

Masterarbeit

Radioaktive Kontamination von Ersatzbrennstoffen

erstellt für

Thermoteam GmbH

Vorgelegt von:

BSc.Ing.Markus Tschische
0535028

Betreuer/Gutachter:

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber
Dipl-Ing.Hannes Menapace

Leoben, 22.06.2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Kurzfassung

Radioaktive Kontamination von Ersatzbrennstoffen

Das Unternehmen Thermoteam im südsteirischen Retznei erzeugt Ersatzbrennstoffe aus Abfallstoffen für die Substitution von Primärenergieträgern in der Zementindustrie. Dabei wird durch verschiedene Aufbereitungsschritte aus den Abfallstoffen ein qualitätsgesichertes Produkt mit definierter Zusammensetzung hergestellt. Da die Verwendung von Abfallstoffen jedoch auch eventuell Möglichkeiten für den Eintrag von radioaktiven Kontaminationen bietet, wird die eigene Produktion auf diese Gefahrenquelle hin überprüft. Die Wahrscheinlichkeit eines Fundes von radioaktiven Strahlenquellen in herkömmlichen Abfallströmen ist de Facto zwar sehr gering, die möglichen Folgen im Falle einer Kontamination sind aber durchaus ernst zu nehmen. Um den Nachweis zu erbringen, dass keine radioaktiven Kontaminationen in der Ersatzbrennstoffproduktion von Thermoteam auftreten, werden einerseits Radioaktivitätsmessungen in der Produktionsanlage, bei Rückstellproben und in der laufenden Produktion durchgeführt. Des Weiteren werden die Ortsdosisleistungswerte des Jahres 2009 in der Region Leibnitz auf Auffälligkeiten hin kontrolliert. Danach wird in einem zweiten Schritt die Art und Herkunft der bei Thermoteam verwerteten Abfallströme des Produktionsjahres 2009 untersucht. Bei der Untersuchung der Inputfraktionen wird in Form einer qualitativen Risikoanalyse auf mögliche Eintragsquellen für radioaktive Kontaminationen eingegangen. Abschließend werden noch Möglichkeiten für die Überwachung der Produktionsanlage und präventive Vorbeugungsmaßnahmen zur Risikominimierung vorgeschlagen.

Abstract

Radioactive contamination of alternative fuels

The south Styrian company Thermoteam produces alternative fuels from waste materials, which are mainly used as a substitution for primary fuels in the cement industry. The production process includes several mechanical steps that lead to the transformation of waste into a product with high quality and defined composition. One of the main concerns during the production of these alternative fuels from waste materials is the potential risk for radioactive contamination. Although the probability of radioactive sources in conventional waste flows is very low, the potential consequences might indeed be very serious. Therefore, various steps during the production of Thermoteam are carefully monitored to prevent any contamination. On the one hand, radioactivity measurements of the facilities and the ongoing production are carried out. Furthermore, the local radioactivity dose rates of the region of Leibnitz are monitored for abnormalities and the source and origin of the recovered waste materials are checked. Finally, the input fractions as well as possible sources for radioactive contamination are evaluated in the course of a qualitative risk analysis. These interventions seek opportunities for the preventive monitoring of the production plant and other strategies to facilitate a contamination free production process. As a goal, the risk of radioactive contamination during the production of Thermoteam can be minimized and a high quality of the end product can be guaranteed.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	4
1.1	Problemstellung	4
1.2	Zielsetzung	5
2	GRUNDLAGENTEIL - THEORIETEIL	6
2.1	Allgemeines	6
2.2	Physikalische Grundlagen	6
2.2.1	Stabilität von Nukliden	8
2.2.2	Nuklide in der Natur	9
2.2.3	Der radioaktive Zerfall	10
2.2.4	Ionisierende Strahlung	12
2.2.5	Strahlungsarten bei radioaktiven Zerfällen	13
2.2.6	Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie	17
2.3	Natürliche und künstliche Strahlenexposition in Österreich	25
2.3.1	Externe natürliche Strahlenexposition	26
2.3.2	Interne natürliche Strahlenexposition	28
2.3.3	Österreichisches Strahlenfrühwarnsystem	30
2.4	Gesetzliche Grundlagen in Österreich	31
2.4.1	Besitz und Umgang mit radioaktiven Strahlungsquellen	31
2.4.2	Klassifizierung	32
2.4.3	Aufzeichnungs- und Meldepflichten	33
2.4.4	Entsorgung radioaktiver Abfälle	34
2.4.5	Grenzwerte für Anlagen	37
3	PRAKTISCHER TEIL – RADIOAKTIVITÄTSMESSUNGEN	39
3.1	Das vier Säulen Konzept	39
3.2	Messgerät „Gamma - Scout“	40
3.2.1	Messprinzip Geiger-Müller Zählrohr	40
3.2.2	Technische Daten und Messbereich	41
3.3	Kontrolle der Tagesrückstellproben	42
3.3.1	Durchführung der Messungen	43

