteht bei mir schon lange. Bei eigener Recherche, Vorträgen und Diskussionen wurde ich immer wieder mit der subjektiven „Gefährlichkeit“ von radioaktiven Stoffen im Güterverkehr konfrontiert. Obwohl umfangreiche wissenschaftliche Arbeiten für den Bereich Strahlenunfall und Strahlenschutz bestehen, in denen auch das Thema der Gefahrgutunfälle mit radioaktiven Stoffen dargestellt wird, fehlte mir eine kompakte Darstellung aus der Sicht des Katastrophenmanagements und eine Aufbereitung für die Einsatzkräfte.

Besonders für den Kreis der ersteintreffenden Einsatzkräfte der Feuerwehr, des Rettungsdienstes und der Polizei am Unfallort ist die Thematik des Gefahrgutunfalles mit einer Beteiligung von radioaktiven Stoffen fordernd. Bereits in der Grundausbildung der Einsatzorganisationen wird vorrangig die Frage nach der Sicherheit für die eigene Gesundheit des Helfers gestellt.

Die vorliegende Arbeit soll nicht ein Lehrbuch für Strahleneinsätze abbilden, sondern durch eine wissenschaftliche Betrachtung auf Basis von statistischem Datenmaterial, Berechnungen, rechtlichen, normativen und wissenschaftlichen Grundlagen sowie der Einsatzlehre ein Ergebnis zur Einschätzung der gesundheitlichen Gefährdung für Einsatzkräfte beleuchten.

Die hierfür von mir aufgestellten Hypothesen, die durch Forschungsfragen präzisiert werden, sollen einer Beantwortung und mittels Einschätzung durch die erwähnte Basis einem Lösungsansatz zugeführt werden.

Weiters erlaube ich mir, dem aktuellen Ist-Zustand der Ausbildung und taktischer Vorgehensweise im Vergleich der österreichischen Einsatzorganisationen untereinander eventuelle Schnittstellenproblematiken aufzuzeigen und Lösungswege vorzuschlagen.

Die Arbeit hat keinen Anspruch einer abschließenden wissenschaftlichen Betrachtung der Thematik, sondern eröffnet eine tiefgreifende Untersuchung aus dem Blickwinkel der verschiedenen Wissenschaften.

Die Struktur dieser Arbeit und ihr Layout unterliegen der Formvorschrift der Universität Wien, Universitätslehrgang „OeRISK – Risikoprävention und Katastrophenmanagement“. Die verwendeten Abkürzungen im Text werden durch ein eigenes Abkürzungsverzeichnis und verschiedenste wichtige Begriffe werden im Kapitel „Begriffsbestimmungen“ erklärt.

Die Darstellung meiner systematischen Bearbeitung des Themengebietes wird im Methodenteil dargestellt. Die Darlegung dieses methodischen Vorgehens in der Analyse soll die ergebnisorientierte Erfassung verständlicher erscheinen lassen. Die für diese Arbeit notwendigen umfangreichen Fakten und Daten sind im Anhang

beigelegt und werden im Text auszugsweise und themenbezogen ausreichend dargestellt. Vorgegebene Einschränkungen der Veröffentlichung von Daten wurden auf Wunsch der bereitstellenden Institutionen berücksichtigt und im Methodenteil ausreichend begründet.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlechter.

1 Einleitung/Hintergrund

Radioaktivität ist ein Bestandteil der Natur. Der Mensch wird in seiner Umwelt ionisierender Strahlung ausgesetzt und radioaktive Elemente stellen einen wichtigen Bestandteil in den körpereigenen Prozessen dar.

Die Nutzung der Radioaktivität ist eine Komponente des täglichen Lebens. Radioaktive Stoffe finden eine vielseitige Verwendung, sei es in der Medizin, Industrie, Wissenschaft und Forschung oder in der Energieversorgung.

Der Umgang mit radioaktiven Stoffen kann aber auch mit Risiken für seinen Benutzer, die Bevölkerung oder die Umwelt verbunden sein. Außerhalb von technischen Kontrollbereichen, beim Versagen von Sicherheitseinrichtungen oder durch nicht sachgerechten Umgang bzw. infolge einer gezielten Handhabung mit terroristischem oder kriegerischem Hintergrund kann ionisierende Strahlung Schäden für den menschlichen Körper zur Folge haben.

1.1 Ziel der Arbeit

Das Ziel der gegenständlichen Masterthesis ist es, die bestehenden Schutzmaßnahmen von Einsatzkräften bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen zu analysieren. Um eine wissenschaftliche Betrachtung gewährleisten zu können, bedarf es einer Beleuchtung der Grundlagen der Strahlenphysik und der Strahlenbiologie aus der Sicht des Strahlenschutzes. Dies soll ein Grundverständnis über Radioaktivität gewährleisten, um allfällige Belastungen von Einsatzkräften durch ionisierende Strahlung zu erkennen. Durch Berechnungen auf Grundlage der vorliegenden Radionuklide und deren Aktivitäten, die im Jahr 2015 auf österreichischen Straßen transportiert wurden, werden in einer szenarienbasierenden Betrachtung die effektiven Dosiswerte ermittelt und Rückschlüsse auf das Gefährdungsausmaß für die Einsatzkräfte dargelegt (siehe dazu 5. Kapitel).

Tagtäglich werden nach dem Deutschen Atomforum e.V. (2014: 4f.) radioaktive Stoffe als Gefahrgut auf dem Land-, Luft- und Seeweg innerhalb der Staaten oder grenzüberschreitend transportiert. Das Forum schätzte die Transportzahlen im Jahr 2014 mit zirka 20 Millionen Versandstücken weltweit, wobei speziell in Deutschland Transporte zur Ver- und Entsorgung von kerntechnischen Anlagen einen relativ geringen Anteil der Beförderungszahlen einnehmen.

Die hohe Transportleistung macht es notwendig, die Sicherheit von Gefahrguttransporten und in derselben Intensität beim Transport von radioaktiven Versandeinheiten zu gewährleisten. Im 6. Kapitel werden die internationalen Richtlinien, die österreichische Rechtsgrundlage und Normen behandelt, die alle auf wissenschaftlichen

Erkenntnissen und dem aktuellen Stand der Technik basieren und die Sicherheit bei der Durchführung dieser Transporte gewährleisten sollen.

Die Kräfte aller Einsatzorganisationen werden für Tätigkeiten im geschult. Die Ausbildung wird durch rechtliche und normative Grundlagen sichergestellt und ist in Österreich einheitlich geregelt. Die ausgebildeten Kräfte werden in ihren Organisationen für einsatzrelevante Tätigkeiten beim Strahlenunfall, für die Beratung der Einsatzleiter, die Aus- und Fortbildung der gesamten Kräfte eingesetzt. Dieses umfangreiche Spezialwissen wird nicht jeder Einsatzkraft vermittelt und ist auch nicht im Sinne der gewünschten Fertigkeiten der First Responder am Schadensort zu sehen. Die First Responder der Feuerwehr, des Rettungsdienstes und der Bundespolizei erhalten in ihrer Grundausbildung das Basiswissen, um die ersten Maßnahmen zur Gefahrenabwehr und Schadensbewältigung durchführen zu können. Hierbei besteht die Notwendigkeit, auch bei einem Verkehrsunfall mit radioaktiven Substanzen eine sofortige Brandbekämpfung, Rettungsaktionen, lebensrettende Sofortmaßnahmen und die notärztliche Versorgung, unter Verwendung der von ihren Organisationen bereitgestellten persönlichen Schutzausrüstung, zu gewährleisten. Aber auch polizeiliche Erstmaßnahmen und Erhebungen müssen von der Sicherheitsexekutive bei derartigen Verkehrsunfällen durchgeführt werden (vgl. IAEA 2002: 7).

JACHS (2011: 112) ist der Ansicht, dass die Einsatzorganisationen somit auch in diesen besonderen Einsatzsituationen die ihnen gesetzlich übertragenen Aufgaben als Organe einer Behörde (Gemeinde oder Land) im Rahmen der Gefahrenabwehr wahrnehmen können müssen. Diese Einsatzorganisationen werden mit ihrer Grundausbildung, ihrer Schutzausrüstung und ihrem einsatztaktischen Vorgehen schließlich im 7. Kapitel beleuchtet.

1.2 Problemstellung im Rahmen der Bewältigung von Strahlenunfällen

Verkehrsunfälle mit Beteiligung radioaktiver Substanzen sind für die Einsatzkräfte kein tägliches Einsatzszenario, das routinemäßig abgearbeitet werden kann. Der Umgang mit nicht sichtbaren, schädigenden Noxen, die nur mit spezieller Messtechnik zu detektieren sind, sowie mit Verletzten oder Betroffenen, die durch derartige Substanzen kontaminiert sind, stellt jede Einsatzorganisation vor besondere Herausforderungen. Um die Schwierigkeit der Bewältigung dieser Einsätze messbar zu machen und wertvolle Erkenntnisse hieraus zu ziehen, werden Übungen von den Organisationen durchgeführt und evaluiert. Nachstehend werden beispielhaft die wichtigsten Erkenntnisse aus drei radiologischen Übungen vorgestellt, um die Schwierigkeiten der Einsatzkräfte in der Bewältigung derartiger Einsätze zu verdeutlichen. Bei der Darstellung der Ergebnisse der Evaluierungsberichte wurde ein Hauptaugenmerk

auf die Arbeit der First Responder (Einsatzkräfte der Feuerwehr, Rettungsdienste und Bundespolizei ohne Ausbildung im Rahmen der ÖNORM S 5207:2003) gelegt.

Bei den Übungen am 22. September 2012 in Ramingstein (Salzburg), am 15. Oktober 2014 in der Zivilschutzschule Lebring (Steiermark) und am 12. November 2014 am ABC- und Katastrophenhilfeübungsplatz Tritolwerk (Niederösterreich) konnten Feuerwehr, Rettungsdienst und Bundespolizei gemeinsam mit der Behörde einen kleinräumigen Strahlenunfall und die Rettung sowie Versorgung eines oder mehrerer kontaminierter Patienten üben.

In den Evaluierungsberichten sind deutliche Unsicherheiten der Einsatzorganisationen im Ablauf der Rettung, Dekontaminierung und Versorgung der Patienten zu erkennen. Durch eine ungenaue Lageerkundung, Kommunikationsdefizite der Organisationen untereinander und ein unklares Schnittstellenmanagement (wer setzt welche Aufgaben wo?) wurde die Rettung der Verunfallten verzögert. Auch durch eine aufwändige Dekontamination, Ausbildungsdefizite in der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen bei kontaminierten Verletzten und fehlendes Training mit Rettungsgeräten anderer Organisationen wurde eine rasche Patientenversorgung behindert.

Im Hinblick auf den Eigenschutz der Einsatzkräfte war ein Fehlen der notwendigen Anzahl an Atemschutzausrüstungen (Atemschutzmaske des Typs FFP3) in der Materialgrundausstattung der Einsatzfahrzeuge und damit verbundenes fehlendes Tragen im Gefahrenbereich ersichtlich. (vgl. BM.I 2012a und BM.I 2014a und 2014b)

1.3 Eingrenzung des Forschungsfeldes

Die vorliegende Masterarbeit analysiert die Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit der Beteiligung radioaktiver Substanzen. Sie erfasst kleinräumige radiologische Notstandssituationen und grenzt sich hierbei von Zwischenfällen in Anlagen, Transportunfällen abseits des öffentlichen Straßennetzes, Bränden im Beisein gefährlicher Strahlenquellen, Verlust und Diebstahl von gefährlichen Strahlenquellen, Auffinden von herrenlosen Strahlenquellen, Unfällen beim Transport von Nuklearwaffen und radiologischen Terrorakten ab. Ebenso wird das Forschungsfeld durch das Absehen von der Betrachtung der Transportunfälle auf Schienenwegen, Binnengewässern und am Luftweg eingegrenzt.

Die Einsatz-, Hilfs- und Rettungsorganisationen werden in der gegenständlichen Arbeit durch die Österreichischen Feuerwehren, das Österreichische Rote Kreuz und die Bundespolizei abgebildet und decken ein breites Spektrum der Organisationen ab. Auf das für den Strahlenschutz speziell ausgebildete Personal dieser Organisationen wird in dieser Arbeit nicht eingegangen, um einen österreichweiten grundlegenden Ist-

Stand in Ausbildung und Einsatztaktik für derart besondere Einsätze erfassen zu können.

Auch wird der Massenansturm von Betroffenen bei Unfällen mit radioaktiven Stoffen nicht behandelt und es werden die dafür eventuell notwendigen Dekontaminations- und Betreuungsmaßnahmen ausgeklammert. Hingegen vertiefend werden die notfallmedizinischen Vorgaben für Einzelpatienten behandelt.

Die Arbeit wird unter der Sichtweise des Katastrophenmanagements verfasst und schließt daher eine wissenschaftliche Betrachtung der Strahlenphysik und der Strahlenbiologie aus. Grundlagen aus diesen Bereichen stellen jedoch ein wichtiges Fundament dieser Arbeit dar und dienen einer notwendigen aber eingegrenzten Betrachtung der Schutzmaßnahmen der Einsatzorganisationen.

2 Hypothesen und Forschungsfragen

Vor dem Hintergrund einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung von Einsatzkräften bei einem Gefahrgutunfall mit der Beteiligung von radioaktiven Stoffen auf Österreichs Straßen werden in der vorliegenden Arbeit die beförderten Radionuklide und deren Wirkung auf den menschlichen Körper näher untersucht. Spezieller Fokus wird hierbei auf die rechtlichen und normativen Vorschriften sowie auf strahlenphysikalische und strahlenbiologische Grundlagen gelegt. Die Vorkehrungen der österreichischen Einsatzorganisationen, wie Feuerwehr, Rotes Kreuz und Bundespolizei, deren Ausbildung und Einsatztaktik sollen diese gesundheitliche Gefährdung minimieren.

Die erste Hypothese, die dieser Analyse zugrunde liegt, lautet wie folgt:

Hypothese 1

Die bei einem Verkehrsunfall vorkommenden radioaktiven Stoffe wirken auf die Einsatzkräfte mit keiner Überschreitung der Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen.

In diesem Zusammenhang werden folgende fünf Forschungsfragen betrachtet:

- Welche radioaktiven Stoffe werden auf der Straße als Gefahrgut der Klasse 7 transportiert?
- Welche Dosisleistungswerte werden am Unfallort an der Oberfläche der Strahlenquelle und in welchem Abstand zur Strahlenquelle erwartet?
- Wie ist die Häufigkeit von Sach- und Personenschäden bei Verkehrsunfällen mit Gefahrgut der Klasse 7?
- Welche gesetzlichen und normativen Grundlagen regeln den Transport von Gefahrgut der Klasse 7 bzw. welche Grenzwerte zum Schutz von Leib und Leben werden vom Gesetzgeber vorgeschrieben?
- In welchem Ausmaß führt eine Strahlenexposition durch die in Österreich transportierten Radionuklide zu deterministischen bzw. stochastischen Schäden bei einem Gefahrgutunfall der Klasse 7?

Ergänzend soll untersucht werden, welche Schutzmaßnahmen Einsatzorganisationen bei Gefahrguteinsätzen mit radioaktiven Stoffen einsetzen. Hierfür soll umseitig die dargestellte Hypothese überprüft werden:

Hypothese 2

Die Einsatzorganisationen sind durch ihre Ausbildung und die einsatztaktische Vorgehensweise bestmöglich auf Verkehrsunfälle mit radioaktiven Stoffen vorbereitet.

Zur Untersuchung dieser Hypothese sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Persönliche Schutzausrüstung wird zum Schutz der Einsatzkräfte bei einem Gefahrgutunfall der Klasse 7 von deren Rechtsträgern bereitgestellt, um die Exposition zu minimieren?
- Mit welchen Inhalten und in welchem Umfang wird das Thema „Radioaktivität“ und „Gefahrgutunfälle“ in der Grundausbildung der Feuerwehr, der Ausbildung zum Rettungssanitäter im Österreichischen Roten Kreuz bzw. in der Ausbildung zum Notarzt sowie in der Polizeigrundausbildung gelehrt?
- Welche einsatztaktischen Grundsätze verbinden alle Einsatzorganisationen bei der Bewältigung von Gefahrgutunfällen der Klasse 7?

Die vorliegenden Forschungsfragen sind Grundlage zur Formulierung weiterführender Fragestellungen, die im 8. Kapitel näher diskutiert werden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es einerseits, die begrenzte Wirkung von radioaktiven Stoffen nach einem Gefahrgutunfall darzustellen. Andererseits soll die Persönliche Schutzausrüstung, Ausbildung und Einsatztaktik der österreichischen Einsatzorganisationen evaluiert werden.

Aktueller Stand der Wissenschaft

Mit der Zunahme der Verwendung von Strahlenquellen in den letzten Jahrzehnten steigt auch der Transport von radioaktiven Stoffen. Hochaktive Quellen finden in der Medizin (Brachytherapie, Transfusionsmedizin, Teletherapie) und in der Technik, bei der zerstörungsfreien Prüfung, in Füllstands- oder Dichtemesseinrichtungen, in der Forschung und Produktbestrahlung ihre Verwendung. (vgl. MOTZKUS et al. 2012: 3)

Die Wirkungen der von den radioaktiven Quellen erzeugten Strahlung werden nach umfangreicher Recherche im ausreichenden Maß in wissenschaftlichen Publikationen im Bereich der Strahlentherapie dargestellt. Gerade die Tumorbestrahlung und die Wirkung auf das umliegende Nachbargewebe sind Forschungsfelder im Bereich der Strahlenbiologie. Im Bereich der Technik hat der Kernkraftwerksunfall am 11. März 2011 in Fukushima Daiichi viele neue Erkenntnisse zu den radiologischen Folgen gebracht. Hier, vor allem im Hinblick auf die vorliegende Arbeit, sind die Erkenntnisse

und weiterführenden Forschungstätigkeiten in Bezug auf die gesundheitlichen Folgen von Relevanz. (vgl. GRS 2016)

Seit dem Anschlag am 11. September 2001 auf das World Trade Center in den Vereinigten Staaten und den in den letzten Jahren vermehrt auftretenden Attentaten mit terroristischem Hintergrund in Europa wird auch der Einsatz von Sprengvorrichtungen in Kombination mit radioaktiven Stoffen von den Sicherheitsbehörden als hypothetisches Szenario ins Auge gefasst. Diese Dirty bombs könnten aus konventionellem Sprengstoff (z.B. Trinitrotoluol) von bis zu mehreren Kilogramm und einer radioaktiven Quelle aus einem kommerziellen oder industriellen Nutzen gebaut werden. Bei der Umsetzung eines derartigen Terroraktes wären die direkten gesundheitlichen Auswirkungen der Belastung mit ionisierenden Strahlen minimal. Jedoch wären die psychologischen Auswirkungen in der Bevölkerung enorm. Hinzu kämen ein erhöhtes Ausmaß an Dekontaminierungsmaßnahmen und beachtliche Sanierungskosten mit der Beseitigung der radioaktiven Partikel, die bei der Detonation hunderte Meter im urbanen Gebiet verstreut werden. (vgl. HUMMEL und LUCIAN 2017: 30)

Somit bestehen auch beim Transport von radioaktiven Stoffen hohe Sicherheitsauflagen, damit ein Diebstahl von radioaktiven Quellen weitestgehend hintangehalten werden kann. Da derartige Strahlenquellen für den Bau von Sprengvorrichtungen mit radioaktivem Inventar benutzt werden könnten, bestehen für alle Beteiligten strenge verbindliche verkehrsträgerspezifische Gefahrvorschriften für die Beförderung radioaktiver Stoffe. (vgl. IAEA 2012a: 3)

Generell findet das Thema der taktischen Vorgehensweise und der Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei einem Verkehrsunfall mit radioaktiven Stoffen aktuell wenig Beachtung. Durch die Vielzahl an Fachbüchern im Bereich des Feuerwehr- und Rettungswesens werden die Vorgehensweisen für Einsatzkräfte beim Vorkommen von ionisierender Strahlung bei Unfällen bzw. Zwischenfällen mit radioaktiven Stoffen ausführlich dargestellt. Der Einsatzkraft am Notfallort wird eine Hilfestellung im Erkennen der Gefahrensituation und Handlungssicherheit vermittelt. In den meisten Fällen werden alle Szenarien des Strahlenunfalles, wie Gefahrgutunfall oder Zwischenfälle in Anlagen, unisono betrachtet und die einsatztaktischen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bzw. zur optimalen Versorgung der verunglückten Personen dargestellt (vgl. CALDER und BLAND 2015: 444).

Auch die Verfahrensweise bei Kontamination Einzelner bis zum Massenansturm von kontaminierten Personen wird in den Fachartikeln des Feuerwehr- und Rettungswesens beleuchtet. Eine singuläre tiefgehende Betrachtung von Einsatztaktiken bei Verkehrsunfällen beim Transport von radioaktiven Stoffen bleibt jedoch aus.

3 Begriffsbestimmungen

Da verschiedene Wissenschaften unterschiedliche Intentionen verfolgen, werden einzelne Begriffe in diesen Disziplinen verschieden definiert. Daher ist es notwendig, nachstehende Begriffe und ihre Verwendung in dieser Arbeit eindeutig zu definieren und zu erklären.

Dekontamination

„Beseitigung oder Verringerung einer Verunreinigung durch offene radioaktive Stoffe“ (ON 2012: 2.12.12)

Gefährliche Strahlenquellen

Die IAEA hat nuklidspezifische Aktivitätswerte mit zwei definierten Schwellenwerten (D-values) festgelegt. Strahlenquellen werden im Hinblick auf ihre Gefährlichkeit dem Verhältnis ihrer Aktivität mit den festgelegten Schwellenwerten eingeteilt. Hierbei definiert D_1 den Umgang mit umschlossenen Strahlenquellen (ohne Kontamination) und D_2 die Freisetzung radioaktiven Inventars (vgl. BMLFUW 2011a: 7f.). Nachstehende Tabelle stellt die Einstufung von gefährlichen Strahlenquellen übersichtlich dar.

Tabelle 1: Gefährliche Strahlenquellen im Sinne der IAEA (Datengrundlage: BMLFUW 2011a: 7; eigene Darstellung)

	Hantieren mit umschlossener Quelle	Freisetzung des Inventars
Aktivität/D-Wert < 0,01	ungefährlich – keine deterministischen gesundheitlichen Auswirkungen	
$0,01 \leq$ Aktivität/D-Wert	wahrscheinlich ungefährlich	
$1 \leq$ Aktivität/D-Wert < 10	Gefahr für Einzelpersonen	gefährlich in der näheren Umgebung
$10 \leq$ Aktivität/D-Wert < 1000	sehr gefährlich für Einzelpersonen	Sehr gefährlich in der näheren Umgebung
$1000 \leq$ Aktivität/D-Wert	extrem gefährlich für Einzelpersonen	Extrem gefährlich in der näheren Umgebung

Inkorporation

„Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Organismus über die Atmung (Inhalation), über die Nahrungsaufnahme (Ingestion) oder über die intakte Haut oder über Wunden.“ (BMLFUW 2011a: 44).

Katastrophenmanagement

„Gesamtheit aller aufeinander abgestimmten Maßnahmen in den Bereichen Katastrophenvermeidung, Katastrophenvorsorge, Katastrophenbewältigung und Wiederherstellung nach Katastrophen, einschließlich der laufenden Evaluierung der in diesen Bereichen getroffenen Maßnahmen.“ (ON 2011: 2.54).

Personenschaden

„Ein Straßenverkehrsunfall mit Personenschaden liegt vor, wenn infolge des Straßenverkehrs auf Straßen mit öffentlichem Verkehr Personen verletzt oder getötet wurden und daran zumindest ein in Bewegung befindliches Fahrzeug beteiligt war.“ (Statistik Austria 2010: 4)

Radioaktivität

Radioaktivität ist die Eigenschaft bestimmter Nuklide, spontan Teilchen, Gammastrahlung oder Röntgenstrahlung zu emittieren. Nuklide sind Atomarten, die durch ihre Massenzahl und ihre Kernladungszahl gekennzeichnet sind. (vgl. ON 2012: 5 und 29)

Radioaktive Kontamination

Die Begriffe „radioaktive Kontamination“ und „Kontamination“ werden im Sinne des §2 Absatz 33, Strahlenschutzgesetz, BGBl. Nr. 227/1969, in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015, als eine Verunreinigung von Personen, hier im Besonderen von verunfallten Personen, Einsatzkräften, der Umwelt und Gegenständen mit radioaktiven Stoffen, die vom Standpunkt des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden kann, gesehen.

Radiologische Notstandssituationen

Eine „Radiologische Notstandssituation ist eine Situation, die Dringlichkeitsmaßnahmen zum Schutz von Arbeitskräften, Einzelpersonen der Bevölkerung, Teilen der Bevölkerung oder der gesamten Bevölkerung erfordert.“ (Bundesgesetzblatt der Republik Österreich (2015a): Strahlenschutzgesetz, BGBl. Nr. 227/1969, in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015: Absatz 35, §2)

Strahlenunfall

Der Begriff „Strahlenunfall“ beschränkt sich in dieser Masterarbeit auf Verkehrsunfälle mit der Beteiligung radioaktiver Substanzen und übernimmt hierbei die Definition aus dem Gesamtstaatlichen Interventionsplan für radiologische Notstandssituationen, Notfallplan Medizinische Diagnostik und Therapie:

„[...] Ein unbeabsichtigtes, plötzlich auftretendes, auf äußeren Einwirkungen beruhendes Ereignis, das eine Schädigung von Gesundheit und Leben oder Sachwerten hervorruft. [...], bei dem es bekannt ist oder vermutet wird, dass eine gesundheitsrelevante Exposition, Kontamination oder Inkorporation bei mindestens einer Person stattgefunden hat.“ (BMLFUW 2011b: 8).

Verkehrsunfall

„Ein Straßenverkehrsunfall mit Personenschaden liegt vor, wenn infolge des Straßenverkehrs auf Straßen mit öffentlichem Verkehr Personen verletzt oder getötet wurden und daran zumindest ein in Bewegung befindliches Fahrzeug beteiligt war.

Von der Erfassung ausgeschlossen sind alle Unfälle, die sich nicht auf Straßen mit öffentlichem Verkehr, wie etwa auf Privatgrundstücken, eigenen Gleiskörpern, etc. ereigneten.“ (Statistik Austria 2010:12)

4 Methoden

Um eine planmäßige und systematische Bearbeitung im Verfassen einer wissenschaftlichen Analyse über die bestehenden Schutzmaßnahmen von Einsatzkräften bei der Bewältigung von Verkehrsunfällen mit Beteiligung radioaktiver Stoffe sicherstellen zu können, bedarf es eines methodischen Vorgehens.

4.1 Literaturrecherche

Um die Grundlagen zu erfassen und zu interpretieren, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche als Form der Datenerhebung gewählt.

Hierbei wurde Literatur aus Fachbüchern, E-Books, Peer-reviewed Journals, Zeitschriften, Rechtsmaterien und Normen für die einzelnen Fachbereiche der Strahlenphysik, Strahlenbiologie, des Strahlenschutzes und der Einsatztaktik quantitativ erfasst und qualitativ bewertet.

Die Einsicht, Bewertung und Verarbeitung dieser Datenquellen wurde über die Universitätsbibliothek Wien, im Online-Publikationsbereich der International Atomic Energy Agency sowie der International Commission on Radiological Protection sichergestellt. Auch die Erfassung der Literatur aus kleineren öffentlichen und privaten Sammlungen, wie zum Beispiel jener des Amtes der NÖ Landesregierung, Abteilung Feuerwehr und Zivilschutz, und der NÖ Landes-Feuerwehrschnule unterstützte die quantitative Erfassung.

Die Bereitstellung von nicht öffentlicher Literatur, wie Dienstanweisungen für den Polizeidienst, ermöglichten hochrangige Bedienstete aus dem Bundesministerium für Inneres.

Des Weiteren wurden für die Onlinerecherche die wissenschaftlichen Datenbanken u:search der Universitätsbibliothek Wien, Scopus, Google scholar, IAEA-Nucleus, Research Gate, Sciencedirect und der National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine herangezogen. Um die aktuellen und für diese Arbeit notwendigen Rechtsnormen der Europäischen Union und des Bundes erfassen zu können, wurde auf das Online-Rechtsinformationssystem des Bundes (RIS) zugegriffen.

4.1.1 Verwendete Keywords

Für die Onlinerecherche wurde eine Stichwortliste (Keywordliste) in deutscher und englischer Sprache erstellt. Diese diente einer groben Erfassung der Grenzen der einzelnen Fachbereiche und einer Auslotung für weitere tiefergehende Recherchen.

Als Keywords wurden die Worte der folgenden Tabelle verwendet und diese als Einzelbegriff oder in Kombination, ausschließend oder einschließend, in den wissenschaftlichen Datenbanken eingegeben.

Tabelle 2: Keywords der Literaturrecherche (eigene Darstellung)

Deutschsprachiger Begriff	Englischsprachiger Begriff
Einsatztaktik	tactics, tactical approaches
Einsatzkräfte	emergency response organisations
Gefahrenstelle	hazard area
Personenrettung	rescue
Strahlenunfall	radiation accident
3A oder 5A Regel	3A 5A rule
ABC	CBRN, NBC
Kontamination	contamination
Schutzausrüstung PSA	personal protective equipment (PPE)
Strahlenbelastung	radiation
Dosis, Dosisabschätzung	dose (assessment)
Gefahrgutunfälle, Transportunfälle	accidents with dangerous goods
Radioaktive Stoffe, Noxe	radioactive substance
Deterministischer Schaden	deterministic lesion
Stochastische Schaden	stochastic lesion
Strahlenquelle	radioactive source
Ausbildung	training, education
Übung	exercise

4.1.2 Schneeballprinzip

Das Schneeballprinzip in der Literaturrecherche wurde mit den angeführten Keywords in den speziellen Suchmaschinen begonnen. Die ersten Ergebnisse wurden verwendet, um einführende aktuelle Literatur für die großen Themenbereiche der eigenen Arbeit zu erhalten. Hiermit konnte ein grober Überblick über die gesuchte Gesamthematik gewonnen werden. Für eine spezialisierte Recherche wurde neben den in den Fußnoten angeführten Literaturstellen vor allem das Literaturverzeichnis für eine tiefergehende Suche verwendet. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse wurden wiederum dem selbigen Rechercheverfahren unterzogen. Eine laufende Analyse der Ergebnisse in die Bereiche „für die Arbeit wichtig“, „für die Arbeit relevant“ und „für die Arbeit unwichtig, da keine thematische Übereinstimmung“ machte einen Anstieg der Zahl an gefundener Literatur überschaubar. Eine hohe Priorität der Suche wurde jenen

Ergebnissen eingeräumt, die laufend in der gewonnenen Literatur oder in Teilen daraus abgebildet wurden. Die Problematik dieser Form der Literaturrecherche bestand darin, dass hiermit eine Suche in die Vergangenheit erfolgte. Diesem Umstand wurde dahingehend entgegengewirkt, dass ein Zeitfenster von zirka zehn Jahren für die Recherche gegeben wurde.

4.1.3 Rückwärts- bzw. Vorwärtssuche

Die rückblickende Betrachtung, die vor allem durch die Verwendung des Schneeballprinzips entstanden ist, wurde für die Herleitung der konstitutiven Themenkomplexe herangezogen. Durch diese Rechercheform entstand die Möglichkeit, die aufgestellten Hypothesen zu untermauern.

Für das Ziel der Gewinnung aktueller Literatur wurde das System der Vorwärtssuche verwendet. Hierbei wurde die vorliegende Literatur als Suchkriterium, also als Bezug, verwendet. Diese Betrachtung half mit, den aktuellen Stand der Wissenschaft für das analysierte Themenfeld kontinuierlich zu erfassen.

4.1.4 Dokumentation der Literaturrecherche

Um für die Inhaltsanalyse ein geordnetes Arbeitsfeld sicherstellen zu können, wurde die gesammelte Literatur offline gesichert. Für einen Überblick und einen raschen Zugriff im Zuge der Bearbeitung der Themenkomplexe wurde in Form von Ordnerstrukturen die Literatur nach Fachgebieten geordnet. Unterlagen und Daten, die mit Email übermittelt wurden sowie aussagekräftige Telefonate wurden ebenso mit genauer Darstellung des Übermittlungsdatums sowie Name und Institution der Auskunftsperson in dieser Form der Dokumentensammlung abgelegt.

4.1.5 Inhaltsanalyse

Für die qualitative Auswertungsmethode wurde die Form der qualitativen Inhaltsanalyse verwendet.

Durch diese Methode ist gewährleistet, dass eine Reduktion der Datenmengen erfolgt und längere Aussagen auf ihre Quintessenz reduziert werden. Da bereits im Vorfeld Hypothesen und deren Forschungsfragen festgelegt wurden, wurden bei Durchsicht der Texte gezielt die konkreten Inhalte zugeordnet. Lange Textpassagen wurden zusammengefasst und eine zentrale Aussage herausgearbeitet. Die so erarbeiteten Grundaussagen wurden den einzelnen Forschungsfragen gegenübergestellt und hiermit einer Beantwortung zugeführt (vgl. HUG und POSCHESCHNIK 2010: 150).

Da sich die gewonnene Literatur sehr vielfältig und divergierend in der Qualität zeigte, war neben einer quellenkritischen Recherche auch eine Überprüfung der Inhalte mit einer Betrachtung von Sekundär- und Tertiärliteratur notwendig. Hiermit soll nicht die Behauptung aufgestellt werden, dass gewonnene Literatur als fehlerhaft eingestuft wurde, sondern es wurde der ursprüngliche Zweck deren Erstellung im Zuge der Inhaltsanalyse ebenso hinterfragt. Um objektive Schlussfolgerungen in logisch nachvollziehbarer Form zu gewährleisten, erschien diese Arbeitsweise für die Erstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit notwendig.

4.1.6 Verwendung von nicht öffentlich zugänglichen Daten

Um eine exakte Darstellung der Ausbildung und der Persönlichen Schutzausrüstung der Einsatzorganisationen im Bereich Strahlenschutz in dieser Arbeit gewährleisten zu können, war auch ein Zugriff auf nicht öffentliche Daten notwendig. Vom Referat II/13/d (Bevölkerungs- und Zivilschutzausbildung) des Bundesministeriums für Inneres wurden mehrere Dienstanweisungen für den Polizeidienst und Curricula über die Ausbildung der Bediensteten der Bundespolizei bereitgestellt.

Eine Verwendung als Basisliteratur für bestimmte Kapitel dieser Arbeit sowie Auszüge daraus wurden gestattet. Eine Veröffentlichung im Gesamten wurde nicht gewährt.

4.2 Datenanalyse

Das in der vorliegenden Arbeit verwendete Datenmaterial gliedert sich einerseits in Daten zur Berechnung des Strahlenrisikos für die Einsatzkräfte und andererseits in statistische Daten zur Erlangung einer Abschätzung der Unfallhäufigkeit beim Transport von radioaktiven Stoffen.

4.2.1 Besonderheit der Daten und die Verwendung von nicht öffentlich zugänglichen Datensätzen

Die in dieser Arbeit verwendeten Datensätze der auf Österreichs Straßen transportierten Radionuklide mit ihren Aktivitäten sind keine öffentlich zugänglichen Daten. Sie wurden zur Berechnung und zur Analyse des Strahlenrisikos der Einsatzkräfte bei einem Transportunfall auf der Straße mit radioaktiven Stoffen zur Verfügung gestellt, um wissenschaftlich fundierte Aussagen treffen zu können. Eine vollständige Veröffentlichung der Basisdaten mit Quellenangabe wurde nicht gewährt. Der auszugsweisen Veröffentlichung von einzelnen aussagekräftigen Werten und deren Berechnung wurde jedoch dankenswerterweise zugestimmt.

4.2.2 Externe Datensätze und Beschreibung ihrer Berechnungen

Für die Berechnung wurden von zwei behördlichen und zwei privaten Datenquellen die Nuklide und deren Aktivität im Jahr 2015 erfasst.

Es wurden 47 verschiedene Nuklide mit 363 verschiedenen Aktivitäten betrachtet. Die vier höchsten Aktivitäten wurden mit 432,16 Terabecquerel, 67,4 Terabecquerel, 50 Terabecquerel und 40 Terabecquerel gemessen. Die in den Daten erfassten vier niedrigsten Aktivitäten liegen bei 30 Kilobecquerel, 20 Kilobecquerel, 10 Kilobecquerel und 1 Kilobecquerel. Die beiden am häufigsten vertretenen Nuklide in den bereitgestellten Datensätzen sind Iridium-192 und Selen-75. Die 363 Nuklide wurden als 7 Freigestellte, 6 LSA I, 258 Typ A und 92 Typ B Versandstücke transportiert.

Um eine Berechnung des Strahlenrisikos für Einsatzkräfte bei einem Gefahrgutunfall mit Beteiligung radioaktiver Stoffe durchführen zu können, wurde eine szenarienorientierte Betrachtung gewählt. Die im Sinne des praktischen Strahlschutzes gewählte konservative Berechnungsform erscheint in der Betrachtung des Katastrophenmanagements als eine Darstellung mit ausreichender Aussagekraft.

Eine genaue Erklärung der nachstehend angeführten Versandstückkategorien erfolgt im Abschnitt 6.2.4 dieser Arbeit.

Unversehrtes Versandstück Typ A und Typ B – Berechnungsschritte

Für das intakte Behältnis wurden die Grenzwerte der Versandstückkategorie des Europäischen Übereinkommens über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße in 1 Meter Entfernung als maximal festgelegte effektive Dosisleistung angenommen (vgl. ADR 2017: Tabelle 5.1.5.3.4). Die Versandstückkategorie I-Weiß wurde hierbei nicht berücksichtigt, da im Abstand von 1 Meter bereits die natürliche Umgebungsstrahlung vorherrschend ist. Für die Versandstückkategorie II-Gelb und III-Gelb wurden die Grenzwerte in effektive Dosiswerte (E) mit der Formel (4.1) für die Expositionszeit (t) bei 0,5, 1 und 2 Stunden (h) berechnet (vgl. ON 2012: 26).

$$E = \dot{E} * t \tag{4.1}$$

E : Effektivdosis [μSv]

\dot{E} : Effektivdosisleistung [$\mu Sv/h$]

t : Expositionszeit [h]

Des Weiteren wurden die effektiven Dosiswerte (E) für die Abstände zum Versandstück mit 5, 10 und 50 Metern mit Hilfe der Formel des Quadratischen Abstandsgesetzes (4.2) berechnet.

Hierbei wurden ebenso die effektiven Dosiswerte (E) mit einer Expositionszeit (t) von 0,5, 1 und 2 Stunden (h) mit der Formel (4.1) ermittelt (vgl. GERINGER 2010: 14, in abgeänderter Form).

$$E = \frac{\dot{E}}{r^2} \quad (4.2)$$

E : Effektivdosis [μSv]

\dot{E} : Effektivdosis in 1m Abstand zur Quelle [μSv]

r^2 : Abstand zum Quadrat [m]

Ebenso wurde eine Berechnung mit der Annahme durchgeführt, dass die Einsatzkraft in direktem Kontakt zum Versandstück stehe. Hierbei wurden die maximalen Dosisleistungsgrenzen an der Oberfläche des Versandstückes laut ADR 2017: Tabelle 5.1.5.3.4 für die Versandstückkategorien I-Weiß, II-Gelb, III-Gelb und III-Gelb mit ausschließlicher Verwendung herangezogen. Mit der Formel (4.1) wurde die Expositionszeit (t) bei 0,5, 1 und 2 Stunden (h) berechnet.

Beschädigtes Versandstück Typ A – Berechnungsschritte

Für die Ermittlung einer Energiedosisleistung (DL) wurde das Produkt aus den Aktivitäten der vorliegenden Radionuklide in einem beschädigten Versandstück A mit der Gamma-Dosisleistungskonstante ermittelt. Da die Werte für die Gamma-Dosisleistungskonstanten (ΓH) in der Literatur nicht einheitlich verwendet werden, wurde als Grundlage die ÖNORM S-5275-1:2016, Tabelle A.2, die ÖNORM S-5224:2005, Tabelle B.1 und die Tabelle 15.5 aus VOGT und SCHULTZ 2011: 418–426, herangezogen. Vorrangig wurden die ÖNORMEN verwendet und die Tabellen B.1 und 15.5 aus VOGT und SCHULTZ 2011: 418–426 ergänzend für nicht in den Normen angeführte Werte.

$$DL = A * \Gamma H \quad (4.3)$$

DL : Energiedosisleistung [Gy/h]

A : Aktivität [Bq]

ΓH : Gamma – Dosisleistungskonstante [$(Sv * m^2)/(h * Bq)$]

Zur weiteren Ermittlung der Äquivalentdosisleistung wurde die Energiedosis (D) mit dem Strahlungswichtungsfaktor (w_R) multipliziert. Die Werte des Strahlungswichtungsfaktors beziehen sich auf die Strahlungsarten Alpha (α) = 20, Beta (β) = 1 und Gamma (γ) = 1, die auf den Körper auftreffen (vgl. VOGT und SCHULTZ 2011: 71). In der Berechnung wurde der Strahlenwichtungsfaktor für Gamma verwendet.

$$HL = DL * w_R \quad (4.4)$$

HL: Äquivalentdosisleistung [Sv/h]

DL: Energiedosisleistung [Gy/h]

w_R: Strahlungswichtungsfaktor (γ = 1)

Um die Äquivalentdosis (*H*) zu ermitteln, muss die Äquivalentdosisleistung (*HL*) mit der Zeit (*t*) multipliziert werden, wobei *t* den betrachteten Zeitfaktor darstellt.

$$H = HL * t \quad (4.5)$$

H: Äquivalentdosis [Sv]

HL: Äquivalentdosisleistung [Sv/h]

t: Zeit [h]

„Soll eine Teilkörperstrahlung in eine Ganzkörperstrahlung umgerechnet werden, so muss man die bestrahlten Organe des Körpers mit einem Wichtungsfaktor [...] bewerten. [...] Für Zwecke des Strahlenschutzes wird vereinfacht definiert, dass der Mensch dreizehn „Organe“ hat. Die Wichtungsfaktoren sind auf 1 normiert ($\sum w_i = 1$)“ (GRUPEN et al. 2014: 11). Es wird angemerkt, dass in der Anlage 2 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, der hier verwendete Begriff „Wichtungsfaktor“ als „Gewebewichtungsfaktor“ gebraucht wird.

$$E = H * w_i \quad (4.6)$$

E: Effektivdosis [Sv]

H: Äquivalentdosis [Sv]

w_i: Wichtungsfaktor [1]

Die Effektivdosis für Einsatzkräfte wurde für die Expositionszeit (*t*) bei 0,5, 1 und 2 Stunden (*h*) mit der Formel (4.1) berechnet. Im Weiteren wurden die effektiven Dosiswerte (*E*) für die Abstände zum Versandstück mit 5, 10 und 50 Metern mit Hilfe der Formel des Quadratischen Abstandsgesetzes (4.2) berechnet. Hierbei wurden ebenso die effektiven Dosiswerte (*E*) mit einer Expositionszeit (*t*) von 0,5, 1 und 2 Stunden (*h*) mit der Formel (4.1) ermittelt.