3.3.2	Ergebnisse der Tagesrückstellproben Kontrollmessung.....	45
3.4	Anlagenmessung	48
3.4.1	Ergebnisse der Anlagen Kontrollmessung	49
3.5	Dauermessung am Rohrgurttörderer	51
3.5.1	Ergebnisse der Dauermessung.....	53
3.6	ODL-Pegel im Bezirk Leibnitz	57
3.6.1	Die mittlere Ortsdosisleistung in Leibnitz.....	58
3.6.2	Kurzzeitige Messwerterhöhungen und Schwankungen.....	58
3.6.3	Verlauf der Ortsdosisleistung in Leibnitz im Jahr 2009.....	60
3.7	Schlussfolgerungen	65
4	QUALITATIVE RISIKOANALYSE	66
4.1	Risikopotentiale - Einsatz radioaktiver Materialien.....	67
4.1.1	Anwendung radioaktiver Stoffe in Industrie und Forschung.....	67
4.1.2	Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin	72
4.1.3	Radioaktive Strahlungsquellen im Privatbesitz.....	76
4.2	Funde von radioaktiven Materialien in Abfallströmen.....	84
4.2.1	Ableitung von Erwartungswerten für Funde in Österreich.....	88
4.3	Risikobewertung der Inputströme	92
4.3.1	Fraktion 440010 – Material aus MBA	93
4.3.2	Fraktion 440040 – Sortenreine Produktionsabfälle.....	96
4.3.3	Fraktion 150360 – Heizwertreiche Fraktion aus der VVO-Sammlung.....	98
4.3.4	Fraktion 440020 – Heizwertreiche Fraktion aus Gewerbemüll	100
4.3.5	Fraktion 10060 – Heizwertreiche Fraktion gemischt.....	103
4.3.6	Ausschluss von Risikobranchen.....	105
4.4	Risikobewertung von Handlungsalternativen	108
4.5	Präventive Vorbeugungsmaßnahmen.....	112
4.6	Schlussfolgerungen	115
5	ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	116
6	VERZEICHNISSE	118
6.1	Literatur.....	118
6.2	Abkürzungsverzeichnis.....	122
6.3	Alte Einheiten.....	122

6.4	Präfixe bei Einheiten	122
6.5	Tabellen	123
6.6	Abbildungen	123
ANHANG A – PRÜFZERTIFIKAT „GAMMA SCOUT“		I
ANHANG B – MESSPROTOKOLL ASB RÜCKSTELLPROBEN		II
ANHANG C – MESSPROTOKOLL ANLAGENMESSUNG		III
ANHANG D – MESSPROTOKOLL DAUERMESSUNG		IV
ANHANG E – DIAGRAMME ORTSDOSISVERLAUF DAUERMESSUNG		V
ANHANG F – MELDEPFLICHTIGE EREIGNISSE UND ZWISCHENFÄLLE MIT RADIOAKTIVEN STRAHLERN VON 2005 BIS 2008 IN DEUTSCHLAND.....		VIII
ANHANG G – FRAGELISTE LIEFERANTENBEFRAGUNG		IX

1 Einleitung

In regelmäßigen Abständen kann man in den Medien beängstigende Meldungen von Zwischenfällen in Kernkraftwerken, strahlendem Schrott und illegalem Atomschmuggel wahrnehmen, so auch vermehrt wieder in den Jahren 2008 und 2009. Spätestens seit dem Zwischenfall in Tschernobyl im Jahre 1986 ist die Bevölkerung in Europa und in Österreich für das Thema Radioaktivität und Strahlung hoch sensibilisiert. Die Gefährlichkeit der Vorfälle wird aus verschiedenen Gründen und Interessen manchmal nicht klar dargestellt und bekommt so oft eine entsprechende Eigendynamik. Dies kann soweit gehen, dass politische Grundsatzentscheidungen mitunter vollständig davon abhängen wie die Problematik in der Bevölkerung wahrgenommen wird. Diese Masterarbeit befasst sich mit dem Thema Radioaktivität in Ersatzbrennstoffen und will auch einen kleinen Teil an Aufklärungsarbeit zu diesem heiklen Thema beitragen.

Durch die neuerliche öffentliche Diskussion betreffend „Radioaktivität im Abfall“ die besonders in der Schrottbranche ihren Ursprung hat, ist es auch für andere Branchen wichtig geworden sich dem Thema Radioaktivität und Strahlung zu stellen. Durch eine Erhebung potentieller Gefahren ist es möglich, sich vorsorglich diesbezügliche Gedanken zu machen, um etwaige Vorsorgemaßnahmen treffen zu können, sollte es denn notwendig sein. Dies ist zwar für die betroffenen Unternehmen ein einmaliger Aufwand der sich wirtschaftlich nicht direkt rechnet, kann aber im Ernstfall eine wichtige Maßnahme zur Wahrnehmung der Sorgfaltspflicht darstellen. Die Kosten die durch einen Imageschaden, oder noch schlimmer, durch einen Zwischenfall bei dem radioaktive Strahlungsquellen freigesetzt werden, entstehen, sind überdies kaum abzuschätzen und können auch für ein großes Unternehmen mehr als Existenz gefährdend sein. Das Unternehmen Thermoteam GmbH im südsteirischen Retznei nimmt sich vorsorglich dieser Problematik an, und versucht mit Hilfe dieser Arbeit die eigene Produktion auf mögliche Gefährdungen zu überprüfen.

1.1 Problemstellung

Das Unternehmen Thermoteam stellt Ersatzbrennstoffe aus Abfall- und Altstoffen für die Substitution von Primärenergieträgern in thermischen Prozessen her. Der Brennstoff wird in der Literatur auch oft als Alternativbrennstoff, Sekundärbrennstoff, Substitutbrennstoff oder Abfallbrennstoff bezeichnet. Im Folgenden wird für das hergestellte Produkt die genaue Bezeichnung „Abfall–Substitut-Brennstoff“ mit der Abkürzung „ASB“ verwendet. Als Ausgangsmaterial für den ASB kommen Abfälle mit einer definierten Zusammensetzung und mit einem hohen Heizwert in Frage. Diese Inputfraktionen werden in der Anlage von Störstoffen getrennt, aufbereitet und gelangen anschließend entweder direkt über eine Rohrbandförderanlage ins benachbarte Zementwerk der Lafarge-Perlmooser GmbH oder

über sogenannte „Walking-Floor LKW“ zu anderen thermischen Anlagen in Österreich. Der Einsatz von ASB in thermischen Prozessen mit hohem Energiebedarf ist ein Erfolgsmodell dessen ökologischer und ökonomischer Nutzen außer Frage steht. Aus der engen Zusammenarbeit von Abfallwirtschaft und Zementindustrie ist auch das Jointventure-Unternehmen Thermoteam hervorgegangen, welches bereits seit 2003 einen hochwertigen ASB herstellt.