Beschädigtes Versandstück Typ A (Ermittlung der Belastung durch einen kontaminierten Patienten) – Berechnungsschritte

Bei den Einsatzkräften wird Atemschutz und Kontaminationsschutz als Persönliche Schutzausrüstung (PSA) angenommen. Somit verbleibt eine externe Exposition. Die Kontamination am Patienten wird als Punktquelle in 1 Meter Entfernung angenommen. Die Berechnungsschritte für die Bestimmung der Effektivdosis (E) sind wie vorangehend beschrieben (Formeln (4.3) bis (4.6)) des beschädigten Versandstückes Typ A hier identisch. Als angenommene Aktivität eines offenen radioaktiven Stoffes liegen 10 Prozent der transportierten Aktivität auf der Oberfläche des Patienten.

Die mit 10 Prozent als Kontaminationsfaktor angenommene Größe wurde im E-Mail vom 23. Februar 2017, 16:12 Uhr, von Dr. Peter Hofer, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung I/7: Strahlenschutz, als ausreichend für eine konservative Abschätzung bestätigt. Die ermittelte Effektivdosis (E) wurde somit um 10 Prozent verringert.

Beschädigtes Versandstück Typ B – Berechnungsschritte

Die Effektivdosis für Einsatzkräfte wurde, wie oben bei den Berechnungsschritten für ein beschädigtes Versandstück Typ A beschrieben, auch für ein beschädigtes Versandstück des Typs B für die Expositionszeit (t) bei 0,5, 1 und 2 Stunden (h) mit der Formel (4.1) berechnet. Im Weiteren wurden ebenso die effektiven Dosiswerte für die Abstände zum Versandstück mit 5, 10 und 50 Metern mit Hilfe der Formel des Quadratischen Abstandsgesetzes (4.2) ermittelt. Auch die effektiven Dosiswerte (E) mit einer Expositionszeit (t) von 0,5, 1 und 2 Stunden (h) mit der Formel (4.1) wurden hierbei berechnet.

4.2.3 Statistische Daten und deren Aufbereitung

Um über die Anzahl, Häufigkeit und radiologischen Auswirkungen von Verkehrsunfällen mit der Beteiligung von radioaktiven Stoffen eine Aussage treffen zu können, liegt eine Notwendigkeit in der Erhebung und Auswertung von statistischem Datenmaterial vor.

Erhebung des statistischen Datenmaterials

Zur Erfassung der statistischen Daten wurde eine Abfrage über die Homepage der Statistik Austria (Quelle: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/index.html) durchgeführt. Hierbei erfolgte vorerst eine Abfrage über das Unfallgeschehen auf österreichischen Straßen im Zeitraum 1992 bis 2015.

Eine weitere statistische Abfrage der Unfälle mit Gefahrgut war infolge des fehlenden Datenmaterials auf dieser Seite nicht möglich. Aus diesem Grund wurde per E-Mail vom 27. Dezember 2016, 08:54 Uhr, direkt bei der Statistik Austria angefragt und um Übermittlung der gewünschten Daten erbeten. Die Beantwortung dieser Anfrage mit einer statistischen Aufbereitung der Unfälle beim Transport gefährlicher Güter im Zeitraum 1989 bis 2015 erfolgte durch die Statistik Austria über Herrn Norbert Vogel am 27. Dezember 2016, 14:47 Uhr.

Mit E-Mail vom 18. April 2017, 13:15 Uhr, wurde um spezielle Ausweisung der übermittelten statistischen Daten im Hinblick auf den Transport von radioaktiven Stoffen ersucht. Mit selbigem Datum erfolgte um 13:21 Uhr die Mitteilung der Statistik Austria, Herrn Norbert Vogel, dass eine Statistik einzelner Schadstoffklassen nicht erhoben wird und somit auch nicht ausgewertet werden kann.

Zusätzlich zur Datenerfassung über die Statistik Austria wurde mit dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abteilung IV/ST 3 – Gefahrgut, über Email vom 12. März 2017, 10:19 Uhr, mit dem Verantwortlichen, Herrn Dr. Friedrich Kirchnawy, Kontakt aufgenommen. Hierbei wurde einerseits um Spezifizierung des vorliegenden Datenmaterials der Statistik Austria für den Bereich der Gefahrgutklasse 7 (Transport von radioaktiven Stoffen) und andererseits betreffend einer Auflistung von transportierten Strahlenquellen im Beobachtungsjahr 2015 gebeten. Im Telefonat vom 13. März 2017 wurde von Herrn Dr. Kirchnawy mitgeteilt, dass eine Erfassung der gewünschten Daten im Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie nicht erfolge. Nach aktuellem Wissenstand seien Herrn Dr. Kirchnawy keine meldepflichtigen Unfälle mit Beteiligung radioaktiver Stoffe in Österreich im angefragten Zeitraum bekannt. Für die weitere Erhebung von Daten wurde von ihm die Unfalldatenbank der International Atomic Energy Agency (IAEA) als Quelle vorgeschlagen.

Die Kontaktaufnahme mit der International Atomic Energy Agency, Division of Radiation, Transport and Waste Safety, erfolgte per E-Mail am 21. März 2017 um 09:28 Uhr. Hierbei erging das Ersuchen um Übermittlung statistischer Daten über Transporte bzw. Unfälle mit radioaktiven Stoffen im Beobachtungszeitraum 2005 bis 2015. Eine Beantwortung dieser Anfrage durch die IAEA blieb bis heute aus.

Auswertung des statistischen Datenmaterials

Das von der Statistik Austria übermittelte Datenmaterial über das Unfallgeschehen auf österreichischen Straßen im Zeitraum 1992 bis 2015 und der Unfälle beim Transport gefährlicher Güter im Zeitraum 1989 bis 2015 wurde tabellarisch gegenübergestellt, um eine Aussage über die Anzahl und Häufigkeit derartiger Unfälle treffen zu können. Eine konkrete Auswertung über Verkehrsunfälle mit Beteiligung radioaktiver Stoffe muss infolge des hierfür fehlenden Datenmaterials ausbleiben.

Vergleich mit Daten des Vereinigten Königreichs Großbritannien und Nordirland

Im Hinblick auf eine grundlegende Abschätzung der Häufigkeit und der Auswirkungen über Verkehrsunfälle mit Beteiligung radioaktiver Stoffe wurden wissenschaftliche Berichte des britischen Ministeriums „Public Health England“ (Quelle: <https://www.gov.uk/government/organisations/public-health-england>) über Ereignisse im Zusammenhang mit Transport von radioaktivem Material im Vereinigten Königreich und die radiologischen Auswirkungen dadurch für den Zeitraum 2005 bis 2012 ausgewertet. Für den durch die Berichte abgedeckten Zeitraum wurden die Gesamtereignisse tabellarisch den Verkehrsunfällen mit der Beteiligung radioaktiver Stoffe im Jahresabschnitt gegenübergestellt und die Ursache und radiologischen Auswirkungen angegeben.

Für den Zeitraum 1958 bis 2004 wurde der Bericht „Review of Events Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK, from 1958 to 2004, and their Radiological Consequences“ speziell ausgewertet. Im Rahmen dieser Auswertung wurden die Ereignisse mit ihren radiologischen Auswirkungen tabellarisch erfasst und über den Zeitraum 1958 bis 2004 verglichen.

5 Grundlagen der Strahlenphysik, Strahlenbiologie und des Strahlenschutzes

Um die Wirkung von Radioaktivität auf den menschlichen Körper erfassen zu können, ist es notwendig, die Grundlagen der Strahlenphysik, der Strahlenbiologie und des Strahlenschutzes darzulegen. Hierbei ist eine Betrachtung der physikalischen und biologischen Zusammenhänge von Wichtigkeit. Ebenso stellt der praktische Strahlenschutz eine zentrale Quelle für ein grundlegendes Verständnis für den Umgang mit ionisierender Strahlung dar. Gerade er trägt mit seinem wissenschaftlichen Fundus dazu bei, normative und rechtliche Vorgaben für den Schutz von Mensch und Umwelt vor schädigender ionisierender Strahlung bzw. einer weitreichenden Kontamination mit radioaktiven Stoffen vorzubeugen oder auch zu schaffen.

5.1 Der Aufbau von Materie

In der vereinfachten Bohr'schen Modelldarstellung sind Atome, aus denen Materie gebildet wird, aus einem Atomkern und einer Atomhülle aufgebaut. Der Kern (Nucleus) besteht aus positiv geladenen Teilchen, den Protonen, und ungeladenen Teilchen, den Neutronen. Der positiv geladene Kern mit seinen Nukleonen enthält beinahe die gesamte Masse des Atoms. Atome mit der gleichen Anzahl an Protonen und Neutronen im Atomkern werden als Nuklide bezeichnet. In der Atomhülle finden sich Elektronen, die negativ geladenen Teilchen.

Bei gleicher Protonenanzahl aber unterschiedlicher Neutronenanzahl werden die Atome unter dem Begriff der Isotope zusammengefasst. Für Nuklide gleicher Nukleonenzahl wird der Begriff der Isobare verwendet.

Aufgrund der großen Dichte von Atomen in fester Materie ist eine Durchdringung von anderen Atomen nicht möglich. Nur die einzelnen Elektronen, Protonen oder Neutronen können durch die Hülle und in den Kern gelangen. Die einzelnen Elektronen des Atoms bewegen sich um den Kern in Bahnen in verschiedenen Abständen und werden durch unterschiedliche Kräfte gebunden (Bindungsenergie). Der Kern ist in ähnlicher Weise durch charakteristische Energiezustände seiner Nukleonen gekennzeichnet. (vgl. VOGT und SCHULTZ 2011: 3–5)

Damit die Kernteilchen nicht durch Reibungsenergie abgleiten, werden sie von kleinsten Baubestandteilen (wie Quarks und Gluonen) und deren Energie zusammengehalten. (vgl. GRUPEN et al. 2014: 19)

5.2 Radionuklide und Strahlungsarten

Verschiedenste Nuklide wandeln sich infolge von Kernprozessen ohne äußere Einwirkung um und senden hierbei ionisierende Strahlung in Form von Strahlungsteilchen aus. Diese instabilen Nuklide werden als Radionuklide bezeichnet.

Die in der Natur vorkommenden Radionuklide sind für die natürliche Radioaktivität verantwortlich. Wird eine Kernumwandlung künstlich erzeugt, spricht man von künstlicher Radioaktivität. Die beim Zerfall eines Atomkerns entstehende ionisierende Strahlung weist nach VOLKMER (2012: 13 und 18) einen unterschiedlichen Energiegehalt auf, der in Elektronen-Volt (eV) gemessen wird.

VOGT und SCHULTZ (2011: 11) beschreiben Radioaktivität als die durchschnittliche Anzahl an Kernprozessen. Werden diese Kernprozesse innerhalb einer Zeitdauer beobachtet, so spricht man von Aktivität. Die Aktivität ist die Anzahl der Kernprozesse, die von Atomen vollzogen werden, geteilt durch das Zeitintervall. Die Einheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq). Ein Becquerel entspricht einem Zerfall innerhalb einer Sekunde. Die heute nicht mehr zeitgemäße Einheit der Aktivität ist das Curie (Ci). Ein Curie entspricht der Aktivität von 1 Gramm Radium-226. 1 Curie ist mit $3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerel gleichzusetzen.

Ionisierende Strahlung (oft fälschlich als radioaktive Strahlung bezeichnet) breitet sich in einem Strahlungsfeld aus und tritt in Wechselwirkungsprozesse, wenn dieser Raum mit Materie gefüllt ist. Absorption und Streuung, als Wechselwirkungsprozesse, bestimmen die Ausbreitung des Strahlungsfeldes. Die ursprüngliche Strahlung wird als Primärstrahlung verstanden. Durch die Wechselwirkung mit Materie kann – wenn der getroffene Körper ebenfalls als Strahlungsquelle gesehen wird – weitere Strahlung in Form von Sekundärstrahlung erzeugt werden. Ebenso sind weitere Wechselwirkungsprozesse, wie zum Beispiel die Tertiärstrahlung, möglich. (vgl. VOLKMER 2012: 13)

Beim Durchdringen von Materie erfolgt kontinuierlich eine Energieabgabe. Geladene Strahlungsteilchen reagieren entlang ihrer Bahn mit anderen. Diese Form des Ionisationsprozesses wird als direkte Ionisation bezeichnet. Die ungeladenen Teilchen verlieren ihre kinetische Energie entlang ihrer Bahn, da sie weniger Wechselwirkungen mit anderen Atomen eingehen. Hierbei werden größere Energiebeiträge auf Sekundärteilchen übertragen, die dann selbst Ionisierung auslösen können. Dieser Ionisationsprozess wird als indirekte ionisierende Strahlung titulierte. Sowohl geladene als auch ungeladene Energieteilchen sind in der Lage, durch ihre Stoßprozesse radioaktive (instabile) Atomkerne zu erzeugen (ebd.: 13).

Die Anzahl der Wechselwirkungen hänge nach VOGT und SCHULTZ (2011: 3–5) davon ab, wie viele reagierende Materieteilchen pro Volumen in der Materie und vorhandenen Strahlungsenergie vorhanden seien. Erfolgt eine Ionisierung, so werden Elektronen aus der Hülle gelöst. Bei Anregung verbleiben diese in der Hülle und werden hierbei auf einen höheren Energiezustand gebracht. Nach der Emission von Wellenstrahlung oder rein durch Erwärmung des Materials kehren sie in ihren Grundzustand zurück. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass Elektronen ihre Energie mittels Bremsstrahlungsphotonen abgeben. Je höher die Bewegungsenergie und je

geringer die Masse des Teilchens ist, umso wahrscheinlicher wird die Bremsstrahlungsenergieabgabe.

5.2.1 Alphastrahlung

Die Alphastrahlung ist eine Form von ionisierender Strahlung. Radionuklide, die diese Strahlungsart aussenden, werden als Alphastrahler bezeichnet. Helium-4-Atomkerne, die aus zwei Protonen und zwei Neutronen bestehen, bilden diese Alphateilchen. Diese haben eine sehr große Masse und werden beim Durchgang durch Materie kaum abgelenkt. Durch ihre niedrige Geschwindigkeit (zwischen 15.000 km/s und 20.000 km/s) und durch die große elektrische Ladung erzeugen sie eine bedeutende Anzahl von Wechselwirkungen entlang ihrer Flugbahn. Bremsstrahlung spielt hier eine nebensächliche Rolle. Vielmehr können Alphateilchen Kernreaktionen auslösen, die wiederum Folgeprozesse einleiten. An der Luft wird Alphastrahlung durch ihre geringe Bahnlänge nach wenigen Zentimetern nicht mehr wirksam. Bereits dünne Kunststoffschichten bewirken eine vollständige Abschirmung. Treffen Alphateilchen direkt auf die Haut, dringen sie nur in die obersten Gewebsschichten ein. Bei ungeschütztem Gewebe können infolge der hohen Ionisationsdichte schwere Schäden auftreten. (vgl. VOGT und SCHULTZ 2011: 46, 216 und 223)

Nachstehende Abbildung zeigt den Alphazerfall eines Radium-226 Atoms.

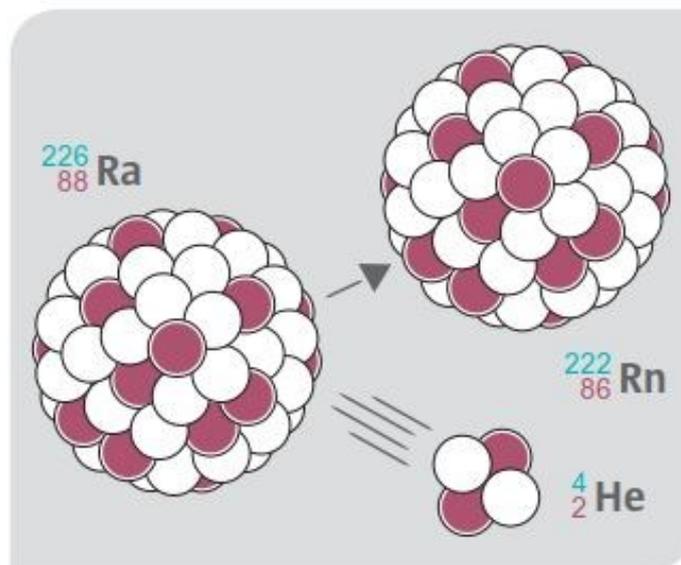


Abbildung 1: Alphazerfall in Modelldarstellung (Quelle: VOLKMER 2012: 13, Abb.2.01)

Der Kern eines Radiums-226 Atoms ist aus 88 Protonen und 138 Neutronen aufgebaut, was einer Kernladungszahl von 88 und einer Massezahl von 226 entspricht.

Durch die Instabilität des Kernes wird ein Heliumkern herausgeschleudert. Die Kernladungszahl sinkt durch diesen Vorgang um 2 und die Massenzahl um 4. Das Element Radon-222 wird hierbei gebildet.

5.2.2 Betastrahlung

Betastrahlung tritt auf, wenn ein Radionuklid ein Elektron aus seinem Kern abgibt. Hierbei unterscheidet man zwischen Beta-minus- und Beta-plus-Strahlung. Beta-minus-Strahlung entsteht, wenn sich im Kern ein Neutron in ein Proton umwandelt. Hierbei wird eine Teilchenstrahlung in Form eines Elektrons ausgesendet. Als Beispiel sei hier das Element Cäsium-137 erwähnt. Dieses wird bei Umwandlung eines Neutrons in ein Proton unter Abgabe eines Elektrons zu Barium-137. Nach der Umwandlung liegt ein Proton mehr vor, was einen Zuwachs der Kernladungszahl bedeutet. Die Anzahl der Kernteilchen bleibt hingegen gleich (vgl. VOLKMER 2012: 13f.). Folgend wird ein Modell zur Entstehung der Beta-minus-Strahlung grafisch dargestellt.

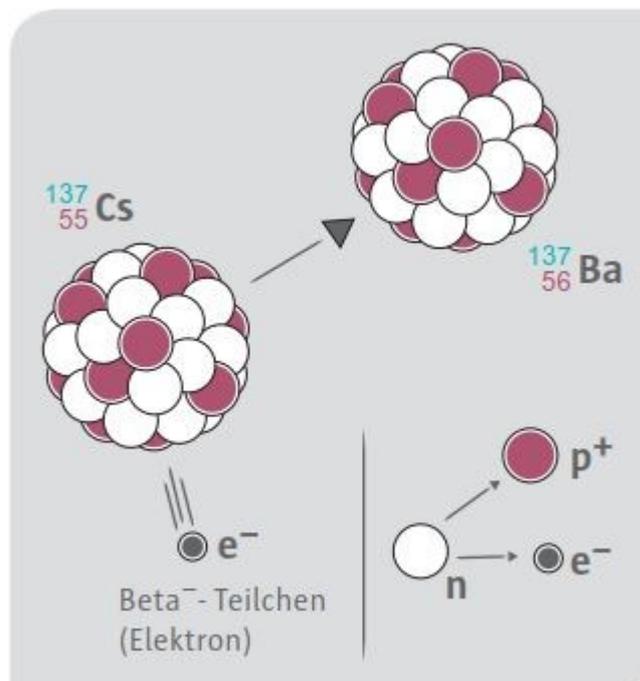


Abbildung 2: Modell zur Entstehung der Beta- – Strahlen (Quelle: VOLKMER 2012: 13, Abb. 2.02)

Wandelt sich hingegen ein Proton in ein Neutron um, wird ein Positron (positiv geladenes Antiteilchen eines Elektrons, das sich von diesem nur durch seine entgegengesetzte Masse und Ladung unterscheidet) herausgeschleudert. Man spricht hierbei von einer Beta-plus-Strahlung bzw. Positronenstrahlung.

Das Element Natrium-22, als Beispiel, wandelt sich durch diesen Vorgang in Neon-22 um. Auch hierbei bleibt die Massezahl gleich, die Kernladungszahl nimmt jedoch um eine Einheit ab (ebd.: 13–14).

Des Weiteren wird beim Betazerfall neben der Positronenstrahlung auch ein Antineutrino aus dem Kern abgegeben. Ebenso kann bei der Umwandlung eines Neutrons in ein Proton neben der Beta-plus-Strahlung auch ein Neutrino abgegeben werden.

Sowohl Neutrinos als auch Antineutrinos sind sehr kleine ungeladene Teilchen, die ein hohes Durchdringungsvermögen besitzen, jedoch schwer nachzuweisen sind. (vgl. VOLKMER 2012: 14)

VOGT und SCHULTZ (2011: 223f.) sind der Ansicht, dass die Reichweite der Betastrahlung aufgrund der geringeren Ionisationsdichte höher sei als bei Protonenstrahlung. Besonders geeignet für die Abschirmung seien leichte Materialien, wie Acrylglas oder dünnes Aluminium. Den Wirkungsbereich definiert SCHÖNHACKER (2009: 8.21) bei Beta-minus-Strahlung mit einer Reichweite von einigen Metern und Beta-plus-Strahlung mit einer extrem kurzen Distanz.

5.2.3 Photonenstrahlung

Gamma- und Röntgenstrahlen erzeugen durch ihre Wechselwirkungsprozesse eine indirekt ionisierende Strahlung. Wie bei sichtbarem Licht wird Gammastrahlung als Quanten bzw. Photonen abgegeben. Sie bewegt sich nach VOGT und SCHULTZ (2011: 47f.) mit Lichtgeschwindigkeit und kann Alpha- und Betazerfälle begleiten.

Die maximale Reichweite von Photonenstrahlung sei nicht begrenzt und somit als unendlich zu betrachten. Beim Durchlauf mehrerer Halbwertsschichten (die Durchlaufung einer bestimmten Schichtdicke, in der die Dosisleistung um die Hälfte abnimmt) werde die Dosisleistung auf einen Bruchteil der Anfangsdosisleistung reduziert. In der Praxis werden für die Schwächung Materialien wie Normalbeton, Barytbeton, Blei oder Bleiglas verwendet. (ebd.: 224 und 227)

Die Darstellung auf der nächsten Seite zeigt die Abgabe eines Photonenstrahls (Gammaquant) aus dem Atomkern am Beispiel des Barium-137 Atoms.

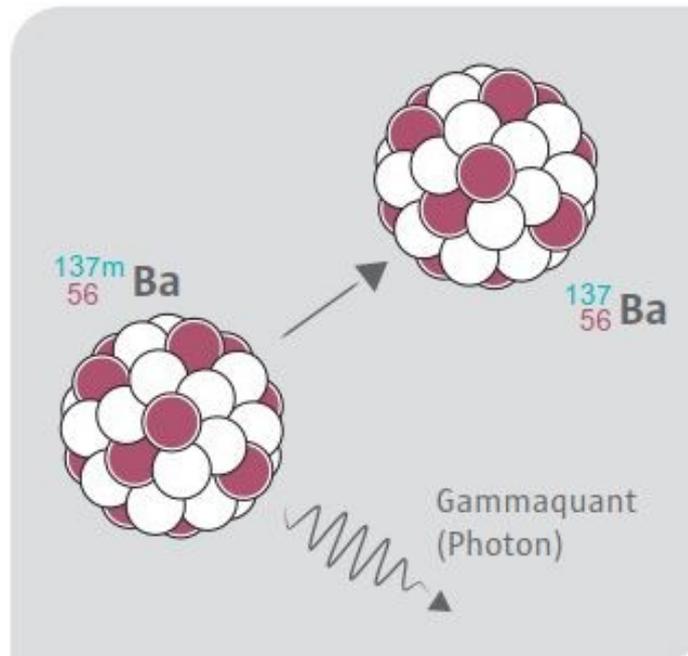


Abbildung 3: Abgabe eines Gammaquants aus einem Atomkern (Modelldarstellung)
(Quelle: VOLKMER 2012: 14, Abb. 2.04)

5.2.4 Neutronenstrahlung

Bei der Neutronenstrahlung wird aus einem Atomkern ein Neutron herausgeschlagen oder herausgeschleudert. Diese Neutronen können nur mit Kernen reagieren. Man beobachtet hier als Reaktionen elastische und inelastische Streuung, Absorption, Mehrteilchenprozesse und Kernzerspaltung. Stößt ein Neutron auf einen Atomkern, so wird dieses abgelenkt. Der Kern selbst reagiert mit Ionisierung und Anregung, da er aus seiner Bahn gelenkt wird (elastische Streuung). (vgl. VOGT und SCHULTZ 2011: 47)

Inelastische Streuung liegt dann vor, wenn die Bewegungsenergie zum Teil zur Anregung des Atomkerns verbraucht wird. Der angeregte Kern emittiert Photonen und geht in den Grundzustand über. Bei Absorption „verschwindet“ das Neutron, indem es sich an dem Nukleus festheftet. Dies führt zur Reaktion des Kerns unter Abgabe von Photonen oder eines Protons. Mehrteilchenprozesse sind bei höherenergetischen Neutronen möglich. Hierbei gibt der Kern mehrere Nukleonen frei. Auch ist hierbei eine Kernzerspaltung (wie auf der nächsten Seite abgebildet) möglich (ebd.: 47).

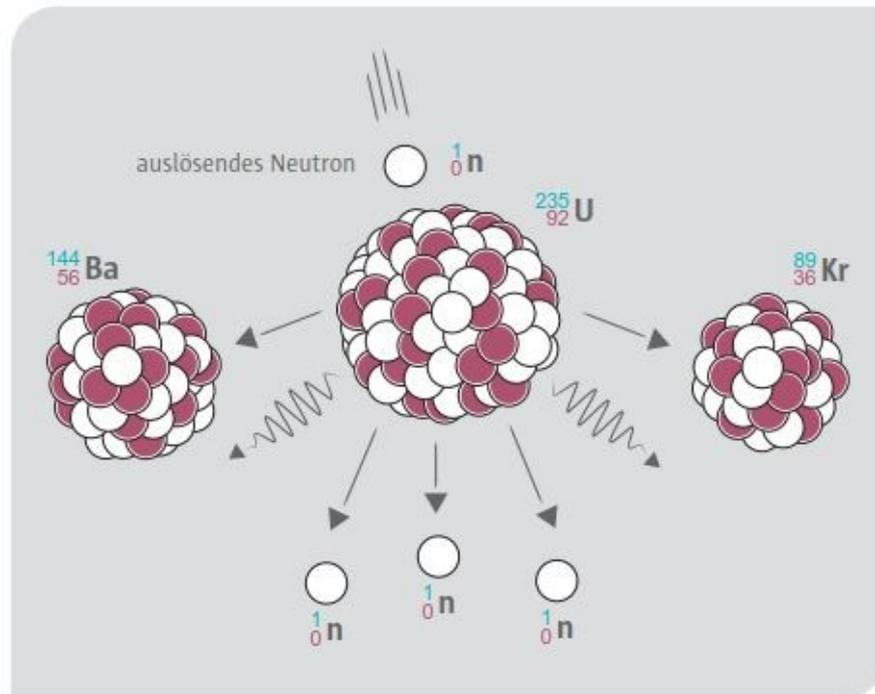


Abbildung 4: Modell zur Spaltung eines Kernes von U-235 (Quelle: VOLKMER 2012: 15, Abb. 2.06)

Die Abnahme der Energie von Neutronen trete nach VOGT und SCHULTZ (2011: 230) durch die Stoßprozesse mit Atomkernen auf. Wie bei der Photonenstrahlung sei diese ebenfalls keiner Endlichkeit der Reichweite unterworfen.

SCHÖNHACKER (2009: 8.21) gibt die Reichweite von Neutronenstrahlung in einem Bereich von mehreren Kilometern an.

Die nachstehende Tabelle zeigt im Überblick die Einteilung der Strahlungsarten nach ihrer Herkunft.

Tabelle 3: Einteilung der Strahlungsarten (Quelle: SCHÖNHACKER 2009: 8.20)

	Teilchenstrahlung	Wellenstrahlung
Kernstrahlung	Alpha Beta Neutronen	Gamma
Hüllenstrahlung	-	Röntgen

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die hier angeführten Strahlungsarten nur eine Auswahl der bekannten Formen ionisierender Strahlung darstellen. Für eine Betrachtung und Abschätzung der Gefahr für Einsatzkräfte bei einem Verkehrsunfall auf der Straße mit Beteiligung radioaktiver Stoffe erscheint diese Auswahl als ausreichend.

5.3 Radionuklide und ihre Halbwertszeiten

Atomkerne können nach VOGT und SCHULTZ (2011: 16) nur einmalig einen bestimmten radioaktiven Kernprozess durchlaufen, da hierbei ihre Anzahl abnimmt. Als Halbwertszeit wird jener zeitliche Abschnitt verstanden, in dem die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome eines Radionuklides zerfallen ist.

Diese physikalische Halbwertszeit sei nach KOELZER (2015: 86–87) nicht einheitlich für alle Radionuklide darzustellen. Vielmehr hat jedes Radionuklid seine eigene, für ihn typische Halbwertszeit. Als Beispiele seien hier Iod-131 mit 8 Tagen, Cäsium-137 mit 30,2 Jahren und Plutonium-239 mit 24.100 Jahren angeführt.

Neben der physikalischen Halbwertszeit wird auch die biologische Halbwertszeit betrachtet. Dies ist jene Zeit, in der die Hälfte der aufgenommenen Menge eines radioaktiven Stoffes in einem biologischen System ausgeschieden wird (vgl. GRUPEN et al. 2014: 184). Als Beispiele dienen hier das Iod-131 mit 80 Tagen, Cäsium-137 mit 110 Tagen und Plutonium-239 mit 50 Jahren (vgl. KOELZER 2015: 87).

Die effektive Halbwertszeit werde laut KOELZER (ebd.: 87) aus beiden Komponenten betrachtet, jene der physikalischen wie auch der biologischen Halbwertszeit. Hier wird neben der Menge, die durch Ausscheidung eines radioaktiven Stoffes aus dem Körper vermindert wird, auch die physikalische Lebensdauer eines Nuklides beobachtet. Auch hier dienen als Beispiel das Iod-131, das Cäsium-137 und das Plutonium-239. Iod-131 hat eine effektive Halbwertszeit von 7,2 Tagen, Cäsium-137 von 109 Tagen und Plutonium-239 von 49,9 Jahren.

Die effektive Halbwertszeit wird gemäß ÖNORM A 6601:2012 mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{1/2}} + \frac{1}{T_{bio}} \quad (5.1)$$

T_{eff} : effektive Halbwertszeit [h]

$T_{1/2}$: physikalische Halbwertszeit [h]

T_{bio} : biologische Halbwertszeit [h]

5.4 Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung

Die Strahlenexposition des Menschen setzt sich einerseits aus der natürlichen und andererseits aus der künstlichen (zivilisatorischen) Exposition zusammen. Natürliche Exposition wiederum umfasst eine äußere (externe) und eine innere (interne) Komponente.

Die äußere Komponente ist geprägt von Strahlung aus dem Boden und von verwendeten Baumaterialien. Gegenden mit einer überdurchschnittlichen Häufung an Urangestein weisen eine überdurchschnittliche Gamma-Ortsdosisleistung auf (zum Beispiel im niederösterreichischen Waldviertel). Ein weiterer Einfluss der natürlichen externen Strahlenexposition ist durch die kosmische Strahlung gegeben. Sie setzt sich aus den Strahleneinwirkungen aus dem Weltall (galaktischer Strahlung) und der daraus in der Erdatmosphäre entstehenden Strahlung zusammen. (vgl. KRIEGER 2009: 475–481)

In Österreich liegt die Ortsdosisleistung aufgrund der externen Strahlung zwischen 70 und 200 Nanosievert pro Stunde (nSv/h). Die aktuellen Messwerte der Ortsdosisleistung in Österreich können online über das Strahlenfrühwarnsystem des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (vgl. BMLFUW 2017) eingesehen werden.

In der nachstehenden Abbildung werden die Messwerte aus dem Strahlenfrühwarnsystem vom 13. April 2017 (16:36 Uhr) dargestellt.

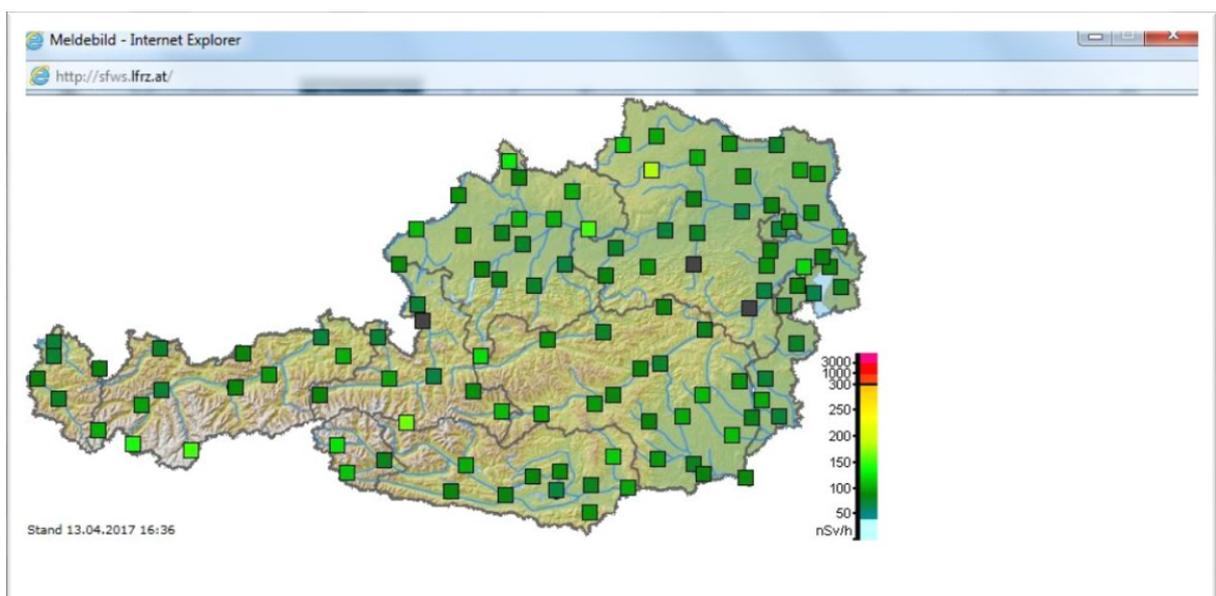


Abbildung 5: Österreichkarte mit Messwerten aus dem Strahlenfrühwarnsystem (Quelle: BMLFUW 2017: <http://sfws.lfrz.at/> (13.04.2017, 16:36 Uhr)

Verschiedenste Ereignisse können zu kurzzeitigen Schwankungen und Erhöhungen der Messwerte führen. Natürliche Vorkommnisse, wie zum Beispiel Niederschläge, führen durch eine Konzentration von kurzlebigen natürlichen Radionukliden aus der Luft am Boden häufig zu einer kurzzeitigen Messwerterhöhung. Aber auch gewerbliche Anwendungen mit ionisierender Strahlung, wie etwa bei Werkstoffprüfung, in unmittelbarer Nähe der Messsonden des Strahlenfrühwarnsystems zeigen deutlich einen Anstieg der Messwerte.

Die innere Komponente der natürlichen Exposition entsteht durch Ingestion und Inhalation. Durch Nahrungsmittel und über die Atmung gelangen Radionuklide in den menschlichen Körper und verteilen sich hier infolge ihrer biochemischen Eigenschaften in den verschiedenen Organsystemen und im Gewebe. Laut KRIEGER (2009: 488) bestehe kein Unterschied im Stoffwechsellmuster zwischen den Radionukliden und ihren verwandten nicht-radioaktiven Nukliden. Einige Radionuklide wie etwa das Kalium werden hier im Körper verteilt, andere lagern sich in bestimmten Organen ab (wie zum Beispiel Iod in der Schilddrüse) und treten dort in angereicherter Form in Erscheinung. Nahrungsmittel und Genussmittel, wie Seefisch oder Tabak, können zu einer Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition durch Ingestion und Inhalation führen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition ist bedingt durch vom Menschen künstlich erzeugte, modifizierte oder verbreitete Strahlung. Vor allem in der Medizin wird künstliche Strahlung für Therapie und Diagnostik eingesetzt. Hierbei zeichnen sich vor allem die Bereiche der Röntgendiagnostik, Strahlentherapie, Nuklearmedizin und Radioonkologie verantwortlich. Ebenso findet diese Form der Strahlenexposition durch einschlägige Betätigung im Bergbau, in der Forschung, in der Kerntechnik und in der Luft- und Raumfahrt statt. Des Weiteren findet Radioaktivität Verwendung oder ist ein Produkt in der Energieumwandlung aus fossilen Brennstoffen, im Einsatz von Baumaterialien, in kerntechnischen Anlagen, bei Kernwaffentests, in der Erzeugung von Düngemitteln und bei vielen weiteren Anwendungen in der Wissenschaft, Forschung und Industrie (ebd.: 501–508).

Um die ionisierende Wirkung von Strahlung messbar zu machen, wird die Umrechnung auf eine Energiedosis (D) benötigt. Diese ist definiert als die absorbierte Energie einer ionisierenden Strahlung pro Masseinheit. Als Einheit der Energiedosis steht Gray (Gy). Die früher verwendete Einheit der Energiedosis ist rad. 100 rad sind gleichzusetzen mit 1 Gray. (vgl. HERMANN et al. 2006: 3)

$$1 \text{ Gy} = 1 * \frac{J}{Kg} \quad (= 100 \text{ rad}) \tag{5.2}$$

J : Energie [J]

kg : Masse [kg]

HERMANN et al. (2006: 4) untermauern, dass nach dem Grotthus-Draper-Gesetz beim Auftreffen von ionisierender Strahlung auf ein biologisches Objekt nur der absorbierte Anteil wirksam werde. Je größer die Ionisierungsdichte der geladenen Strahlungsteilchen oder deren Sekundärteilchen, desto größer ist die Wirkung auf das biologische Umfeld. Um eine biologische Wirkung von ionisierender Strahlung bestimmen zu können, wurden pauschale Qualitätsfaktoren festgelegt. Das Produkt aus der Energiedosis (D) und dem Qualitätsfaktor (Q) an einem Punkt im Strahlungsfeld wird als Äquivalenzdosis (H) bezeichnet (vgl. VOGT und SCHULTZ 2011: 62).

$$H = Q * D \tag{5.3}$$

H : Äquivalenzdosis [Sv]

Q : Qualitätsfaktor [1]

D : Energiedosis [Gy]

Für verschiedene Strahlungsarten sind Strahlungswichtungsfaktoren gemäß Anlage 2, Abschnitt B der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, festgelegt. So hat Alphastrahlung den Faktor 20, Betastrahlung den Faktor 1 und Gammastrahlung ebenfalls den Faktor 1.

Die Einheit der Äquivalenzdosis ist das Sievert (Sv). Sie sei nach KOELZER (2015: 41) bestimmt als Produkt der Energiedosis mit dem Strahlenwirkungsfaktor (Qualitätsfaktor). Ein Sievert entspricht 100 rem (alte Einheit der Äquivalenzdosis).

Um das Risiko für das Auftreten einer Strahlenwirkung beschreiben zu können, wird die Effektive Dosis als Kenngröße definiert. Die Bestimmung erfolgt durch Wichtung mit relevanten Faktoren aus den Organdosen. Hierbei ist festzuhalten, dass diese Wichtungsfaktoren international einheitliche Werte für die gleiche Gefährdung des Menschen beschreiben. (vgl. KRIEGER 2009: 311)

5.5 Strahlenwirkung und Strahlenrisiko

Im Hinblick auf die Strahlenwirkung unterscheidet man zwischen direkter Strahlenwirkung und indirekter Strahlenwirkung. Direkte Strahlenwirkung liegt vor, wenn die Energieabsorption und die Auslösung der biologischen Wirkung innerhalb des gleichen Zielmoleküls vonstatten geht. Im Vergleich dazu liegt indirekte Strahlenwirkung vor, wenn die biologische Wirkung nicht im selben Zielmolekül erfolgt. Hier erzeuge laut HERMANN et al. (2006: 8–10) die ionisierende Strahlung eine Radikalkettenreaktion, die zu einer Schädigung am Zielmolekül führe. Unter Radikalen werden Atome bzw. Moleküle verstanden, die besonders reaktionsfreundlich seien.

5.5.1 Wirkung von ionisierender Strahlung auf die Zelle

Die Grundlage der Strahlenbiologie ist die Erforschung der Wirkung ionisierender Strahlung auf die kleinste eigenständig lebensfähige Einheit des Organismus, die Zelle. Trifft ionisierende Strahlung auf diese, so sind die wichtigsten Wirkungsformen die Mutation und der Verlust der unbegrenzten Teilungsfähigkeit (Zelltod). Hierbei ist der Zellkern, im speziellen die Desoxyribonukleinsäure (abgekürzt „DNS“ oder in der englischsprachigen Bezeichnung „deoxyribonucleic acid“ mit der Abkürzung „DNA“), ein wichtiges Ziel bei der Schädigung durch ionisierende Strahlung in der Zelle. Durch die Strahlenwirkung kann es zu Brüchen der Stränge (Einzel- und Doppelstrangbrüchen), Schäden der Basen der DNA-Moleküle und weiteren schwerwiegenden Läsionen von Teilen der DNA kommen. (vgl. HERMANN et al. 2006: 14–16)

„Nach Bestrahlung treten pro Gray und Zelle etwa 4000–5000 DNA-Schäden, darunter etwa 30–40 Doppelstrangbrüche auf. Der weit überwiegende Teil dieser Schäden kann durch zelluläre Enzyme repariert werden.“ (ebd.: 19). Spricht man vom Zelltod, dann definiert die Strahlenbiologie dies als einen Verlust der Teilungsfähigkeit der Zelle.

5.5.2 Deterministische Schäden

Bei einer Überschreitung gewisser Schwellenwerte werden somatische Schäden hervorgerufen. Deren Schweregrad, beschreiben VOGT und SCHULTZ (2011: 82), sei von der Höhe der Strahlung, Dosis, dem zeitlichen Verlauf und der Empfindlichkeit einzelner Organe abhängig. Diese Art von Schädigung wird als deterministischer Schaden bezeichnet.

Die sogenannte Sofortdosis zeigt sich verantwortlich für deterministische Schäden. Sie ist diejenige Dosis, die innerhalb von 48 Stunden aufgenommen wird. Aufgrund des kurzen Zeitraumes zeigen die biologischen Reparaturprozesse für diese Dosis keine ausreichende Wirkung. Hierbei ist festzustellen, dass die Höhe der Dosis auch den Schweregrad eines auftretenden Schadens widerspiegelt. (vgl. SCHÖNHACKER 2009a: 7.3)

Aus der Analyse von Unfällen und aus strahlentherapeutischen Anwendungen entstammen die Kenntnisse der für den Strahlenschutz wichtigsten Körperregionen beim Menschen bei Teilkörperexpositionen. Hierbei seien laut KRIEGER (2009: 438) die Haut, Augenlinse, das blutbildende System, der Verdauungstrakt und die Keimdrüsen neben dem Rückenmark und den inneren Organen, wie Nieren, Leber und Lunge, für den Strahlenschutz von Bedeutung, da eine Exposition dieser Bereiche zu erheblichen Beeinträchtigungen des Individuums führen können.

Zu einer komplexen Vielzahl an Reaktionen führt eine Ganzkörperbestrahlung. Hierbei kann es zu einer Überlagerung der Körperreaktionen der Strahlensymptome kommen (ebd.: 443).

Die ersten Fröhschäden bei einer Ganzkörperdosis von 0,25 Sievert (Sv) sind an einer Veränderung des Blutbildes ersichtlich. Mit einer Dosis von 1 Sievert spricht man von der kritischen Dosis, die mit den Symptomen der Strahlenkrankheit rechnen lassen. (vgl. HERMANN et al. 2006: 185)

Die akute Strahlenkrankheit oder das akute Strahlensyndrom ist ein Multiorgangeschehen, dessen erstes Auftreten von wenigen Stunden bis zu Wochen variiert. Die Krankheit ist typischerweise geprägt durch vorangehende Zeichen und Symptome, eine latente (nicht wahrnehmbare) Periode und einen klinisch erkennbaren Abschnitt, der entweder zur Erholung oder zum Tod führt. Die einzelnen Phasen der Krankheit variieren in ihrer Intensität und Länge und sind von der erhaltenen Strahlendosis abhängig. Als Anzeichen und Symptome einer hochgradigen Strahlenbelastung werden Appetitlosigkeit, Übelkeit und Erbrechen, Durchfälle und gedämpftes Fieber beobachtet. Die Augen reagieren bei intensiver Bestrahlung mit einer Bindehautentzündung und die Haut mit Rötungen, wie sie auch bei Sonnenbränden zu beobachten sind (vgl. REAC/TS 2017: 16f). Für HERMANN et al. (2006: 185) sind die Lymphozyten ein wichtiger Indikator der Strahlenkrankheit in der Prognose. An ihnen könne der Schweregrad abgelesen werden.

HU (2016: 337–374) beschreibt jene Form des akuten Strahlensyndroms, die auf das blutbildende System eingreift. Wird auf dieses System durch ionisierende Strahlung mit Dosen von 1 Gray (Gy) und größer eingewirkt, nimmt es einen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der Blutzellen. Wird hierbei die Abwehr des Körpers beeinflusst, so können Infektionen, Sepsis und Blutungen auftreten, die zum Tode führen können. Die Auswirkungen einer Exposition durch ionisierende Strahlung sind auch abhängig vom Gesundheitsstatus vor der Erkrankung. Dieser spielt somit eine wichtige Rolle für die Genesung des Betroffenen.

Nach GRUPEN et al. (2014: 179–180) könne mit einer Genesung in der Dauer von acht Wochen bei Beschwerdefreiheit gerechnet werden. Die oft langwierige Dauer dieser Erkrankung zeige weiter, dass der Tod auch erst nach vielen Monaten eintreten kann.

Bei einer Strahlendosis von 4 Sievert spricht man von der Halbletalen Dosis (LD-50). Hier sind schwere Störungen der Blutbildung vorherrschend. Im Falle ausbleibender medizinischer Behandlung sterben hierbei 50 Prozent der Betroffenen innerhalb von 30 Tagen. Ab 7 Sievert spricht man von der Letalen Dosis (LD-100). Ab dieser Dosis sterben 100 Prozent der Betroffenen innerhalb von 30 Tagen ohne eine medizinische Behandlung. Bei einer Dosisgrenze von 100 Sievert wurde der Eintritt des Sekundentodes beobachtet. (vgl. SCHÖNHACKER 2009: 7.5)

5.5.3 Stochastische Schäden

Unter Stochastischen Schäden wird das Ergebnis von Mutation, genetischer und karzinogener Effekte an der DNA verstanden. Stochastische Schäden können schwer mit einer definierten Schwellendosis in Verbindung gebracht werden, da ein einziges Strahlenquant bereits Effekte an der DNA hervorrufen kann. Stochastische Effekte würden nach HERMANN et al. (2006: 7) mit dem Ansteigen der Strahlendosis zunehmen.

Die meisten Erkenntnisse über stochastische Schäden wurden durch medizinische Langzeituntersuchungen an der Bevölkerung nach den Atombombenabwürfen auf Hiroshima und Nagasaki erworben. Als Langzeitwirkung wurde ein Ansteigen der Leukämie bis zu einem Maximum von ungefähr acht zusätzlichen Erkrankungen pro Jahr bei etwa 120.000 untersuchten Überlebenden beobachtet. Die Tumorbildung hat erst nach Jahrzehnten ein Maximum erreicht. Es wird angenommen, dass rund dreißig Überlebende pro Jahr in Folge des Atombombenabwurfes vorzeitig sterben (im Mittel zirka vier Monate früher als Unbestrahlte). Als Spätfolgen werde laut RÜEGG (2009) eine Opferzahl zwischen 1.000 und 1.500 in Hiroshima angenommen.

Individuelle strahleninduzierte Risiken können weder direkt gemessen noch berechnet werden. Somit handelt der praktische Strahlenschutz durch individuelle Risikobegrenzung anstelle der individuellen Dosisbegrenzung. Nach BRECKOW (2015: 131–136) verstehe man unter Strahlenrisiko die quantitative Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeit für einen stochastischen Effekt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit sei von einer Vielzahl an Variablen neben der Dosis abhängig. So wie die Eintrittswahrscheinlichkeit je nach Alter, Geschlecht und weiteren Parametern variere, sei auch der Risikokoeffizient (Änderungsgröße der Dosis-Wirkungsbeziehung) von diesen Faktoren abhängig. Diese Koeffizienten für stochastische Wirkung werden normalerweise oberhalb einiger 10 Millisievert erhoben. Somit werden Aussagen über stochastische Wirkungen durch Exploration vom hohen in den niedrigen Dosisbereich ermittelt. Verbunden ist diese Exploration mit strahlenbiologischen Ergebnissen, mechanistischen Studien und biophysikalischen Modellen. Hiermit kann die Dosis-Wirkungsbeziehung im Bereich kleiner Dosen abgeleitet werden.

Die ICRP beschreibt diese Annäherung mit dem Begriff des „normal risk coefficient“. Das Strahlenrisiko wird durch viele Einflussfaktoren, wie Alter, Geschlecht, verschiedene Strahlungsarten, Organreaktionen und den Organismus beeinflusst. Somit kann nur ein breites Band an Risikokoeffizienten, welche die jeweiligen organspezifischen Risikobeiträge mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenshöhen untereinander vergleichbar machen, bestehen.

Die nachstehende Tabelle zeigt die gültige Abschätzung der ICRP aus dem Jahre 1990 von Krebsletalität von beruflich strahlenexponierten Personen und der Gesamtbevölkerung nach der Höhe der Dosis bzw. der Dosisleistung.

Tabelle 4: Krebsletalität durch Bestrahlung (ICRP 1990) (Quelle: HERMANN et al. 2006: 146, Tabelle 7.1).

	Hohe Dosis Hohe Dosisleistung	Niedrige Dosis Niedrige Dosisleistung
Beruflich strahlenexponierte Person	8% pro Sv	4% pro Sv
Gesamtbevölkerung	10% pro Sv	5% pro Sv

Die ICRP berufe sich nach KRIEGER (2009: 452f.) weiterhin auf jenes Dosis-Wirkungs-Modell „linear-non-threshold model“ (lineares Modell ohne Schwellenwert = LNT-Modell). Dieses Modell kann sich auch auf Erkenntnissen des United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), von Arbeitsgruppen der amerikanischen Akademie der Wissenschaften NAS (National Academy of Sciences) der internationalen Kommission über radiologische Einheiten ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) und weiteren anderen internationalen und nationalen Institutionen abstützen. Mit diesem Modell wird angenommen, dass Dosen unterhalb von 100 Millisievert zu einem direkt proportionalen Anstieg der Wahrscheinlichkeit von Krebserkrankungen und vererbaren Schäden führen.

„Die Wahrscheinlichkeit für schwere genetische Schäden beim Menschen wird zu 1%/Sv angenommen, von denen je 0,15%/Sv in Form dominanter Schäden in der ersten und der zweiten Folgegeneration auftreten.“ (ebd.: 460).

5.6 Grundsätze im Strahlenschutz

Der praktische Strahlenschutz gilt für alle Bereiche einer Exposition durch ionisierende Strahlung aus jeder Quelle.

Rechtfertigung, Optimierung des Schutzes und Dosisbegrenzung im Umgang mit ionisierender Strahlung auf alle kontrollierbaren Expositionssituationen werden als Grundsätze definiert. Wird eine Veränderung der Strahlenexpositionssituation eingegangen, so muss im Sinne der Rechtfertigung ein Nutzen hieraus resultieren.

Als Optimierung des Schutzes wird verstanden, dass eine individuelle Dosis so niedrig gehalten wird, wie sie vernünftigerweise erreichbar ist, und wirtschaftliche sowie gesellschaftliche Faktoren Berücksichtigung finden (vgl. ICRP 2007: 83f.). Diese Grundsätze sind auch für die Betrachtung von Notfällen wichtig, da diese aus kontrollierbaren Expositionssituationen entstehen und hierbei vor allem die Optimierung des Schutzes und die Dosisbegrenzung noch stärker in den Vordergrund gerückt wird, um die Situation wieder kontrollierbar zu machen.

In ihren Empfehlungen für den Strahlenschutz setzt es sich die ICRP (ebd. 41–47) zum Ziel, den Menschen und die Umwelt vor der schädigenden Wirkung von Strahlenexpositionen durch einen angemessenen Schutz zu bewahren. Die Aktivitäten der Menschen sollen jedoch in dieser Situation nicht eng begrenzt werden. Die Grundsätze sind derart ausgerichtet, dass durch Reduktion der Exposition durch ionisierende Strahlung auf ein vernünftiges Maß die Gesundheitsziele erreicht werden können. Als Gesundheitsziele werden die Verhinderung einer deterministischen Wirkung und die Reduzierung der Risiken der stochastischen Wirkungen uneingeschränkt gesehen. Der Strahlenschutz verbindet als System ein praktikables und ein strukturiertes Vorgehen bei einer Vielzahl von Strahlenexpositionssituationen und einer Menge an in sich zusammenhängender Abläufe und Situationen mit einer logischen Struktur. Hierbei bedient sich der Strahlenschutz bei der Abschätzung der Strahlendosen anatomischer und physiologischer Referenzmodelle. Zusätzlich fließen Erkenntnisse und Daten aus Studien auf molekularer und zellulärer Ebene bzw. aus der Epidemiologie und aus Tierversuchen in die Gesamtbetrachtung ein.

Die ICRP sieht auch verstärkt die Einbeziehung des Schutzes der Umwelt. Hierbei sind alle möglichen Expositionssituationen, unabhängig ob eine Beteiligung des Menschen besteht, zu berücksichtigen, um das Ziel des Schutzes des natürlichen Lebensraumes und der Ökosysteme zu erreichen (ebd.: 133).

Die Expositionssituation wird von der ICRP in folgende Möglichkeiten eingegrenzt, die alle denkbaren Umstände berücksichtigt. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist es wichtig, nicht nur die Notfallsituation zu betrachten, sondern auch die Zusammenhänge von Expositionen in geplanten oder bestehenden Situationen zu verstehen:

1. Geplante Expositionssituationen sind mit Anwendungen durch Strahlenquellen zu erwarten, jedoch ist eine Exposition nicht zwingend vorausgesetzt.
2. Als Notfall-Expositionssituation werden jene Situationen definiert, die während eines Ablaufes einer geplanten Verwendung auftreten. Ebenso können sie die Folgen einer übelgesinnten Handlung sein oder mit jeder anderen unerwünschten Gegebenheit einhergehen. Hierbei ist das Setzen von Sofortmaßnahmen unabdingbar.
3. Bestehende Expositionssituationen werden dahingehend konkretisiert, dass diese Situationen grundlegend bereits bestehen. Dies schließt auch jene Expositionssituationen mit ein, die dauerhaft nach Notfallsituationen bestehen.

Neben den Situationen macht auch die Betrachtung derjenigen Gruppen Sinn, die durch Exposition mit ionisierender Strahlung betroffen sind. Die ICRP teilt diese in drei Kategorien:

- die berufliche Exposition,
- die Exposition der Bevölkerung,
- die medizinische Exposition von Patienten.

Im Sinne der beruflichen Strahlenexposition können Beschäftigte gesehen werden, die als Folge ihrer beruflichen Tätigkeiten, ungeachtet der Herkunft der Exposition, als Ergebnis ihrer Arbeit mit ionisierender Strahlung ausgesetzt sind. Den Schutz der Beschäftigten trägt hier der Arbeitgeber und der für die Quelle verantwortliche Bewilligungsinhaber.

Als zweite Kategorie wird die Exposition der Bevölkerung betrachtet. Deren Exposition besteht in erster Linie durch natürliche Quellen. Als Richtmaß empfiehlt die ICRP die „repräsentative Person“, um die Breite der Bevölkerungsgruppen messbar zu machen. Hierbei handelt es sich um eine hypothetische Einzelperson, die durch ihre typischen Gewohnheiten, wie Nahrungsmittelverzehr, Atemfrequenz, Wohnsituation, Verwendung lokaler Ressourcen repräsentativ für die Gesamtgruppe ist. Wichtig ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass beruflich exponierte Personen und Patienten, die medizinischer Exposition ausgesetzt sind, nicht berücksichtigt werden, da sie den beiden anderen Kategorien zugeordnet werden.

Patienten, die einer medizinischen Exposition ausgesetzt werden müssen, bedürfen keinem individuellen Dosisrichtwert oder Grenzwert, um die Effizienz der medizinisch notwendigen Breite der Diagnostik und Therapie nicht einzuengen. Vielmehr liegt hier der Schwerpunkt auf der Rechtfertigung der notwendigen eingesetzten medizinischen Verfahrensweisen. (vgl. ICRP 2007: 81–100)

5.6.1 ALARA-Prinzip

Als einer der wichtigsten Grundsätze im Strahlenschutz gilt das ALARA-Prinzip. Die Abkürzung für „As Low As Reasonably Achievable“ steht für ein Vorgehen, um so wenig ionisierende Strahlung durch technische Einwirkungen wie vernünftig möglich aufzunehmen. „Dieses Prinzip (...) besagt nicht, dass die Bestrahlung so gering wie irgendmöglich gehalten werden muss, sondern dass die Bestrahlung durch technische Einwirkungen so gering wie irgendwie vertretbar (eventuell auch geringer als die in der Strahlenschutzverordnung (Anmerkung: mit ‚Strahlenschutzverordnung‘ wird hier auf die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen der Bundesrepublik Deutschland, BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459, Bezug genommen) festgesetzten Grenzwerte) sein soll.“ (GRUPEN et al. 2014: 91).

5.6.2 Gesetzliche und normative Grundlagen

Die nachfolgende Betrachtung der gesetzlichen und normativen Grundlagen stellt einen Auszug über die für diese Arbeit wichtigen Bereiche des Strahlenschutzes dar. Im Hinblick auf die umfassenden rechtlichen und normativen Regelungen erfolgt deren Darstellung als relevanter Querschnitt.

Aufgrund der großen Anzahl an wissenschaftlichen Studien zum Thema Strahlenschutz stützt sich die internationale und nationale Gesetzgebung auf die Empfehlungen der ICRP. Sie vereint die vielfältigen Forschungsgebiete, wie Zellbiologie, Krebsforschung, Radiobiologie, Epidemiologische Dosimetrie, Strahlenphysik und so weiter, durch die Auswertung und Interpretation der Studien und deren Erkenntnisse. Die Empfehlungen der ICRP seien nach BRANDL (2016a: 14) eine rechtfertigende Wahl für den Gesetzgeber zur Festlegung von Grenzwerten.

Auch die Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundsätzlicher Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung stützt sich auf die Empfehlungen der ICRP. Die hier einheitlich für die Europäische Union verlautbarten Schutzmaßnahmen schließen aufgrund der Rechtsprechung des Gerichtshofes der Europäischen Union nicht aus, dass die Mitgliedsländer strengere Schutzmaßnahmen festlegen, sofern die Richtlinie nicht ausdrücklich daran festhält. (vgl. EU 2013: Punkt 5)

„Diese Richtlinie gilt für jede geplante, jede bestehende und jede Notfall-Expositionssituation, die mit einer Gefährdung durch ionisierende Strahlung verbunden ist, die unter Strahlenschutzgesichtspunkten oder in Bezug auf die Umwelt im Hinblick auf einen langfristigen Schutz der menschlichen Gesundheit nicht außer Acht gelassen werden kann.“ (ebd.: Kapitel I, Artikel 2, Punkt 5)

Mit dieser Festlegung des Anwendungsbereiches übernimmt der Rat in seiner Richtlinie, ohne ausdrücklichen Hinweis darauf, die Einteilung der Expositionssituationen und die Schutzziele der Empfehlungen der ICRP aus 2007.

Für den Schutz der Einsatzkräfte im Rahmen eines Gefahrguteinsatzes mit Beteiligung von radioaktiven Stoffen sind auch folgende Abschnitte der Richtlinie von Interesse:

In Abschnitt 2 der Richtlinie werden die Dosisbegrenzungen geregelt. Die Richtlinie setzt grundsätzlich ein Mindestalter von 18 Jahren für strahlenexponierte Arbeitskräfte fest. Als Grenzwert für die berufliche Exposition wird eine effektive Dosis von 20 Millisievert für ein einzelnes Jahr bestimmt. Unter besonderen Umständen kann die Behörde eine höhere effektive Dosis von bis zu 50 Millisievert zulassen, sofern die durchschnittliche Jahresdosis in fünf aufeinander folgenden Jahren – einschließlich der Jahre, in denen der Grenzwert überschritten wurde – 20 Millisievert nicht überschreitet. (EU 2013: Kapitel III, Artikel 9, Punkt 2).

Der Artikel 12 des Kapitel III der Richtlinie regelt des Weiteren die Dosisgrenzwerte für alle zugelassenen Tätigkeiten im Hinblick auf die Exposition der Bevölkerung. Diese wird mit 1 Millisievert im Jahr bestimmt.

Der Bereich der Ausbildung, Fortbildung und Unterweisung im Strahlenschutz wird ebenso geregelt. Es wird hier den Mitgliedstaaten die Umsetzung mit bestimmten Inhalten in der Aus- und Fortbildung für Personen im Aufgabengebiet und in speziellen Fachbereichen des Strahlenschutzes angeordnet und die Dokumentation dieser festgelegt. Für die Unterweisung und Fortbildung von Notfalleinsatzkräften wird festgelegt, dass diese eine angemessene Schulung und Fortbildung erhalten und im Einsatzfall laufend über die besonderen Umstände des Falles informiert werden (ebd.: Kapitel IV).

In Kapitel IX, Abschnitt 2 der Richtlinie wird die Kontrolle von radioaktiven Strahlenquellen bestimmt. Die Meldepflicht über den Standort, die Verwendung, die Wiederverwertung und die Entsorgung offener Strahlenquellen sind im Mitgliedsstaat zu regeln. Die Unternehmen, die offene Strahlenquellen besitzen, haben über deren Verwendung Aufzeichnungen zu führen. Ebenso ist durch das Unternehmen bei Verlust, Diebstahl, einer bedeutenden Verunreinigung durch die Strahlenquelle, einer nicht zugelassenen Verwendung oder Freisetzung einer Quelle eine Meldepflicht an die zuständige Behörde auferlegt. Diese Anforderungen gelten auch sinngemäß für umschlossene Strahlenquellen.

Hoch radioaktive umschlossene Strahlenquellen bedingen zusätzliche Verantwortlichkeiten, Mindestqualifikation des Personals, Mindestanforderungen an die Strahlenquelle selbst und deren Behältnisse sowie die Schutzausrüstung. Ebenso erfolgt die Festlegung der Anforderungen an das Notfallverfahren und die Kommunikationsverbindungen, Arbeitsverfahren, Wartung der Ausrüstung et cetera. Neben den Unternehmen haben auch die zuständigen Behörden Aufzeichnungen über hoch radioaktive umschlossene Strahlenquellen zu führen (ebd.: Artikel 87).

Die Richtlinie regelt weiters auch das Notfallmanagementsystem für Notfallexpositionssituationen. Das Notfallmanagementsystem beinhaltet hier die Erstellung von Notfallplänen, die schwere deterministische Schäden verhindern und stochastische Wirkungen verringern sollen (ebd.: Abschnitt 5, Artikel 97, Punkt 3).

Die Mitgliedsländer der Europäischen Union sind verpflichtet, die Vorgaben der Richtlinie bis zum 08.02.2018 in eine nationale Strahlenschutzgesetzgebung umzusetzen. In Österreich ist hier das Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzgesetz – StrSchG) und seine Verordnungen der europäischen Richtlinie anzupassen. Da in der Zeit der Recherche keine Umsetzung der Richtlinie in die österreichische Gesetzgebung erfolgte, wird hier das Strahlenschutzgesetz in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015 als Grundlage herangezogen.

Das österreichische Strahlenschutzgesetz ist das zentrale Gesetzeswerk zum Schutz von Mensch und Umwelt vor Schäden durch ionisierende Strahlung. Es behandelt in seinem Anwendungsbereich unter anderem den Besitz von Strahleneinrichtungen und den Umgang mit Strahlenquellen, die Errichtung und den Betrieb von strahlenschutzrelevanten Anlagen, die Zulassung von Bauarten von Strahlenquellen, die behördliche Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und die behördliche Ermittlung und Erfassung von radioaktiven Notsituationen.

In § 27 wird festgelegt, dass radioaktive Stoffe oder deren Behältnisse in ausreichendem Maße einer Kennzeichnung entsprechend der durch diese Stoffe möglichen Gefährdung von Leben und Gesundheit von Menschen bedürfen.

Zur Führung eines Strahlenquellenregisters ist das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft gemäß § 35b verpflichtet. In diesem sind alle im Bundesgebiet befindlichen Strahlenquellen anzugeben, die im Besitz von Bewilligungsinhabern sind. Ebenso wird hier der rechtswidrige Umgang mit radioaktiven Stoffen und radioaktiven kontaminierten Stoffen erfasst und die Meldepflicht für derartigen Umgang bzw. den Fund von Strahlenquellen geregelt.

Im Zentralen Störfallregister haben gemäß § 35d die Bewilligungsinhaber oder die Verwender von bauartzugelassenen Geräten den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Störfälle spätestens vier Wochen nach Eintritt des Ereignisses einen umfassenden Bericht zu übermitteln. Für Expositionen auf Grund einer radioaktiven Kontamination bzw. einer sonstigen radiologischen Notstandssituation, die ein Ausmaß übersteigen, bei der eine Beeinträchtigung des Lebens und der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft möglich ist, ist der Landeshauptmann gemäß § 38 Absatz 1 ohne Aufschub zu verständigen.

Im IV. Teil des Strahlenschutzgesetzes werden die Interventionen, die behördliche Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes in der Umwelt und in Waren sowie die Abschätzung der Bevölkerungsdosiswerte geregelt.

Im Falle einer radiologischen Notstandssituation oder einer andauernden Exposition auf Grund der Folgen einer radiologischen Notstandssituation oder eines Umganges mit Strahlenquellen in der Vergangenheit sind Interventionen gemäß § 36l anzuwenden. Diese werden durch die Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Interventionen bei radiologischen Notstandssituationen und bei dauerhaften Strahlenexpositionen (Interventionsverordnung – IntV), BGBl. II Nr. 145/2007, geregelt. Der Begriff „Interventionen“ wird in § 2 Absatz 21 des Strahlenschutzgesetzes, BGBl. Nr. 227/1969, in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015, als Maßnahmen zur Verhütung oder Reduzierung einer Exposition von Einzelpersonen durch Strahlenquellen (...), oder durch Strahlenquellen, die außer Kontrolle sind, wobei auf Strahlenquellen, Übertragungspfade oder einzelne Personen

eingewirkt wird, definiert. Des Weiteren regelt das Gesetz die Zuständigkeiten und Aufgaben des Bundesministers und der Landeshauptleute im Falle einer radiologischen Notstandssituation.

Im Interesse dieser Arbeit stehen in diesem Zusammenhang vor allem die Interventionswerte. Interventionswerte im Sinne der Anlage 4 der Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, sind Dosiswerte für Interventionsmaßnahmen im Falle von radiologischen Notstandssituationen. Diese gelten einerseits zum Schutz der Bevölkerung und andererseits für das Interventionspersonal, also jenen Personen, die Interventionen gemäß § 12 Abs. 4 durchführen.

Als Dosisrichtwerte für Interventionspersonal bei radiologischen Notstandssituationen werden drei Richtwerte in der Anlage 8 zu § 12 der Verordnung definiert: für den Schutz von Sachwerten 20 Millisievert, zur Abwehr einer akuten Gefahr für Personen oder zur Verhinderung einer wesentlichen Schadensausweitung 100 Millisievert und zur Rettung von Menschenleben 250 Millisievert. Gemäß § 12, Abs. 2 der Verordnung darf bei einer möglichen Überschreitung einer effektiven Dosis von 20 Millisievert der Einsatz nur freiwillig erfolgen. Ebenso sollte der Richtwert von 250 Millisievert für die effektive Gesamtdosis während der Lebenszeit des Interventionspersonals nicht überschritten werden. Für ihren Einsatz ist das Interventionspersonal zur physikalischen Kontrolle mit persönlich zugeordneten Personendosimetern auszustatten. Bei Überschreitung der gemäß § 12 Allgemeine Strahlenschutzverordnung BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, für beruflich strahlenexponierte Personen zulässigen Dosen hat die verantwortliche Person unverzüglich eine ärztliche Untersuchung der betroffenen Person zu veranlassen.

Des Weiteren ist das Interventionspersonal verpflichtet, eine definierte Aus- und Fortbildung gemäß Anlage 7 Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, zu absolvieren. In Österreich gelten folgende Kräfte entsprechend dem Gesamtstaatlichen Interventionsplan für radiologische Notstandssituationen als Interventionspersonal auf Bundesebene (vgl. BMLFUW 2011a, Teil 4, Anhang 2):

- die Strahlenspürer der Bundespolizei,
- ausgebildetes Personal der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit an den Standorten in 1220 Wien, 4020 Linz, 8010 Graz und 6020 Innsbruck
- sowie die Mobile Einsatzgruppe der Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH.

Die Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, bestimmt im Falle einer radiologischen Notstandssituation, dass die zuständigen Behörden auch andere Personen zu Interventionen heranziehen können. Hierbei darf bei deren Einsatz eine effektive Dosis von 20 Millisievert nicht überschritten werden. Weiters regelt die Verordnung gemäß § 9 die Erstellung von Notfallplänen und gemäß § 10 die Durchführung von Notfallübungen.

Als weitere Verordnung zum Strahlenschutzgesetz ist die Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie, der Bundesministerin für Bildung, Wissenschaft und Kultur sowie der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über allgemeine Maßnahmen zum Schutz von Personen vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Allgemeine Strahlenschutzverordnung – AllgStrSchV), BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, für diese Arbeit von Interesse. Sie regelt den sicheren Umgang mit Strahlenquellen und die Maßnahmen zum Schutz vor ionisierender Strahlung. Obgleich hier nicht der Transport von radioaktiven Stoffen auf der Straße geregelt wird, sondern vielmehr der Umgang mit radioaktiven Stoffen in Betrieben und der Schutz der Arbeitskräfte in diesen Betrieben, sind vor allem die Grenzwerte für die Bevölkerung und die Anforderungen an offene und umschlossene Strahlenquellen von Interesse.

Die Verordnung regelt im 3. Teil den Bereich der radioaktiven Stoffe. Sofern diese einer strahlenschutzrechtlichen Bewilligungs- oder Meldepflicht unterliegen, sind diese und ihre Behältnisse zu kennzeichnen.

Die Kennzeichnung, wie nachfolgend abgebildet, erfolgt mit dem Strahlenwarnzeichen gemäß Anlage 3 der Verordnung, dem Vermerk „Radioaktiv“, der Angabe des Radionuklids und der Aktivität mit dem Zeitpunkt ihrer Messung oder Ermittlung (ebd.: §§ 51–53).

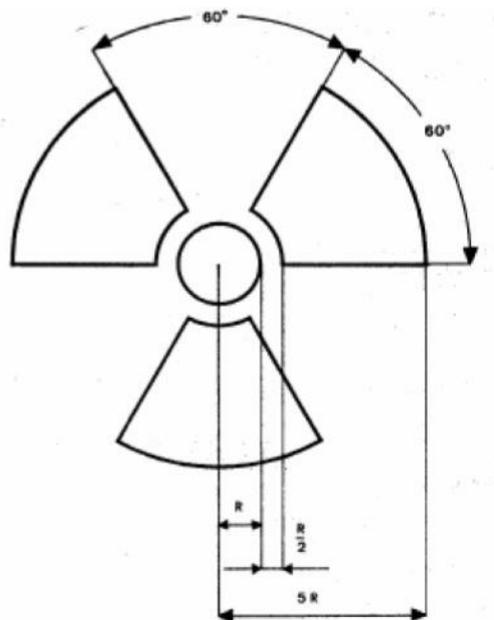


Abbildung 6: Kennzeichnung von Strahlenbereichen und radioaktiven Stoffen. Strahlenwarnzeichen
(Quelle: AllgStrSchV 2006: Anlage 3, A)

Radioaktive Stoffe sind umschlossene Stoffe, wenn eine Verbreitung durch deren Aufbau verhindert wird, und andernfalls offene Stoffe. Umschlossene Stoffe müssen in einer chemisch und mechanisch stabilen Form vorliegen. Bei einer Überschreitung der Ortsdosisleistung ohne Abschirmung in 1 Meter Entfernung von 1 Millisievert pro Stunde muss diese vom Hersteller oder Lieferanten angegeben werden. Dieser Angabe ist ein Prüfbericht einer akkreditierten Prüfstelle anzuschließen. In periodischen von der zuständigen Behörde nach Maßgabe der Erfordernisse des Strahlenschutzes festzusetzenden Zeitabständen, jedoch unverzüglich bei Kontamination durch Undichtheit, sind umschlossene Stoffe auf ihre Dichtheit zu prüfen (ebd.: §§ 62 und 63).

Eine besondere Form von umschlossenen Strahlenquellen bilden die hoch radioaktiven Strahlenquellen. Diese enthalten Radionuklide, deren Radioaktivität zum Zeitpunkt der Herstellung oder – falls dieser nicht bekannt ist – zum Zeitpunkt des ersten Inverkehrbringens dem in Anlage 1 (Tabelle 1, Spalte 4) der Verordnung angegebenen Wert entspricht oder höher ist. Für jene hier nicht aufgelisteten Radionuklide wird auf die Vorschriften der Internationalen Atomenergiebehörde, die IAEA Safety Requirements No. TS-R-1, Edition 2009, Abschnitt IV, verwiesen. Für diese Stoffe beträgt der entsprechende Aktivitätswert ein Hundertstel des dort definierten A1-Wertes. Hoch radioaktive Strahlenquellen bedürfen ebenso der Erteilung einer Umgangsbewilligung durch die zuständige Behörde. Eine unverwechselbare Identifizierungsnummer ist direkt an der Oberfläche der Quelle und deren Schutzbehältnis einzugravieren oder eingeprägt. (ebd.: § 64)

Gemäß § 64 Abs. 9 der Verordnung sind hoch radioaktive Strahlenquellen, die sich in Behältern vom Typ B gemäß dem Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) befinden, in versperrbaren, nicht brennbaren Einrichtungen aufzubewahren, in deren Umgebung sich keine wesentlichen Brandlasten befinden dürfen.

An dieser Stelle darf auf die ÖNORM EN ISO 2919:2015, Strahlenschutz – Umschlossene radioaktive Stoffe – Allgemeine Anforderungen und Klassifikation, hingewiesen werden. Als die in das österreichische Normenwerk übernommene internationale Norm regelt diese das Klassifikationssystem für umschlossene radioaktive Stoffe auf der Grundlage ihres Prüfverfahrens. Sie spezifiziert allgemeine Anforderungen, Belastbarkeitsprüfungen, Produktionsprüfungen, Kennzeichnung und Zertifizierung. Jeder umschlossene radioaktive Stoff muss eine Kodierung durch einen bestimmten Buchstaben, Ziffern und Zeichenfolge vorweisen können. Die umschlossenen radioaktiven Stoffe müssen nach ihrer Herstellung auf eine eventuelle Oberflächenkontamination und ein Freisein von Leckagen geprüft werden. Die Leistungsanforderungen für typische Anwendungen, wie zum Beispiel in der Radiografie, in Gammamessgeräten, für Öl-Bohrlochmessungen, werden anhand von Prüfverfahren

ermittelt. Umschlossene radioaktive Stoffe müssen temperaturbeständig sein. Sie werden im Sinne ihrer Anwendung speziellen Temperaturbelastungen über festgelegte Zeiträume ausgesetzt. Ebenso haben sie bezogen auf ihr Anwendungsfeld eine Außendruckprüfung, Schlagprüfung, Vibrationsprüfung, Durchstoßprüfung und Biegeprüfung zu bestehen. Jeder umschlossene radioaktive Stoff wird bei seiner Herstellung und nach Bestand seiner Prüfung mit einem Zertifikat belegt.

Die Allgemeine Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, legt in der Anlage 3 als Kennzeichnung einer umschlossenen Quelle das „Dreiblatt“ als das international genormte Symbol für ionisierende Strahlung fest. Das fehlende Verständnis in der Interpretation bzw. fehlende Kenntnis des Symbols und daraus resultierende schwere und oft tödliche Verletzungen haben es notwendig gemacht, eine zusätzliche Kennzeichnung einzuführen. Das ergänzende Symbol ist direkt auf der Oberfläche der Quelle einzugravieren oder deren Behältnis anzubringen. Es darf nicht als an der Außenseite von Verpackungen (ausgenommen Typ B-Verpackungen), Frachtcontainern, Beförderungseinrichtungen oder an Gebäudetüren angebracht werden. (vgl. ON 2007)

Nachfolgend wird das Warnzeichen, wie es in der ÖNORM ISO 21482:2007 definiert ist, dargestellt.



Abbildung 7: Ergänzendes Warnzeichen vor ionisierender Strahlung (Quelle: Österreichisches Normungsinstitut 2007: ÖNORM ISO 21482:2007, Bild 1)

Neben den umschlossenen radioaktiven Stoffen wird in der Verordnung auch die Handhabung offener radioaktiver Stoffe festgelegt. Da deren Regelungen sich auf Arbeitsplätze beziehen und keine Bestimmung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße treffen, wird an dieser Stelle nicht genauer darauf eingegangen.

5.6.3 Grundsätzliche Bedeutung von Dosisrichtwerten und Dosisgrenzwerten

Zur Begrenzung von individuellen Dosen werden im Hinblick auf die Optimierung des Strahlenschutzes Dosisrichtwerte verwendet. Die Bemühungen liegen darauf, diese Werte nicht zu überschreiten bzw. einzuhalten. Das grundsätzliche Ziel besteht aber darin, alle Dosen auf derart niedrige Werte zu reduzieren, die unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise erreichbar sind. Die Richtwerte sind somit als limitierende Werte zu sehen. Die notwendigen Maßnahmen in Folge einer Überschreitung eines Dosisrichtwertes schließen die Feststellungen mit ein, ob der Schutz optimiert wurde und ob weitere Schritte zur Dosisreduzierung auf annehmbare Werte als angemessen erscheinen.

Im Zusammenhang mit Notfall-Expositionssituationen oder bestehenden kontrollierbaren Expositionssituationen wird für den Begriff „Richtwert“ der Begriff „Referenzwert“ von der ICRP als Bezeichnung vorgeschlagen. Sie stellen die Dosiswerte dar, für die bei einer Überschreitung Schutzmaßnahmen geplant und optimiert werden müssen. Der höchste Referenzwert wird von der ICRP mit 100 Millisievert angegeben, da hier eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für deterministische Schäden und ein signifikantes Krebsrisiko zu erwarten ist.

Eine Abweichung hiervon ist nur unter außergewöhnlichen Umständen, wie zum Beispiel zur Abwendung einer gravierenden Katastrophe oder bei Lebensrettung, gerechtfertigt (vgl. ICRP 2007: 87–92).

Im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen stehen die Dosisgrenzwerte. „Die Grenzwerte der effektiven Dosis beziehen sich auf die Summe der Dosis durch die externen Expositionen und die Folgedosen durch interne Exposition aus Zufuhr von Radionukliden.“ (ebd.: 93).

Im Falle einer Lebensrettung oder einer Situation, bei der eine Katastrophensituation durch eine informierte freiwillig tätig werdende Person abgewendet werden muss, gelten keine Dosisgrenzwerte. Hierbei wird aber auch festgehalten, dass dieser Personenkreis für darauffolgende Maßnahmen in späteren Phasen von Notfallexpositionssituationen als beruflich exponiert gesehen werden und geschützt werden soll. Schwangere und Stillende sollen nicht als Ersthelfer in derartigen Situationen eingesetzt werden (ebd.: 93–95).

Grenzwerte werden nach BRANDL (2016b: 256) in die Gesetzgebung übernommen, um eindeutige und exekutierbare Gesetze erlassen zu können. Handlungen die durch messbare Größen begrenzt sind, können nach Abschluss der Tätigkeit mit dem festgelegten Grenzwert verglichen werden. Dadurch kann beurteilt werden, ob die rechtliche Vorgabe eingehalten wurde. Grenzwerte sind in der Gesetzgebung unerlässlich, da sie dem Schutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer sowie der Bevölkerung dienen.

Im Hinblick auf die Rechtfertigungen der Anwendung und Optimierung des Strahlenschutzes stellt BRANDL (2016b: 266) fest, dass Grenzwerte in der praktischen Umsetzung des Rechtes eine höhere Wertigkeit erscheinen lassen, als dies von der Wissenschaft beabsichtigt wurde.

„Es darf jedoch nicht aus den Augen verloren werden, dass diese Grenzwerte nicht eine ‚sichere‘ von einer ‚gefährlichen‘ Anwendung ionisierender Strahlung unterscheiden. Das Überschreiten eines Dosisgrenzwertes stellt eine Verwaltungsübertretung dar, verursacht aber nicht notwendigerweise eine unmittelbare oder zukünftige gesundheitliche Schädigung.“ (ebd.: 269).

5.7 Ergebnisse der Berechnung der Strahlenwirkung auf Einsatzkräfte

Bei der Berechnung der Strahlenwirkung auf Einsatzkräfte bei einem Verkehrsunfall mit Beteiligung radioaktiver Stoffe wurde ein szenarienbasierender Ansatz gewählt. Folgende Szenarien wurden hierbei angenommen:

- Unfall mit einem unversehrten Versandstück Typ A und Typ B,
- Unfall mit einem unversehrten Versandstück Typ A und Typ B mit direktem durchgehenden Kontakt zur Oberfläche des Versandstückes,
- Unfall mit einer Beschädigung eines Versandstückes Typ A ohne die Folge einer Kontamination,
- kontaminierter Patient nach einem Unfall mit einer Beschädigung eines Versandstückes Typ A,
- Unfall mit einer Beschädigung eines Versandstückes Typ B ohne die Folge einer Kontamination.

5.7.1 Unversehrtes Versandstück Typ A und Typ B

Mit der Annahme, dass beim Unfall das Versandstück unversehrt bleibt, zeigen sich bei Annahme der ADR-Grenzwerte für Versandstücke der Kategorie I-Weiß, II-Gelb und III-Gelb folgende effektive Dosiswerte (Belastungswerte) für die Einsatzkräfte (siehe hierzu Anhang 2):

Kategorie I-Weiß

Eine Berechnung der effektiven Dosiswerte bei Entfernungen von 1, 5, 10 und 50 Metern und einer Aufenthaltszeit von je 0,5, 1 und 2 Stunden war nicht möglich, da kein Grenzwert in 1 Meter Abstand vom ADR definiert vorliegt. Dies ist dahingehend zu erklären, dass ab einem Abstand von 1 Meter die Aktivität der Strahlenquelle nicht mehr von der natürlichen Strahlung (Hintergrundstrahlung) zu unterscheiden ist. Somit kann eine zusätzliche Exposition aufgrund des Unfalles für die Einsatzkräfte nicht abgeleitet werden.

Kategorie II-Gelb

Bei einem verunfallten Gefahrguttransport der Kategorie II-Gelb kann in 1 Meter Entfernung eine effektive Dosis bis zu einer Höhe von 5 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde, 10 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde und 20 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden erwartet werden. Bei 5 Meter Entfernung reduzieren sich die effektiven Dosiswerte bis zu einer Höhe von 200 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde, 400 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde und 800 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden. Die effektiven Dosiswerte bei einer Entfernung von 10 Metern zeigen sich bis zu einer Höhe von 50 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde, 100 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde und 200 Nanosievert pro Stunde.

Das Ergebnis stellt sich bei einer Entfernung von 50 Metern bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde mit effektiven Dosiswerten von bis zu 2 Nanosievert dar. Bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde können bis zu 4 Nanosievert und bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden bis zu 8 Nanosievert erreicht werden.

Kategorie III-Gelb

Der Unfall eines Gefahrguttransportes der Kategorie III-Gelb lässt in 1 Meter Entfernung eine effektive Dosis bis zu einer Höhe von 50 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde, 100 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde und 200 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden erwarten. In einer Entfernung von 5 Metern ist eine effektive Dosis bis zu einer Höhe von 2 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde, bis 4 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde und bis 8 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden erwartbar. Die Entfernung von 10 Metern ergab bei der Berechnung folgende effektive Dosiswerte: Bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde können bis zu 500 Nanosievert als effektive Dosis erreicht werden, bis zu 1 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde und bis zu 2 Mikrosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden. Die angenommene Entfernung von 50 Metern reduziert die effektive Dosis auf bis zu 20 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer halben Stunde, auf bis zu 40 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von einer Stunde und 80 Nanosievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden.

Des Weiteren wurde die Frage untersucht, welche effektiven Dosiswerte die Einsatzkraft bei einem durchgehenden unmittelbaren Kontakt zu den Versandstück-Typen „I-Weiß“, „II-Gelb“, „III-Gelb“ und „III-Gelb bei ausschließlicher Verwendung“ über die Zeiträume von 0,5, 1 und 2 Stunden aufnimmt. Dies wäre zum Beispiel dann der Fall, wenn die Einsatzkraft das Versandstück händisch vom Einsatzort entfernt oder bei Manipulationen im Zuge des Rettungsvorgangs ein durchgehender Körperkontakt zum Versandstück besteht. Die genaue Berechnung ist in Anhang 3 einzusehen.

Kategorie I-Weiß

Das ADR bestimmt beim Gefahrguttransport der Kategorie I-Weiß die maximale Dosisleistungsgrenze an der Oberfläche des Versandstückes mit 5 Mikrosievert pro Stunde. Die effektive Dosis bei einem durchgehenden direkten Kontakt in einer Zeitdauer von 0,5 Stunden wurde mit einer Höhe von bis zu 2,5 Mikrosievert berechnet.

Bei durchgehendem direktem Kontakt in einer Zeitdauer von 1 Stunde würde die effektive Dosis bis zu 5 Mikrosievert betragen. Der zweistündige direkte Kontakt zum Versandstück errechnet sich mit einem effektiven Dosiswert von 10 Mikrosievert.

Kategorie II-Gelb

Das Versandstück darf beim ADR-Gefahrguttransport der Kategorie II-Gelb den Wert der maximalen Dosisleistungsgrenze an der Oberfläche in der Höhe von 500 Mikrosievert pro Stunde nicht überschreiten. Die effektive Dosis bei einem durchgehenden direkten Kontakt beträgt in einer Zeitdauer von 0,5 Stunden 250 Mikrosievert, bei einer Zeitdauer von 1 Stunde 500 Mikrosievert und bei einer Zeitdauer von 2 Stunden 1 Millisievert.

Kategorie III-Gelb

Die Kategorie III Gelb bestimmt den maximalen Dosisleistungsgrenzwert an der Oberfläche eines Versandstückes mit 2 Millisievert pro Stunde. Der direkte durchgehende Kontakt mit dem Versandstück würde eine effektive Dosis bei einer Zeitdauer von 0,5 Stunden von 1 Millisievert, bei 1 Stunde von 2 Millisievert und bei 2 Stunden mit 4 Millisievert errechnen lassen.