Der in der Thermoteam-Anlage erzeugte ASB wird aus verschiedenen Abfällen, durch mehrere mechanische Aufbereitungsschritte, hergestellt. Der erzeugte Brennstoff wird anschließend in thermischen Prozessen, vor allem in der Zementindustrie, verbrannt. Durch eine Kontamination des ASB mit radioaktiven Materialien, wäre es möglich, dass es zu einer Freisetzung dieser strahlenden Komponenten im Rauchgas, der mit dem Brennstoff versorgten Zementwerke, kommen könnte. Die rechtlichen Folgen, und der entstandenen Imageschaden einer solchen radioaktiven Kontamination, wären für die beteiligten Unternehmen auch bei geringfügigster Freisetzung von strahlendem Material bereits sehr unangenehm, kostspielig und würde die öffentliche Wahrnehmung über Jahre hinweg negativ beeinflussen.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit ist es, die Möglichkeiten für den Eintrag von radioaktiven Materialien in die Thermoteam-Anlage in Retznei zu untersuchen, um daraus eventuelle Maßnahmen für den Betreiber ableiten zu können. Insbesondere sollen hierbei folgende Fragestellungen behandelt werden:

1. Feststellung ob Abfallströme die als Inputströme in die Thermoteam-Anlage gelangen, aufgrund ihrer Art oder Herkunft radioaktive Materialien beinhalten könnten.
2. Qualitative Risikoabschätzung für eine mögliche radioaktive Kontamination des ASB.
3. Praktische Messung der Ortsdosisleistung in der Anlage und Kontrolle der vorhandenen Rückstellproben der letzten Jahre auf Spuren radioaktiver Kontaminationen.

2 Grundlagenteil - Theorieteil

Für die folgende Diskussion des Themas Radioaktivität in Ersatzbrennstoffen ist es zunächst notwendig, einige physikalische Grundlagen der Radioaktivität und des Strahlenschutzes, sowie einige wichtige rechtliche Grundlagen näher zu betrachten.

2.1 Allgemeines

Die grundlegenden physikalischen und strahlenschutztechnischen Hintergründe sind für eine Diskussion der vorliegenden Problematik dringend erforderlich, um sich dem Thema von vorn herein objektiv zu nähern, und um Begriffe besser voneinander abgrenzen zu können. Da zu jedem einzelnen Unterpunkt unzählige wissenschaftliche Dissertationen, Publikationen und Bücher erschienen sind, sollen hier nur die wichtigsten Aussagen, die für die vorliegende Abhandlung wichtig sind, kurz zusammengefasst werden. Diese Abhandlung im Theorieteil der vorliegenden Arbeit soll so auch einem interessierten Laien ein Fundament für die Auseinandersetzung mit dem Thema Radioaktivität bieten. Das Hauptaugenmerk soll aber auf dem praktischen Teil der Kontrollmessungen und der abschließenden Risikoabschätzung liegen.

2.2 Physikalische Grundlagen

Spricht man im allgemeinen Sprachgebrauch von radioaktiver Strahlung, so ist dies genaugenommen bereits die erste Ungenauigkeit im sprachlichen Ausdruck. Die Strahlung selbst ist nicht radioaktiv, sondern wird viel mehr durch radioaktive Zerfallsprozesse der Atomkerne emittiert. Atome, die Bausteine der Materie, sind im Periodensystem der Elemente (PSE) nach Ihrer Ordnungszahl systematisch und in ansteigender Reihenfolge aufgelistet. Der Atomkern selbst besteht aus zwei verschiedenen Arten von Elementarteilchen, den Protonen und Neutronen. Die Ordnungszahl gibt an, wie viele Protonen sich im Kern eines Atoms befinden. Das Periodensystem der Elemente ist in Abbildung 1 dargestellt.

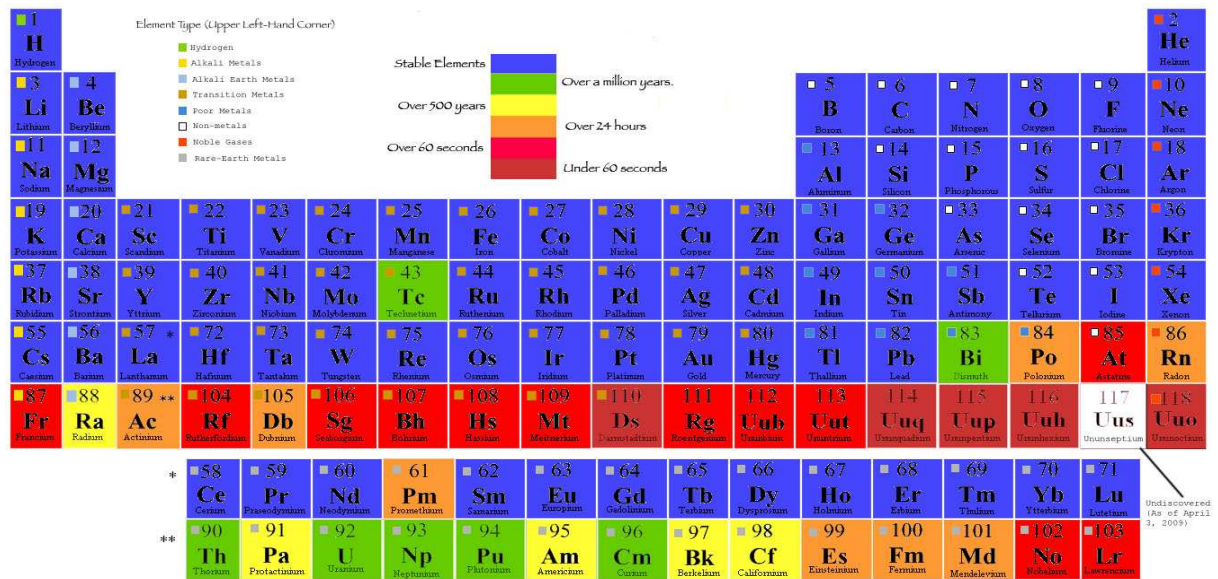


Abbildung 1: Periodensystem der Elemente [1]

In Abbildung 1 sind die Elemente nach ihrer radioaktiven Stabilität mit den Farben Blau bis Rot gekennzeichnet. Bereits in dieser Darstellungsweise ist es leicht ersichtlich, dass von 118 bekannten Elementen nur 80 Elemente langfristig stabil sind. Bei den restlichen instabilen Elementen unterscheiden sich die Halbwertszeiten stark voneinander und variieren zwischen Sekunden und Millionen von Jahren. Das Blei ist mit der Ordnungszahl 82 das schwerste stabile Element und Endpunkt vieler sogenannter Zerfallsreihen. Atomkerne bestehen bekanntermaßen aus Protonen und Neutronen, wobei aber auch die Anzahl der ungeladenen Neutronen in einem Atomkern in gewissen Grenzen variabel ist, so dass zusätzlich zu den Elementen mit gleicher Protonen und Neutronenzahl, viele andere Atomarten, mit unterschiedlicher Anzahl von Protonen und Neutronen existieren. Der dafür verwendete Begriff „Nuklide“ ist der Sammelbegriff für alle bekannten Atomarten.

Ein Nuklid ist also eine bestimmte Atomart mit einer definierten Ordnungszahl¹ und Massenzahl². Was das Periodensystem der Elemente für die Chemie darstellt, ist in der Kernphysik die sogenannte Nuklidkarte, welche hier in Abbildung 2 dargestellt ist. In der Nuklidkarte sind alle bekannten Nuklide, geordnet nach Protonenzahl, die hier an der Ordinate³ aufgetragen ist, und Neutronenzahl, welche hier an der Abszisse⁴ aufgetragen ist,

¹ gibt die Anzahl der Protonen im Atomkern an

² gibt die Summe der Protonen und Neutronen im Atomkern an

³ Y-Achse

⁴ X-Achse

dargestellt. Dementsprechend befindet sich der ^1H in dieser Darstellung als erstes und leichtestes Nuklid links unten in der Nuklidkarte.