Kategorie III-Gelb bei ausschließlicher Verwendung

Hier bestimmt das ADR die maximale Dosisleistungsgrenze an der Oberfläche des Versandstückes mit 10 Millisievert pro Stunde. Besteht bei einer Einsatzkraft ein durchgehender direkter Kontakt zum Versandstück in der Zeitdauer von 0,5 Stunden, dann würde sie einer effektiven Dosis in der Höhe von bis zu 5 Millisievert ausgesetzt werden. Eine Zeitdauer von 1 Stunde würde die effektive Dosis in der Höhe von bis zu 10 Millisievert und von 2 Stunden eine effektive Dosis in der Höhe von bis zu 20 Millisievert für die Einsatzkraft bedeuten.

5.7.2 Beschädigtes Versandstück Typ A ohne Kontamination

Beta-Strahler (umschlossen und offen)

Im Rahmen der Auswertung der Radionuklide, die im Jahr 2015 mit einem Versandstück Typ A transportiert wurden, überwiegen die Beta-minus-Strahler in Anzahl und mit den höchsten Ortsdosisleistungen bei der Annahme, dass das Versandstück in Folge eines Verkehrsunfalles zerstört wurde. In der Gruppe der Beta-minus-Strahler ist Iridium-192 (Gammadosisleistungskonstante: $1,25E+02$) mit 63 verschiedenen Aktivitätseinträgen dominierend und führt auch die Gesamtberechnung der Radionuklide, die in Typ A-Versandstücken transportiert wurden, an. Die Werte der Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle reichen hier von rund 76 Millisievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 609,21 Gigabequerel) bis rund 47 Millisievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 37,87 Gigabequerel).

Gefolgt, jedoch mit einigen wenigen hohen Aktivitätswerten, stehen Fluor-18 (Gammadosisleistungskonstante: $1,59E+02$) und Cäsium-137 (Gammadosisleistungskonstante: $8,80E+01$) mit zwei bzw. vier Einträgen. Fluor-18 zeigt – als einziger Vertreter der offenen Stoffe im Hinblick auf hohe Aktivitätswerte – eine Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle mit rund 48 Millisievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 300 Gigabequerel). Cäsium-137 eine Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle von rund 7 Millisievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 74 Gigabequerel).

Die nachstehende Tabelle zeigt die Berechnung ausgewählter Radionuklide (Beta-Strahler) mit ihren Ortsdosisleistungen in 1 Meter Abstand zur Quelle und die effektiven Dosiswerte bei den Entfernungen 1, 5, 10 und 50 Meter in den Zeitabschnitten 0,5, 1 und 2 Stunden.

Tabelle 5: Ausgewählte Beta-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung)

Radionuklid	Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle ($\mu\text{Sv/h}$)	Entfernungen und Aufenthaltszeiten mit effektiven Dosiswerten (μSv)			
		Entfernung (Meter)	0,5 Stunden	1 Stunde	2 Stunden
Iridium-192	76.089,70	1	38.044,86	76.089,70	152.179,41
		5	1.521,79	3.043,59	6.087,18
		10	380,45	760,90	1.521,79
		50	15,218	30,44	60,87

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Radionuklid	Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle ($\mu\text{Sv/h}$)	Entfernungen und Aufenthaltszeiten mit effektiven Dosiswerten (μSv)			
		Entfernung (Meter)	0,5 Stunden	1 Stunde	2 Stunden
Fluor-18	47.700	1	2.3850	47.700	95.400
		5	954	1.908	3.816
		10	238,50	477	954
		50	9,54	19,08	38,16
Cäsium-137	6.510,52	1	3.255,26	6510,52	13021,04
		5	130,21	260,42	520,84
		10	32,55	65,11	130,21
		50	1,30	2,60	5,20

Gamma-Strahler (umschlossen und offen)

Als einziger Vertreter der reinen Gamma-Strahler zeigt sich Technetium-99m (Gammadosisleistungskonstante: $1,62\text{E}+01$) in offener Form im höheren Aktivitätsbereich. Hier beträgt die Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle rund 2 Millisievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 115 Gigabequerel). Mit den meisten höheren Aktivitätswerten führt das Radionuklid Selen-75 (Gammadosisleistungskonstante: $6,58\text{E}-02$) das Feld der Gamma-Strahler in umschlossener Form an. Das Spektrum der Ortsdosisleistungen reicht hier von zirka 197 Mikrosievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 3000 Gigabequerel) bis 160 Mikrosievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 2420 Gigabequerel).

Die auf der nächsten Seite abgebildete Tabelle zeigt die Berechnung ausgewählter Radionuklide (Gamma-Strahler) mit ihren Ortsdosisleistungen in 1 Meter Abstand zur Quelle und die effektiven Dosiswerte bei den Entfernungen 1, 5, 10 und 50 Meter in den Zeitabschnitten 0,5, 1 und 2 Stunden.

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Tabelle 6: Ausgewählte Gamma-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung)

Radionuklid	Ortsdosisleistung in 1m Abstand zur Quelle ($\mu\text{Sv/h}$)	Entfernungen und Aufenthaltszeiten mit effektiven Dosiswerten (μSv)			
		Entfernung (Meter)	0,5 Stunden	1 Stunde	2 Stunden
Technetium-99m	1.858,40	1	929,20	1.858,40	3.716,80
		5	37,17	74,34	148,67
		10	9,29	18,58	37,17
		50	0,37	0,74	1,49
Selen-75	197,40	1	98,70	197,40	394,80
		5	3,95	7,90	15,79
		10	0,99	1,97	3,95
		50	0,04	0,08	0,16

Alpha-Strahler (umschlossen)

Die Gruppe der Alphastrahler, die als Versandstück der Kategorie A transportiert wurden, zeigen sich im vorliegenden Datenmaterial nur in umschlossener Form.

Mit dem höchsten Wert des Gammaanteiles in dieser Gruppe dominiert das Americium-241 (Gammadosisleistungskonstante: $6,59\text{E}+00$) mit einer Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle mit bis zu 10 Mikrosievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 1480 Megabequerel). An zweiter Stelle steht das Radionuklid Radium-226 (Gammadosisleistungskonstante: $2,25\text{E}+02$) mit rund 338 Nanosievert pro Stunde Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle (bei einer Aktivität von 1,5 Megabequerel).

Umseitige Tabelle zeigt die Berechnung ausgewählter Radionuklide (Alpha-Strahler) mit ihren Ortsdosisleistungen in 1 Meter Abstand zur Quelle und die effektiven Dosiswerte bei den Entfernungen 1, 5, 10 und 50 Meter in den Zeitabschnitten 0,5, 1 und 2 Stunden.

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Tabelle 7: Ausgewählte Alpha-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf drei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung)

Radionuklid	Ortsdosisleistung in 1m Abstand zur Quelle ($\mu\text{Sv/h}$)	Entfernungen und Aufenthaltszeiten mit effektiven Dosiswerten (μSv)			
		Entfernung (Meter)	0,5 Stunden	1 Stunde	2 Stunden
Americium-241	9,76	1	4,880	9,759	19,518
		5	0,195	0,390	0,781
		10	0,0488	0,098	0,195
		50	0,002	0,004	0,008
Radium-226	0,34	1	0,169	0,338	0,675
		5	0,007	0,014	0,027
		10	0,002	0,003	0,006
		50	0,000	0,000	0,000

5.7.3 Beschädigtes Versandstück Typ A (Belastung durch einen kontaminierten Patienten)

Wie bereits in Abschnitt 5.11.2 beschrieben wurden die Aktivitäten von Radionukliden, die im Jahr 2015 mit einem Versandstück Typ A transportiert wurden, derart berechnet, dass die höchste effektive Dosis in unterschiedlich definierten Entfernungen zur Strahlenquelle mit dafür aussagekräftigen Expositionszeiten von 0,5, 1 und 2 Stunden berechnet wurden.

Als nachfolgender Schritt wurden die offenen Radionuklide in einem Versandstück Typ A im Hinblick auf ein Versagen des Versandstückes und einer nachfolgenden Kontamination des Patienten (zum Beispiel Lenker) bei einem Verkehrsunfall ermittelt. Diese Berechnung soll die Belastung für die Einsatzkräfte zeigen, die mit einem kontaminierten Patienten in Kontakt kommen könnten.

Die Tabelle auf der folgenden Seite zeigt auszugsweise, beginnend mit dem Radionuklid Fluor-18 mit der höchsten Aktivität in dieser Kategorie, die Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand und in 1 Meter Abstand zum Patienten.

Des Weiteren wurde die Aufenthaltszeit bei 0,5, 1 und 2 Stunden als Annahme für die Rettungs-, Versorgungs- und Transportzeit ohne vorhergehende Dekontamination des Patienten berechnet.

Tabelle 8: Offene Radionuklide mit ihren effektiven Dosiswerten durch eine kontaminierte Person über eine festgelegte Zeitdauer. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung)

Radionuklid	Ortsdosisleistung in 1m Abstand zur Quelle ($\mu\text{Sv/h}$)	Ortsdosisleistung durch einen Patienten ($\mu\text{Sv/h}$)	Effektive Dosiswerte (μSv)		
			0,5 Stunden	1 Stunde	2 Stunden
Fluor-18	47.700	477	238,50	477	954
Lu-177	374,15	3,74	1,87	3,74	7,48
In-111	148,19	1,48	0,74	1,48	2,96
I-123	72,97	0,73	0,36	0,73	1,46
Tl-201	16,60	0,17	0,08	0,17	0,33

5.7.4 Beschädigtes Versandstück Typ B

Im Zuge der Berechnung der Aktivitäten der Radionuklide, die im Jahr 2015 mit einem Versandstück Typ B transportiert wurden, wird ebenso deutlich, dass Beta-minus-Strahlung in der Gesamtanzahl vorherrschend und für die höchsten Ortsdosisleistungen verantwortlich ist. In dieser Gruppe ist ebenso das Iridium-192 mit 65 verschiedenen Aktivitätseinträgen dominant vertreten. Ebenso repräsentiert es das Radionuklid mit den höchsten Aktivitäten. Die Werte der Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle reichen bei Iridium-192 (Gammadosisleistungskonstante: $1,25\text{E}+02$) von rund 53,9 Sievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 432,16 Terabequerel) bis rund 174 Millisievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 1400 Gigabequerel).

Hierauf folgen in der Auflistung der höchsten Aktivitäten Cobalt-60 (Gammadosisleistungskonstante: $3,51\text{E}+02$) mit einer Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle mit rund 23,6 Sievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 67,4 Terabequerel) und Fluor-18 (Gammadosisleistungskonstante: $1,59\text{E}+02$) mit bis zu 7,9 Sievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 50 Terabequerel).

Als zweite Gruppe zeigen sich die Gamma-Strahler mit dem Radionuklid Selen-75 (Gammadosisleistungskonstante: $6,58\text{E}-02$), im Vergleich aber mit weitaus niedrigeren Aktivitäten. Hier liegt der höchste Wert der Ortsdosisleistungen in 1 Meter Entfernung zur Quelle bei rund 321 Mikrosievert pro Stunde (bei einer Aktivität von 4880 Gigabequerel) vor.

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Nachstehend wird auszugsweise die Berechnung ausgewählter Radionuklide der Beta- und Gamma-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen in 1 Meter Abstand zur Quelle sowie die effektiven Dosiswerte bei den Entfernungen 1, 5, 10 und 50 Meter in den Zeitabschnitten 0,5, 1 und 2 Stunden in Tabellenform dargestellt.

Tabelle 9: Ausgewählte Beta- und Gamma-Strahler mit ihren Ortsdosisleistungen und effektiven Dosiswerten. Werte auf zwei Kommastellen gerundet (Datengrundlage: nicht öffentlich zugängliche Daten; eigene Darstellung)

Radionuklid	Ortsdosisleistung in 1m Abstand zur Quelle ($\mu\text{Sv/h}$)	Entfernungen und Aufenthaltszeiten mit effektiven Dosiswerten (μSv)			
		Entfernung (Meter)	0,5 Stunden	1 Stunde	2 Stunden
Iridium-192 (Beta-minus)	53.976.784	1	26.988.392	53.976.784	107953568
		5	1.079.535,68	2159071,36	4318142,72
		10	269.883,92	539.767,84	1079535,68
		50	10.795,3568	21.590,71	43.181,43
Cobalt-60 (Beta-minus)	23.664.140	1	11.832.070	23.664.140	47328280
		5	473.282,80	946.565,60	1.893.131,20
		10	118.320,70	236.641,40	473.282,80
		50	4.732,828	9.465,66	18.931,31
Fluor-18 (Beta-minus)	7.950.000	1	3.975.000	7.950.000	15.900.000
		5	159.000	318.000	636.000
		10	39.750	79.500	159.000
		50	1.590	3.180	6.360
Selen-75 (Gamma)	321,10	1	160,55	321,10	642,21
		5	6,42	12,84	25,69
		10	942	1885,99	3771,98
		50	37,72	75,44	150,88

6 Gefahrguttransport der Klasse 7 auf österreichischen Straßen

Radioaktive Stoffe werden täglich weltweit auf der Straße, Schiene sowie dem See- und Luftweg transportiert. Sie dienen weitgehend dem therapeutischen Einsatz in der Medizin, der Steuerung, Prüfung und Erkundung in der Industrie und der Wissenschaft sowie der Forschung. Zahlenmäßig wenige Sendungen sind für den Betrieb von kern-technischen Anlagen vorgesehen. Das deutsche Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013: 3) hält fest, dass weltweit seit über 40 Jahren kein Unfall mit schwerwiegenden Folgen beim Transport radioaktiver Stoffe vorgekommen sei. Gründe hierfür dürften die strengen Sicherheitsvorschriften und deren Überwachung darstellen.

6.1 Rechtliche Bestimmungen

Die Vorschriften, Normen und rechtlichen Bestimmungen über den sicheren Transport von radioaktiven Stoffen und Abfällen gründen auf Empfehlungen internationaler Einrichtungen, wie jenen der International Atomic Energy Agency (IAEA), der Welt-Gesundheits-Organisation (WHO), der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP), der Internationalen Normen-Organisation (ISO), der Europäischen Gemeinschaft für Atomenergie und vielen mehr. Hierbei stellt die IAEA das wichtigste Bindeglied zwischen diesen Organisationen für die Erstellung von einheitlichen wissenschaftlich fundierten Sicherheitsregulationen dar. Als gemeinsamer Grundsatz dieser Regelwerke gilt im Besonderen, das Leben und die Gesundheit von Menschen und Tieren zu schützen sowie Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung abzuwenden. Um dies sicherzustellen, werden die Vorschriften unter Beachtung von Erkenntnissen der Wissenschaft und Technik laufend aktualisiert (ebd.: 6 und 8).

Das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR), begründet auf den UN-Empfehlungen für die sichere Beförderung gefährlicher Güter, ist das Basisregelwerk für die Gesetzgebung der europäischen Mitgliedsstaaten. Das umfassende Werk enthält die Vorgaben über die Klassifizierung, Kennzeichnung, Verpackung und Dokumentation gefährlicher Güter und den Ausschluss von Gütern, die nicht befördert werden dürfen.

Ebenso werden Schulung und Verhalten des für die Beförderung tätigen Personals, der Umgang während der Beförderung und die verwendeten Fahrzeuge geregelt. Für den Bereich der Beförderung radioaktiver Stoffe stützt sich das ADR auf die IAEA Specific Safety Requirements, No. SSR-6, „Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material“ (ADR 2017).

Die Bestimmungen des ADR in der Stammfassung und seinen Änderungen und Anlagen erfolgen als österreichisches Bundesgesetzblatt. Sie gelten für den grenzüberschreitenden Verkehr und bilden die Grundlage für die österreichische Gesetzgebung.

In Österreich wird der Transport gefährlicher Güter auf der Straße, auf der Schiene, auf Wasserstraßen, im Seeverkehr und im Rahmen der Zivilluftfahrt durch das Gefahrgutbeförderungsgesetz (GGBG), BGBl. I Nr. 145/1998, in der Fassung BGBl. I Nr. 91/2013 geregelt.

Gemäß § 2 Abs. 1 des Gesetzes gilt für den Transport gefährlicher Stoffe das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR).

Bestimmungen zum Transport gefährlicher Güter, insbesondere dem Transport radioaktiver Stoffe, finden sich auch im Strahlenschutzgesetz, BGBl. Nr. 227/169, in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015. Der Verkehr mit radioaktiven Stoffen, im Besonderen die Ein-, Aus- und Durchfuhr, wird durch den § 23 geregelt. In § 24 wird die Aufzeichnungspflicht angeführt. Hierbei besteht die Verpflichtung für denjenigen, der radioaktive Stoffe abgibt, bezieht oder befördert, unter Angabe von Art und Aktivität sowie des Namens und der Adresse des Lieferers oder Beziehers – bei Beförderung der Adressen des Absenders und des Empfängers – Aufzeichnungen zu führen. Diese sind jederzeit auf Verlangen der Behörde vorzulegen und den behördlichen Organen zur Einsichtnahme auszuhändigen.

6.2 Grundlegende Bestimmungen zur Beförderung radioaktiver Stoffe auf der Straße

Nachfolgend werden die grundlegenden Bestimmungen des ADR, in der Fassung vom 01.01.2017, über den Transport von radioaktiven Stoffen als Basis für die Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte aufbereitet. Diese gelten grundsätzlich für öffentliche Verkehrswege. Transporte innerhalb eines Betriebsgeländes werden in diesen Ausführungen nicht berücksichtigt.

6.2.1 Klassifizierung und Ausnahmen

Gefährliche Stoffe werden in neun Gefahrgutklassen eingeteilt, wobei radioaktive Stoffe der Klasse 7 zugeordnet werden. Jedem Stoff, Gemisch, Gegenstand, jeder Stoffgruppe oder Lösung in diesen Klassen ist eine eindeutige UN-Nummer zugeteilt. Die Zuordnung von radioaktiven Stoffen zu den UN-Nummern richtet sich nach den Bestimmungen für freigestellte Versandstücke, der Klassifizierung von Uranhexafluorid, den Bestimmungen für Stoffe mit geringer spezifischer Aktivität und den Stoffeigenschaften der einzelnen Radionuklide (vgl. ADR 2017: Absätze 2.1.1.1, 2.2.7.2.1.1, 2.2.7.2.3, 2.2.7.2.4 und 2.2.7.2.5).

Die Bestimmungen des ADR grenzen radioaktive Stoffe als Gefahrgut aus, deren Aktivitätskonzentrationen oder Gesamtaktivitäten je Sendung unterhalb der festgelegten

Werte fallen (ebd.: Absätze 2.2.7.2.2.1 bis 2.2.7.2.2.6 und 1.7.1.4). Integrale Bestandteile von Beförderungsmitteln mit radioaktiven Stoffen, die innerhalb von Anlagen und nicht auf öffentlichen Straßen transportiert werden, bedürfen ebenfalls keiner Kennzeichnung als Gefahrgut. Werden Stoffe für diagnostische Zwecke implantiert oder inkorporiert oder sind diese Bestandteil in Verbrauchs- und Gebrauchsprodukten, bedürfen sie ebenso keiner Ausweisung als Gefahrgut. Dies gilt ebenfalls für natürliche Stoffe und Erze, die natürlich vorkommende Radionuklide enthalten und für den Gebrauch nicht vorgesehen sind. Die natürlichen Stoffe dürfen jedoch nicht die Aktivitätskonzentrationswerte (ebd.: Tabelle 2.2.7.2.2.1) um mehr als ein Zehnfaches überschreiten.

6.2.2 Dokumentation – Beförderungspapiere und Fahrzeugkennzeichnung

Grundsätzlich sind beim Transport von gefährlichen Stoffen die hierfür notwendigen Dokumente verpflichtend mitzuführen. Das Beförderungspapier hat hierbei einen wichtigen Stellenwert. Auf diesem sind nach Abschnitt 5.4 des ADR 2017 der Name und die Anschrift des Absenders und Empfängers anzugeben. Ebenso sind hier die UN-Nummer, der Name und die allgemeine Beschreibung des radioaktiven Materials, die Nummer 7 für die Gefahrgutklasse sowie die Auflistung der im Versandstück beförderten Radionuklide vermerkt. Hierzu sind weiter die chemische bzw. physikalische Form, ggf. Zusatzangaben, die Aktivität oder Masse des spaltbaren Stoffes, die Versandstückkategorie und die Transportkennzahl anzugeben. Weitere Angaben im Beförderungspapier reichen von der Kritikalitätssicherheitskennzahl über die Inhaltsaufstellung von Versandstücken in Umverpackungen oder Containern bis eventuell dem Vermerk „Beförderung unter ausschließlicher Verwendung“ (ebd.: 5.4.1.2.5.1).

Unter dem Begriff „Ausschließlicher Verwendung“ wird nach Abschnitt 1.2.1 des ADR 2017 verstanden, dass das Fahrzeug oder ein Großcontainer direkt vom Absender zu einem einzelnen Empfänger ohne zusätzlichen Halt für Belade- oder Entladetätigkeiten fährt.

Die Kennzeichnung bei der Beförderung radioaktiver Stoffe erfolgt durch das Anbringen von Großzetteln (Placards) an beiden Längsseiten und an der Rückseite des Fahrzeuges. Für Fahrzeuge oder Container, die freigestellte Versandstücke befördern, entfällt diese Kennzeichnung.

Zusätzlich zur Kennzeichnung mit Großzettel ist am Fahrzeug vorne und hinten, senkrecht zur Längsachse, eine rechteckige, orangefarbene, rückstrahlende Tafel anzubringen. Die Tafel ist jeweils so zu montieren, dass sie deutlich erkennbar ist (ebd.: 5.3.2.1.1).

Nachstehend wird das Muster 7D des Großzettels (Placard) für die Klasse 7 gemäß ADR 2017 dargestellt.

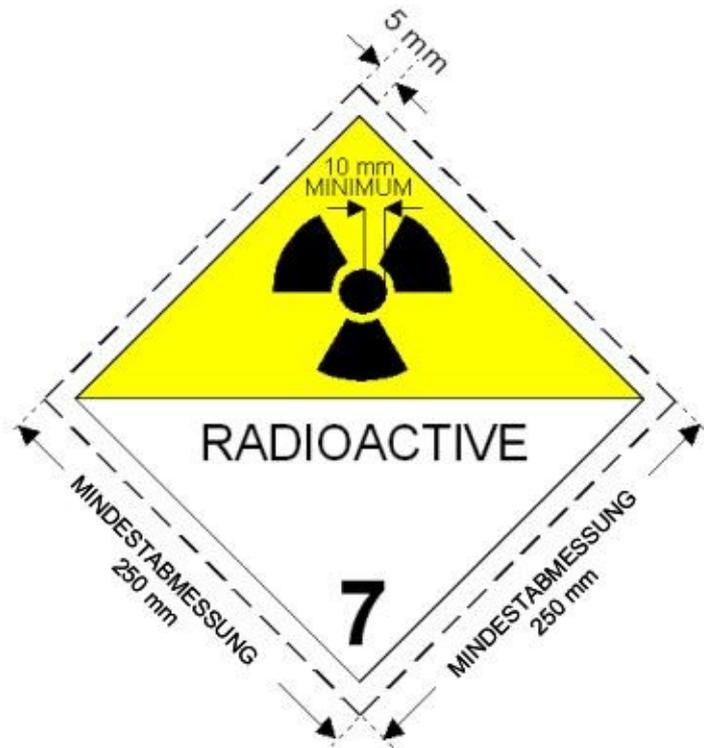


Abbildung 8: Großzettel (Placard) für radioaktive Stoffe der Klasse 7 (Quelle: ADR 2017: Absatz 5.3.1.7.2, Muster 7D)

6.2.3 Anforderungen an einzelne Versandstückarten

Das ADR 2017 regelt für den Versand von radioaktiven Stoffen fünf Arten von Versandstücken. Die Wahl des Versandstückes ist von der Aktivität, der Toxizität und dem Aggregatzustand des zu befördernden radioaktiven Stoffes abhängig. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2013: 12)

Freigestellte Versandstücke

Ein klassifiziertes freigestelltes Versandstück darf an keinem Punkt seiner Außenfläche eine Dosisleistung von 5 Mikrosievert pro Stunde überschreiten. Bei Instrumenten oder Fabrikaten, die radioaktive Stoffe enthalten, wird für eine Grenze in 10 cm Abstand von jedem Punkt ihrer Außenfläche die Dosisleistung von bis zu 0,1 Millisievert pro Stunde festgelegt. (vgl. ADR 2017: 2.2.7.2.4.1.2 und 2.2.7.2.4.1.3)

Das Versandstück ist nach der überwiegenden Gefahr zu klassifizieren, wenn eine oder mehrere Nebengefahren vorhanden sind (ebd.: 3.3.1 SV 290).

Bei nicht festhaftender Kontamination an der Außenseite darf für Alpha-Strahler mit niedriger Toxizität sowie Beta- und Gamma-Strahler der Grenzwert von 4 Becquerel pro Quadratzentimeter als freigestelltes Versandstück nicht überschritten werden. Für alle weiteren Alpha-Strahler liegt der Grenzwert bei 0,4 Becquerel pro Quadratzentimeter (ebd.: 4.1.9.1.2).

Die Abschnitte 5.2.1.7.1 bis 5.2.1.7.3 des ADR 2017 legen bei freigestellten Versandstücken die Identifikation des Absenders und/oder Empfängers fest. An der Außenseite der Verpackung ist die UN-Nummer und bei einer Bruttomasse von mehr als 50 Kilogramm ist die Bruttomasse auszuweisen.

Das Beförderungspapier muss gemäß Abschnitt 5.4.1.1.1 lit. a.g.h. des ADR 2017 mit der UN-Nummer sowie dem Absender und Empfänger versehen sein.

Wird das Versandstück geöffnet, muss die Kennzeichnung auf der Innenfläche „RADIOACTIVE“ sichtbar angebracht sein (ebd.: 2.2.7.2.4.1.4).

Industrierversandstücke

Für Industrieverpackungen (Typ IP) gelten einerseits die Vorschriften für freigestellte Versandstücke und andererseits Regelungen für die Beförderungsbedingungen sowie die Kennzeichnung auf der Außenseite der Verpackung und deren Eintragung in die Beförderungspapiere. Sie werden zusätzlich in „Stoffe mit geringer spezifischer Aktivität“ (LSA) oder in „Oberflächenkontaminierte Gegenstände“ (SCO) untergliedert. Bei der Beladung ist darauf zu achten, dass die Menge der IP-Versandstücke so zu beschränken ist, dass die Dosisleistung in einem Abstand von 3 Metern von dem nicht abgeschirmten Stoff oder Gegenstand 10 Millisievert pro Stunde nicht überschreitet (ebd.: 4.1.9.2 bis 4.1.9.2.5).

Typ A-Versandstücke

Die Bauart von Typ A-Versandstücken muss so ausgelegt sein, dass der radioaktive Stoff trotz einer genau festgesetzten Beanspruchung nicht entweichen und/oder verstreut werden kann bzw. nicht seine strahlenabweisende Wirkung verliert.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013: 14) beschreibt die Prüfungen derart, dass das Versandstück für eine Sprühdauer von einer Stunde mit einer gleichmäßigen Wassermenge von 5 Zentimetern pro Stunde beständig sein muss. Auch darf der Fall auf einen unnachgiebigen Untergrund von 1,2 Metern Höhe (bei flüssigen oder gasförmigen 9 Meter) beim Versandstück nicht zum Versagen führen.

Des Weiteren sind Drücke der fünffachen Masse über eine Dauer von 24 Stunden und ein Durchstoßen mit einer Prüfstange von 6 Kilogramm aus einer Höhe von 1 bis 1,7 Meter zu bestehen.

Flüssige Stoffe sind bei Versagen des Versandstückes durch bestimmte Einbauten befähigt, durch genügend saugfähiges Material das Doppelte des Volumens an flüssigem Inhalt aufzunehmen. Somit wird dem Verlust des flüssigen radioaktiven Stoffes an die Umwelt entgegengewirkt. (vgl. ADR 2017: 6.4.7 bis 6.4.7.17)

In Abschnitt 2.2.7.2.2.1 werden die maximalen Aktivitätswerte für radioaktive Stoffe in einer dicht verschlossenen Kapsel (A1 in besonderer Form) und für alle anderen radioaktiven Stoffe (A2) angeführt. Der radioaktive Inhalt darf höchstens eine der beiden Aktivitäten erreichen, um in einem Typ A-Versandstück transportiert zu werden (ebd.: 2.2.7.2.4.4).

Typ B-Versandstücke

Das Prüfverfahren für diesen Versandstücketypus ist so angelegt, dass das Versandstück auch den Auswirkungen von schwersten Unfällen standhält. Hierbei wird das Versandstück einer mechanischen Prüfung unterzogen, bei dem es bei einer Fallhöhe von neun Metern auf eine unnachgiebige Oberfläche und bei einer Fallhöhe von einem Meter den Aufprall auf einen 20 Zentimeter hohen Stahldorn bestehen muss. Neben einer Quetschprüfung mit dem Abwurf eines 500 Kilogramm schweren Stahlkörper aus einer Höhe von neun Metern auf das Versandstück und einer Erhitzungsprüfung in der Dauer von 30 Minuten bei 800 Grad Celsius ist auch eine Wasserdruckprüfung von acht Stunden in einer simulierten Tiefe von 200 Metern zu bestehen (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2013: 15).

Der Transport in einem Typ B-Versandstück bedarf einer Zulassung der zuständigen Behörde (ebd.: 5.1.5.2.1)

Typ C-Versandstücke

Radioaktive Stoffe mit hohem Aktivitätsinventar, die am Luftweg transportiert werden, werden in Versandstücken des Typs C befördert. Diesen Versandstücken wird ein Prüfverfahren zuteil, das die Kräfte eines Flugzeugabsturzes simulieren soll. Die zu bestehenden Prüfkriterien sind hierbei im Besonderen der Aufprall mit 90 Metern pro Sekunde auf eine unnachgiebige Oberfläche und eine Hitzeeinwirkung von 800 Grad Celsius über einen Zeitraum von 60 Minuten (vgl. IAEA 2012a: 118).

Das ADR schreibt für den Transport in einem Typ C-Versandstück eine Zulassung durch die zuständige Behörde vor (vgl. ADR 2017: 5.1.5.2.1).

6.2.4 Kategorien von Versandstücken

Mit Ausnahme der freigestellten Versandstücke unterliegen Versandstücke einer Kategorisierung mit einer dazu eindeutigen Bezettelung. Die Kategorien mit ihren Bedingungen können nachstehender Tabelle entnommen werden.

Tabelle 10: Kategorien der Versandstücke, Umverpackungen und Container (Datengrundlage: ADR 2017: Tabelle 5.1.5.3.4; eigene Darstellung)

Kategorie	Bedingungen	
	höchste Dosisleistung an jedem Punkt einer Außenfläche (Millisievert pro Stunde)	Transportkennzahl (TI)
I-WEISS	nicht größer als 0,005	0
II-GELB	größer als 0,005, aber nicht größer als 0,5	größer als 0, aber nicht größer als 1
III-GELB	größer als 0,5, aber nicht größer als 2	größer als 1, aber nicht größer als 10
III-GELB (unter ausschließlicher Verwendung)	größer als 2, aber nicht größer als 10	größer als 10

Die folgende Abbildung stellt die grafische Darstellung der Bezettelung dar.

Gefahrzettel: Muster 7A Kategorie: I-WEISS	Gefahrzettel: Muster 7B Kategorie: II-GELB	Gefahrzettel: Muster 7C Kategorie: III-GELB
		

Abbildung 9: Bezettelung der Versandstückkategorie (Quelle: Fachverband für Strahlenschutz e.V 2015: 4. Ausgabe, 21)

Die in der Tabelle 10 ausgewiesene Transportkennzahl dient zur Kennzeichnung der Strahlenexposition am Versandstück. Sie wird nach folgendem Verfahren ermittelt:

In einem Abstand von 1 Meter von den Außenflächen des Versandstückes ist die höchste Dosisleistung in Millisievert pro Stunde zu berechnen. Der hierbei gewonnene Wert ist mit 100 zu multiplizieren. Der ermittelte Wert ist auf die erste Dezimalstelle aufzurunden bzw. mit der Ausnahme, dass ein Wert von 0,05 oder kleiner mit Null angegeben werden darf. Dieses Ergebnis wird als Transportkennzahl bezeichnet (vgl. ADR 2017: 5.1.5.3.1). Für jede Umverpackung, jeden Container oder jedes Fahrzeug wird entweder durch direkte Messung der Dosisleistung oder durch die Summe der Transportkennzahlen aller enthaltenen Versandstücke die Transportkennzahl bestimmt.

Für die Beförderung von spaltbaren Stoffen ist die Kritikalitätssicherheitszahl (CSI) gemäß den Berechnungsvorgaben in Abschnitt 6.4.11.13 des ADR zu ermitteln. Nach VOGT und SCHULTZ (2011: 286) diene die Kritikalitätssicherheitszahl zur Überwachung der zulässigen Anzahl von Versandstücken mit spaltbaren Stoffen.

Grundsätzlich darf die maximale Ortsdosisleistung an der Oberfläche des Fahrzeuges 2 Millisievert pro Stunde nicht überschreiten. Im Abstand von 2 Metern zum Fahrzeug wird die maximale Ortsdosisleistung mit maximal 100 Mikrosievert begrenzt. (vgl. Fachverband für Strahlenschutz e.V. 2015)

6.2.5 Sicherheits- und Schutzanforderungen für die Beförderung

Als Grundsatz des ADR gelten die Gewährleistung der Sicherheit und der Schutz von Personen, Eigentum und der Umwelt vor den Strahlungseinflüssen bei der Beförderung radioaktiver Stoffe. Durch Begrenzung der Inhalte für Versandstücke und Transportfahrzeuge, der Standards für die Versandstückbauarten in Abhängigkeiten von der Gefahr des radioaktiven Inhaltes wird im Sinne des Artikel 1.7.1.2 des ADR 2017 der Schutz erreicht. Durch das Aufstellen von Bedingungen für die Auslegung und den Betrieb von Versandstücken, die Instandhaltung der Verpackung und administrative Kontrollen mittels Genehmigungs- bzw. Zulassungsverfahren durch die Behörde soll dieser zusätzlich gewährleistet werden.

Bei Nichteinhaltung von Grenzwerten der Dosisleistung oder Kontamination sind alle betroffenen Stellen zu informieren und Maßnahmen zu ergreifen, welche die Grenzwerte senken. Bei einer sich entwickelnden oder bestehenden Notfallexpositionssituation muss diese Mitteilung unverzüglich an den Absender und die zuständige Behörde erfolgen (ebd.: 1.7.6).

6.3 Auswertung statistischer Unfalldaten

Das ADR 2017 sieht eine Meldung von Ereignissen mit gefährlichen Gütern dann vor, wenn gefährliche Stoffe ausgetreten sind oder die unmittelbare Gefahr des Austritts besteht, ein Personen-, Sach- oder Umweltschaden eingetreten ist oder Behörden beteiligt waren (ebd.: 1.8.5).

6.3.1 Unfälle beim Transport gefährlicher Güter in Österreich

Die auf der nächsten Seite dargestellte statistische Aufbereitung, mit ausgewählten Teilen (blaue Hinterlegung) der Tabelle in Anhang 5, nimmt Bezug auf die Unfälle beim Transport gefährlicher Güter in Österreich. Die Tabelle zeigt einen Vergleich der Gefahrgutunfälle und mit den gesamten Unfallzahlen in Österreich im Zeitraum 2000 bis 2015.

In der Tabelle wird in der Zeile „Insgesamt“ der gesamte verglichene Beobachtungszeitraum der Jahre 2000 bis 2015 als Ergebnis in den einzelnen Spalten beschrieben.

Tabelle 11: Auszug aus der Auswertung der statistischen Daten im Vergleich der Verkehrsunfälle und der Gefahrgutunfälle in Österreich im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2015 (Datengrundlage: Statistik Austria 2016a und 2016b: https://www.statistik.at/web_de/intern/Redirect/idex.html?dDocName=003162 (27.12.2016, 14:47 Uhr) und https://www.statistik.at/web_de/statistiken/meschen_und_gesellschaft/gesundheit/unfaelle/strassenverkehrsunfaelle/index.html (27. Dezember 2016, 15:05); eigene Darstellung)

Jahr	Unfälle beim Transport gefährlicher Güter Österreich		Verkehrsunfälle Österreich		Vergleich in Prozent der Verkehrsunfälle und Gefahrgutunfälle	
	insgesamt	Personenschaden	gesamt	davon Personenschaden	gesamt	Personenschaden
2012	20	20	40.831	50.895	0,05%	0,0393%
2013	14	14	38.502	48.044	0,04%	0,0291%
2014	19	19	37.957	47.870	0,05%	0,0399%
2015	21	21	37.980	47.368	0,06%	0,0443%
Insgesamt	74	74	155.250	193.975	0,05%	0,0381%

Der hier abgebildete Vergleichszeitraum 2012 bis 2015 weist im Jahr 2012 die höchste Anzahl von Verkehrsunfällen gesamt mit 40.831 Ereignissen und den hierbei verletzten Personen in der Höhe von 50.895 aus. Bei den Unfällen in der Kombination mit der Beförderung von Gefahrgut ist das Jahr 2015 mit 21 Unfällen und 21 Personenschäden führend.

Gleichermaßen ist das Jahr 2015 für den gesamten vergleichenden Beobachtungsbe-
reich von 2000 bis 2015 bei den Personenschäden im Zuge von Gefahrgutunfällen der
Vorreiter.

Grundsätzliche Aussagen können über den prozentuellen Vergleich zwischen Gefahr-
gutunfällen und Verkehrsunfällen im Gesamten getroffen werden.

Im Beobachtungszeitraum der Jahre 2000 bis 2015 stellen Unfälle mit Gefahrgut mit
0,5 Promille einen geringen Anteil bei den Verkehrsunfällen in Österreich dar. Auch
die Personenschäden mit fast 0,4 Promille machen einen sehr geringen Anteil in der
österreichischen Gesamtbetrachtung aus.

6.3.2 Vergleichende Betrachtung mit dem Vereinigten Königreich Großbritannien

Da die Unfälle mit gefährlichen Stoffen von der Statistik Austria nicht in den einzelnen
Gefahrgutklassen ausgewertet werden, liegt auch für die Klasse 7 (radioaktive Stoffe)
keine detaillierte Analyse vor. Um grundsätzliche Aussagen über Unfälle mit radioak-
tiven Gütern machen zu können, wurden die wissenschaftlich aufbereiteten Berichte
der Gesundheitsbehörde (Public Health England) über die Ereignisse und Unfälle im
Vereinigten Königreich Großbritannien für den Beobachtungszeitraum 1958 bis 2004
und 2005 bis 2012 ausgewählt. Die detaillierten Berichte über diese Ereignisse sind in
der Radioactive Materials Transport Event Database (RAMTED), die im Auftrag des
Office for Nuclear Regulation (ONR) vom Centre for Radiation, Chemical and Environ-
mental Hazards of Public Health England (CRCE) gewartet werden, verzeichnet. (vgl.
HARVEY und JONES 2014: iii)

Die Auswahl zur Aufbereitung der Daten für diese Arbeit erfolgte einerseits wegen dem
wissenschaftlichen Hintergrund und andererseits aufgrund der Tatsache, dass Groß-
britannien Betreiber von kerntechnischen Anlagen ist und daher die Anlieferung und
Entsorgung von radioaktivem Abfall weitaus höher ist als in Österreich.

In Großbritannien wird radioaktives Material für die Nuklearindustrie und für die medi-
zinische und industrielle Nutzung auf der Straße und mit der Bahn transportiert. Der
Transport mit der Bahn beschränkt sich dabei auf hoch radioaktives Material, wie an-
gereicherte Kernbrennstäbe. (vgl. JONES und CABIANCA 2017: 5)

HARVEY und JONES (2014: iii) beschreiben, dass jährlich beinahe eine halbe Million
Versandstücke mit radioaktivem Inhalt innerhalb, aus und nach Großbritannien trans-
portiert werden. Hierbei bestehe die Gefahr, dass es bei Zwischenfällen und Unfällen
mit radioaktiven Stoffen bei Arbeitern aber auch bei der Bevölkerung zu einer Exposi-
tion mit kleineren Strahlendosen führen könnte.

In den Rückblicken für die Jahre 2005 bis 2012 sind Ereignisse und Unfälle auf eine
fehlerhafte Dokumentation oder eine unzureichende Ausbildung zurückzuführen. Dies

hatte falsche Deklarationen bei der Beladung, Vorfälle beim Verpacken oder Beladen oder Verlust der Ladung und Diebstahl zur Folge.

Als Unfallorte bzw. als Kontrollpunkte im Rahmen von polizeilichen Gefahrgutkontrollen werden in den Rückblicken Betriebsgelände am See- und Flughafen, Versorgungsbetriebe, Krankenhäuser, Schiffe und Eisenbahnen, Entsorgungsbetriebe, Universitäten und Areale von Kernkraftwerken beschrieben.

Bei den erfassten Verkehrsunfällen kam es im genannten Beobachtungszeitraum zu keinen radiologischen Schäden an Personen oder der Umwelt. (vgl. HUGHES et al.: 2005–2012)

HUGHES et al. (2006) beschreiben in ihrer Studie die in RAMTED erfassten 806 Ereignisse im Beobachtungszeitraum 1958 bis 2004. Hierbei entfielen 47% auf Zwischenfälle während des Transportes, 41% beim Hantieren mit dem Material (Be-, Entladen usw.) und bei 12% entstand eine Kontamination. Medizinische und industrielle Isotope stellten die höchste Anzahl bei den Ereignissen dar. Eine Analyse der Ereignisse während des Transportes zeigt, dass die meisten Zwischenfälle auf der Straße zu verzeichnen waren.

Die nachstehende Tabelle präsentiert die Ereignisse im Zeitraum 2005 bis 2012 mit der Anzahl der Dosiswerte unter und über 1 Millisievert bzw. die Zahl der Verkehrsunfälle daraus mit ihren Grunddaten und radiologischen Schäden.

Tabelle 12: Verkehrsunfälle beim Transport radioaktiver Stoffe. UK 2005–2012 (Datengrundlage: HUGHES et al. 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012; eigene Darstellung)

Jahr	Gesamtvorfälle aus RAMTED	Dosis		Straßenverkehrsunfälle		
		<1mSv	>1mSv	Anzahl	Vorliegende Grunddaten	Zahl der radiologischen Schäden
2012	16	2	0	0	-	0
2011	38	2	1	0	-	0
2010	30	0	0	3	Auffahrunfall: Fahrzeug mit Technetium Generator (Aktivität 3.8 GBq) beteiligt.	0
					Auffahrunfall im Kreisverkehr: Fahrzeug mit einem „low level“ Generator beteiligt.	0
					Auffahrunfall: Fahrzeug mit Troxler Sonde.	0

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Jahr	Gesamtvorfälle aus RAMTED	Dosis		Straßenverkehrsunfällen		
		<1mSv	>1mSv	Anzahl	Vorliegende Grunddaten	Zahl der radiologischen Schäden
2009	32	0	0	2	Herabgestürzter ISO-Abfall-Container im Kreisverkehr: spaltbares Material, max. Dosisleistung 0,2 µSv/h	0
					Auffahrunfall: Fahrzeug mit Troxler Sonde. Quellen: Am-Be (1,48 GBq) und Cs-137 (300 MBq)	0
2008	38	0	0	0	-	0
2007	25	1	0	0	-	0
2006	27	2	0	2	Seitenaufprall. Typ-B (4 Stk. Co-60 mit Gesamtaktivität von 936 TBq)	0
					Auffahrunfall: Troxler Sonde (Typ A)	0
2005	16	0	0	1	Fahrzeugüberschlag. Totalschaden PKW. Troxler Sonde. Typ A, II-Gelb (Am-241/Be, Cs-137 Quellen mit 1.85 GBq und 370 MBq)	0

Die meisten betroffenen Versandstücke waren jene des Typs A mit kleinen Schäden. 90% der Ereignisse hatten bei den Versandstücken keinen Verlust des Containments oder der Schutzummantelung zur Folge. Die Ereignisse, bei denen hohe Dosiswerte verzeichnet wurden, entstanden durch industrielle Prüfquellen, die nach ihrem Gebrauch nicht in ihre Schutzvorrichtung eingefahren wurden.

Der bedeutendste Zwischenfall ereignete sich hier im Jahr 1968 mit einer Exposition über 2 Sievert. Das bessere Trainingsangebot für das Bedienpersonal in den letzten Jahrzehnten ließ die Zahl derartiger Zwischenfälle bedeutend sinken. Transportunfälle auf der Straße mit einer bedeutenden Strahlenexposition bzw. Kontamination des Fahrers, der Einsatzkräfte und der Bevölkerung scheinen im Bericht nicht auf. Vielmehr sind es Unfälle in Zusammenhang mit einem falschen Handling, bei dem eine Exposition und Kontamination erfolgte.

7 Erfassung der Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte

Die Abwehr von drohenden Gefahren und die Schadensbewältigung im Bereich des Strahlenschutzes verlangen einerseits rechtliche und normative Grundlagen und andererseits die wissenschaftliche Expertise der Disziplinen im Strahlenschutz. JACHS (2011: 112) sieht die Aufgaben der Einsatzorganisationen in der täglichen Gefahrenabwehr im Rahmen der ihnen gesetzlich übertragenen Aufgaben, die sie als Organ einer Gebietskörperschaft (Gemeinde, Land, Bund) wahrnehmen. Im Strahlenschutz bzw. in der Gefahrenabwehr bei radiologischen Notfallereignissen, im speziellen bei Verkehrsunfällen mit der Beteiligung radiologischer Stoffe, bedarf es neben der behördlich-administrativen Interventionsmaßnahmen eines strukturierten Vorgehens der Einsatzorganisationen. Die Einsatzkräfte bereiten sich auf ihre professionellen First Responder Einsätze durch umfangreiche Schutzmaßnahmen vor.

7.1 Allgemeine einsatztaktische Grundlagen

Die Vereinten Nationen, im speziellen die IAEA, bietet mit ihren Safety Fundamentals, Safety Requirements and Safety Guides Vorgaben zur Umsetzung in Rechtsmaterien und Normen an. Darüber hinaus vermitteln ihre Publikationen die wissenschaftlich fundierten Sicherheitsstandards zur Bewältigung von radiologischen Notfallereignissen. (vgl. IAEA: 2002)

Ziel jeder Intervention bei radiologischen Notfallereignissen ist der Schutz der Einsatzkräfte vor deterministischer Schädigung und die Reduktion stochastischer Effekte durch Vorgabe einsatztaktischer Grundsätze. Als Intervention sind in dieser Arbeit alle Maßnahmen der Lebensrettung, Brandbekämpfung, medizinischer Hilfeleistung und der regulären Polizeiarbeit bei Verkehrsunfällen zu verstehen. Zur Durchführung der Einsatzfähigkeit sind von den zuständigen Behörden Notfallpläne für Unfälle mit Beteiligung radioaktiven Materials zu erstellen, die Alarm- und Meldewege und die Hilfeleistung zum Schutz der Einsatzkräfte, Bevölkerung und der Umwelt regeln. (vgl. IAEA 2002: 5–10)

Neben für diese Schadenslagen ausgebildeten Spezialkräften empfiehlt die IAEA den Einsatzorganisationen, Pläne, Durchführungsbestimmungen, Checklisten, Einsatz- und Schutzmaterial für ihre Kräfte vorzuhalten und Ausbildung sowie Trainingseinheiten anzubieten.

Für die Hilfeleistung bei Transportunfällen mit gefährlichen radioaktiven Stoffen sind die folgenden Interventionen vorrangig notwendig:

- Identifikation der Gefahren,
- Brandbekämpfung und Gefahrenabwehr,
- Schutz vor Strahlung und Kontaminationsverschleppung,

- Rettung und medizinische Versorgung der Opfer,
- Sicherung und Bergung der Transportbehältnisse und des Unfallfahrzeuges,
- Dekontamination der Einsatzkräfte und des gesamten Unfallortes.

Die IAEA teilt die Hilfeleistungen in drei Phasen:

- Anfangsphase (initial phase),
- Kontrollphase (accident control phase),
- Spätphase (post-emergency phase).

In der Anfangsphase besteht das vorrangige Ziel der lokalen Einsatzkräfte in der Lebensrettung, in der Feststellung der Gefahren, in der Brandbekämpfung und in der Setzung von Maßnahmen zur Eindämmung der Gefahrenausbreitung für den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt sowie in der Absperrung des Unfallortes. Die nachfolgende Kontrollphase wird durch den Einsatz von Spezialkräften des Strahlenschutzes sichergestellt. Hierbei sind Messungen, Nuklidbestimmung, Dekontaminationsmaßnahmen und Festlegung von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und Umwelt sicherzustellen. In der Spätphase soll durch umfangreiche Dekontaminationsmaßnahmen des Schadensortes und der Umgebung eine Situation wie vor dem Ereignis erreicht werden. (vgl. IAEA 2002: 15–31)

Da diese Arbeit vorrangig die lokalen Einsatzkräfte (First Responder) in der Anfangsphase beleuchten soll, wird auf die Kontrollphase und die Spätphase nicht genauer eingegangen.

Für das Einsatzpersonal empfiehlt die IAEA (ebd.: 32f.) zwei Trainingsebenen. Die erste Ebene beschränkt sich auf das Erkennen der Gefahren und die Identifikation des Gefahrgutes mit seinen Versandstücken sowie die notwendige Messtätigkeit mit Dosimetrie. Das Erlernen und Trainieren dieser Fertigkeiten sollen mit den Maßnahmen der Ersten Hilfe, der Brandbekämpfung und des Ordnungsdienstes (crowd control) ergänzt werden. Im zweiten Level sollen die Kommunikation, die Organisation am Schadensort, die Grundlagen des Gefahrguttransportes, die Erkundung der Lage mit einem Assessment der Strahlen- und Kontaminationsüberwachung, die Grundlagen des Strahlenschutzes und die Medienauskunft geschult werden. Für das Training dieser Fertigkeiten werden von der IAEA ein Drilltraining und Einsatzübungen vorgeschlagen.

Im Einsatzfall ist die Einschätzung der Gefahr für die Einsatzkräfte ein wichtiger Bestandteil der Erkundung und für die weiteren Handlungen am Schadensort. Hierbei sind die Auswirkungen der Strahlung und die Möglichkeit der Kontamination auf die Einsatzkräfte zu beachten.

Die Grundsätze des limitierten Aufenthaltes in der Nähe von radioaktiven Quellen und der Schutz vor Kontamination der Körperoberfläche bzw. der Schutz der Atemwege

und Wunden vor dem Eindringen radioaktiver Stoffe ist zu beachten. Hieraus resultieren Handlungsempfehlungen, wie das Vermeiden, radioaktive Stoffe oder Gegenstände zu berühren, das Vorziehen von lebensrettenden und andere unaufschiebbaren Sofortmaßnahmen in der Nähe des Gefahrenbereichs, das Tragen von Schutzausrüstung (vor allem bei Brandrauch) innerhalb von 100 Metern, die Ingestionsvermeidung mit einem Vermeiden, den Mund zu berühren, zu rauchen, zu essen und zu trinken vor einer Säuberung sowie des unmittelbaren Kleidungswechsels und Duschens nach dem Einsatz. (vgl. IAEA 2006: 2ff.)

Für alle Einsatzkräfte gilt nach den Empfehlungen der IAEA der Grundsatz: „Lebensrettende Sofortmaßnahmen dürfen durch das Vorhandensein von radioaktivem Material nicht verzögert werden.“ (ebd.: 25ff.).

Hiervon abgeleitet gilt für Feuerwehrkräfte, dass das Vorhandensein radioaktiven Materials keinen Einfluss auf die sofortige Brandbekämpfung hat. Ebenso gilt für die Rettungsdienste, dass der sofortige Abtransport von Schwerverletzten nicht durch aufwändige Dekontaminationsmaßnahmen verzögert werden darf. Unaufschiebbare lebensrettende Sofortmaßnahmen sind innerhalb von 1 Meter zu einer radioaktiven Quelle oder einem kontaminierten Gegenstand bzw. 100 Metern unter Atemschutz bei Brand- oder Explosionsgefahr tolerierbar (ebd. 2006: 25f. und 40).

Auch das TMT Handbook (vgl. ROJAS-PALMA et al. 2009: 24–69) legt diese Abstände fest und präzisiert die Handlungen innerhalb dieser Grenzen. Wie oben angeführt, sind hier vor allem lebensrettende Sofortmaßnahmen zu setzen. Ebenfalls sind innerhalb der Begrenzung Sofortmaßnahmen durchzuführen, die katastrophale Ereignisse vermeiden könnten oder um die Gesundheit Anderer zu schützen, wie zum Beispiel: Evakuierungsmaßnahmen, Befreiungsmaßnahmen von Schwerstverletzten und deren lebensrettende Sofortbehandlung.

Ebenfalls wird eine Zonierung der Schadensstelle dargestellt, welche den Einsatzkräften eine rote, gelbe und grüne Zone und die hier zu setzenden Maßnahmen zuweist. Um ein Arbeiten in den einzelnen Zonen zu gewährleisten, wird den Helfern die entsprechende Persönliche Schutzausrüstung (PSA) zugeteilt. Einsatzkräfte in der roten Zone haben Atemschutz in Form von Vollgesichtsmasken und wasserundurchlässige Oberbekleidung, Handschuhe und Schuhe zu tragen. Ebenso sind Schutzhelme, Alarm- und Personendosimeter zu tragen. In der gelben Zone, wo vor allem Kräfte der Rettungsdienste tätig werden, sind Atemschutz in Form von Halbgesichtsschutzmasken, Einwegschutzhandschuhe, Einwegoveralls, Plastiküberschuhe und Personendosimeter zu tragen. Als Dosisgrenze wird den Einsatzkräften empfohlen, 50 Millisievert nicht zu überschreiten.

Ähnlich der genannten einsatztaktischen Vorgehensweisen werden die Einsatzmaßnahmen für Gefahrgutunfälle mit Beteiligung radioaktiver Stoffe nach NÜSSLER (2013: Kapitel 5, Merkblatt 161–166) in umseitig aufgelistete Gefahren gegliedert:

- Radioaktive Stoffe geringe spezifische Aktivität,
- Radioaktive Stoffe geringe bis mittlere Aktivität,
- Radioaktive Stoffe mittlere bis hohe Aktivität,
- Radioaktive Stoffe in besonderer Form,
- Radioaktive Stoffe spaltbar,
- Uranhexafluorid, spaltbar, ätzend.

Als Erstmaßnahmen definiert NÜSSLER einen Absperrradius von 50 Metern, den die Polizei auf 100 Meter für die äußere Absperrung erweitert. Bei Bränden ist dieser auf 300 Meter zu vergrößern. Vor der Messung der Radioaktivität sei auch hier der Absperrung, Räumung, Menschenrettung, lebensrettenden Sofortmaßnahmen sowie der Kontrolle von Brand und anderen Gefahren den Vorrang zu geben. Als Persönliche Schutzausrüstung bei möglicher Kontamination wären Atem- und Körperschutz ausreichend. Die Einsatzkräfte haben, um die Strahlenexposition zu reduzieren, so vorzugehen, dass sie Deckung nutzen und die Einsatzzeit begrenzen. Einsatzkräfte haben grundsätzlich, so wie bei allen Einsätzen mit gefährlichen Stoffen, nach der GAMS-Regel zu handeln. Hierbei steht GAMS als Abkürzung für Gefahr erkennen, Absperrn, Menschenrettung durchführen und Spezialkräfte anfordern (ebd.: 7).

7.2 Rechtliche Grundlagen für Schutzmaßnahmen und Einsatztaktiken

Um eine strukturierte Hilfeleistung bei einem Verkehrsunfall mit Beteiligung radioaktiver Stoffe zu gewährleisten, unterstützen im Vorfeld erstellte und beübte Notfallpläne. Sind es bei den Einsatzorganisationen vor allem Einsatzpläne, die eine Alarmierung und einsatztaktische Handlungsanweisungen für die Lebensrettung und Gefahrenabwehr vorgeben, so sind es im behördlichen Bereich strategische und operative Pläne, die eine organisationsübergreifende Gefahrenabwehr und Schadensbewältigung regeln. (vgl. JACHS 2011: 157)

7.2.1 Radiologische Notfallplanung

Der Schutz vor ionisierender Strahlung in Österreich ist rechtlich betrachtet eine Aufgabe des Bundes. Internationale Standards wie beispielsweise jene der IAEA und die Basic Safety Standards der Europäischen Union (EU 2013) beauftragen, rechtliche Grundlagen zum Schutz der Bevölkerung und Umwelt bei nuklearen und radiologischen Notfällen zu schaffen. In Österreich wird die behördliche Notfallplanung und das Notfallmanagement durch das Strahlenschutzgesetz, BGBl. I Nr. 227/1969, in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015, und die Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, geregelt.

Die Erstellung von Notfallplänen ist gemäß § 38 Strahlenschutzgesetz und § 9 Interventionsverordnung Aufgabe des Bundes und der Länder. Der gesamtstaatliche Notfallplan ist in sechs Teilpläne gegliedert. Transportunfälle mit der Beteiligung radioaktiver Stoffe sind durch die Teilpläne „Zwischenfälle mit gefährlichen Strahlenquellen“ und „Notfallplan medizinische Diagnostik und Therapie“ für die organisatorische Durchführung von Interventionen vorgegeben.

Den Einsatzorganisationen wird die Durchführung der Erstmaßnahmen gemäß GAMS-Regel am Schadensort übertragen. Diese beschränken sich demnach auf die Gefahrenerkennung, Absperurmaßnahmen nach im Plan vorgegebenen Abständen, die Menschenrettung, die Verständigung von Spezialkräften (Interventionskräften) und einer Meldepflicht an die zuständige Bezirksverwaltungsbehörde sowie unaufschiebbare Maßnahmen zur Gefahrenabwehr (unter Persönlicher Schutzausrüstung) wie zum Beispiel Brandbekämpfung.

Die Zoneneinteilung wurde aus dem Manual for First Responders to a Radiological Emergency (vgl. IAEA 2006) und dem TMT-Handbook übernommen (vgl. ROJAS-PALMA et al. 2009). Nachstehende Abbildung stellt die Zoneneinteilung und Schadensplatzorganisation am Beispiel der Schweizer Feuerwehr grafisch vereinfacht dar:

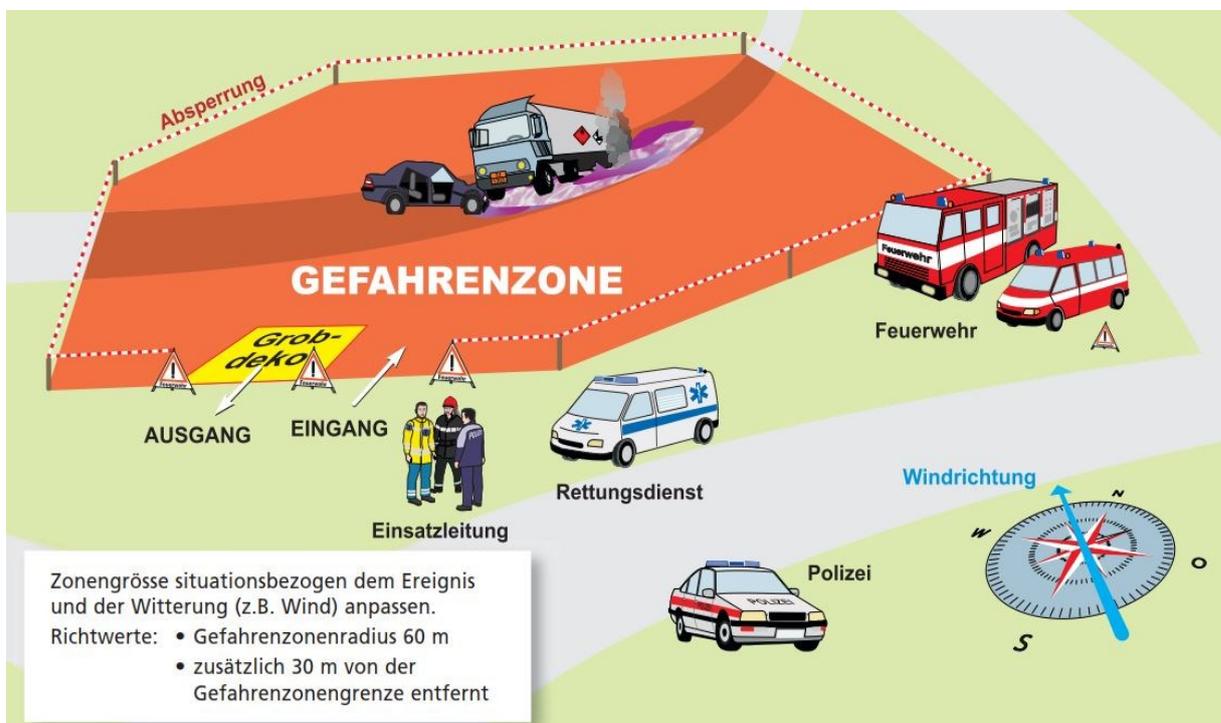


Abbildung 10: Zoneneinteilung und Schadensplatzorganisation, Grundaufbau bei Einsatzbeginn am Beispiel der Schweizer Feuerwehr (Quelle: FKS 2014: Version 4, 2.12, 2.07)

Als weitere Maßnahmen werden Verkehrsbeschränkungen, Dekontamination, der Umgang mit Verletzten sowie mit unverletzten Passanten im Absperrbereich, Maßnahmen für Bewohner im Absperrbereich, Maßnahmen zum Schutz von Interventionspersonal und Einsatzkräften und weitere definiert (vgl. BMLFUW 2014: 38–41).

Der medizinische Teil des Gesamtstaatlichen Interventionsplanes weist in seinen Ausführungen darauf hin, dass bei radiologischen Notstandssituationen lebensrettende Sofortmaßnahmen Vorrang vor der Dekontamination haben müssen. Dies gründet einerseits auf den Erfahrungen, dass keine relevanten Dosiswerte bei der Versorgung von kontaminierten Patienten für die Helfer beobachtet wurden. Andererseits auf dem Verlauf deterministischer Schädigung, welcher am Schadensort keine lebensrettenden Sofortmaßnahmen notwendig macht, sondern die sofortige Behandlung begleitender schwerer Verletzungen bedürfe (ebd.: 17).

Auch im medizinischen Teil des Gesamtstaatlichen Interventionsplanes wird den Einsatzorganisationen das Vorgehen nach der GAMS-Regel zugewiesen, wobei die Menschenrettung auch die Sofortdekontamination und die lebensrettenden Sofortmaßnahmen miteinschließt. (ebd.: 25)

Im Zuge der verpflichteten Umsetzung der Basic Safety Standards der Europäischen Union (EU 2013) durch die Mitgliedsländer ist auch der Gesamtstaatliche Interventionsplan für radiologische Notstandssituationen einer Neufassung unterworfen. Hierbei wird vor allem der medizinische Teil des Interventionsplanes mehr detaillierte Leitlinien zur Implementierung auf regionaler Ebene aufweisen. Auch für die Notfallpläne der Krankenhäuser werden unterstützende Planungsanweisungen in Aussicht gestellt. (vgl. ZIEGLER 2016: 121ff.)

7.2.2 Persönliche Schutzausrüstung

Hilfeleistungen und Arbeiten bei Unfällen mit gefährlichen Stoffen, im speziellen hier betrachtet Verkehrsunfälle mit Beteiligung radioaktiver Stoffe, bedürfen eines Schutzes der Einsatzkräfte mit Persönlicher Schutzausrüstung (PSA). Besonders bei Ereignissen, bei denen mit einer Kontamination im Einsatzraum zu rechnen ist, ist der Schutz der Gesundheit der Einsatzkräfte im Schadensraum sicherzustellen und einer Kontaminationsverschleppung vorzubeugen. (vgl. IAEA 2006: 2–5)

Der Arbeitnehmerschutz ist in Österreich gesetzlich geregelt. Das Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – AschG), BGBl. Nr. 450/1994, das Bundes-Bedienstetenschutzgesetz (B-BSG), BGBl. I Nr. 70/1999, und die Bedienstetenschutzgesetze der Länder regeln den Arbeiterschutz für die Arbeitnehmer.

Freiwillige Einsatzkräfte unterliegen durch Dienstvorschriften ihrer Einsatzorganisationen und durch Gleichstellung im Allgemeinen Unfallversicherungsrecht (vgl. Bundesgesetzblatt der Republik Österreich 2017a: Allgemeines Sozialversicherungsgesetz, BGBl. Nr. 189/1955, in der Fassung BGBl. I Nr. 66/2017: § 176) diesen Regelungen.

So sind Arbeitgeber im Sinne des § 3 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz verpflichtet für Sicherheit und Gesundheitsschutz für ihre Arbeitnehmer in Bezug auf alle Aspekte deren Arbeit zu sorgen. Der Arbeitnehmer selbst ist verpflichtet, gemäß § 15 Abs. 2 die Arbeitsmittel ordnungsgemäß (nach Unterweisung und Anweisung des Arbeitgebers) zu benutzen und die zur Verfügung gestellte Persönliche Schutzausrüstung zweckentsprechend zu benutzen. Als Persönliche Schutzausrüstung im Sinne des Gesetzes gilt jede Ausrüstung und Zusatzausrüstung, welche den Schutz und die Sicherheit für eine Gefahr bei der Arbeit gewährleistet. (ebd.: §§ 69f.)

Mit der Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen durch persönliche Schutzausrüstung (PSA-V) vom 11. April 2014, BGBl. II Nr. 77/2014, werden die PSA-Auswahl und Bewertung, Information und Unterweisung sowie die jeweiligen Pflichten der Arbeitgeber und Arbeitnehmer und Besondere Bestimmungen zu einzelnen PSA-Arten detailliert geregelt. Gemäß § 1 der Verordnung gelten diese Regelungen in Arbeitsstätten, auf Baustellen und auswärtigen Arbeitsbereichen. Die Bestimmungen gelten auch für die PSA, die nach anderen Vorschriften vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen ist.

Die PSA-Verordnung legt mit Bezug auf das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz die Anforderungen an die Arbeitsplatzevaluierung – also eine Ermittlung und Beurteilung für die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer bei bestehenden Gefahren – eine Bewertung der PSA fest. Auf Grundlage dieser Evaluierung ist die PSA so zu wählen, dass eine Beeinträchtigung oder Belastung des Trägers sowie eine Behinderung bei der Arbeit so gering wie möglich gehalten wird. Arbeitgeber sind rechtlich dazu verpflichtet, ihre Arbeitnehmer über die Gefahren zu informieren und über den Umgang mit der PSA zu unterweisen. (ebd.: §§ 4–7)

Für verschiedenste Arbeiten ist entsprechend der Fuß- und Beinschutz, Kopf- und Nackenschutz, Augen- und Gesichtsschutz, Hand- und Armschutz, Atemschutz gegen ein Eindringen gesundheitsgefährdender Substanzen und Schutzkleidung zu tragen. Werden Arbeiten an Orten durchgeführt, wo die Gefahr von ionisierender Strahlung besteht, so ist ebenso die für die jeweilige Arbeit notwendige Persönliche Schutzausrüstung zu tragen, um die Sicherheit und die Gesundheit des Arbeitnehmers zu gewährleisten. (ebd.: §§ 8–12, 15f.)

Alle Teile der Schutzausrüstung unterliegen Sicherheitsanforderungen und Prüfungskriterien, die das Leben und die Gesundheit der Personen, die sie tragen, schützen.

Die Anforderungen an den Hersteller und die Kategorisierung der Persönlichen Schutzausrüstung wird durch die PSA-Sicherheitsverordnung (PSASV), BGBl. Nr. 596/1994, geregelt. Die Anforderung zum Schutz vor ionisierender Strahlung wird hier in § 59 und § 60 festgelegt. Hierbei wird festgehalten, dass ein Schutz vor Eindringen kontaminierender Stoffe unter den vorhersehbaren Einsatzbedingungen wirksam bestehen muss. Die erforderliche Dichtheit ist durch die Schutzhülle so zu gewährleisten, dass ein Eindringen von radioaktiven Stäuben, Gasen, Flüssigkeiten oder deren Gemischen verhindert wird. Für einen begrenzten Schutz gegen die äußere Strahlung, zumindest schwache Betastrahlung und schwache Photonenstrahlung (Röntgen-, Gammastrahlen), ist die Schutzausrüstung so zu wählen, dass ein entsprechendes Schutzniveau bereitet wird und keine Behinderung der Bewegung, Körperhaltung oder Platzveränderung des Verwenders zu einer längeren Expositionsdauer führt.

Die Persönliche Schutzausrüstung wird nach § 4 der Verordnung in drei Kategorien eingeteilt. Komplexe PSA, die gegen tödliche Gefahren oder ernste irreversible Gesundheitsschäden schützen soll, wird der Kategorie III zugeteilt.

Diese umfasst im Konkreten den Schutz vor ionisierender Strahlung und radioaktiver Kontamination:

- Augenschutz und Filter zum Schutz gegen ionisierende Strahlen,
- Schutzkleidung und Zubehör zum zeitlich begrenzten Schutz gegen chemische Einwirkungen,
- Atemschutzausrüstung gegen Aerosole in fester oder flüssiger Form oder gegen Gase,
- Fuß- und Beinschutzausrüstung gegen chemische Einwirkungen,
- Hand- und Armschutzausrüstung und Zubehör gegen chemische Einwirkungen.

Die Prüfung der PSA erfolgt gemäß § 15 Abs. 2 der Verordnung am Rahmen des Qualitätssicherungssystems mit Überwachung nach den in den harmonisierten Europäischen Normen festgelegten Testverfahren.

7.2.3 Organisationsübergreifende Strahlenschutz Ausbildung

Eine organisationsübergreifende Strahlenschutz Ausbildung ist in Österreich einerseits durch die Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, und andererseits durch die ÖNORM S 5207:2003, Strahlenschutz Ausbildung für Interventionspersonal bei radiologischen Notstandssituationen, geregelt.

Die ÖNORM bestimmt die Mindestanforderung der Strahlenschutz Ausbildung für Interventionspersonal von Einsatzorganisationen und legt Standards für die Ausbildungsstätten fest.

Die Ausbildung ist modular gegliedert und Absolventen der Aufbauausbildung I und II sind berechtigt, jeweils den Strahlenschutz-Leistungsbewerb zur Erlangung des Leistungsabzeichens in Bronze bzw. Silber zu absolvieren (ebd.: Kapitel 1 und 5.11).

Folgende drei Ausbildungsmodule mit den jeweiligen Ausbildungsinhalten werden einheitlich geregelt:

Basisausbildung (30 Unterrichtseinheiten)

Als Vorbereitung für die Tätigkeit als Interventionspersonal werden theoretische Kenntnisse und praktische Fertigkeiten aus dem Themenbereich strahlenphysikalische Grundlagen, Strahlenexposition und Strahlenschutz, biologische Wirkung ionisierender Strahlen und Strahlenschäden, Messtechnik, Gerätekunde und Einsatzzweck, Personendosimetrie und Ortsdosis, Maßnahmen der Ersten Hilfe bei Interventionen, Kennzeichnung von radioaktiven Stoffen und deren Verpackung einschließlich Transportkennzeichnungen, Einsatztaktik und Einsatzgrundsätze sowie Kontamination.

Aufbauausbildung I (30 Unterrichtseinheiten)

Dieses Ausbildungsmodul erweitert das theoretische Wissen und die praktischen Fertigkeiten für die Tätigkeit als Interventionspersonal. Als Ausbildungsinhalte werden die Grundlagen der Basisausbildung wiederholt und vertieft. Des Weiteren werden Aufbau und Anwendung künstlicher Strahlenquellen, die Grundlagen der Probennahme und die für die Tätigkeiten notwendigen Vorschriften vermittelt.

Aufbauausbildung II (30 Unterrichtseinheiten)

Das abschließende Modul soll die erforderlichen Kenntnisse und praktischen Fertigkeiten für eine eigenverantwortliche Tätigkeit als Interventionskraft im Hinblick auf die jeweilige Organisationsstruktur regeln. Der Absolvent ist befähigt, Einsätze zu leiten, und hat alle Kenntnisse für einen voll ausgebildeten Strahlenspürer erlangt.

Die ÖNORM offeriert auch die Möglichkeit zur Absolvierung von Spezialausbildungen, die nach dem Abschluss der Aufbauausbildung I absolviert werden können. Ebenso wird die jährliche Fortbildung des Interventionspersonals in der Dauer von 16 Unterrichtseinheiten festgelegt (ebd.: Kapitel 6 bis 10).

Die Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, regelt die Ausbildungserfordernisse für Interventionspersonal in der Anlage 7 zu § 12. Hierbei besteht keine Abweichung zu den Inhalten und dem Ausbildungsumfang der Basisausbildung, Aufbauausbildung I und II sowie der Fortbildungsverpflichtung, wie sie in der ÖNORM S 5207:2003 geregelt sind.

7.3 Die Einsatzorganisation Feuerwehr

Die Feuerwehr ist die größte Einsatzorganisation in Österreich. Im Jahr 2016 lag die Mitgliederzahl bei rund 341.600. Von Österreichs Feuerwehren wurden 2016 ca. 277.400 Einsätze bewältigt. Organisatorisch wird das Feuerwehrwesen von 4495 Freiwilligen Feuerwehren, 312 Betriebsfeuerwehren und 6 Berufsfeuerwehren getragen. (vgl. ÖBFV 2017: 10f.)

Föderal gegliedert, untersteht die örtliche und regionale Feuerwehrstruktur 9 Landesfeuerwehrverbänden. Diese sind voneinander unabhängige Einrichtungen und haben den Status von Körperschaften öffentlichen Rechts. Der Landesfeuerwehrverband Wien stellt hierbei eine Ausnahme dar, da er als Verein eingerichtet ist. Die Landesverbände gliedern sich entsprechend den Verwaltungsbezirken in Feuerwehrbezirke. Diese unterteilen sich in der Regel wiederum in Feuerwehrabschnitte. Da in Österreich die Landesfeuerwehrverbände eigenständige Körperschaften sind, tritt ihre Dachorganisation, der Bundesfeuerwehrverband, als Verein auf und übernimmt Koordinations- und Servicefunktionen für das Feuerwehrwesen, wie etwa in den Bereichen Organisation, Einsatz, Ausbildung, Technik und Uniformwesen. (vgl. BM.I 2010: 68ff.)

Die Aufgaben der Feuerwehr werden durch die Feuerwehrgesetze und Feuerpolizeiordnungen der Länder festgelegt. Auf örtlicher Ebene übernimmt die Feuerwehr als Hilfsorgan der Behörde (Gemeinde) und auf überörtlicher Ebene als Hilfsorgan des Landes folgende Aufgaben der örtlichen Feuer- und Gefahrenpolizei:

- den abwehrenden Brandschutz und die Bekämpfung von Bränden,
- die Sicherungsmaßnahmen nach Bränden und die Unterstützung bei der Ermittlung der Brandursachen,
- den vorbeugenden Brandschutz,
- technische Hilfeleistungen nach Unfällen und anderen Notlagen,
- Hilfeleistungen bei Katastrophenereignissen,
- und Hilfeleistungen bei Unfällen mit gefährlichen Stoffen.

Die Ausrüstung wird durch gesetzliche Vorgaben landesweit nach einsatzspezifischen Parametern (Einwohnerzahl, Gefahrenpotentiale, vulnerable Einrichtungen) für die örtliche und überörtliche Feuerpolizei zur Erfüllung dieser Aufgaben festgelegt (ebd.: 70f.).

7.3.1 Österreichweite Grundausbildung der Freiwilligen Feuerwehren

Den österreichischen Feuerwehren werden durch Rahmenvorschriften und Musterpläne des Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes die Inhalte der Grundschulung für den Feuerwehrdienst unterstützend bereitgestellt.

Das Handbuch für die Grundausbildung der freiwilligen Feuerwehren gibt hierbei als Basiswerk einheitliche Strukturen für die österreichweite Ausbildung vor.

In einzelne Sachgebiete gegliedert, vermittelt das Handbuch theoretische und praktische Inhalte zu den Themen Organisation und Verhaltensregeln, Unfallverhütung, Bekleidung, Fahrzeuge und Geräte, Atem- und Körperschutz, Nachrichtendienst, Brand- und Löschlehre, technischer Einsatz, Gefahrenlehre, taktische Einheiten im Einsatz und gibt Raum für länderspezifische Inhalte. (vgl. ÖBFV 2011: Kapitel 0.1)

Atem- und Körperschutz

Der Anwärter in der Feuerwehr erlernt im Unterrichtsblock 4 (vgl. ÖBFV 2011: Kapitel 4.1 und 4.2) in zwei Einheiten das Basiswissen im Umgang mit Atem- und Körperschutz. Die vier Schutzstufen (Brandschutzbekleidung, Teilschutzbekleidung, Vollschutzbekleidung und Spezialschutzbekleidung) geben dem Feuerwehrmitglied die Schutzbekleidung für den Brand- und Technischen Dienst vor. Der Absolvent erlernt hier, dass bei Schutzstufe 2 im Technischen Dienst leichter Kontaminationsschutz (nicht gasdicht), bei der Schutzstufe 3 im Technischen Dienst schwerer Kontaminationsschutz (gasdicht) und bei der höchsten Schutzstufe im Technischen Dienst Schutzbekleidung gegen spezielle Kontamination zu tragen ist. Der Pressluftatmer ist im Feuerwehreinsatz das zentrale Gerät für den Atemschutz.

Gefahrenlehre

Die Gefahrenlehre wird in 8 Unterrichtseinheiten in der Grundausbildung vermittelt (ebd.: Abschnitt 8.1 und 8.2). Zum Erkennen der Gefahr an der Einsatzstelle wird die 4A-1C-4E Regel gelehrt. Diese beschreibt die neun wichtigsten Gefahrensituationen als einfaches Merkschema:

4A: Ausbreitung – Atemgifte – Atomare Gefahren – Angstreaktionen

1C: Chemikalien

4E: Explosionen – Einsturz – Elektrizität – Erkrankungen/Verletzungen

Der Abschnitt 8.1.7 im Handbuch für die Grundausbildung beschreibt einfache Handlungsanweisungen bei atomaren Gefahren. Als Schutzmaßnahmen wird dem Teilnehmer die 3A-Regel (Abstand möglichst groß, Abschirmung so gut wie möglich und Aufenthaltszeit so kurz wie nötig) gelehrt und auf das Verbot des Trinkens, Essens und Rauchens im Einsatz hingewiesen.

Unfallverhütung/Erste Hilfe

Die Absicherung (Absperren) von Gefahrenbereichen bei Schadstoffeinsätzen wird im Rahmen der Unfallverhütung/Erste Hilfe (ebd.: Kapitel 2.1 und 2.2) unterrichtet.

Strahlenschutz Ausbildung

Die Strahlenschutz Ausbildung ist ein Teil der Ausbildung in den Freiwilligen-, Betriebs- und Berufsfeuerwehren. Die Inhalte werden in gestaffelter Form in der Basisausbildung, Einsatzleiterausbildung, in Fortbildungslehrgängen für Führungskräfte und für Mitglieder des Sonderdienstes aufbereitet. Die Schwerpunkte der Aus- und Fortbildung zum Thema Strahlenschutz für die einzelnen Zielgruppen wird in der Richtlinie „Strahlenschutz Ausbildung bei den österreichischen Feuerwehren“ (ÖBFV 2002) dargelegt.

Wie oben erläutert, werden in der Grundausbildung radioaktive Stoffe und deren Auftreten im Feuerwehreinsatz, Erkennen dieser Stoffe und die Schutzmöglichkeit beim Auftreten mit Hilfe der 3A-Regel gelehrt (ebd.: 3). Nachstehende Tabelle soll die einzelnen Punkte der 3A-Regel erklären:

Tabelle 13: 3A-Regel (Datengrundlage: ÖBFV 2012: Abschnitt "Gelb"; eigene Darstellung)

Abk.	Erklärung	einsatztaktische Vorgehensweise
A	Abstand halten	<ul style="list-style-type: none">• Größtmöglichen Abstand zur Strahlenquelle halten.• Bekannte oder vermutete Strahlenquellen nicht berühren, Distanzwerkzeuge (Ferngreifer, Schaufel etc.) verwenden.
A	Aufenthaltszeit	<ul style="list-style-type: none">• Aufenthaltszeit in der Gefahrenzone so kurz wie möglich halten (Einsatzplanung, Ablöse)
A	Abschirmung	<ul style="list-style-type: none">• Vollständige Einsatzbekleidung und Atemschutz• Dicke Materialschichten (z.B. Ziegel- oder Betonmauerwerk) und Geländeformen ausnutzen

Im Rahmen der Einsatzleiterausbildung sollen die Absolventen dazu befähigt werden, beim Auftreten radioaktiver Stoffe nach allgemeinen einsatztaktischen Regeln vorzugehen. Hierbei stellt die GAMS-Regel ein wichtiges einsatztaktisches Werkzeug dar. Für den Einsatz mit radioaktiven Stoffen wird die GAMS-Regel, wie in umseitiger Tabelle dargestellt, mit speziellen Inhalten ergänzt.

Tabelle 14: GAMS-Regel (Datengrundlage: ÖBFV 2011: 4; eigene Darstellung)

Abk.	Einsatztaktische Vorgehensweise	strahlenschutzrelevante Ergänzungen
G	Gefahr erkennen	<ul style="list-style-type: none"> • Kennzeichnung radioaktiver Stoffe • Information über offene und umschlossene Strahler
A	Absperrung durchführen	<ul style="list-style-type: none"> • Absperrzone bei 10 Mikrosievert, • Gefahrenzone bei 100 Mikrosievert
M	Menschenrettung durchführen	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenschutz der Einsatzkräfte beachten
S	Spezialkräfte anfordern	<ul style="list-style-type: none"> • wie bei anderen Einsätzen mit gefährlichen Stoffen • Stützpunktfeuerwehren • TUIS (Transport-, Unfall-, Informations- und Hilfeleistungssystem der österreichischen chemischen Industrie)

Die eigentliche Strahlenschutzausbildung in der Feuerwehr gliedert sich in den Strahlenschutzlehrgang 1 (Ausbildung zum Strahlenschutz-Truppmann), Strahlenschutzlehrgang 2 (Ausbildung zum Strahlenschutz-Truppkommandanten) und den Strahlenschutzlehrgang 3 (Ausbildung zum Leiter des Strahlenschutzes einer Stützpunktfeuerwehr). Die einzelnen Lehrgänge umfassen folgende Ausbildungsschwerpunkte (in Anlehnung an die ÖNORM S 5207:2003) und sind mit je 30 Stunden zeitlich festgelegt (vgl. ÖBFV 2002: 5–9):

Strahlenschutzlehrgang 1

Aufgaben der Feuerwehr im Strahlenschutz, physikalische Grundlagen, Grundlage des Strahlenschutzes, Strahlengefahren und Schutzmaßnahmen, Grundlagen der Messgeräte Technik, Ausrüstung der Feuerwehrkräfte und Handhabung von Strahlungsmessgeräten (Praxis).

Strahlenschutzlehrgang 2:

Wiederholung der Grundbegriffe des Strahlenschutzes, gesetzliche Bestimmungen, Einsatztaktik, Einsatzfälle und praktische Übungen.

Strahlenschutzlehrgang 3:

Wiederholung der grundsätzlichen taktischen Maßnahmen bei Strahleneinsätzen, Wiederholung einschlägiger gesetzlicher Bestimmungen, Leitung eines Einsatzes und taktische Einsatzmaßnahmen.

7.3.2 Feuerwehrtaktische Vorgehensweise bei Unfällen beim Transport radioaktiver Stoffe

Taktische Überlegungen und Vorgehensweisen im Rahmen von Feuerwehreinsätzen werden beinahe unerschöpflich in zahlreichen Literaturwerken international behandelt. Nachfolgend wird – um die einsatztaktischen Maßnahmen der österreichischen Feuerwehren grundlegend darzustellen – der „Gefahrgut – Blattler“, erarbeitet durch das Sachgebiet 4.6 „Schadstoffe“ des Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes, als Basiswerk verwendet.

Der Gefahrgut Blattler erklärt im Abschnitt „Gelb“ in übersichtlicher Form die Vorgangsweise beim Strahleneinsatz:

Es wird grundsätzlich festgehalten, dass die GAMS-Regel auch bei Strahleneinsätzen anzuwenden ist. Die einzelnen Punkte der GAMS-Regel werden hierbei nochmalig für den Strahleneinsatz aufgezählt. Ergänzend zur ÖBFV RL E-15 werden beim Punkt „Gefahr erkennen“ die Transportpapiere angeführt. Der Punkt A wird als „Abstand halten“ ausgewiesen und es wird hier auf einen Mindestabstand von 30 bis 60 Metern hingewiesen. Die „Menschenrettung“ wird mit dem Tragen der Brandschutzkleidung und des Atemschutzes detaillierter ausgeführt und im Punkt „Spezialkräfte anfordern“ auf die Strahlenbeauftragten/Fachkundige und die Behörde hingewiesen. (vgl. ÖBFV 2012: Abschnitt „Gelb“)

Bei Vorhandensein offener radioaktiver Stoffe ist nach ÖBFV Atemschutz und Dekontamination erforderlich und die Absperrgrenze in 30 bis 60 Metern Entfernung von 5 Mikrosievert (in 5 Zentimetern Abstand) bzw. dreifachen Leerwert zu wählen. Liegt ein Unfall mit umschlossenem Strahler vor, sind Atemschutz und Dekontamination nicht erforderlich. Die Absperrgrenze des roten Bereiches (Wirkzone) ist mit 100 Mikrosievert und jene zum grünen Bereich (Innere Absperrgrenze) wird mit 10 Mikrosievert festgelegt. Zur Minimierung der Dosis der eingesetzten Kräfte ist eine regelmäßige und rasche Ablösung gefordert (ebd.: Abschnitt „Gelb“).

Folgend werden die Einsatzdosiswerte der Österreichischen Feuerwehren tabellarisch dargestellt.