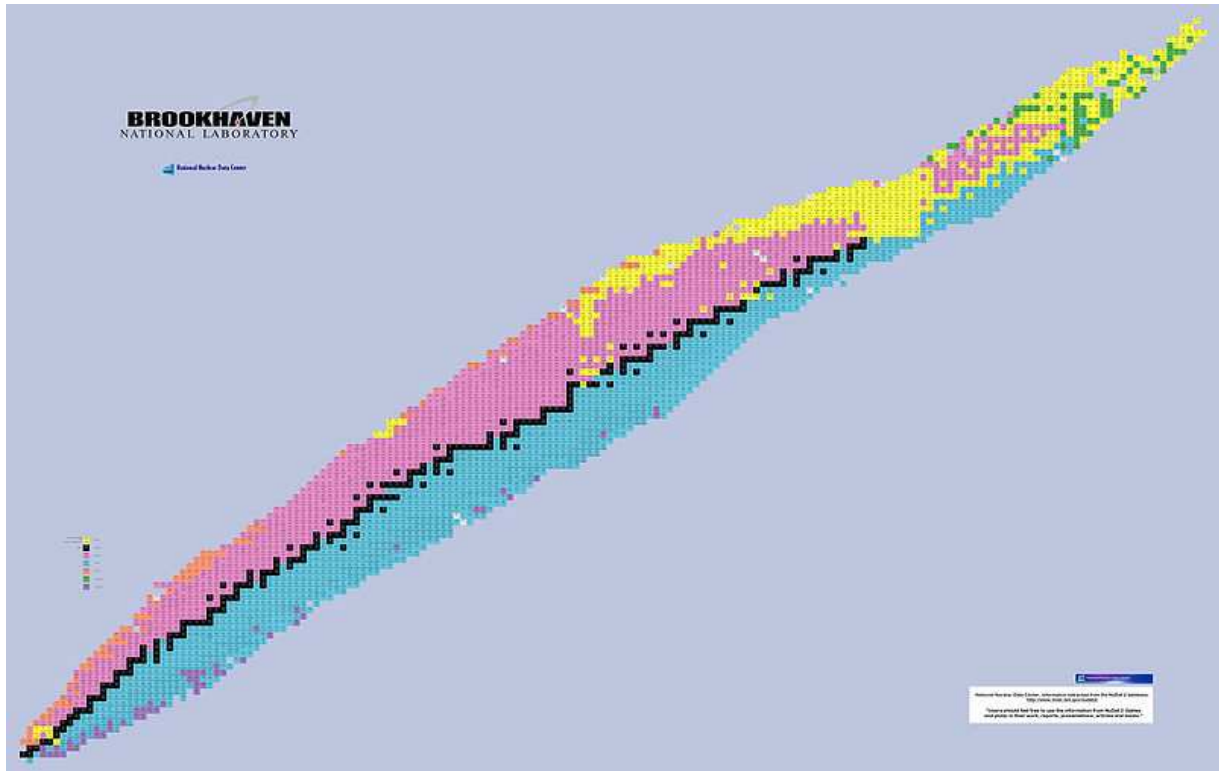


Abbildung 2: Nuklidkarte [2]

Die Nuklide eines bestimmten chemischen Elements¹ werden hingegen als Isotope bezeichnet. Der ebenso stabile ^2H mit einem Proton und einem Neutron im Kern befindet sich rechts neben dem ^1H . Durch die Möglichkeit der „Koexistenz“ einer unterschiedlichen Anzahl von Neutronen und Protonen im Atomkern, ergibt sich durch Kombination eine große Anzahl von über 2.700 möglichen Nukliden, welche qualitativ in der Nuklidkarte in Abbildung 2 dargestellt sind.