Tabelle 15: Einsatzdosiswerte der Österreichischen Feuerwehren (ÖBFV 2012: Abschnitt „Gelb“; eigene Darstellung)

10 Mikrosievert	Übung
20 Millisievert	Zum Schutz von Sachwerten
100 Millisievert	NUR bei erhöhter Gefahr für Mensch, Tiere und Umwelt
250 Millisievert	NUR für Menschenrettung (einmal im Leben)

Als Schutzmaßnahmen sind hierbei zu beachten, dass die Einsatzkräfte das 18. Lebensjahr erreicht haben müssen, ein Einsatz während der Schwangerschaft und Stillperiode nicht erlaubt ist und bei offenen Wunden und Hauterkrankungen keine Einsatzbereitschaft für den Strahleneinsatz besteht. Alle eingesetzten Feuerwehrmitglieder haben Personendosimeter zu tragen und truppweise sind Alarmdosimeter auszugeben. Die Zeitdauer des Aufenthaltes in der Gefahrenzone ist für jedes Feuerwehrmitglied festzuhalten und bei Verletzungen während des Einsatzes ist eine sofortige Ablöse einzuleiten und der Betroffene ist einer ärztlichen Untersuchung auf Inkorporation zuzuführen. Dies gilt auch, wenn die Einsatzdosis überschritten wird oder eine Inkorporation erfolgt ist. Wenn bei einem Einsatz unklar ist, ob eine Kontaminationsgefahr besteht, so sind – solange dies nicht ausgeschlossen werden kann – Atemschutz und Brandschutzbekleidung zu tragen. Ebenso ist bei jedem Verdacht auf Kontamination eine Dekontamination durchzuführen (ebd.: Abschnitt „Gelb“).

7.3.3 Feuerwehrspezifische Persönliche Schutzausrüstung

Die Einsatzbekleidung der Feuerwehr ist mit der Bekleidungs Vorschrift des Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes und den Dienstanweisungen der Landesfeuerwehrverbände geregelt und richtet sich nach der Einsatzart, wie zum Beispiel Brandeinsatz oder Technischer Einsatz. Am Beispiel der Dienstanweisung 3.6.2. „Dienstkleidung und Dienstgrade für Freiwillige Feuerwehren und Betriebsfeuerwehren“ des Niederösterreichischen Landesfeuerwehrverbandes (Ausgabe 1/17) tragen die Feuerwehrmitglieder als Einsatzbekleidung den Feuerwehrhelm (nach EN 443 und Bekleidungs Vorschrift ÖBFV KS-01), Schutzjacke (nach Richtlinie KS-04 des ÖBFV), Feuerweherschutzhandschuhe (nach EN 659 und Richtlinie des ÖBFV), Einsatzoverall oder Einsatzhose mit Einsatzbluse (nach Bekleidungs Vorschrift ÖBFV KS-03), Hosengürtel (Bekleidungs Vorschrift des ÖBFV KS-0) und Feuerwehrstiefel (nach Richtlinie

des ÖBFV KS-06). Als Sonderbekleidung bei Schadstoffeinsätzen und im Strahlenschutzdienst werden handelsübliche Schutzanzüge der Stufe II, III und IV getragen. (vgl. NÖLFV 2017: 3–6 und 10f.)

7.4 Der Notarzt- und Rettungsdienst im Österreichischen Roten Kreuz

Das Österreichische Rote Kreuz (ÖRK) ist gemäß § 1 des Rotkreuzgesetzes (RKG), BGBl. I Nr. 33/2008, die anerkannte nationale Gesellschaft des Roten Kreuzes in Österreich und der Internationalen Rotkreuz- und Rothalbmondbewegung.

Im Jahr 2015 waren rund 73.000 freiwillige Mitarbeiter, 8.252 hauptberufliche Mitarbeiter und 4.342 Zivildienstleistende im Rahmen der Leistungsbereiche Rettungsdienst, Pflege und Betreuung, Katastrophenhilfe, Blutspendedienst, Kurse, Aus- und Weiterbildung, Migration und Suchdienst, Internationale Zusammenarbeit, Jugend und im Humanitären Völkerrecht tätig. Der Rettungsdienst des Österreichischen Roten Kreuzes leistete 2.983.927 Einsätze, wobei 134.020 Notarzteinsätze im Jahr 2015 zu verzeichnen waren. (vgl. ÖRK 2016a: 18–23)

Das Rettungswesen in Österreich ist allgemein in den (Notfall-)Rettungsdienst und den Krankentransportdienst gegliedert. Hierbei reichen die Leistungen von Erster Hilfe und Sanitätshilfe über die notfallmedizinische Versorgung bis zum Transport von Personen aufgrund von Verletzungen, physischer oder psychischer Erkrankung oder Gebrechen in Einrichtungen des Gesundheits- und Sozialwesens zu sehen. Für die Rettung, (Erst-)Versorgung und den Transport von Patienten werden Sanitätspersonal, wie Rettungs- und Notfallsanitäter und Notärzte, eingesetzt. (vgl. BM.I 2010: 72–75)

Das Rettungswesen fällt so wie das Feuerwehrwesen in Gesetzgebung und Vollziehung in den Wirkungsbereich der Bundesländer. Das allgemeine örtliche Rettungswesen untersteht gemäß Bundesverfassung dem Wirkungsbereich der Gemeinde. Das überörtliche allgemeine Rettungswesen liegt im Wirkungsbereich der Länder. Diese erlassen als Rechtsgrundlage die Rettungsdienstgesetze, welche die Organisation, Struktur und Finanzierung des Rettungswesens regeln. Das österreichische Rettungswesen ist ein sanitärer- und notarztbasierendes System, in dem im Sinne der qualifizierten Versorgung von Patienten spezialisierte Ärzte und Sanitäter in Assistenz oder eigenverantwortlich tätig werden. (vgl. BURKOWSKI et al. 2016: 141).

Der Rettungsdienst werde nach JACHS (211: 115) einerseits im Rahmen des Zivilrechtes (Vertrag, Geschäftsführung ohne Auftrag) und andererseits als Hilfsorgan der Behörde (beliehene Organisationen mit hoheitlichen Befugnissen) tätig.

7.4.1 Ausbildung und taktische Vorgehensweise der Sanitätskräfte

Die Aus- und Weiterbildung von Sanitätern in den österreichischen Rettungsorganisationen ist bundesweit einheitlich und gesetzlich geregelt. Die Tätigkeit im Rettungsdienst ist im Sanitätergesetz (SanG), BGBl. I Nr. 30/2002, in der Fassung BGBl. I Nr. 8/2016, festgelegt und umfasst die eigenverantwortliche Anwendung von Maßnahmen der qualifizierten Ersten Hilfe, Sanitätshilfe und Rettungstechnik, einschließlich diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen.

Nach dem Tätigkeitsbereich richtet sich die dafür notwendige Ausbildung für hauptberufliche und freiwillige Sanitätskräfte.

Das Sanitätergesetz beschreibt in seiner aktuellen Fassung zwei Qualifikationsstufen, mit denen unterschiedliche Kompetenzen verbunden sind. Rettungssanitäter sind zur selbständigen und eigenverantwortlichen Versorgung und Betreuung von Patienten und sonstiger hilfsbedürftiger Personen und für die Hilfestellung bei auftretenden Akutsituationen und lebensrettenden Sofortmaßnahmen ausgebildet. Auf Basis und in Erweiterung dieser Kompetenzen zeigt sich für den Tätigkeitsbereich der Versorgung von Notfallpatienten als Unterstützung des Arztes und beim Transport dieser der Notfallsanitäter verantwortlich. Ebenso kann der Notfallsanitäter die Notkompetenzen einer eingeschränkten Arzneimittelgabe und der Intubation unter den hierfür festgelegten gesetzlichen Ausbildungs- und Anwendungsvorgaben erreichen. (vgl. BURKOWSKI et al. 2016: 141)

Die Ausbildung der Sanitäter gemäß der Sanitäter-Ausbildungsverordnung (San-AV), BGBl. II Nr. 420/2003, umfasst die Ausbildung zum Rettungssanitäter, Notfallsanitäter sowie in den allgemeinen und in den besonderen Notfallkompetenzen in Theorie und Praxis und wird in Form von aufeinander aufbauenden Modulen durchgeführt. Auf eine 260-stündige Rettungssanitäterausbildung folgt eine 480-stündige Notfallsanitäterausbildung. Aufbauend darauf können berufliche und ehrenamtliche Notfallsanitäter allgemeine und besondere Notfallkompetenzen (Arzneimittellehre, Venenzugang und Infusion, Beatmung und Intubation) mit einem Ausbildungsumfang von 90 bzw. 110 Stunden erwerben (ebd.: 141f.).

Der Rettungssanitäter erlernt in seiner Ausbildung das Verhalten bei Gefahren an der Einsatzstelle und allgemeine einsatztaktische Vorgehensweisen beim Gefahrguteinsatz. Hierbei wird Wert auf die Vermittlung der Arten von Gefahrgutunfällen, die Transport-Kennzeichnung, das Verhalten am Unfallort, die Koordination mit anderen Einsatzorganisationen, Absperurmaßnahmen und Sofortmaßnahmen gelegt (ebd.: Anlage 1, Theoretische Ausbildung – Modul I). Aufbauend auf die Kenntnisse des Rettungssanitäters wird bei der Notfallsanitäterausbildung bei der Unterrichtung von Gefahrgutunfällen auf folgende Themenschwerpunkte Bezug genommen (ebd.: Anlage 5, Theoretische Ausbildung – Modul II):

- Arten von Gefahrgutunfällen, Gefahrenquellen, Gefahren und Schädigung, Selbstschutz,
- Gefahrzettel, Gefahrensymbole, Kennzeichnungs- und Gefahrennummer,
- Koordination mit anderen Einsatzorganisationen,
- Absperrmaßnahmen, Sofortmaßnahmen,
- Gefährliche Stoffe und deren Anwendung,
- Wirkung gefährlicher Stoffe auf den Menschen,
- Ausbreitungsmöglichkeiten und Katastrophenschutzplanung,
- Sonderbestimmungen für die Beförderung gefährlicher Güter,
- personelle, materielle und finanzielle Vorsorge,
- Einsatzgrundsätze, generelle Einsatzrichtlinien.

Für das Verhalten am Unfallort gibt das Österreichische Rote Kreuz seinen Sanitätskräften die GAMS-Regel bei einem Gefahrgutunfall vor. Bei der Erkennung der Gefahr im Zuge eines Gefahrgutunfalles soll eine Absperrung in 60 Metern (bei Gasen in Großbehältern in mehreren 100 Metern) erfolgen, damit keine weiteren Personen den Gefahrenbereich betreten und sich somit selbst in Gefahr bringen. Die Absperrung um den Ort eines Strahlenunfalles wird ebenso mit 60 Metern, sofern keine Messgeräte zur Verfügung stehen und keine weitere Gefährdung vermutet wird, als ausreichend erachtet. Bei der Menschenrettung wird nach ÖRK die Meinung vertreten, dass die Erstversorgung des Patienten (Stillung starker Blutungen und stabile Seitenlage) und die Sofort-Dekontamination durch die Feuerwehr beim Gefahrgut durchgeführt werden muss. Vom radioaktiv kontaminierten Patienten gehe laut ÖRK keine Gefahr für die Einsatzkräfte aus. Die weitere Versorgung erfolgt durch den Notarzt und das Sanitätspersonal, wobei einem schnellen Transport trotz möglicherweise vorhandener Restkontamination der Vorrang gegeben wird. Im Anschluss ist bei einem Unfall mit der Beteiligung radioaktiver Stoffe eine Kontrolle des Fahrzeuges und der Einsatzmannschaft durch Strahlenspürer der Polizei oder des Fachpersonals des Zielkrankenhauses durchzuführen. Die Anweisung auf Essen, Trinken und Rauchen zu verzichten, ist auch für den Rettungsdienst beim Gefahrgutunfall bindend. (vgl. ÖRK 2016b: J-17 bis J-23)

7.4.2 Persönliche Schutzausrüstung

Für die Versorgung des Patienten und den Transport in ein Zielkrankenhaus steht den Sanitätskräften Schutzausrüstung aus dem Hygienepaket der Fahrzeugausrüstung zur Verfügung. Obwohl dieses für den Infektionstransport vorgesehen ist, bietet es auch bei einem Strahlenunfall den notwendigen Schutz. Die Schutzausrüstung besteht aus Einmalhandschuhen, Schutzmaske Typ FFP3, Schutzbrille und einem Einweg-

Schutzanzug und wird sowohl bei der Versorgung als auch beim Transport getragen. (vgl. ÖRK: 2016b: J-17 bis J-23)

„Im Sinne des ArbeitnehmerInnenschutzgesetzes und deren Verordnungen ist, gemäß der Gefahrenermittlung im Zuge der Arbeitsplatzevaluierung, die entsprechende Schutzausrüstung (zertifizierte Schutzausrüstung (PSA)) zu verwenden.“ (ÖRK 2006: 4)

7.4.3 Ausbildung von Notärzten

Das Ärztegesetz (ÄrzteG), BGBl. I Nr. 169/1998, in der Fassung BGBl. I Nr. 26/2017, regelt in § 40 die Aus- und Fortbildung für Notärzte. Der Lehrgang, den die Arbeit im organisierten Notarztdienst voraussetzt, ist mit einer Mindeststundenzahl von 60 Stunden für approbierte Ärzte, Ärzte für Allgemeinmedizin und Fachärzte festgelegt. Die Ausbildung muss mindestens alle zwei Jahre, gerechnet ab dem Abschluss des Lehrganges, in einer zweitägigen theoretischen und praktischen Fortbildungsveranstaltung aufgefrischt werden. Ergänzend zum fachlichen Hintergrund der Teilnehmer werden in den Notarztlehrgängen verschiedenste Gebiete theoretisch und praktisch vermittelt. Diese reichen von der Reanimation über die Sicherung der Atemwege, Schocktherapie bis zu der Therapie von Störungen des Säure-, Basen-, Elektrolyt- und Wasserhaushaltes. Intensivbehandlung und Infusionstherapie stellen ebenso Bestandteile der Ausbildung dar. Die Kenntnisse auf dem Gebiet der Chirurgie, der Unfallchirurgie einschließlich Hirn- und Rückenmarksverletzungen sowie Verletzungen der großen Körperhöhlen, der abdominalen Chirurgie, Thoraxchirurgie und Gefäßchirurgie werden hier ebenso vertieft, wie auch die Diagnose und Therapie von Frakturen und Verrenkungen. Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Inneren Medizin, insbesondere der Kardiologie einschließlich EKG-Diagnostik sowie der Kinder- und Jugendheilkunde runden die Ausbildung zum Notarzt ab.

Inhalte über das notärztliche Vorgehen bei Gefahrgutunfällen und im Speziellen beim Strahlenunfall konnten nicht erhoben werden, da der Zugang zu den Curricula der verschiedenen Anbieter für Notarzturse in Österreich nicht möglich war.

7.4.4 Notfallmedizinische Maßnahmen im Kontext von Strahlenunfällen

„Personen, die bei CBRN-Ereignissen (Anmerkung in Fußnote: Ereignisse mit Freisetzung von chemischen, biologischen, radioaktiven und/oder nuklearen Stoffen) den freigesetzten CBRN-Stoffen ausgesetzt waren bzw. damit kontaminiert wurden, haben denselben Anspruch auf fachgerechte Versorgung wie alle anderen Personen, denen die Einsatzorganisationen Hilfe leisten.“ (ON 2013: 3)

Die Anforderung an die notfallmedizinische Versorgung ist bei lebensbedrohlichen medizinischen Notfällen, nach der Diagnostik eine rasche Behandlung der vitalen Bedrohung und den unmittelbaren Transport in ein geeignetes Krankenhaus sicherzustellen. Das Zeitfenster für die Behandlung Schwerverletzter bzw. polytraumatisierter Patienten in einer geeigneten Klinik liegt nach derzeitiger Lehre bei 60 Minuten. (vgl. FISCHER et al. 2016: 393)

Die ÖNORM D 2305:2013 legt eine Sofort-Dekontamination als Teil der Menschenrettung außerhalb der Wirkzone fest. Die Einsatzkräfte haben diese, ohne ein Eintreffen von hierfür speziell ausgerüsteten Spezialkräften abzuwarten, unter Beachtung des Eigenschutzes durchzuführen. Das Entfernen der Kleidungsstücke und das Abspülen der Körperoberfläche sind die wichtigsten Maßnahmen zur Durchführung einer Sofort-Dekontamination (ebd.: 6).

Für DENSOW und SCHRAMM (2007: 564) gelten die Prinzipien der Notfallmedizin auch bei einem Transportunfall mit der Beteiligung radioaktiver Stoffe. Die Akutversorgung von Verletzten ist vor dem Management der Strahlenexposition sicherzustellen. Im Vordergrund der notärztlichen Versorgung steht das Management des Traumas mit einer unverzüglichen Schockbekämpfung und Blutstillung. In Absprache mit den Feuerwehkräften ist so schnell wie möglich festzustellen, ob beim Patienten eine Kontamination vorliegt. Erforderlichenfalls sind Dekontaminationsmaßnahmen noch am Unfallort einzuleiten, um einer Kontaminationsverschleppung in die Klinik vorzubeugen. Ebenso ist eine frühzeitige Identifikation des Radionuklides notwendig, um in der Klinik sofort mit einer eventuell notwendigen und möglichen Dekorporationsbehandlung zu beginnen.

Dekontaminationsmaßnahmen nehmen Einfluss auf einen verzögerten Abtransport und den Zustand des Patienten. Durch erste Maßnahmen wie ein Ablegen der kontaminierten Kleidungsstücke wird der größte Anteil der Aktivität des radioaktiven Stoffes beseitigt. Durch eine folgende gründliche Reinigung der nicht bedeckten Körperteile und Versorgung der Wunden wird ein großzügiges Senken der Aktivität erzielt. Eventuelle stochastische Spätwirkungen können in der präklinischen Phase nicht berücksichtigt werden (ebd.: 565f.).

7.5 Die österreichische Bundespolizei

Die Angehörigen des Wachkörpers Bundespolizei bilden nach § 5 Sicherheitspolizeigesetz (SPG), BGBl. Nr. 566/1991, in der Fassung BGBl. I Nr. 61/2016, neben den Organen des rechtskundigen Dienstes, den Angehörigen der Gemeindegewachkörper und sonstigen Angehörigen der Landespolizeidirektionen und des Bundesministeriums für Inneres die Organe des öffentlichen Sicherheitsdienstes. Die sonstigen Angehörigen der Landespolizeidirektionen und des Bundesministeriums für Inneres

sind nur dann Organe des öffentlichen Sicherheitsdienstes, wenn sie die Grundausbildung für den Exekutivdienst (Polizeigrundausbildung) absolviert haben und zur Ausübung unmittelbarer Befehls- und Zwangsgewalt ermächtigt sind.

Die Bundespolizei (Wachkörper Bundespolizei) ist als ausführendes Organ der Sicherheitsbehörde (Bundesministerium für Inneres, Landespolizeidirektionen und Bezirksverwaltungsbehörden, Bürgermeister) zugerechnet und setzt sich aus Bediensteten der Besoldungsgruppen Exekutivdienst und Wachebeamte sowie allen in vertraglicher Verwendung stehenden Exekutivbediensteten zusammen.

KEPLINGER und PÜHRINGER (2014: 28–29) stellen fest, dass die Bundespolizei an die Rechtsmacht der Behörde in sachlicher, örtlicher und funktioneller Zuständigkeit gebunden sei und sicherheitspolizeiliche und verwaltungspolizeiliche Aufgaben vollziehe.

Die Gliederung erfährt die Polizei in die neun Landespolizeidirektionen, Bezirks- oder Stadtpolizeikommanden und Polizeiinspektionen. Die Aufgaben der Bundespolizei liegen gemäß §§ 5, 7 und 10 Sicherheitspolizeigesetz, BGBl. Nr. 566/1991, in der Fassung BGBl. I Nr. 61/2016, in der Erfüllung des Exekutivdienstes durch Streifen- und Überwachungsdienste, der Ausübung der ersten allgemeinen Hilfeleistungspflicht und der Gefahrenabwehr sowie im Inneren Dienst.

7.5.1 Grundausbildung im Polizeidienst

Die Polizeigrundausbildung wird getragen von der Persönlichkeitsbildung, der Ausbildung in Rechtsmaterien sowie praxisorientierten Trainingseinheiten. Sie erfolgt in den Bildungszentren der Sicherheitsakademie des Bundesministeriums für Inneres. 1.300 Polizeischüler konnten im Jahr 2016 ihre Grundausbildung abschließen. Seit Ende 2016 werden theoretisches Wissen und Praxis modular durch eine Neuorientierung der Polizeigrundausbildung in struktureller und inhaltlicher Sicht noch gezielter in der Polizeilehre verschränkt. Die Basis der Grundausbildung beträgt zwölf Monate. Darauf folgt die erste Praxisphase von drei Monaten, welche durch eine Präsenzphase (Vertiefung) in der Dauer von fünf Monaten in der Polizeischule beendet wird. Nach deren Abschluss erfolgen die Dienstprüfung des Schülers und eine zweite Praxisphase (Einführungsphase in den Dienstbetrieb) in der Dauer von vier Monaten. (vgl. BM.I 2017: 72)

Im Rahmen des Verkehrsrechts gemäß Lehrplan zur Grundausbildung (vgl. BM.I 2012b: 33–34) werden dem Polizeischüler auch die rechtlichen Grundlagen des Gefahrgutbeförderungsgesetzes sowie des ADR und das Einschreiten bei Verkehrsunfällen vermittelt.

7.5.2 Taktische Vorgehensweise am Unfallort und Persönliche Schutzausrüstung

Die Einsatzmaßnahmen des öffentlichen Sicherheitsdienstes bei Strahlenunfällen und Zwischenfällen in Verbindung mit radioaktiven Stoffen werden in der Strahlenschutz-Dienstvorschrift des BM.I, Zahl: SI1300/0773-SIAK/05, geregelt.

Hierbei wird zwischen Sofortmaßnahmen für „nicht ausgebildete“ Organe und Maßnahmen der im Strahlenschutz ausgebildeten Organe (Polizei-Strahlenspürern) des öffentlichen Sicherheitsdienstes unterschieden. Als zentrale Sofortmaßnahmen wird die GAMS-Regel beschrieben.

- G – Gefahr erkennen (Strahlenwarnzeichen, orangefarbene Kennzeichnung (Tafel), Gefahrzettel (auch Großzettel oder Placard bei Tankfahrzeugen), Gefahrenzeichen, Transportpapiere, mündliche Mitteilungen)
- A – Absperren (in der Regel 50 Meter, wobei hier Windrichtung und -stärke zu beachten sind)
- M – Menschenrettung (unter der Beachtung der Eigensicherung und Zumutbarkeit)
- S – Spezialkräfte anfordern (Anforderung von mindestens zwei Polizei-Strahlenspürern, Verständigung der Bezirksverwaltungsbehörde, Kontaktaufnahme/Beiziehen von Strahlenschutzbeauftragten in Betrieben und Feststellung kontaminationsgefährdeter Personen)

Im Rahmen der Eigensicherung sieht die Dienstvorschrift ein strenges Berührungsverbot von radioaktivem Material und Behältern, das Abstand halten, eine möglichst kurze Aufenthaltszeit im Gefahrenbereich und ein strenges Rauch- und Essverbot vor. Des Weiteren wird die Verwendung einer Atemschutzmaske des Typs FFP3 als Inhalationsschutz vorgegeben (ebd.: Punkt 4.1.).

Als Persönliche Schutzausrüstung wird für besonders ausgebildete Exekutivbedienstete ergänzend zur Einsatzuniform folgende Zusatzausstattung seitens des Dienstgebers zur Verfügung gestellt (vgl. BM.I o.J.: Anhang I – Ausstattungsumfang):

- Gefahrgutkontrollorgane
(Einweg-Schutzanzug, Schutzhandschuhe aus Gummi)
- Strahlenspürer
(Einweg-Schutzanzug, Sicherheitsstiefel, Atemschutzmaske des Typs FFP3, Schutzhandschuhe aus Gummi, Atemschutzmaske mit Schutzfiltern)
- Gefahrstoffkundige Organe
(NUFAB-Schutzanzug, SAFEGUARD-Schutzanzug (schwerer ABC-Schutzanzug), Atemschutzgebläse, Einsatzhelm mit Helmlampe, Atemschutzmaske des Typs FFP3, Sicherheitsstiefel, Schutzhandschuhe aus Gummi, Atemschutzmaske mit Schutzfiltern, Einmalhandschuhe)

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Die Maßnahmen der Bundespolizei bei Transportunfällen in Verbindung mit radioaktiven Stoffen im Sinne der Dienstvorschrift werden nachstehend in tabellarischer Form dargestellt:

Tabelle 16: Maßnahmen der Bundespolizei bei Transportunfällen in Verbindung mit radioaktiven Stoffen (Datengrundlage: BM.I 2005: Punkt 4.3.; eigene Darstellung)

Verstrahlungslinie	Maßnahmen	
Festlegung der Verstrahlungslinie von 10 Mikrosievert	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestabstand zur Strahlenquelle (Versandstück): 1 Meter • Unnötiger Aufenthalt innerhalb des durch die Verstrahlungslinie gekennzeichneten Bereiches ist zu vermeiden 	
	Mechanische Beschädigung am Transportbehälter erkennbar	Absperren im Umkreis von 50 Metern von der Verstrahlungslinie
	Keine Beschädigung am Transportbehälter erkennbar	Absperren auf der Verstrahlungslinie von 10 Mikrosievert
Verstrahlungslinie mit Strahlenmessgerät nicht feststellbar	Nach Möglichkeit Aufschrift des Gefahrenzettels mit Transportkennzahl feststellen	
	Mechanische Beschädigung am Transportbehälter erkennbar	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale Annäherung bis 1 Meter an Strahlenquelle bzw. Versandstück • Unnötigen Aufenthalt innerhalb der Absperrung vermeiden • Absperren im Umkreis von 50 Metern vom Versandstück
	Keine Beschädigung am Transportbehälter erkennbar	<ul style="list-style-type: none"> • Absperrmaßnahmen nicht erforderlich • Absichern des Unfallortes bis weitere Weisungen erfolgen
	Aufschrift des Gefahrenzettels nicht erkennbar	<ul style="list-style-type: none"> • Absperrung im Umkreis von 50 Metern vom Versandstück • Unnötigen Aufenthalt innerhalb der Absperrung vermeiden • Rückfrage beim Transporteur, Absender oder Empfänger veranlassen • Absichern des Unfallortes bis weitere Weisungen erfolgen

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der aufgestellten Hypothesen und Forschungsfragen zusammengefasst und basierend auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und der Rechtslehre einer Schlussfolgerung zugeführt. Diese Annahmen (Hypothesen), die in logischen Aussagen formuliert wurden, behalten sich nicht das Recht einer Verifizierung vor, sondern werden nachstehend in einem überprüfbaren Ergebnis dargestellt, das sie entweder verifiziert oder falsifiziert.

8.1 Zusammenfassung zur Hypothese 1

Die erste Hypothese behauptet, dass die bei einem Verkehrsunfall vorkommenden radioaktiven Stoffe in derartiger Weise auf Einsatzkräfte wirken, dass es zu keiner Überschreitung der Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen kommt.

In Österreich werden radioaktive Stoffe für den medizinischen, industriellen und wissenschaftlichen Gebrauch auf öffentlichen Verkehrswegen transportiert. Der hieraus anfallende Abfall wird einer Zwischenlagerung bzw. einer Aufbereitung oder Entsorgung zugeführt. Diese Abfallprodukte werden ebenso auf der Straße befördert.

Um eine Größenordnung der transportierten radioaktiven Stoffe zu erhalten, wurden Daten von zwei privaten Unternehmen und zweier behördlicher Einrichtungen herangezogen. Hieraus ist ersichtlich, dass im gewählten Referenzjahr 2015 47 unterschiedliche Radionuklide mit 363 verschiedenen Aktivitäten befördert wurden. Die höchsten Aktivitäten wurden um die 50 Terabequerel festgestellt. Als einzige Ausnahme liegt mit dem Radionuklid Iridium-192, in umschlossener Form, ein Höchstwert von 432 Terabequerel vor. Alle weiteren Radionuklide liegen mit ihren Aktivitäten unterhalb von 4 Terabequerel. Weiters kann festgestellt werden, dass die meisten Radionuklide in umschlossener Form vorliegen und von der Gruppe der Alpha- und Beta-Strahler dominiert werden.

Für die Einsatzkräfte ist von besonderem Interesse, wie die Stoffe transportiert wurden. Im Jahr 2015 wurden 258 radioaktive Stoffe in Versandstücken des Typs A transportiert. Diese stellen gegenüber Freigestellten, LSA I und Typ B Versandstücken den weitaus größten Anteil dar.

8.1.1 Gesetzliche und normative Grundlagen als Reglement für den Transport von Gefahrgut der Klasse 7

Der österreichische Gesetzgeber gründet seine gesetzlichen Vorgaben für den Transport radioaktiver Stoffe auf das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR 2017).

Dieses strenge Reglement basiert auf Empfehlungen international renommierter Einrichtungen, wie der International Atomic Energy Agency (IAEA), der Welt-Gesundheits-Organisation (WHO) und der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP).

Durch Übernahme der Bestimmungen des ADR 2017 in das Gefahrgutbeförderungsgesetz, BGBl. I Nr. 145/1998, in der Fassung BGBl. I Nr. 91/2013, und spezielle Vorschriften im Strahlenschutzgesetz, BGBl. Nr. 227/1969, in der Fassung BGBl. I Nr. 106/2013, werden die Vorgaben des Transportes radioaktiver Substanzen auf der Straße national und im internationalen Warenverkehr geregelt.

Das ADR 2017, Absatz 2.1.1.1, klassifiziert gefährliche Stoffe in Klassen, wobei radioaktive Stoffe der Klasse 7 zugeordnet werden. Die Ausweisung, geregelt in den Absätzen 2.2.7.2.1.1 bis 2.2.7.2.5 des ADR 2017, erfolgt für einzelne Stoffe, Stoffgruppen, Lösungen, Gemische oder Gegenstände in festgelegten UN-Nummern. Mit Zuordnung dieser Stoffe zu UN-Nummern – deklariert auf Versandstücken, Umverpackungen, Transportpapieren und bei anderen als Freigestellten Versandstücken auch am Transportfahrzeug – können bereits erste Annahmen über die Art des Versandstückes und die Aktivitätshöhe getroffen werden.

Ausgenommen von den Regelungen des ADR werden Stoffe unterhalb der festgelegten Aktivitätskonzentrationen oder Gesamtaktivitäten, Sendungen, die abseits öffentlicher Straßen transportiert werden, Stoffe, die Bestandteil von Verbrauchs- oder Gebrauchsgütern sind, solche, die für diagnostische Zwecke implantiert oder inkorporiert werden und in natürlicher Form vorkommende Stoffe, die den festgelegten Rahmen ihrer Aktivitätskonzentrationswerte nicht überschreiten (ebd.: 2.2.7.2.2.1).

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013: 12) stellt fest, dass das ADR auch die Wahl der Versandstücke nach der Aktivität, der Toxizität und dem Aggregatzustand des zu befördernden Stoffes definiert.

Eindeutige Aktivitätsgrenzen, Kennzeichnung, Bauart und Versagensgrenzen sowie -reaktionen für die Versandstücke untermauern den Schutz der Arbeitskräfte, Transporteure sowie der Einsatzkräfte. So klassifiziert das ADR Freigestellte Versandstücke mit folgenden Grenzwerten (vgl. ADR 2017: 2.2.7.2.4.1.2, 2.2.7.2.4.1.3 und 4.1.9.1.2):

- Die Dosisleistung von 5 Mikrosievert pro Stunde an jedem Punkt der Außenfläche des Versandstückes,
- bei Instrumenten und Fabrikaten die Dosisleistung von 0,1 Millisievert pro Stunde in 10 Zentimetern Abstand zu jedem Punkt ihrer Außenfläche,
- bei nichthaftender Kontamination von Alpha- (mit niedriger Toxizität), Beta- und Gamma-Strahlern eine Aktivität von 4 Becquerel pro Quadratzentimeter; bei allen weiteren Alpha-Strahlern eine Aktivität von 0,4 Becquerel pro Quadratzentimeter.

Bei Industrierversandstücken (Typ IP – LSA oder SCO) gelten gemäß Artikel 4.1.9.2 bis 4.1.9.2.5 ADR 2017 die gleichen Regelungen wie bei den Freigestellten Versandstücken. Bei der Beladung ist zusätzlich darauf zu achten, dass die Dosisleistung in einem Abstand von 3 Metern von dem nicht abgeschirmten Stoff oder Gegenstand 10 Millisievert pro Stunde nicht überschreitet.

Typ A-Versandstücke sind sowohl durch ihre Anforderung der maximalen Belastbarkeit als auch durch die maximalen Aktivitätswerte ihrer beinhaltenden radioaktiven Stoffe definiert. So müssen diese Versandstücke durch festgelegte Beanspruchungen (Wasserbeständigkeit von 1 Stunde mit einem Sprühstrahl mit einer Wassermenge von 5 Zentimetern pro Stunde, Fall aus 1,2 Metern Höhe in fester Form und aus 9 Metern in gas- oder flüssiger Form auf unnachgiebigen Untergrund, Druck der fünffachen Masse in der Dauer von bis zu 24 Stunden sowie ein Durchstoßen einer Prüfstange von 6 Kilogramm aus einer Höhe bis zu 1,7 Metern) bestehen. Bei einem Versagen muss gewährleistet bleiben, dass die strahlenabweisende Wirkung und/oder Entweichung bzw. Verstreuung des Stoffes hintangehalten wird. Hierbei werden durch die Bauweise des Versandstückes mit Ausstattung von saugfähigem Material, das bis zum Doppelten des Volumens an flüssigem Inhalt aufnimmt, entgegengewirkt (vgl. ADR 2017: 6.4.7 bis 6.4.7.17). Maximale Aktivitätswerte für radioaktive Stoffe in verschlossenen Kapseln (A1 Wert) und Sonstige (A2 Wert) definieren die Grenzwerte für die Beförderung von radioaktiven Stoffen in einem Typ A-Versandstück gemäß Artikel 2.2.7.2.2.1 bis 2.2.7.2.4.4 im ADR 2017.

Der Transport von Typ B- und Typ C-Versandstücken bedarf einer Zulassung durch die Behörde. Sie müssen durch ihre Bauweise, wie das Typ A-Versandstück, einem definierten Unfallgeschehen standhalten. Typ B-Versandstücke haben Auswirkungen von schweren Unfällen standzuhalten. Definierte Prüfverfahren, wie z.B. Fallhöhen aus 9 Metern Höhe auf unnachgiebigen Untergrund und aus 1 Meter auf einen 20 Zentimeter langen Stahldorn, Quetschprüfung durch Abwurf eines 500 Kilogramm schweren Stahlkörpers aus einer Höhe von 9 Metern auf das Versandstück, eine Hitzeprüfung mit 800 Grad Celsius bei einer Dauer von 30 Minuten und eine Wasserdruckprüfung von acht Stunden in einer Tiefe von 200 Metern, sind von Typ B-Versandstücken zu bestehen, ohne dabei die Schutzfunktion zu verlieren (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2013: 15). Typ C-Versandstücke sind für den Transport von radioaktiven Stoffen mit hohen Aktivitäten am Luftweg vorgesehen. Sie haben zusätzlich den Prüfverfahren für Versandstück B darüber hinaus besondere Prüfverfahren zu bestehen, um als worst case-Fall auch den Absturz eines Fluggerätes zu bestehen. Hierfür wird ein Aufprall mit einer Geschwindigkeit von 90 Metern pro Sekunde auf einen unnachgiebigen Untergrund, einer Hitzeeinwirkung von 800 Grad Celsius über einen Zeitraum von 60 Minuten als Prüfverfahren simuliert (vgl. IAEA 2012a: 118).

Grundsätzlich darf bei Beförderung von Versandstücken des Typs A bis C eine Ortsdosisleistung an der Oberfläche des Transportfahrzeuges von 2 Millisievert pro Stunde nicht überschritten werden. Die maximale Ortsdosisleistung im Abstand von 2 Metern zum Fahrzeug wird mit 100 Mikrosievert begrenzt (vgl. Fachverband für Strahlenschutz e.V.: 2015).

Das ADR 2017 definiert ebenso in der Tabelle 5.1.5.3.4 die Kategorien von Versandstücken mit den zugewiesenen Grenzwerten für die Strahlenexposition bzw. der Transportkennzahl. So darf in der Kategorie I-WEISS die höchste Dosisleistung an jedem Punkt einer Außenfläche nicht mehr als 0,005 Millisievert pro Stunde betragen.

Die Transportkennzahl wird hierbei mit 0 festgelegt. Die Kategorie II-Gelb beschränkt sich auf die höchste Dosisleistung an jedem Punkt einer Außenfläche größer als 0,005 Millisievert pro Stunde aber nicht größer als 0,5 Millisievert pro Stunde. Die Transportkennzahl ist größer als 0 aber nicht größer als 1. Die höchste Dosisleistung an jedem Punkt einer Außenfläche in der Kategorie III-Gelb ist größer als 0,5 Millisievert pro Stunde aber nicht größer als 2 Millisievert pro Stunde. Die Transportkennzahl wird größer als 1 aber nicht größer als 10 angegeben. Für die Ausweisung der Transportkennzahl größer als 10 gelten folgende Voraussetzungen: Die höchste Dosisleistung an jedem Punkt der Außenfläche ist größer als 2 Millisievert pro Stunde, aber nicht größer als 10 Millisievert pro Stunde. Die Beförderung erfolgt als Kategorie III-Gelb unter ausschließlicher Verwendung. Die Beförderung von Containern ist hier jedoch ausgeschlossen.

Das ADR regelt neben den Sicherheits- und Schutzanforderungen für die Beförderung durch Festlegung von Grenzwerten für die Dosisleistungen und Anforderungen an die Versandstücke auch eine Begrenzung des Inhalts. Des Weiteren werden behördliche Kontrollen durch Genehmigungs- und Zulassungsverfahren und Mitteilungsverfahren bei sich entwickelnden oder bestehenden Notfallexpositionssituationen bzw. Nichteinhaltung von Grenzwerten oder Kontamination (vgl. ADR 2017: 1.7.1.2 und 1.7.6) geregelt.

Neben den Versandstücken unterliegen auch die Strahlenquellen in ihrer Bauart und der Kennzeichnung gesetzlichen und normativen Bestimmungen. Die Allgemeine Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, regelt in §§ 51f die Kennzeichnung von bewilligungs- und meldepflichtigen Strahlern. §§ 62 und 63 der Verordnung definieren für radioaktive Stoffe in umschlossener Form, dass diese bei einer Überschreitung der Ortsdosisleistung von 1 Millisievert pro Stunde in 1 Meter Abstand eine Angabe durch den Hersteller oder Lieferanten bedürfen. Diese Angabe wird in einem Prüfbericht einer akkreditierten Prüfstelle erfasst. Umschlossene Strahler sind periodisch auf ihre Dichtheit zu überprüfen. Hoch radioaktive Strahlenquellen, die in Behältern vom Typ B gemäß ADR transportiert werden, sind in versperrbaren nicht brennbaren Einrichtungen aufzubewahren, in deren Umgebung

sich keine wesentlichen Brandlasten befinden dürfen. Andere hoch radioaktive Strahlenquellen müssen sich in Aufbewahrungseinrichtungen befinden, die zumindest brandhemmend ausgeführt sind.

Auch die ÖNORM EN ISO 2919:2015 schreibt eindeutige Kennzeichnungen und Prüfverfahren für umschlossene Strahlenquellen vor. Diese müssen über einen festgelegten Zeitraum temperaturbeständig sein. Auch haben sie Druck-, Schlag-, Vibrations-, Durchstoß- und Biegeprüfungen zu bestehen.

8.1.2 Gesetzliche und normative Grundlagen zum Schutz von Leib und Leben

„Jede Exposition ist innerhalb der (...) festgesetzten zulässigen Dosisgrenzwerte so niedrig wie möglich zu halten; jede unnötige Einwirkung ist zu vermeiden. Dabei sind durch Optimierung, gegebenenfalls unter Heranziehung von Dosisbeschränkungen, die Expositionen von Einzelpersonen sowie der Bevölkerung insgesamt so niedrig zu halten, wie dies unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren möglich und vertretbar ist.“ (Bundesgesetzblatt der Republik Österreich (2015): Strahlenschutzgesetz, BGBl. Nr. 227/1969, in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015: Absatz 1, § 4).

Der österreichische Gesetzgeber hat in seiner Rechtsprechung zum Schutz von Leib und Leben die Grundsätze der Rechtfertigung, Optimierung des Schutzes und der Dosisbegrenzung im Umgang mit ionisierender Strahlung auf alle kontrollierbaren Expositionssituationen der Internationalen Strahlenschutzkommission (im Sinne ICRP 2007: 83f.) übernommen.

Das Strahlenschutzgesetz regelt unter anderem den Umgang mit Strahlenquellen, die Zulassung von Bauarten von Strahlenquellen, die behördliche Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und die behördliche Ermittlung und Erfassung von radioaktiven Notsituationen.

Als eine Verordnung zum Strahlenschutzgesetz legt die Allgemeine Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. Nr. 22/2015, in § 14 die effektive Dosis für die Einzelperson der Bevölkerung mit 1 Millisievert pro Jahr fest. Eine Anhebung durch die zuständige Behörde ist unter besonderen Umständen möglich, sofern der Mittelwert über fünf aufeinander folgende Jahre 1 Millisievert pro Jahr nicht überschreitet. Hiermit wird die Dosisbegrenzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 übernommen.

Durch die Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, werden die vom Strahlenschutzgesetz vorgeschriebenen Regelungen der Interventionen bei radiologischen Notstandssituationen und bei dauerhaften Strahlenexpositionen umgesetzt.

Hierbei sind die in § 12 Absatz 4, § 15 Absatz 4 und in der Anlage 4 der Verordnung festgelegten Interventionswerte für das Interventionspersonal von Bedeutung. Die Verordnung legt drei Dosisrichtwerte für Interventionspersonal bei radiologischen Notstandssituationen fest:

- 20 Millisievert zum Schutz von Sachwerten; derselbe Wert wird durch die Richtlinie 2013/59/EURATOM und durch die Allgemeine Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, als Dosisbegrenzung für strahlenexponierte Arbeitskräfte festgelegt. Allerdings mit dem Unterschied, dass dieser Dosiswert in den rechtlichen Bestimmungen ein Grenzwert ist und für den Zeitraum eines Jahres bzw. 12 aufeinander folgenden Monaten festgelegt wird.
- 100 Millisievert zur Abwehr von akuter Gefahr für Personen oder zur Verhinderung einer wesentlichen Schadensauswertung,
- 250 Millisievert zur Rettung von Menschenleben.

Gemäß § 15 Absatz 4 Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, können im Falle einer radiologischen Notstandssituation die zuständigen Behörden auch andere Personen zu Interventionen heranziehen. Deren Einsatz, der auf Freiwilligkeit beruht, ist mit einer effektiven Dosis von 20 Millisievert begrenzt.

8.1.3 Häufigkeit von Sach- und Personenschäden bei Verkehrsunfällen mit Gefahrgut der Klasse 7

Der Transport gefährlicher Stoffe und hier auch der Transport von radioaktiven Stoffen unterliegen strengen Auflagen. Durch Begrenzung der Inhalte von Versandstücken und Transportfahrzeugen, Standards für Versandstückbauarten in Abhängigkeit zur Gefahr des radioaktiven Inhaltes, Bedingungen für den Betrieb von Versandstücken, Instandhaltung derer und behördlicher Kontrolltätigkeiten wird ein höchstmöglicher Schutz erreicht. (vgl. ADR 2017: 1.7.1.2)

Gefahrgutunfälle mit Sach- und Personenschaden sind in Österreich sehr selten. Im Beobachtungszeitraum 2012 bis 2015 wurden 74 Unfälle registriert. Diese stehen einer Gesamtzahl von Verkehrsunfällen in der Höhe von 155.250 (193.975 davon mit Personenschäden) gegenüber. Somit haben Gefahrgutunfälle einen Anteil von 0,5 Promille am Gesamtaufkommen der Verkehrsunfälle in Österreich. Da eine Auswertung der Gefahrgutunfälle nach Klassen in Österreich durch die Statistik Austria nicht gegeben ist, wurden, um grundsätzliche Aussagen über die Häufigkeit von Gefahrgutunfällen der Klasse 7 zu treffen, wissenschaftliche Berichte der Gesundheitsbehörde des Vereinigten Königreichs Großbritannien für den Beobachtungszeitraum 1958 bis 2012 ausgewählt.

Hier stellen Gefahrgutunfälle mit radioaktiver Fracht, so wie in Österreich die Zahl der Gefahrgutunfälle gesamt, eine Seltenheit dar.

Transportunfälle auf englischen Straßen mit einer bedeutenden Strahlenexposition bzw. Kontamination des Fahrers, der Einsatzkräfte und der Bevölkerung wurden in den wissenschaftlich fundierten Berichten nicht verzeichnet bzw. konnten nicht nachgewiesen werden. (vgl. HARVEY 2009 und 2010, HARVEY und HUGHES 2008, HARVEY und JONES 2011 und 2012, HESKETH et al. 2007, HUGHES und HARVEY 2007 sowie JONES und CABIANCA 2017)

8.1.4 Zu erwartende Dosisleistungswerte am Unfallort und mögliche deterministische bzw. stochastische Schäden für die Einsatzkräfte

Um die mögliche Wirkung von ionisierender Strahlung, die bei einem Verkehrsunfall mit einer Beteiligung von radioaktiven Stoffen vorherrschen kann, beurteilen zu können, wurden Transportdaten aus dem Jahr 2015 in einem szenarienbasierenden Berechnungsansatz analysiert. Im Blickfeld dieser Berechnungen steht das Einsatzpersonal mit den vordringlichsten Schutzgütern, der Rettung von Menschenleben und dem Schutz der Bevölkerung. Als Grundlage der Berechnungen wurde bei allen Typen von Versandstücken angenommen, dass sie bei einem Verkehrsunfall entweder unversehrt oder beschädigt werden.

Bei unversehrten Versandstücken des Typs A und B wurde die effektive Dosis nach den Kategorien I-Weiß bis III-Gelb (inkl. bei ausschließlicher Verwendung) und mit einer Entfernung von 1 bis 50 Metern sowie jeweils einer Aufenthaltsdauer von einer halben bis zu zwei Stunden berechnet. Hierbei zeigt die Kategorie I-Weiß, dass bei einem Abstand von 1 Meter die Dosisleistung der Strahlenquelle dermaßen abnimmt, dass diese nicht mehr von der natürlichen Strahlung (Hintergrundstrahlung) zu unterscheiden ist. Die Kategorie II-Gelb lässt hingegen eine effektive Dosis von bis zu 20 Mikrosievert (0,02 Millisievert) bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden und einer Entfernung von 1 Meter erwarten. Die Berechnung der Kategorie III-Gelb zeigt bei der gleichen Aufenthaltsdauer und Entfernung eine zu erwartende effektive Dosis von 200 Mikrosievert (0,2 Millisievert).

Zudem wurde das Szenario eines direkten Kontaktes einer Einsatzkraft zu den verschiedenen Versandstückkategorien bei der Berechnung angenommen. Im Speziellen wurde hier der Fokus auf die durchgehende Kontaktdauer mit dem Versandstück der Kategorien I-Weiß bis III-Gelb bei ausschließlicher Verwendung gelegt. Die hierbei errechneten effektiven Dosiswerte mit einer Kontaktdauer von zwei Stunden liegen bei der Kategorie I-Weiß bei bis zu 10 Mikrosievert (0,01 Millisievert), bei der Kategorie II-Gelb bei bis zu 1 Millisievert, bei der Kategorie III-Gelb bei bis zu 4 Millisievert und bei der Kategorie III-Gelb bei ausschließlicher Verwendung bis zu 20 Millisievert.

Als weiteres Szenario wurde angenommen, dass das Versandstück bei einem Verkehrsunfall beschädigt wurde. Hierbei wurde berechnet, welche effektiven Dosiswerte die Einsatzkräfte bei Alpha-, Beta- und Gammastrahlern bei einer Entfernung von 1 bis 50 Metern und einer durchgehenden Aufenthaltszeit von einer halben Stunde bis zu zwei Stunden aufnehmen würden. Die Berechnung zeigt bei umschlossenen und offenen Beta-Strahlern, die in einem Versandstück Typ A transportiert wurden, eine Dominanz in der Anzahl und der höchsten Ortsdosisleistung beim Beta-minus-Strahler Iridium-192. Das Radionuklid weist hier eine maximale Ortsdosisleistung von rund 76.090 Mikrosievert (76,09 Millisievert) pro Stunde auf. Bei der maximalen Aufenthaltsdauer von zwei Stunden und einem Abstand von 1 Meter zur Strahlenquelle würden die Einsatzkräfte einen effektiven Dosiswert von bis zu 152 Millisievert erreichen. Bei der selben Aufenthaltsdauer, jedoch bei der Vergrößerung des Abstandes auf 5 Meter, würde der effektive Dosiswert bereits auf 6,087 Millisievert sinken. Der reale effektive Dosiswert würde durch den Umstand, dass Betastrahlung eine begrenzte Strahlungsweite aufweist, noch geringer ausfallen.

In der Gruppe der umschlossenen und offenen Gamma-Strahler, die in einem Versandstück A transportiert wurden, liegt das Radionuklid Technetium-99m in der Berechnung an führender Stelle. Als Ortsdosisleistung in 1 Meter Abstand zur Quelle wurde eine Dosisleistung in der Höhe von 1858 Mikrosievert (1,858 Millisievert) pro Stunde errechnet. Bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden in einer Entfernung von 1 Meter würde bei den Einsatzkräften ein effektiver Dosiswert von 3,717 Millisievert erwartbar werden.

Die Ergebnisse der Alphastrahler, die in einem Versandstück Typ A transportiert wurden, können hier in der Zusammenfassung aufgrund ihrer geringen Ortsdosisleistung – es wurde der höchste Wert bei Americium-241 mit 9,75912 Mikrosievert pro Stunde errechnet – und ihrer geringen Strahlungsweite bzw. Eindringtiefe als vernachlässigbar angesehen werden.

Es wurde auch die Annahme aufgestellt, dass es durch die Beschädigung eines Versandstückes Typ A bei der Beförderung eines offenen Radionuklids zu einer Kontamination des Transporteurs kommt. Hierbei wurde berechnet, wie sich diese Kontamination auf die Einsatzkräfte im Rahmen der Versorgung des Patienten auswirken könnte. Auch diese effektiven Dosiswerte wurden für eine durchgehende Aufenthaltsdauer von einer halben bis zu zwei Stunden und einem Abstand von 1 bis 50 Metern errechnet. Hierbei wurde der Patient als punktförmige Strahlenquelle dargestellt. Die höchste Ortsdosisleistung wurde bei Fluor-18 mit 477 Mikrosievert (0,477 Millisievert) pro Stunde erreicht. Die Einsatzkräfte würden bei der Versorgung des Patienten bei einer durchgehenden Versorgungszeit von zwei Stunden einen effektiven Dosiswert von 954 Mikrosievert (9,54 Millisievert) erreichen.

Abschließend wurden auch beschädigte Versandstücke des Typs B berechnet. Hierbei dominierten das Radionuklid Iridium-192 als Beta-Strahler und Selen-75 in der Gruppe der Gamma-Strahler. Die Einsatzkräfte würden durch das Radionuklid Iridium-192 bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von zwei Stunden und einem Abstand zur Strahlenquelle von 1 Meter eine effektive Dosis von 107.953.568 Mikrosievert (108 Sievert) erhalten. Selen-75 ergab bei der selbigen Berechnung einen effektiven maximalen Dosiswert von 642 Mikrosievert (0,642 Millisievert).

Die Bandbreite der Ergebnisse macht deutlich, dass das maximale Risiko von hoch radioaktiven Quellen, wenn sie durch den Verlust des Schutzmantels des Versandstückes ihre ungeschützte Strahlungsintensität abgeben, ausgeht. Hierbei resultieren für die Einsatzkräfte hohe Ortsdosisleistungen im unmittelbaren Abstand zur Quelle und hohe effektive Dosiswerte bei einer maximalen Expositionszeit von bis zu zwei Stunden. Demgegenüber zeigen unversehrte Versandstücke mit kurzen Expositionszeiten sowie großen Distanzen im Sinne des quadratischen Abstandsgesetzes eine Reduktion der Intensität der Strahlenquelle.

Deterministische Schäden, die sich aufgrund der Höhe der Strahlenart, der Dosis, des zeitlichen Verlaufs und der Empfindlichkeit einzelner Organe manifestieren, präsentieren sich nach VOGT und SCHULTZ (2011: 82) in verschiedenen Schweregraden. Biologische Reparaturprozesse können nach SCHÖNHACKER (2009a: 7.3) vor allem durch die Sofortdosis, die innerhalb von 48 Stunden und entsprechender Dosishöhe aufgenommen wird, unzureichend wirksam werden. Je höher die Dosis umso gravierender liegt das Schadensbild in den Zellen und Organen vor. Bei einer Ganzkörperexposition von 0,25 Sievert (250 Millisievert), meinen HERMANN et al. (2006: 185), werden erste Veränderungen im Blutbild sichtbar. Die kritische Dosis im Blickfeld der deterministischen Schäden werde ab einer Dosis von 1 Sievert erreicht. Hier zeigen sich die Symptome eines akuten Strahlensyndroms.

Hingegen können stochastische Schäden, die ein Ergebnis von Mutation, genetischer und karzinogener Effekte an der DNA darstellen, keiner definierten Schwellendosis zugeordnet werden. Individuelle strahlenindizierte Risiken sind nach BRECKOW (2015: 131–136) die quantitative Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeit für einen stochastischen Effekt, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit neben der Dosis von einer Vielzahl an Variablen, wie zum Beispiel dem Gesundheitszustand, Organreaktionen, Alter und Geschlecht, abhängig ist. Um stochastische Wirkungen unterhalb von 100 Millisievert darlegen zu können, werden die Risikoeffizienten (Änderungsgrößen der Dosis-Wirkungsbeziehung) erhoben und durch Exploration vom hohen in den niedrigen Bereich abgeleitet. Mit diesem Dosis-Wirkungs-Modell (lineares Modell ohne Schwellenwert – „LNT-Modell“) wird angenommen, dass Dosen unterhalb von 100 Millisievert zu einem direkt proportionalen Anstieg der Wahrscheinlichkeit von Krebserkrankungen und vererbaren Gendefekten führen (KRIEGER 2009: 452f.).

8.2 Folgerungen zur Hypothese 1

Der effektive Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen im Sinne des § 12 Allgemeine Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 191/2006, in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015, darf über einen Zeitraum von 12 aufeinander folgenden Monaten in der Regel nicht mehr als 20 Millisievert betragen. Einsatzkräfte der Feuerwehr, des Rettungsdienstes und der Polizei werden durch die Verordnung nicht angesprochen. Die Interventionsverordnung, BGBl. II Nr. 145/2007, bestimmt in § 15 Abs. 4, dass im Falle einer radiologischen Notstandssituation die Behörde auch andere Personen zu Interventionen heranziehen kann. In diesem Fall darf bei deren Einsatz die effektive Dosis von 20 Millisievert nicht überschritten werden.

Die Einsatzdosiswerte der Österreichischen Feuerwehren reichen von 10 Mikrosievert bei Übungen über 20 Millisievert zum Schutz von Sachwerten, 100 Millisievert bei erhöhter Gefahr für Menschen, Tiere und Umwelt bis zu 250 Millisievert als Lebensdosis für die Menschenrettung (vgl. ÖBFV 2012: Abschnitt Gelb).

Das Österreichische Rote Kreuz und die Bundespolizei gibt keine Dosisgrenzwerte für ihr Einsatzpersonal vor. Lediglich legt die Bundespolizei die Verstrahlungslinie bei 10 Mikrosievert fest. Da kein eindeutiger einsatzorganisationenübergreifender Dosisgrenzwert existiert, wurde für die Erstellung der Hypothese 1 der Wert von 20 Millisievert als Dosisgrenzwert für freiwillige und berufliche Einsatzkräfte, die nicht als Interventionspersonal eingestuft werden, als optimaler Einsatzgrenzwert angenommen.

Im Hinblick auf die Berechnung der Strahlenwirkung auf Einsatzkräfte kann die Hypothese, dass die bei einem Verkehrsunfall vorkommenden radioaktiven Stoffe mit keiner Überschreitung der Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen auf die Einsatzkräfte wirken, nicht eindeutig verifiziert werden.

Unversehrte Versandstücke Typ A und B mit Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlern zeigen auch bei der Annahme eines Abstandes von 1 Meter und einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von 2 Stunden keine auffällige Annäherung an einen Dosisgrenzwert von 20 Millisievert. Bei direktem durchgehend zweistündigem Kontakt mit einem Versandstück der Kategorie III-Gelb bei ausschließlicher Verwendung können aber effektive Dosiswerte bis zu 20 Millisievert erreicht werden. Diese Annahme scheint jedoch im Hinblick auf mögliche Unfallbilder, Rettungsabläufe und Versorgungs- bzw. Behandlungsvorgaben als unvorstellbar.

Beschädigte Versandstücke des Typs A und B zeigen in der Berechnung teilweise eine überdurchschnittliche Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 20 Millisievert. Es wird zum Beispiel bei Iridium-192 ein Dosiswert von bis zu 108 Sievert bei einer durchgehenden Aufenthaltsdauer von 2 Stunden und in einer Entfernung von 1 Meter erreicht. Jedoch weisen die meisten Radionuklide in der Berechnung Werte unter 1

Millisievert mit derselbigem Vorgabe der Entfernung und Aufenthaltsdauer auf. Die von einem kontaminierten Patienten ausgehende Gefahr einer effektiven Dosis von 20 Millisievert kann ebenfalls nicht bestätigt werden. Hierbei wurde die höchste effektive Dosis mit 9,54 Millisievert in 1 Meter Abstand und durchgehender Behandlungsdauer von zwei Stunden berechnet. Im Hinblick auf die Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 20 Millisievert muss abschließend festgehalten werden, dass die Höchstwerte von Radionukliden aus der Gruppe der Beta- bzw. Alphastrahler erreicht werden. Diese Strahler zeichnen sich durch eine begrenzte Reichweite und Eindringtiefe bzw. Abschirmmöglichkeit aus. Diese strahlenphysikalischen Grundlagen wurden in der konservativen Berechnung, so wie auch die Halbwertszeit von kurzlebigen Radionukliden, nicht eingerechnet, was eine Reduktion der hohen Dosiswerte bedeuten würde. Ebenso muss berücksichtigt werden, dass Versandstücke, hier vor allem des Typs B, durch ihre Bauweise, Sicherheits- und Schutzanforderung den Belastungen von schweren Unfällen standhalten müssen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass deterministische Schäden für Einsatzkräfte unter Einhaltung der Grundlagen des Strahlenschutzes und der einsatztaktischen Grundsätze ausgeschlossen werden können. Stochastische Schäden sind nicht erwartbar, können aber nie ausgeschlossen werden.

8.3 Zusammenfassung zur Hypothese 2

Mit der zweiten Hypothese wird behauptet, dass die Einsatzorganisationen durch ihre Ausbildung und die einsatztaktische Vorgehensweise bestmöglich auf Verkehrsunfälle mit radioaktiven Stoffen vorbereitet sind.

In dieser Überlegung werden die österreichischen Einsatzorganisationen, darunter die Österreichischen Feuerwehren, der Bereich Notarzt- und Rettungsdienst des Österreichischen Roten Kreuzes und die Bundespolizei, betrachtet.

Essentielle Fragen dieser Behauptung richten sich auch nach dem Schutz der Einsatzkräfte, da die einsatztaktischen Vorgehensweisen und die hierfür notwendige Ausbildung eng mit dem Einsatz von Persönlicher Schutzausrüstung verbunden sind.

8.3.1 Einsatztaktische Grundsätze und Bereitstellung von Schutzausrüstung für Einsatzkräfte

Als zentrale einsatztaktische Vorgehensweise bei Gefahrgutunfällen und hierbei im Speziellen bei der Beteiligung radioaktiver Stoffe wird bei allen Einsatzorganisationen die GAMS-Regel eingesetzt. Um die Gefahr von radioaktiven Stoffen zu erkennen, sind die Kennzeichnungen am Fahrzeug und an den Versandstücken selbst, auf Beförderungspapieren und die Informationen des Lenkers zu beachten.

Um einer unzulässigen Strahlenexposition der Bevölkerung, den mit der Beförderung befassten Personen beim Transport aber auch bei einem Unfallszenario entgegenzuwirken, werden Reglements bei Versandstücken geschaffen. Sie sollen durch sichere Verwahrung einer Freisetzung des Stoffes entgegenwirken und eine effektive Abschirmung der Strahlung gewährleisten. Darüber hinaus tragen die Kennzeichnungspflicht und die Anforderung an das Transportfahrzeug und an den Transporteur durch ein internationales einheitliches Format zur Sicherheit bei. (vgl. DAf 2014: 5)

Sicherheit beim Transport bedeutet nach EBNER et al. (vgl. 2013: 3) jedoch nicht nur, die Risiken von Unfällen mit Gefahrgut zu senken, sondern auch den Missbrauch gefährlicher Güter inklusive Diebstahl zu minimieren. Hierfür werden durch die innerstaatlichen und europäischen Rechtsmaterien Sicherungsmaßnahmen beim Transport gefährlicher Güter mit hohem Gefahrenpotential und bei einer Überschreitung bestimmter Mengengrenzen vorgeschrieben. Ebenso bestehen für den Unglücksfall verschiedenste Vorschriften, welche der Transporteur, das Unternehmen, der Empfänger und die Behörde umzusetzen haben, um weiteren Schaden zu vermeiden.

Die Reglements bei Versandstücken, Kennzeichnungspflicht und die Anforderung an das Transportfahrzeug und an den Transporteur helfen mit, am Unfallort die größtmögliche Informationsgewinnung sicherstellen zu können.

Um eine ausreichende Absperrung durchzuführen, werden verschiedene Entfernungen zum Unfallfahrzeug bzw. zur Strahlenquelle seitens der Einsatzorganisationen definiert. Die Feuerwehr weist ihre Mitglieder darauf hin, einen Mindestabstand von 30 bis 60 Metern einzuhalten. Werden in Folge Messgeräte von Spezialkräften eingesetzt, so werden die Grenzen genauer definiert. Bei Vorhandensein offener radioaktiver Stoffe wird im Abschnitt „Gelb“ des Gefahrgut Blattler 2012 des Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes die Absperrgrenze in 30 bis 60 Metern Entfernung von 5 Mikrosievert (in 5 Zentimetern Abstand) bzw. des dreifachen Leerwerts definiert. Bei umschlossenen Strahlern liegt die Absperrgrenze des roten Bereiches (Wirkzone) bei 100 Mikrosievert und jene des grünen Bereichs (Innere Absperrgrenze) bei 10 Mikrosievert. Das Österreichische Rote Kreuz gibt seinen Sanitätskräften den Absperrwert von mindestens 60 Metern zum Gefahrgut (bei Gasen in Großbehältern mehrere 100 Meter). Die Absperrung um den Ort eines Strahlenunfalles wird ebenso im Umkreis von 60 Metern, sofern keine Messgeräte zur Verfügung stehen und keine weitere Gefährdung vermutet wird, als ausreichend erachtet. (vgl. ÖRK 2016b: J-17 bis J-23). Die Bundespolizei definiert ihren Abstand zur Gefahrenquelle nach BM.I (2005: Punkt 4.3.) grundsätzlich mit 50 Metern wobei hier Windrichtung und -stärke zu beachten seien. Beim Einsatz von Strahlenspürern, also im Bereich des Strahlenschutzes ausgebildeten Fachkräften, wird die Absperrgrenze bei 10 Mikrosievert festgelegt.

Ist eine Menschenrettung notwendig, wird diese von der Feuerwehr durchgeführt. Das Feuerwehrmitglied hat hierfür die Brandschutzbekleidung und Atemschutz zu tragen. Der Schutz der Atemwege und eine Dekontamination können entfallen, wenn keine offenen Stoffe am Unfallort erkundet und eindeutig bestätigt werden können. (vgl. ÖBFV 2012: Abschnitt „Gelb“)

Sanitätskräfte des Österreichischen Roten Kreuzes übernehmen den Patienten außerhalb der Gefahrenzone und versorgen hier die lebensbedrohlichen Verletzungen. Hierbei wird bei kontaminierten Patienten Schutzausrüstung aus dem mitgeführten Hygienepaket getragen. Die Schutzausrüstung, die in den Rettungsfahrzeugen als Ausrüstungsteil mitgeführt wird, besteht aus Einmalhandschuhen, Atemschutzmaske des Typs FFP3, Schutzbrille und einem Einweg-Schutzanzug, der bei der Versorgung und beim Transport getragen wird (vgl. ÖRK 2016b: J-17 bis J-23). Das Tragen von zertifizierter Persönlicher Schutzausrüstung (PSA) wird vom Österreichischen Roten Kreuz mit dem Hinweis auf das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, BGBl. Nr. 450/1994, in der Fassung BGBl. I Nr. 72/2016, und deren Verordnungen grundsätzlich vorgeschrieben (ÖRK 2006: 4). Die IAEA (2006: 25ff.) empfiehlt den Einsatzkräften, dass lebensrettende Sofortmaßnahmen bei einem Vorhandensein radioaktiver Stoffe nicht verzögert werden sollen. Der Abtransport von Schwerverletzten dürfe ebenso nicht durch aufwändige Dekontaminationsmaßnahmen verzögert werden.

Diese Empfehlungen haben Eingang in die ÖNORM D 2305:2013, Dekontamination von Personen nach CBRN-Ereignissen, Teil 1: Sofort-Dekontamination, gefunden. Die Norm gibt präzise die Reihenfolge von Dekontamination und lebensrettenden Sofortmaßnahmen vor. (vgl. ON 2013: 6)

Als Versorgungs- und Transportzeitfenster für Schwerverletzte werden nach FISCHER et al. (2016: 5) 60 Minuten definiert. In dieser begrenzten Zeit haben die Sanitätskräfte zu gewährleisten, dass durch umfassende notfallmedizinische Interventionen das Überleben des Patienten sichergestellt und ein für die Rettungskräfte sicherer Transport in eine Schwerpunktlinik ermöglicht wird. Einfache Handlungsanweisungen für eine eventuelle Sofortdekontamination werden durch die ÖNORM D 2305:2013, Dekontamination von Personen nach CBRN-Ereignissen – Anforderungen an die Sofort-Dekontamination, vorgegeben. Die Norm beschreibt dazu erste Vorgehensweisen für ersteintreffende Einsatzkräfte mit einfachen Verfahren zur Entfernung von gefährlichen Substanzen am Patienten, ohne ein Eintreffen von Spezialkräften abzuwarten. Es soll hiermit gewährleistet werden, dass das Risiko, den Gefahrstoff vom Unfallort über den Rettungswagen in das Krankenhaus zu verschleppen, minimiert wird. Die Norm stellt damit sicher, dass einerseits der eigene Schutz der Rettungskräfte, andererseits aber auch die Sicherheit der Öffentlichkeit gewährleistet werden kann.

Die Bundespolizei kann als First Responder bei einem Verkehrsunfall tätig werden. Die Ausübung der Erstmaßnahmen wird durch die erste allgemeine Hilfeleistungspflicht geregelt.

Hierbei endet gemäß § 19 Abs. 4 Sicherheitspolizeigesetz, BGBl. Nr. 566/1991, in der Fassung BGBl. I Nr. 61/2016, die Abwehr der Gefahr mit dem Einschreiten der zuständigen Behörde, der Rettung oder der Feuerwehr. Im Falle eines Einschreitens bei einem Verkehrsunfall mit der Beteiligung radioaktiver Substanzen wird den Organen der Sicherheitsexekutive als Persönliche Schutzausrüstung angeordnet, mindestens eine Atemschutzmaske des Typs FFP3 als Inhalationsschutz zu tragen. Die Menschenrettung wird unter Beachtung der Eigensicherung und der Zumutbarkeit vom Dienstgeber angeordnet. (vgl. BM.I 2005: Punkt 4.1)

Die Rettung der verunfallten Personen und die Bergung des Gefahrgutes der Klasse 7 hat unter Beachtung der 3A-Regel durchgeführt zu werden. Durch den notwendigen Abstand zur Gefahrenquelle, der mit Absperrmaßnahmen und der Verwendung von Distanzwerkzeugen erreicht wird, kann die Dosis der Einsatzkräfte reduziert werden. Ebenso kann eine Reduktion der Dosis durch die Aufenthaltszeit dahingehend erzielt werden, dass die Einsatzkräfte über eine definierte Arbeitszeit in der Wirkzone tätig werden und Ablösen eingerichtet sind. Die Minimierung der Dosisaufnahme kann abschließend durch eine optimal gewählte Abschirmung gewährleistet werden. Hierbei sind neben der Annäherung und dem Aufsuchen von abschirmenden Gegenständen auch die Abschirmung der Atemwege durch geeigneten Atemschutz bzw. das Tragen geeigneter Schutzbekleidung zu verstehen. Die Schutzbekleidung soll im Einsatz mit radioaktiven Stoffen hier vor allem die Gefahr der Kontamination der Körperoberfläche minimieren und in gewissem Maße auch dem Eindringen der Strahlung (hier besonders Alpha-Strahlung) entgegenwirken.

Neben der Soforthilfe durch ersteintreffende Einsatzkräfte stellt die Hilfeleistung der Spezialkräfte ein wichtiges Bindeglied in der Rettungskette dar. Spezialkräfte werden bei den Einsatzorganisationen vor allem zur Feststellung, ob ein offener oder geschlossener Strahler vorliegt, und zur Festlegung der Verstrahlungslinie eingesetzt. Ebenso werden diese für die Dekontamination der Einsatzmannschaften bei offenen Strahlenquellen herangezogen. Die Feuerwehrvorschrift weist auch auf ein Hinzuziehen von Strahlenbeauftragten/Fachkundigen und der Behörde hin (ÖBFV 2012: Abschnitt „Gelb“). Kräfte der Bundespolizei haben die Bezirksverwaltungsbehörde zu verständigen.

Grundsätzlich wird allen Einsatzkräften von ihren Organisationen ein Verbot des Essens, Trinkens bzw. auch Rauchens bei Unfällen von Gefahrguttransporten vorgeschrieben, das auch einen direkten Kontakt zur Strahlenquelle miteinschließt.

8.3.2 Umfang und Inhalte der Grundausbildung der Einsatzorganisationen

Diese und andere Grundsätze sowie die einsatztaktische Vorgehensweise bei Unfällen mit der Beteiligung radioaktiver Substanzen werden den Einsatzkräften bereits in ihrer Grundausbildung vermittelt, die sich nach deren rechtlich definierten Aufgaben richtet. Sowohl bei den Österreichischen Feuerwehren, wie auch beim Roten Kreuz und der Bundespolizei bestehen im Hinblick auf die Grundausbildung für Einsätze mit radioaktiven Substanzen einheitliche, österreichweit gültige Regelwerke.

Das Handbuch für die Grundausbildung für den Feuerwehrdienst unterstützt den Anwärter in diesem speziellen Einsatzszenario durch das Erlernen im Umgang mit Atem- und Körperschutz, setzt die Grundlagen zur richtigen Erkundung und Einstufung der Gefahren und unterstützt beim richtigen einsatztaktischen Vorgehen und der Menschenrettung. (vgl. ÖBFV 2011: Kapitel 0.1, 2.1, 2.2, 4.1, 4.2 und 8.1 und ÖBFV-RL E-15 2002)

Das österreichische Rettungssystem ist ein notarzt- und sanitäterbasierendes System. Die Notfallmedizin beruht somit auf einem speziell für Notfälle ausgebildeten Arzt und den Sanitätsdiensten der freiwilligen und hauptberuflichen Rettungsorganisationen. Die bundesweite Ausbildung der Sanitäter in den österreichischen Rettungsorganisationen ist durch das Sanitätergesetz, BGBl. I Nr. 30/2002, und die Sanitäter-Ausbildungsverordnung, BGBl. II Nr. 420/2003, geregelt. In diesen Rechtswerken werden die theoretischen Inhalte für die Ausbildung der Rettungskräfte vorgegeben. Der zentrale Lehrbehelf des Österreichischen Roten Kreuzes ist die Mappe „Sanitätshilfe Ausbildung“, in der das Erkennen und die taktische Vorgehensweise bei Einsätzen mit Gefahrgut, im Speziellen beim Einsatz bei Unfällen mit radioaktiven Stoffen, nach einer einheitlichen österreichweiten Lehrmeinung geregelt werden. Obgleich für die Ausbildung zum Notarzt kein einheitliches Curriculum in Österreich gegeben ist, werden im § 40 des Ärztegesetzes, BGBl. I Nr. 169/1998, in der Fassung BGBl. I Nr. 26/2017, die Aus- und Weiterbildung grundsätzlich gesetzlich festgelegt. Das Gesetz regelt hier vorrangig die medizinische Versorgung von Notfallpatienten.

Die Grundausbildung zum Beruf des Polizisten wird durch den Lehrplan der Sicherheitsakademie des Bundesministeriums für Inneres einheitlich in Österreich bestimmt. Der Polizeischüler erhält gemäß Lehrplan zur Grundausbildung 2012 im Rahmen des Verkehrsrechtes die rechtlichen Grundlagen des Gefahrgutbeförderungsgesetzes und des ADR 2017 sowie das Einschreiten bei Verkehrsunfällen vermittelt. Durch die Strahlenschutz-Dienstvorschrift des Bundesministeriums für Inneres, Zahl: SI1300/0773-SIAK/05, werden sowohl für „nicht-ausgebildete“ wie auch für ausgebildete Organe (Strahlenspürer) der öffentlichen Sicherheitsexekutive Erstmaßnahmen und einsatztaktische Grundregeln vorgegeben. Diese Dienstvorschrift ist jedoch nicht Bestandteil des Lehrplans zur Grundausbildung 2012.

8.4 Folgerungen zur Hypothese 2

Die österreichischen Einsatzorganisationen, wie Feuerwehr, Rettungsdienst und Polizei, werden für ihre gesetzlich zugewiesenen Aufgaben ausreichend ausgebildet und trainiert. Die alltäglichen Einsätze werden von den Organisationen in professioneller Weise abgearbeitet. Für spezielle Einsätze, wie jene mit Beteiligung radioaktiver Substanzen, werden Fachkräfte innerhalb der Organisationen ausgebildet und trainiert. Diese treffen im Einsatzfall zeitverzögert am Notfallort ein, da sie nur an speziellen Stützpunkten überregional vorgehalten werden. Um erste lebensrettende Maßnahmen und eine rasche Gefahrenabwehr sicherstellen zu können, werden die Einsatzkräfte in ihrer Grundausbildung in den Grundlagen der radiologischen Gefahrenabwehr geschult. Durch eine umfassende Gefahrenerkennung und einfach strukturierte Erstmaßnahmen sollen das Eindämmen der Gefahr und die Rettung aus Lebensgefahr auch beim Vorliegen gefährlicher Noxen gewährleistet sein. STOLAR stellt fest (2012), dass derartige Einsätze jedoch sehr selten auftreten. Die Einsatzkräfte würden dann durch das fehlende laufende Training und das Hantieren unter Persönlicher Schutzausrüstung in eine Stresssituation verfallen und zu Fehlverhalten in ihrer Arbeitsweise neigen.

Am Beispiel des Evaluierungsberichtes der Einsatzübungen am 22. September 2012 in Ramingstein (Salzburg), am 15. Oktober 2014 in der Zivilschutzschule Lebring (Steiermark) und am 12. November 2014 am ABC- und Katastrophenhilfeübungsplatz Tritolwerk (Niederösterreich) konnte das fehlende Training für Einsätze mit Beteiligung radioaktiver Stoffe in der Arbeit der First Responder Einsatzkräfte nachgewiesen werden. Hierbei waren weniger Defizite in den standardisierten und trainierten Arbeitsabläufen zu erkennen, sondern Kommunikationsdefizite zwischen den Organisationen, ein unsicherer Umgang mit Kontamination am Notfallort und am Patienten, fehlendes Knowhow im Umgang mit Rettungsgeräten anderer befreundeter Organisationen und teilweise ein fehlendes Tragen der notwendigen Atemschutzausrüstung (Atemschutzmaske des Typs FFP3) der am Einsatzort tätigen Kräfte. (vgl. BM.I 2012a, BM.I 2014a und BM.I 2014b)

Da durch die Vielzahl der umfassenden Wissensvermittlung in der Basisausbildung der Einsatzkräfte eine tiefgreifende Unterrichtung der Gefahrenabwehr für radiologische Noxen nicht möglich ist, wäre ein Praxistraining im Rahmen von verschiedenen Fortbildungsveranstaltungen sinnvoll. STOLAR (2012) verweist in diesem Zusammenhang auf die Trainingseinheiten in realistischen Umfeldbedingungen (Live-Agent Training). Vereinfacht dargestellt könnte dies bedeuten, dass so wie die Feuerwehren ihre Einsatzbereitschaft mit Trainingssequenzen bei realem Feuer sicherstellen, wäre das Üben der Handlungsabläufe mit offenen und umschlossenen Strahlenquellen optimal.

Da für den First Responder Einsatz jedoch keine Messgeräte zur Verfügung stehen, würde ein derartiges Training für diese Zielgruppe keinerlei Vorteil bringen. Vielmehr wäre es mit zusätzlichem Risiko verbunden und widerspricht damit dem ALARA-Prinzip. Um eine Erfassung der Gefahrenlage zu verbessern und alle Fertigkeiten unter Persönlicher Schutzausrüstung perfektionieren zu können, wären neben einer tiefgreifenden Wissensvermittlung, bereits in der Grundausbildung, auch Simulationstrainings und Planübungen ein wertvoller Beitrag für ein Training der breiten Basis in der Feuerwehr, in den Rettungsdienstorganisationen und in der Bundespolizei. Durch Simulationsstoffe, Drilltrainings unter Persönlicher Schutzausrüstung, Darstellungsformen von realistischen Unfallszenarien und Verletzungs- bzw. Kontaminationsformen könnten auch lokale Einsatzorganisationen alleine oder gemeinsam derartige Einsätze üben und ihre gemeinsamen taktischen Abläufe in weiteren Fortbildungseinheiten perfektionieren und standardisieren.

Die Hypothese, dass Einsatzorganisationen durch ihre Ausbildung und die einsatztaktischen Vorgehensweisen bestmöglich auf Verkehrsunfälle mit radioaktiven Stoffen vorbereitet sind, kann somit nicht verifiziert werden. Aufgrund der fehlenden Einsatzerfahrung und einer nicht tiefgreifenden Grundausbildung für derartige Einsatzszenarien ist derzeit ein strukturiertes und organisationsübergreifendes Vorgehen bei Verkehrsunfällen mit der Beteiligung radioaktiver Stoffe nicht ausreichend gegeben. Für den Erwerb und Erhalt des Grundwissens und die Fähigkeit einer organisationsübergreifenden Zusammenarbeit im Bereich der First Responder scheint ein laufendes Training im Rahmen von Fortbildungsveranstaltungen notwendig und sinnvoll.

9 Perspektiven und Ausblick

Die vorliegende Arbeit analysiert die bestehenden Schutzmaßnahmen von Einsatzkräften bei Verkehrsunfällen mit Beteiligung radioaktiver Substanzen. Aufbauend auf einer Datenanalyse von auf österreichischen Straßen transportierten Radionukliden im Jahr 2015 und der Häufigkeit von Verkehrsunfällen mit Beteiligung radioaktiver Stoffe, wurden die Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte, im Speziellen der Österreichischen Feuerwehren, des Notarzt- und Rettungsdienstes des Österreichischen Roten Kreuzes und der Bundespolizei, erfasst und diskutiert.

Ein Anspruch auf Vollständigkeit darf in diesem Zusammenhang nicht gestellt werden. Durch zeitliche und umfangbegrenzende Vorgaben für das Verfassen einer Masterarbeit konnten nicht alle Analyseverfahren und deren Aufbereitung erfolgen.

9.1 Anregungen für eine weiterführende Bearbeitung des Themas

Die bestehende Arbeit wurde aus der Perspektive des Katastrophenmanagements verfasst und schließt eine wissenschaftliche tiefgreifende Betrachtung der Strahlenphysik und der Strahlenbiologie aus. Dies erfolgte mit dem Hintergrund, dass die erarbeiteten Inhalte Unterstützung und Anregung für Einsatzkräfte bieten sollen, um eine rasche und umfassende Lageerkundung unterstützen und strukturierte Hilfeleistungen anbieten zu können. Die Grundlagen der Strahlenphysik und Strahlenbiologie, die Aufbereitung von statistischen Daten, die szenarienbasierenden Berechnungsergebnisse der im Jahr 2015 transportierten radioaktiven Substanzen und die Darstellung der einsatztaktischen Grundlagen, der Persönlichen Schutzausrüstung und der Ausbildung sollen dazu beitragen, dass das Thema „Radioaktivität im Einsatz“ in den Einsatzorganisationen auch im Bereich der First Responder intensiviert wird. Es soll eine Anregung zu einer aktiveren Diskussion und eines umfassenderen organisationsübergreifenden Trainierens derartiger Szenarios sein.

Die Erhebung des Datenmaterials und hier vor allem jenem der transportierten Radionuklide mit einer konservativen Berechnung der Auswirkungen auf die Einsatzkräfte stellte den intensivsten Schritt für diese Arbeit dar. Das Datenmaterial aus dem Jahre 2015 ist ein guter Querschnitt der Häufigkeit und Aktivitätsgrößen der in Österreich in der Industrie, Medizin, Wissenschaft und Forschung verwendeten bzw. als Abfall entsorgten Radionuklide, die auf öffentlichen Straßen transportiert wurden. Um umfangreichere Berechnungen und damit speziellere Aussagen treffen zu können, wäre eine Erhebung der Daten über eine gesamte Dekade sinnvoll. Auch eine wissenschaftliche Berechnung aus den Disziplinen der Strahlenphysik und der Strahlenbiologie würden noch genauere Ergebnisse über die Strahlenintensität, Kontaminationsbelastung und Wirkung auf den menschlichen Körper (auch organbezogen) möglich machen. Interessant in diesem Zusammenhang wäre, die einzelnen Radionuklide separat einer

strahlenphysikalischen und strahlenmedizinischen Berechnung zu unterziehen und hiermit nuklidbezogene Aussagen treffen zu können.

Im Hinblick auf die Sicherheit der Durchführung von Transporten könnten Interviews mit den hierfür spezialisierten Transportunternehmen, den verantwortlichen Liefer- und Zielunternehmen, Fachexperten der Einsatzorganisationen bzw. Behörden einen tieferen Einblick in die Sicherheit und eventuelle Verbesserungsvorschläge liefern.

Das nationale Strahlenrecht und das Normenwesen, wie auch bestehende laufend aktualisierte Notfallpläne auf Bundes- und Landesebene, die konkrete Ablaufpläne enthalten, sind beispielhaft und praxisbezogen, da sie auf internationalen wissenschaftlichen Grundlagen basieren. Eine intensivere Einbindung der Einsatzkräfte würde das Verständnis für das behördliche Notfallmanagement verbessern. Eine schwerpunktorientierte Auseinandersetzung mit dem Strahlenschutz könnten strukturierte Basismaßnahmen bzw. standardisierte Prozesse im Einsatz optimieren und neue Erkenntnisse für die Aus- und Fortbildung innerhalb der Einsatzorganisationen liefern. Gerade im Bereich der Ausbildung würde im Hinblick auf die vorliegende Arbeit eine intensive Beleuchtung aller in Österreich agierenden Einsatzorganisationen von Interesse sein. Hier könnte die Betrachtung der Österreichischen Feuerwehren in den einzelnen Bundesländern und allen im Rettungsdienst tätigen Organisationen wertvolle Erkenntnisse liefern, wie die Vorgaben durch die gesamtstaatlichen Notfallpläne und die bundesweiten internen Unterrichtseinheiten zum Thema Strahlenunfall umgesetzt werden. Auch in der Aus- und Weiterbildung der Notärzte wäre ein Erfassen der Lehrinhalte zum Thema Gefahrgutunfall bzw. Gefahrgutunfall der Klasse 7 und der Vergleich der Kursanbieter im Hinblick auf diese Themen interessant.

Untersucht diese Arbeit vor allem die Erstmaßnahmen bei einem Unfallgeschehen, so trägt auch der klinische Bereich maßgeblich zur Genesung von verunfallten Personen bei. Im Zusammenhang mit radioaktiven Substanzen wären wissenschaftliche Untersuchungen zu den Versorgungskonzepten der österreichischen Spitäler bedeutsam. Gerade die Bereiche bauliche Vorkehrungen zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppung, Umgang mit Selbsteinweisern, Übergabemanagement mit dem Rettungsdienst, Persönliche Schutzausrüstung und Versorgungskonzepte für Patienten nach einem Unfall mit Gefahrgut aller Klassen würden wertvolle Einblicke liefern. Ebenso würden sie relevante Erkenntnisse für den gesamtstaatlichen Teilnotfallplan für radiologische Notstandssituationen „Medizinische Diagnostik und Therapie“ liefern. Auch eine Beleuchtung von regionalen Grundversorgungsspitälern und Schwerpunktkrankenhäusern zum Thema der baulichen Vorkehrungen, des Schnittstellenmanagements und Behandlungsmöglichkeiten wären nicht nur für die wissenschaftliche Betrachtung von Interesse, sondern könnten Entscheidungsträgern, Behörden und Einsatzorganisationen wertvolle Anregungen im kontinuierlichen Verbesserungsprozess für Unfallopfer von Gefahrguttransporten liefern.

Ziel einer weiteren Betrachtung des Themas Ausbildung und Einsatzvorbereitung von Einsatzkräften wäre es, Vorschläge und Perspektiven für eine einheitliche Basisschulung für First Responder Einheiten zu schaffen und im Hinblick auf die organisationseigenen gesetzlich vorgegebenen Aufgaben in der Gefahrenabwehr ein durchdachtes und standardisiertes Schnittstellenmanagement zu optimieren.

Obgleich nicht Ziel dieser Arbeit, ist die notwendige Kommunikation mit der Bevölkerung während und nach einem radiologischen Notfall in Folge eines Verkehrsunfalles von Gefahrgütern der Klasse 7 ein wichtiges Segment der Gefahrenabwehr und -bewältigung. Die IAEA (2012b: 25–32) ist der Ansicht, dass gerade bei direkt Betroffenen und der Bevölkerung im Nahebereich des Verkehrsunfalles Sorgen und Unsicherheiten vorherrschend sein werden. Mit den Fragen, wie hoch die Belastung sei, wer und viele Menschen exponiert oder kontaminiert, wurden welche gesundheitlichen Risiken durch den Unfall entstanden seien und in welchem Ausmaß die Umwelt geschädigt wurde, würden bereits jene Einsatzkräfte konfrontiert werden, die als erste am Einsatzort Hilfe leisten. Ebenso würden diese Fragen auch von den Medien gestellt werden und damit eine aktive Medienarbeit noch am Ort des Unglücks nötig machen.