2.2.1 Stabilität von Nukliden

Ein Nuklid wird als stabil bezeichnet, wenn seine Halbwertszeit größer als 10^{10} Jahre ist. [3,S.336] Ein instabiles, also radioaktives Nuklid, nennt man auch Radionuklid.[4,S.14] Die lediglich rund 260 stabilen Nuklide sind in der Nuklidkarte in Abbildung 2 schwarz gekennzeichnet, alle anderen sind Radionuklide, d.h. sie zerfallen unter Aussendung von

¹ Kerne gleicher Ordnungszahl (Protonenanzahl)

unterschiedlicher Strahlung in leichtere Einzelteile. Der weit überwiegende Anteil aller derzeit bekannten Nuklide ist also instabil.

2.2.2 Nuklide in der Natur

Nur etwas über 10% der bekannten Nuklide kommen auch in der Natur vor, der Rest von ca. 90% können nur kernphysikalisch, also künstlich vom Menschen erzeugt werden. [4,S.17] In der Natur existieren 256 Nuklide, die nach derzeitigem Kenntnisstand für stabil gehalten werden. Zusätzlich zu den stabilen Nukliden, kommen etwa 80 weitere radioaktive Nuklide, auch in der Natur vor. [5,S.1]

„Bei den natürlich vorkommenden Radionukliden unterscheidet man zwei Gruppen. Die erste Gruppe sind die so genannten primordiale¹ Radionuklide, die schon zur Zeit der Erdentstehung gebildet wurden. Diese sind hauptsächlich für die terrestrische Strahlungskomponente verantwortlich. Die zweite Gruppe natürlicher Radionuklide, die kosmogenen Radionuklide, sind kosmischen Ursprungs. Sie entstehen ständig neu in den oberen Schichten der Erdatmosphäre, durch Beschuss stabiler Elemente mit kosmischer Höhenstrahlung. Ihre Lebensdauer ist meist wesentlich kürzer als die der primordialen Radionuklide.“ [6,S.143] Ungefähr 40 der natürlich vorkommenden Radionuklide gehören den natürlichen Zerfallsreihen an und entstehen aus den primordialen Nukliden. [4,S.17] „Tatsächlich existieren nur drei natürliche Zerfallsreihen, ausgehend von den langlebigen Nukliden ²³²Th, ²³⁸U und ²³⁵U mit den historischen Bezeichnungen Thorium-Reihe, Uran-Radium-Reihe und Actinium-Reihe,“ [7,Kap.1,S.10]. Die Uran–Radium-Reihe ist mit Zerfallsarten und Halbwertszeiten in Abbildung 3 dargestellt.

										²³⁴ Th	100%	²³⁸ U	
										24.1d	← α	4.5E9y	
												²³⁴ Pa	
												1.2m+	
			²¹⁴ Pb	99.98%	²¹⁸ Po	100%	²²² Rn	100%	²²⁶ Ra	100%	²³⁰ Th	100%	²³⁴ U
			26.8m	← α	3.05m	← α	3.825d	← α	1600y	← α	7.5E4y	← α	2.5E5y
			²¹⁰ Tl	0.4%	²¹⁴ Bi	100%	²¹⁸ At						
			1.30m	← α	19.9m	← α	2s						
			²⁰⁶ Hg	75E-6%	²¹⁰ Pb	100%							
			8.15m	← α	22.3y	← α							
			²⁰⁶ Tl	5E-5%	²¹⁰ Bi								
			4.2m	← α	5.0d								
			²⁰⁶ Pb	100%	²¹⁰ Po								
			stable	← α	138.4d								

Abbildung 3: Die natürliche Uran-Radium–Zerfallsreihe [7, Kap.1,S.11]