9.2 Weitere Forschungsgebiete für kleinräumige radiologische Ereignisse

Der Begriff des Strahlenunfalles ist nicht gesetzlich geregelt und wird in der Literatur aufgrund der Selbsterklärung der Begrifflichkeit nicht einheitlich verwendet. Sperrige Formulierungen für die Erfassung der Bedeutung des Strahlenunfalles, wie etwa „unfallbedingte Einwirkung ionisierender Strahlung“, verkomplizieren jedoch die Darstellung und Lesbarkeit. Wie in den Begriffsbestimmungen dieser Masterarbeit festgelegt, bezieht sich der Strahlenunfall hier auf Verkehrsunfälle mit der Beteiligung radioaktiver Substanzen. (vgl. BMLFUW 2011b: 7f.)

Für die Einsatzorganisationen beschränken sich die Vorkehrungen für Strahlenunfälle nicht nur auf Verkehrsunfälle mit der Beteiligung radioaktiver Stoffe. Ausbildung, Einsatztaktik und materielle Vorkehrungen (zum Beispiel die Bereitstellung von Persönlicher Schutzausrüstung), sondern sie sind auch für weitere kleinräumige radiologische Ereignisse notwendig. Nachstehend darf hier eine Auswahl an möglichen kleinräumigen radiologischen Ereignissen aufgelistet werden, die ebenso eine wissenschaftliche Betrachtung ergänzend zu dieser Masterarbeit sinnvoll erscheinen lassen.

9.2.1 Unfälle auf der Schiene, im Luftverkehr und auf Binnengewässern

Radioaktive Substanzen können auch auf der Schiene, im Luftverkehr und auf Binnengewässern transportiert werden. Im Rahmen von Unfällen oder Bränden mit sehr hohen Temperaturen kann es hier zur Zerstörung der schützenden Ummantelung kommen. Ein Freiliegen der Quelle mit Abgabe von Strahlung bzw. eine Kontamination

der lokalen Umgebung wären nach SCHÖNHACKER (2009b: 14–27) die Folge. Insbesondere weil auch diese Unfälle einen hohen Seltenheitswert haben, müssen die Einsatzorganisationen auf diese Szenarien vorbereitet sein. Eine Erhebung der auf der Schiene, im Luftverkehr und auf Binnengewässern transportierten radioaktiven Substanzen und eine Einschätzung der Auswirkungen und der Wahrscheinlichkeit würden die Einsatzplanung unterstützen.

9.2.2 Unfälle mit einem Massenansturm von Verletzten, kontaminierten Personen und sonstigen Betroffenen

Unfälle mit einem Massenansturm von Verletzten sind für Einsatzorganisationen herausfordernd. Liegt zusätzlich eine Kontamination der Verletzten und betroffenen Personen in großer Anzahl vor, dann stoßen Einsatzkräfte gerade in der ersten Phase an ihre Grenzen. Eine zeitnahe und umfassende Lageerkundung, Triage der Verletzten (Einteilung nach Schweregrad der Verletzung) und einfache Dekontaminationsmaßnahmen sollen nach IMAGINATICS (2003: 23 und 40–42) ein Maximum an Versorgungsqualität für eine große Anzahl der Unfallopfer sicherstellen. Realitätsnahe Einsatzübungen sind selten und die einsatztaktischen Abläufe nicht umfangreich in die Grundausbildung integriert. Eine wissenschaftliche Betrachtung der strahlenmedizinischen Auswirkungen in Verbindung mit der bestehenden Literatur über die Einsatztaktik zu dieser Thematik würde das Lehrpersonal der Einsatzorganisationen in ihren Unterweisungen und Trainingsplanungen unterstützen.

9.2.3 Zwischenfälle in Anlagen, Labors und sonstigen Einrichtungen

Radioaktive Substanzen finden ihre Verwendung in Medizin und Technik. Der Umgang mit diesen Stoffen sowie der Betrieb von Anlagen, die ionisierende Strahlung erzeugen, führen zu Strahlenexposition. Gesetzliche Vorgaben, Arbeitsregelungen des Strahlenschutzes, Arbeitsplanung, Handlungsanweisungen und Überwachungsmessungen durch Fachpersonal sollen dazu beitragen, Zwischenfälle und Unfälle zu vermeiden. Damit die Auswirkungen von radiologischen Ereignissen so gering wie möglich gehalten werden, wird das Betriebspersonal durch geeignete Schulungsmaßnahmen auf derartige Zwischenfälle vorbereitet. (vgl. VOGT und SCHULTZ 2011: 291, 348)

Feuerwehren sind mit den Betreibern derartiger Anlagen zur Umsetzung des Brandschutzes und der Gefahrenabwehr im laufenden Dialog. Oft werden von den Einrichtungen Betriebsfeuerwehren vorgehalten. Für die ärztliche Kontrolle sind eigene Betriebsärzte und Arbeitsmediziner vorgesehen. Eine Verbindung zu den präklinischen Notfallmedizinischen Versorgungsdiensten besteht aus eigenen Erfahrungen kaum.

Eine wissenschaftliche Analyse des Schnittstellenmanagements zwischen Anlagenbetreibern und Einsatzorganisationen wäre in diesem Zusammenhang ebenfalls von großem Interesse.

9.2.4 Sicherheitspolizeiliche Einsätze

Als sicherheitspolizeiliche Einsätze sind im Sinne des Strahlenschutzrechtes jene Einsätze zu verstehen, die das Einschreiten der Sicherheitsbehörden im Zusammenhang mit radiologischen Auswirkungen für Leib und Leben sowie der Umwelt notwendig machen. Beispielhaft sind Funde von radioaktiven Gegenständen oder Strahlenquellen, Verlust oder Diebstahl von Strahlenquellen und Ereignisse mit kriminellem oder terroristischem Hintergrund. (vgl. SCHÖNHACKER 2009b: 45–64)

Szenarien aus dem sicherheitspolizeilichen Bereich sind für die zivilen Einsatzkräfte der Feuerwehr und des Rettungsdienstes herausfordernd. Neben dem Umgang mit eventuell bestehender ionisierender Strahlung oder radioaktiver Kontamination sind gerade bei kriminellen Handlungen nicht alltägliche polizeitaktische Vorgehensweisen zu beachten. Die zivilen Einsatzorganisationen haben sich hier in polizeiliche Abläufe einzugliedern, ohne die Erhebungsarbeiten zu behindern. Gerade dieses Schnittstellenmanagement mit dem Hintergrund der möglichen Gefahren durch ionisierende Strahlung und radioaktiver Kontamination sowohl für die Einsatzkräfte selbst als auch für die Bevölkerung und die Umwelt wären es Wert, einer wissenschaftlichen Betrachtung zugeführt zu werden.

9.3 Abschließende Perspektiven

„Diskussionen über den Transport radioaktiver Stoffe zeigen immer wieder, dass über die Sicherheit bei der Beförderung dieser Stoffe vielfach Unwissenheit herrscht.“ (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2013: 3).

Die Unsicherheit beschränkt sich nicht nur auf den Transport von Gefahrgut der Klasse 7, sondern ist grundsätzlich mit dem Thema der ionisierenden Strahlung und möglichen groß- und kleinräumigen radiologischen Notstandssituationen und Ereignissen verbunden. Gerade bei den Einsatzorganisationen sollen diese Unsicherheiten durch eine fundierte Ausbildung und ein realitätsnahes Einsatztraining minimiert werden. Behörden, Fachexperten aus der Strahlenphysik und der Strahlenbiologie, Betreiber von Anlagen, Transporteure und die Einsatzorganisationen selbst können durch intensive Vernetzung des Wissens, Erarbeitung von einsatztaktischen Vorgehensweisen und Ausrichtung von Übungen bereits im Vorfeld gemeinsame umfassende Notfallmanagementstrategien für derartige selten auftretende Unglücksfälle festlegen.

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Der Strahlenschutz möge somit auch in Zukunft das Werkzeug sein, ionisierende Strahlung sinnvoll einzusetzen und schwerwiegende Folgen durch Unfälle zu vermeiden.

10 Literaturverzeichnis

- ADR (Accord europeen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route) (2017): Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße vom 30. September 1957. – Genf. (in der Fassung vom 01.01.2017).
- BM.I (Bundesministerium für Inneres) (Hrsg.) (o.J.): Polizeiuniformvorschrift. Anhang I – Ausstattungsumfang. – Wien. (nicht öffentlich zugänglich).
- BM.I (Bundesministerium für Inneres) (Hrsg.) (2005): Richtlinie für die Organisation, Aus- und Fortbildung sowie den Einsatz der Strahlenspürer des öffentlichen Sicherheitsdienstes (Strahlenschutz-Dienstvorschrift). SI1300/0773-SIAK/05. – Wien. (nicht öffentlich zugänglich).
- BM.I (Bundesministerium für Inneres) (Hrsg.) (2010): Staatliches Krisen- und Katastrophenschutzmanagement. Rechtliche und organisatorische Grundlagen. – Wien.
- BM.I (Bundesministerium für Inneres), Sicherheitsakademie, Zivilschutzschule (Hrsg.) (2012a): Strahlenschutzübung Ramingstein, 22.9.2012 – Evaluierungsbeitrag. – Traiskirchen. (nicht öffentlich zugänglich).
- BM.I (Bundesministerium für Inneres), Sicherheitsakademie (Hrsg.) (2012b): Lehrplan zur Grundausbildung. – Wien.
- BM.I (Bundesministerium für Inneres), Sicherheitsakademie, Zivilschutzschule (Hrsg.) (2014a): NÖ Landes-Katastrophenschutzübung 2014, Evaluierungsbericht. – Traiskirchen. (nicht öffentlich zugänglich).
- BM.I (Bundesministerium für Inneres), Sicherheitsakademie, Zivilschutzschule (Hrsg.) (2014b): Radiologische Notfallübung "STYREX 2014". – Traiskirchen. (nicht öffentlich zugänglich).
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.) (2011a): Gesamtstaatlicher Interventionsplan für radiologische Notstandssituationen. Zwischenfälle mit gefährlichen Strahlenquellen. – Wien.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.) (2011b): Gesamtstaatlicher Interventionsplan für radiologische Notstandssituationen. Notfallplan Medizinische Diagnostik und Therapie. – Wien.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.) (2017): Aktuelle Messwerte aus dem

Strahlenfrühwarnsystem; https://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/strahlenatom/strahlen-warn-system/messwerte_aktuell.html (13. 04 2017).

- BRANDL A. (2016a): Die Transformation wissenschaftlicher Strahlenschutzempfehlungen in exekutierbare gesetzliche Strahlenschutzvorgaben. In: Strahlenschutz aktuell 50 (2), 7–20.
- BRANDL A. (2016b): Strahlenschutz und Strahlenschutzgesetzgebung oder: Wie übersetzen wir wissenschaftliche Erkenntnisse in exekutierbare Gesetze. Österreich in einer nuklearen Welt: Schriftenreihe der ABC-Abwehrschule 5, 257–270.
- BRECKOW J. (2015): Dosis – Schadensmass – Grenzwertsetzung. Strahlen I Schutz I Gesundheit. Publikumsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ. 8. Gemeinsame Tagung des ÖVS, FS-e.V für Deutschland und die Schweiz unter Mitwirkung von: Österreichischer Gesellschaft für Medizinische Physik ÖGMP, Verband für Medizinischen Strahlenschutz in Österreich VMSÖ. 47. Jahrestagung des FS. Baden bei Wien, Oktober 5-9, 2005. – Köln.
- BRENNER G. (2017): Kraftakt in der Ausbildung. – In: Öffentliche Sicherheit. Das Magazin des Innenministeriums 03/04 2017, 72–75.
- Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2003): BGBl. II Nr. 420/2003. Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über die Ausbildung zum Sanitäter (Sanitäter-Ausbildungsverordnung – San-AV).
- Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2007): BGBl. II Nr. 145/2007. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Interventionen bei radiologischen Notstandssituationen und bei dauerhaften Strahlenexpositionen: (Interventionsverordnung – IntV).
- Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2008): BGBl. I Nr. 33/2008. Bundesgesetz über die Anerkennung des Österreichischen Roten Kreuzes und den Schutz des Zeichens des Roten Kreuzes (Rotkreuzgesetz – RKG).
- Bundesgesetzblatt der Republik Österreich (2013): BGBl. I Nr. 145/1998. Bundesgesetzblatt über die Beförderung gefährlicher Güter: (Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBG). (in der Fassung BGBl. I Nr. 91/2013).
- Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2014): BGBl. II Nr. 77/2014. Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über den Schutz der Arbeitnehmer/innen durch persönliche Schutzausrüstung: (Verordnung Persönliche Schutzausrüstung – PSA-V).

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2015a): BGBl. Nr. 227/1969. Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft vor Schäden ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrSchG). (in der Fassung BGBl. I Nr. 133/2015).

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2015b): BGBl. II Nr. 191/2006. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie, der Bundesministerin für Bildung, Wissenschaft und Kultur sowie der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über allgemeine Maßnahmen zum Schutz von Personen vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Allgemeine Strahlenschutzverordnung – AllgStrSchV). (in der Fassung BGBl. II Nr. 22/2015).

Bundesgesetzblatt der Republik Österreich (2016a): BGBl. Nr. 450/1994 idF. BGBl. Nr. 457/1995. Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – ASchG). (in der Fassung BGBl. I Nr. 72/2016).

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2016b): BGBl. Nr. 596/1994. Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über das Inverkehrbringen und Ausstellen von persönlichen Schutzausrüstungen und über die grundlegenden Sicherheitsanforderungen an persönliche Schutzausrüstungen (PSA-Sicherheitsverordnung, PSASV). (in der Fassung BGBl. I Nr. 96/2016).

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2016c): BGBl. I Nr. 30/2002. Bundesgesetz über Ausbildung, Tätigkeiten und Beruf der Sanitäter (Sanitätärgesetz – SanG). (in der Fassung BGBl. I Nr. 72/2016).

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2016d): BGBl. Nr. 566/1991. Bundesgesetz über die Organisation der Sicherheitsverwaltung und die Ausübung der Sicherheitspolizei : (Sicherheitspolizeigesetz – SPG). (in der Fassung BGBl. I Nr. 61/2016).

Bundesgesetzblatt der Republik Österreich (2017a): BGBl. Nr. 189/1955 idF. BGBl. Nr. 18/1956. Bundesgesetz vom 9. September 1955 über die Allgemeine Sozialversicherung (Allgemeines Sozialversicherungsgesetz – ASVG.). (in der Fassung BGBl. I Nr. 53/2017).

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (2017b): BGBl. I Nr. 169/1998. Bundesgesetz über die Ausübung des ärztlichen Berufes und die

Standesvertretung der Ärzte (Ärztegesetz 1998 – ÄrzteG 1998). (in der Fassung BGBl. I Nr. 26/2017).

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2013): Die Beförderung radioaktiver Stoffe. – Bonn.

BURKOWSKI M., HALMICH M., HELLWAGNER K. und KOPPENSTEINER S. (2016): Organisationsrecht und Berufsrecht im Spannungsfeld. Rechtliche Aspekte des Zusammenspiels Bundes- und Landeskompentenzen am Beispiel des österr. Rettungswesens. – In: Recht der Medizin (RdM) 4/2016, 139–143.

CALDER A. und BLAND S. (2015). Chemical, biological, radiological and nuclear considerations in a major incident. In: Surgery – Oxford International Edition 33 (9), 442–448.

DAtF (Deutsches Atomforum e.V.) (Hrsg.) (2014): Der Transport radioaktiver Stoffe. – Berlin.

DENSOW D. und SCHRAMM R. (2007): Radiologische Schadenslagen. Präklinische Versorgung. – In: Notfall + Rettungsmedizin 8/2007, 561–568.

EBNER S., MAYER G. und HYE R. (2013): Gefahrguttransporte. Security Leitfaden „Vorschriften für die Sicherheit“ der Wirtschaftskammer Österreich, Bundessparte Transport und Verkehr. – Wien.

EU (Europäische Union) (2013): RL 2013/59/EURATOM. Richtlinie des Rates der Europäischen Union zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom vom 25. November 2013. – Brüssel.

Fachverband für Strahlenschutz e.V. (Hrsg.) (2015): Empfehlung für die Unterweisung von Fahrzeugführern und Beifahrern, die Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe auf der Strasse ausführen. Publikumsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ. Arbeitskreis „Beförderung“ (AKB). 4. Ausgabe 2015. FS-99-109.1-AKB. – o.O.

FISCHER M., KEHRBERGER E., MARUNG H., MOECKE H., PRÜNER S., TRETZSCH H. und URBAN B. (2016): Eckpunktepapier 2016 zur notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung in der Prähospitalphase und in der Klinik. – In: Notfall + Rettungsmedizin 5/2016, 387–395.

FKS (Feuerwehr Koordination Schweiz) (Hrsg.) (2014): Handbuch für ABC Einsätze. – Bern.

- GERINGER T. (2011): Skriptum Strahlenschutz – Leistungsbewerb „Bronze“. Version 1.6. – Seibersdorf.
- GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2016): Fukushima Daiichi 11. März 2011. Unfallablauf – Radiologische Folgen. – Köln.
- GRUPEN C., STROH T. und WERTHENBACH U. (2014): Grundkurs Strahlenschutz, Praxiswissen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen. – Berlin und Heidelberg.
- HARVEY M. (2009): Radiological Consequences Resulting from Accidents and Incidents Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK – 2008 Review. – London.
- HARVEY M. (2010): Radiological Consequences Resulting from Accidents and Incidents Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK – 2009 Review. – London.
- HARVEY M. und HUGHES J. (2008): Radiological Consequences Resulting from Accidents and Incidents Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK – 2007 Review. – London.
- HARVEY M. und JONES A. (2011): Radiological Consequences Resulting from Accidents and Incidents Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK – 2010 Review. – London.
- HARVEY M. und JONES A. (2012): Radiological Consequences Resulting from Accidents and Incidents Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK – 2011 Review. – London.
- HERMANN T., BAUMANN M. und DÖRR W. (2006): Klinische Strahlenbiologie – kurz und bündig. – München.
- HESKETH N., WATSON S., JONES A. und HUGHES J. (2007): Radiological Consequences Resulting from Accidents and Incidents Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK – 2005 Review. – London.
- HOFER P. (2017): E-Mail Auskunft vom 23.02.2017.
- HU S. (2016): Linking doses with clinical scores of hematopoietic acute radiation syndrom. – In: Health Physics 111 (4), 337–347.
- HUG T. und POSCHESCHNIK G. (2010): Empirisch Forschen. Die Planung und Umsetzung von Projekten im Studium. – Wien.
- HUGHES J. und HARVEY M. (2007): Radiological Consequences Resulting from Accidents and Incidents Involving the Transport of Radioactive Materials in the UK – 2006 Review. – London.

- HUMMEL D. und LUCIAN I. (2017): Near-field investigation of the explosive dispersal of radioactive material based on a reconstructed spherical blast-wave flow. In: Journal of Environmental Radioactivity 172, 30–42.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (Hrsg.) (2002). Planning and Preparing for Emergency Response to transport accidents involving radioactive Material. – Wien.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (Hrsg.) (2006): Manual for First Responders to a Radiological Emergency. – Wien.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (Hrsg.) (2012a): Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material 2012 Edition – Specific Safety Requirements No. SSR-6. – Wien.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (Hrsg.) (2012b): Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency. – Wien.
- ICRP (The International Commission on Radiological Protection) (Hrsg.) (2007): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; 103. – Stockholm.
- IMAGINATICS Publishing (Hrsg.) (2003): Chemical/Nuclear Terrorism: A Guide for First Responders. 2nd EDITION. – Springfield.
- JACHS S. (2011): Einführung in das Katastrophenmanagement. – Hamburg.
- JONES A. und CABIANCA T. (2017): Survey into Radiological Impact of the Normal Transport of Radioactive Material in the UK by Road and Rail. – London.
- KEPLINGER R. und PÜHRINGER L. (2014). Sicherheitspolizeigesetz - Polizeiausgabe. 15. Auflage. – o.O.
- KIRCHNAWY F. (2017): telefonische Auskunft vom 13.03.2017.
- KOELZER W. (2015): Lexikon der Kernenergie 2015. – Köln.
- MOTZKUS K., HÄUSLER H.& DOLLAN, U. (2012). Wissenswertes über Hochradioaktive Strahlenquellen. – Salzgitter.
- NÖLFV (Niederösterreichischer Landesfeuerwehrverband) (Hrsg.) (2017): Dienstanzweisung. Dienstkleidung und Dienstgrade für Freiwillige Feuerwehren und Betriebsfeuerwehren; 3.6.2 (1) – Tulln.
- NÜSSLER H. D. (2013): Gefahrgut-Ersteinsatz. Handbuch für Gefahrgut-Transport-Unfälle mit „MET-Modell für Effekte mit toxischen Gasen“. – Hamburg.

- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2003): ÖNORM S 5207:2003. Strahlenschutz Ausbildung für Interventionspersonal bei radiologischen Notstandssituationen. – Wien.
- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2005): ÖNORM S 5224:2005. Nuklearmedizinische Betriebe. Regeln für die Errichtung und Ausstattung. – Wien.
- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2007): ÖNORM ISO 21482:2007. Warnzeichen vor ionisierender Strahlung. Ergänzendes Warnzeichen. – Wien.
- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2011): ÖNORM S 2304:2011. Integriertes Katastrophenmanagement. Benennungen und Definitionen. – Wien.
- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2012): ÖNORM A 6601:2012. Strahlenschutz. Benennungen und Definitionen für ionisierende Strahlung. – Wien.
- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2013): ÖNORM D 2305:2013. Dekontamination von Personen nach CBRN-Ereignissen. Anforderungen an die Sofort-Dekontamination. – Wien.
- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2015): ÖNORM EN ISO 2919:2015. Strahlenschutz. Umschlossene radioaktive Stoffe. Allgemeine Anforderungen und Klassifikation. – Wien.
- ON (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.) (2016): ÖNORM S 5275-1:2016. Nuklearmedizinische Therapie — Entlassungskriterien. Teil 1: Berechnungsmethode unter Anwendung standardisierter Bedingungen. – Wien.
- ÖBFV (Österreichischer Bundesfeuerwehrverband) (Hrsg.) (2002): Richtlinie Strahlenschutz Ausbildung bei den österreichischen Feuerwehren. ÖBFV-RL E-15. – Wien (nicht öffentlich zugänglich).
- ÖBFV (Österreichischer Bundesfeuerwehrverband) (Hrsg.) (2011): Handbuch für die Grundausbildung der Freiwilligen Feuerwehren. – Wien.
- ÖBFV (Österreichischer Bundesfeuerwehrverband) (Hrsg.) (2012): ÖBFV Gefahrgut Blattler. – Wien.
- ÖBFV (Österreichischer Bundesfeuerwehrverband) (Hrsg.) (2017): FEUERWEHR.AT – Das offizielle Magazin des Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes. Feuerwehr in Österreich 2016 4/2017, 10-11.

- ÖRK (Österreichisches Rotes Kreuz) (Hrsg.) (2006): Bekleidungs Vorschrift des Österreichischen Roten Kreuzes. – Wien.
- ÖRK (Österreichisches Rotes Kreuz) (Hrsg.) (2016a): 2015 – Unsere Hilfe in Zahlen. Bilanz der Menschlichkeit. – Wien.
- ÖRK (Österreichisches Rotes Kreuz) (Hrsg.) (2016b): Sanitätshilfe Ausbildung. – Wien.
- REACTS/TS (Radiation Emergency Assistance Center/ Training Site) (Hrsg.) (2017): Medical Aspects of Radiation Incidents 4. – Oak Ridge.
- ROJAS-PALMA C., LOLAND A., JERSTAD A. N. ETHERINGTON G., DEL ROSARIO PEREZ M., RAHOLA T. und SMITH K. (2009): TMT Handbook. Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act. – Oosteras.
- RÜEGG W. (2009): Wie gefährlich sind radioaktive Strahlen? – In: Bulletin. Fachzeitschrift und Verbandsinformation von electrosuisse und VSE (5), 15–19.
- SCHÖNHACKER S. (2009a): Strahlenschutz 2. Aufbauausbildung 1 für Strahlenspürer/-innen. – Wien.
- SCHÖNHACKER S. (2009b): Kleinräumige Ereignisse. Szenarien. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Projektleitung Abteilung V/7. – Wien (nicht öffentlich zugänglich).
- Statistik Austria (Hrsg.) (2010): Standard-Dokumentation Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zur Statistik der Straßenverkehrsunfälle. – Wien.
- Statistik Austria (Hrsg.) (2016a): Straßenverkehrsunfälle 1989 bis (1998 bis 2003 revidierte Daten) 2015. Unfälle beim Transport gefährlicher Güter; https://www.statistik.at/web_de/intern/Redirect/index.html?dDocName=003162 (27.12.2016).
- Statistik Austria (Hrsg.) (2016b): Unfallgeschehen 1992 bis 2015 nach Bundesländern; https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/gesundheits/unfaelle/strassenverkehrs-unfaelle/index.html (27.12.2016).
- STOLAR A. (2012): Live CBRN agent training for responders as a key role in a safe crisis recovery. – In: NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics. Correlation between Human Factors and the Prevention of Disaster 94, 58–66.

VOGEL N. (2016): E-Mail Auskunft vom 27.12.2016.

VOGEL N. (2017): E-Mail Auskunft vom 18.04.2017.

VOGT H. G. und SCHULTZ H. (2011): Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes.
– München.

VOLKMER M. (2012): Kernenergie im Dialog, Radioaktivität und Strahlenschutz. –
Berlin.

ZIEGLER A. (2016): Development of a national emergency plan for medical diagnostic
and therapy of deterministic effects after radiation accidents. – In: Radiation
Protection Dosimetry 171 (1), 121–123.

11 Anhänge

Anhang 1: Abbildung der Masseinheiten (Quelle: FKS 2014: 6.1, 6002):

p	Pico	=	10^{-12}	=	0,000 000 000 001	=	Billionstel
n	Nano	=	10^{-9}	=	0,000 000 001	=	Milliardenstel
μ (u)	Mikro	=	10^{-6}	=	0,000 001	=	Millionstel
m	Milli	=	10^{-3}	=	0,001	=	Tausendstel
c	Zenti	=	10^{-2}	=	0,01	=	Hundertstel
d	Dezi	=	10^{-1}	=	0,1	=	Zehntel
D	Deka	=	10^1	=	10	=	Zehn
h	Hekto	=	10^2	=	100	=	Hundert
k	Kilo	=	10^3	=	1'000	=	Tausend
M	Mega	=	10^6	=	1'000'000	=	Million
G	Giga	=	10^9	=	1'000'000'000	=	Milliarde
T	Tera	=	10^{12}	=	1'000'000'000'000	=	Billion

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Anhang 2: Effektive Dosiswerte bei unversehrten Versandstücken des Typs A und B bei verschiedenen Entfernungen und verschiedenen Aufenthaltszeiten. Berechnungsergebnisse in tabellarischer Form (Datengrundlage: ADR 2017: 5.1.5.3.4; eigene Darstellung):

Abstände und Aufenthaltsdauer		Kategorie		
		I Weiß	II Gelb	III Gelb
Effektive Dosis (μSv) im Abstand von 1m zur Quelle	Aufenthaltsdauer von 0,5h	-	5,00	50,00
	Aufenthaltsdauer von 1h	-	10,00	100,00
	Aufenthaltsdauer von 2h	-	20,00	200,00
Effektive Dosis (μSv) im Abstand von 5m zur Quelle	Aufenthaltsdauer von 0,5h	-	0,20	2,00
	Aufenthaltsdauer von 1h	-	0,40	4,00
	Aufenthaltsdauer von 2h	-	0,80	8,00
Effektive Dosis (μSv) im Abstand von 10m zur Quelle	Aufenthaltsdauer von 0,5h	-	0,05	0,50
	Aufenthaltsdauer von 1h	-	0,10	1,00
	Aufenthaltsdauer von 2h	-	0,20	2,00
Effektive Dosis (μSv) im Abstand von 50m zur Quelle	Aufenthaltsdauer von 0,5h	-	0,0020	0,02
	Aufenthaltsdauer von 1h	-	0,0040	0,04
	Aufenthaltsdauer von 2h	-	0,0080	0,08

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Anhang 3: Effektive Dosiswerte bei direktem durchgehenden Kontakt zu Versandstücken des Typs A und B. Berechnungsergebnisse in tabellarischer Form (Datengrundlage: ADR 2017: 5.1.5.3.4; eigene Darstellung):

Zeitdauer des Kontaktes	Kategorie I Weiß	Kategorie II Gelb	Kategorie III Gelb	Kategorie III Gelb ausschließlicher Verwendung
Durchgehender Kontakt in der Dauer von 0,5h	2,5 μSv	25 μSv	1000 μSv	5000 μSv
Durchgehender Kontakt in der Dauer von 1h	5 μSv	500 μSv	2000 μSv	10000 μSv
Durchgehender Kontakt in der Dauer von 2h	10 μSv	1000 μSv	4000 μSv	20000 μSv

Anhang 4: E-Mail Schriftverkehr mit Herrn Norbert Vogel von der Statistik Austria:

Von: VOGEL Norbert [mailto:Norbert.Vogel@statistik.gv.at]
Gesendet: Dienstag, 18. April 2017 13:22
An: Gassner Markus (IVW4)
Cc: DIETL Eva; PFEILER Eveline
Betreff: AW: Unfälle mit Gefahrgut

Sehr geehrter Herr Gassner,

welche Schadstoffklasse bei einem Unfall mit Gefahrguttransport befördert wurde, wird leider nicht erhoben.

Für etwaige Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung und verbleiben |

mit freundlichen Grüßen
Norbert Vogel

BUNDESANSTALT STATISTIK ÖSTERREICH
Direktion Raumwirtschaft
Straßenverkehrssicherheit
Guglgasse 13
1110 Wien

Telefon: +43 (1) 711 28 – 7552
Fax: +43 (1) 711 28 – 7323

<mailto:norbert.vogel@statistik.gv.at>
<http://www.statistik.at/>

Weitere Informationen zur Statistik der Straßenverkehrsunfälle:

[Straßenverkehrsunfälle](#)

© STATISTIK AUSTRIA

Alle Rechte sind der Bundesanstalt Statistik Österreich vorbehalten. Eine Weiterverwendung ist bei Quellenangabe und korrekter Wiedergabe gestattet.

Von: VOGEL Norbert [mailto:Norbert.Vogel@statistik.gv.at]
Gesendet: Dienstag, 27. Dezember 2016 14:47
An: Gassner Markus (IVW4)
Cc: DIETL Eva; PFEILER Eveline; INFO
Betreff: Unfälle mit Gefahrgut

Sehr geehrter Herr Gassner,

im Anhang übermitteln wir Ihnen eine Auswertung (Zeitreihe) über Unfälle beim Transport gefährlicher Güter.

Für etwaige Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung und verbleiben

mit freundlichen Grüßen
Norbert Vogel

BUNDESANSTALT STATISTIK ÖSTERREICH
Direktion Raumwirtschaft
Straßenverkehrssicherheit
Guglgasse 13
1110 Wien

Telefon: +43 (1) 711 28 – 7552
Fax: +43 (1) 711 28 – 7323

<mailto:norbert.vogel@statistik.gv.at>
<http://www.statistik.at/>

Weitere Informationen zur Statistik der Straßenverkehrsunfälle:

[Straßenverkehrsunfälle](#)

© STATISTIK AUSTRIA

Alle Rechte sind der Bundesanstalt Statistik Österreich vorbehalten. Eine Weiterverwendung ist bei Quellenangabe und korrekter Wiedergabe gestattet.

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Anhang 5: Statistische Auswertung der Unfälle mit Gefahrgut in Österreich im Zeitraum 1989 bis 2015 (Quelle: Statistik Austria 2016a: https://www.statistik.at/web_de/intern/Redirect/index.html?dDocName=003162 (27. Dezember 2016, 14:47 Uhr)):

Straßenverkehrsunfälle 1989 bis (1998 bis 2003 revidierte Daten) 2015			
Unfälle beim Transport gefährlicher Güter			
Jahr	Unfälle beim Transport gefährlicher Güter insgesamt	davon mit	
		Sachschaden	Personenschaden
1989	22	6	16
1990	23	13	10
1991	35	20	15
1992	33	21	12
1993	37	25	12
1994	23	11	12
1995	16	4	12
1996	9	3	6
1997	18	6	12
1998	17	6	11
1999	42	19	23
2000	31	12	19
2001	17	8	9
2002	30	18	12
2003	28	13	15
2004	18	10	8
2005	25	14	11
2006	27	13	14
2007	27	14	13
2008	21	11	10
2009	26	13	13
2010	-	.	.
2011	-	.	.
2012	20	.	20
2013	14	.	14
2014	19	.	19
2015	21	.	21
Insgesamt	599	260	339

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Anhang 6: Statistische Auswertung der Unfallgeschehen 1992 bis 2015 nach Bundesländer (Quelle: Statistik Austria 2016b: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/gesundheit/unfaelle/strassenverkehrsunfaelle/index.html am (27. Dezember 2016, 15:05 Uhr)):

Unfallgeschehen 1992 bis 2015 nach Bundesländern

Jahr		Bundesland								Österreich	
		Burgenland	Kärnten	Niederöster.	Oberöster.	Salzburg	Steiermark	Tirol	Vorarlberg		Wien
1992	Unfälle	1.233	3.475	8.376	9.042	2.960	7.667	3.841	1.710	6.426	44.730
	Verletzte	1.670	4.396	11.158	11.598	3.831	9.643	4.947	2.102	8.128	57.473
	Getötete ¹⁾	81	110	401	245	102	248	93	47	76	1.403
1993	Unfälle	1.161	3.143	7.943	8.504	2.589	7.632	3.411	1.604	5.804	41.791
	Verletzte	1.561	4.019	10.716	11.036	3.299	9.566	4.531	1.989	7.270	53.987
	Getötete ¹⁾	63	96	384	249	102	195	75	36	83	1.283
1994	Unfälle	1.045	3.038	8.071	8.826	2.719	7.541	3.547	1.628	5.600	42.015
	Verletzte	1.380	3.782	10.741	11.430	3.353	9.458	4.537	1.996	7.141	53.818
	Getötete ¹⁾	60	102	399	228	119	212	122	34	62	1.338
1995	Unfälle	1.024	2.679	7.458	8.196	2.411	7.233	3.209	1.481	5.265	38.956
	Verletzte	1.402	3.434	10.022	10.879	3.105	9.215	4.226	1.770	6.711	50.764
	Getötete ¹⁾	72	88	322	238	96	195	110	34	55	1.210
1996	Unfälle	901	2.751	7.292	8.077	2.638	6.894	3.215	1.491	4.994	38.253
	Verletzte	1.174	3.541	9.762	10.671	3.459	8.784	4.127	1.848	6.307	49.673
	Getötete ¹⁾	53	93	294	201	66	162	98	22	38	1.027
1997	Unfälle	982	2.792	7.404	8.665	2.711	7.114	3.632	1.513	4.882	39.695
	Verletzte	1.316	3.530	9.830	11.548	3.544	8.949	4.762	1.874	6.238	51.591
	Getötete ¹⁾	47	78	318	208	77	194	92	35	56	1.105
1998	Unfälle	903	2.934	7.184	8.125	2.780	7.278	3.861	1.560	4.600	39.225
	Verletzte	1.213	3.769	9.498	10.796	3.585	9.228	5.097	1.959	5.932	51.077
	Getötete ¹⁾	39	78	286	194	73	164	71	19	39	963
1999	Unfälle	987	3.042	7.617	9.308	2.809	7.658	4.444	1.589	4.894	42.348
	Verletzte	1.360	3.910	10.105	12.320	3.619	9.638	5.824	1.957	6.234	54.967
	Getötete ¹⁾	42	75	278	208	100	198	83	35	60	1.079
2000	Unfälle	964	3.263	7.488	9.201	2.830	7.397	4.359	1.699	4.925	42.126
	Verletzte	1.248	4.146	10.001	12.268	3.652	9.506	5.733	2.105	6.270	54.929
	Getötete ¹⁾	49	69	299	162	59	161	104	39	34	976

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Jahr		Bundesland									Öster- reich
		Burgen- land	Kärn- ten	Nieder- öster.	Ober- öster.	Salz- burg	Steier- mark	Tirol	Vorarl- berg	Wien	
2001	Unfälle	952	3.242	7.729	9.422	3.028	7.428	4.572	1.683	5.017	43.073
	Verletzte	1.264	4.122	10.263	12.561	3.937	9.583	6.021	2.132	6.382	56.265
	Getötete ¹⁾	52	62	261	167	66	161	115	33	41	958
2002	Unfälle	994	3.283	7.787	9.076	2.903	7.557	4.455	1.838	5.282	43.175
	Verletzte	1.385	4.184	10.342	12.300	3.836	9.719	5.870	2.336	6.712	56.684
	Getötete ¹⁾	37	83	261	176	58	163	100	33	45	956
2003	Unfälle	982	3.344	7.641	9.240	3.048	7.552	4.467	1.788	5.364	43.426
	Verletzte	1.336	4.271	10.213	12.450	3.925	9.714	5.898	2.255	6.819	56.881
	Getötete ¹⁾	52	59	277	174	60	183	64	17	45	931
2004	Unfälle	897	3.070	7.483	9.104	3.067	7.305	4.329	1.840	5.562	42.657
	Verletzte	1.171	4.001	9.879	12.321	3.994	9.426	5.788	2.294	6.983	55.857
	Getötete ¹⁾	34	65	269	153	81	138	64	31	43	878
2005	Unfälle	874	2.866	6.940	8.829	2.842	7.018	4.128	1.701	5.698	40.896
	Verletzte	1.144	3.704	9.223	11.896	3.665	9.056	5.320	2.106	7.120	53.234
	Getötete ¹⁾	36	45	223	167	58	123	57	25	34	768
2006	Unfälle	830	3.008	6.814	8.185	2.958	6.822	4.139	1.800	5.328	39.884
	Verletzte	1.096	3.838	9.052	10.998	3.810	8.675	5.540	2.197	6.724	51.930
	Getötete ¹⁾	21	67	222	139	51	112	59	26	33	730
2007	Unfälle	820	3.214	7.323	8.496	3.281	6.935	4.019	1.824	5.184	41.096
	Verletzte	1.143	4.011	9.490	11.327	4.190	8.893	5.296	2.293	6.568	53.211
	Getötete ¹⁾	33	58	192	147	46	115	49	16	35	691
2008	Unfälle	807	3.135	6.982	8.326	3.057	6.395	3.898	1.721	4.852	39.173
	Verletzte	1.062	3.894	9.138	11.003	3.961	8.210	5.033	2.119	6.101	50.521
	Getötete ¹⁾	29	56	174	139	47	109	71	27	27	679
2009	Unfälle	870	3.028	6.609	7.792	2.975	6.400	3.785	1.789	4.677	37.925
	Verletzte	1.085	3.862	8.776	10.342	3.816	8.185	4.968	2.174	5.950	49.158
	Getötete ¹⁾	24	40	189	122	62	91	44	29	32	633
2010	Unfälle	851	2.806	6.299	6.808	2.844	6.052	3.543	1.696	4.449	35.348
	Verletzte	1.119	3.588	8.279	9.114	3.549	7.788	4.649	2.060	5.712	45.858
	Getötete ¹⁾	20	42	163	117	41	79	39	22	29	552

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Jahr		Bundesland									Öster- reich
		Burgen- land	Kärn- ten	Nieder- öster.	Ober- öster.	Salz- burg	Steier- mark	Tirol	Vorarl- berg	Wien	
2011	Unfälle	894	2.813	6.465	6.374	2.839	5.626	3.823	1.781	4.514	35.129
	Verletzte	1.178	3.554	8.404	8.416	3.525	7.219	4.884	2.177	5.668	45.025
	Getötete ¹⁾	21	32	159	103	45	72	44	25	22	523
2012 ²⁾	Unfälle	912	3.064	7.921	7.416	3.135	6.186	3.699	2.150	6.348	40.831
	Verletzte	1.205	3.809	9.840	9.549	3.880	7.688	4.687	2.533	7.704	50.895
	Getötete ¹⁾	30	46	145	93	46	81	42	24	24	531
2013	Unfälle	809	2.981	7.308	6.957	3.056	6.085	3.652	1.880	5.774	38.502
	Verletzte	1.002	3.719	9.121	9.039	3.763	7.556	4.633	2.232	6.979	48.044
	Getötete ¹⁾	17	41	112	99	36	73	46	14	17	455
2014	Unfälle	815	2.827	7.181	7.079	2.868	5.729	3.724	1.932	5.802	37.957
	Verletzte	1.039	3.478	9.125	9.154	3.549	7.111	4.782	2.311	7.121	47.670
	Getötete ¹⁾	22	26	121	75	27	86	30	22	21	430
2015	Unfälle	768	2.964	7.166	6.924	2.861	5.770	3.774	1.885	5.848	37.960
	Verletzte	977	3.646	9.127	8.835	3.548	7.170	4.762	2.232	7.069	47.366
	Getötete ¹⁾	24	40	131	88	43	77	54	9	13	479

Q: STATISTIK AUSTRIA, Statistik der Straßenverkehrsunfälle. Erstellt am: 22.06.2016. - 1) 30-Tage-Fristabgrenzung für Verkehrstote. - 2) Ab 2012 geänderte Erhebungsmethode; ein direkter Vergleich mit Vorjahresergebnissen ist daher nicht zulässig.

Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte bei Verkehrsunfällen mit radioaktiven Stoffen

Anhang 7: Auswertung der statistischen Daten im Vergleich der Verkehrsunfälle und der Gefahrgutunfälle in Österreich im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2015 (Datengrundlage: Statistik Austria 2016a und 2016b: https://www.statistik.at/web_de/intern/Redirect/index.html?dDocName=003162 (27.12.2016, 14:47 Uhr) und https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/gesundheits/unfaelle/strassenverkehrsunfaelle/index.html (27. Dezember 2016, 15:05)); eigene Darstellung:

Jahr	Unfälle beim Transport gefährlicher Güter Österreich		Verkehrsunfälle Österreich		Vergleich in Prozent der Verkehrsunfälle und Gefahrgutunfälle	
	insgesamt	Personenschaden	gesamt	davon Personenschaden	gesamt	Personenschaden
2000	31	19	42.126	54.929	0,07%	0,0346%
2001	17	9	43.073	56.265	0,04%	0,0160%
2002	30	12	43.175	56.684	0,07%	0,0212%
2003	28	15	43.426	56.881	0,06%	0,0264%
2004	18	8	42.657	55.857	0,04%	0,0143%
2005	25	11	40.896	53.234	0,06%	0,0207%
2006	27	14	39.884	51.930	0,07%	0,0270%
2007	27	13	41.096	53.211	0,07%	0,0244%
2008	21	10	39.173	50.521	0,05%	0,0198%
2009	26	13	37.925	49.158	0,07%	0,0264%
2010	-	.	35.348	45.858	.	.
2011	-	.	35.129	45.025	.	.
2012	20	20	40.831	50.895	0,05%	0,0393%
2013	14	14	38.502	48.044	0,04%	0,0291%
2014	19	19	37.957	47.670	0,05%	0,0399%
2015	21	21	37.960	47.366	0,06%	0,0443%
Insgesamt	324	198	639.158	823.528	0,05%	0,0240%

Anmerkung: Der blau unterlegte Teil der Tabelle wird im Abschnitt 6.3.1 abgebildet und beschrieben