¹ Urnuklide

Die restliche Hälfte der natürlich vorkommenden Radionuklide wird in der Atmosphäre ständig durch die hochenergetische kosmische Höhenstrahlung erzeugt. [4,S.17] „Aus dem Weltraum trifft ein ständiger Strom hochenergetischer ionisierender Strahlung auf die Erdatmosphäre. Beim Eindringen eines primären Hochenergieteilchens in die Atmosphäre, entsteht durch Wechselwirkung mit den Luftatomen ein sekundäres Strahlungsfeld aus hochenergetischen Partikeln die in Form breiter Teilchenschauer die Erdatmosphäre durchsetzen und teilweise weitere Atomkerne der Atmosphäre in Kernreaktionen zu kosmogenen Radionukliden umwandeln. Der wichtigste Vertreter dieser Aktivierungsproduktgruppe ist das radioaktive Kohlenstoffnuklid ^{14}C welches aus dem Stickstoffnuklid ^{14}N entsteht.“ [6,S.143]

Man kann bereits erahnen, wie sehr Radioaktivität Teil der natürlichen Abläufe ist, welche uns ständig und überall umgeben. Die Einwirkung dieser natürlichen Strahlungsquellen auf den Menschen wird natürliche Strahlenexposition genannt.

2.2.3 Der radioaktive Zerfall

Ursache für den radioaktiven Zerfall ist das physikalische Grundprinzip eines Systems, in den energetisch niedrigst möglichen Energiezustand überzugehen. Dieses physikalische Grundprinzip ist auch für Atomkerne gültig. Damit die physikalischen Erhaltungssätze, wie der Energieerhaltungssatz und Impulserhaltungssatz, erfüllt werden, muss bei einem Übergang die Energiedifferenz zwischen den beiden Zuständen, in Form von Strahlung¹ abgegeben werden. „Alle Radionuklide gehen durch Abgabe von ionisierender Strahlung aus einem höherenergetischen Zustand in einen niedrigerenergetischen Zustand über. Hat ein Radionuklid letztendlich seinen energetisch niedrigst möglichen Zustand erreicht, ist es zu einem stabilen Nuklid geworden.“ [4,S.19]

„Bei den meisten radioaktiven Umwandlungen zerfallen die Atomkerne nicht wirklich, sondern verändern lediglich ihre Neutronenanzahl, ihre Ordnungszahl oder ihre Bindungsenergie. Trotzdem werden im üblichen Sprachgebrauch diese Umwandlungen als "radioaktive Zerfälle" bezeichnet. Echte Zerfälle liegen tatsächlich aber nur beim Alphazerfall und bei Spaltprozessen in der Kernspaltung vor.“ [6,S.90]

Der radioaktive Zerfall eines bestimmten Atomkerns zu einem bestimmten Zeitpunkt ist nicht genau vorhersehbar, man spricht von einem stochastischen Prozess, der jedoch für eine

¹ als Teilchenstrahlung oder elektromagnetische Wellenstrahlung

große Anzahl radioaktiver Kerne mittels Wahrscheinlichkeitsrechnung genau beschrieben werden kann. „Die Anzahl der Zerfälle pro Zeiteinheit, also die Aktivität A , ist zur Gesamtzahl N der vorhandenen Atome proportional.“ [7,Kap.1,S.12]

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N \left[\frac{1}{s} \right] \hat{=} [Bq] \quad (1)$$

Die Aktivität (A) gibt also die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde an. Die SI-Einheit für die Aktivität (A) ist das Becquerel (Bq). Lambda (λ) ist dabei eine Proportionalitätskonstante, die sogenannte Zerfallskonstante. Die Differentialgleichung (1) lässt sich mit dem Ansatz nach Gleichung (2) lösen. Als Ergebnis erhält man für die Aktivität eine Zerfallsfunktion erster Ordnung nach Gleichung (3). [7,Kap.1,S.12]

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$A(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

$A(t)$...Aktivität nach der Zeit t [Bq]

λ ...Zerfallskonstante [1/s]

t ...Zeit in [s]

N_0 ...Anzahl der Kerne zu Beginn des Zerfalls ($t=0$)

$N(t)$...Anzahl der Kerne nach der Zeit t

Da die Aktivität eine Funktion der Zeit ist, muss die Wertangabe immer für einen bestimmten Zeitpunkt erfolgen. Des Weiteren ist die Aktivität von der Masse der Strahlungsquelle und der Art des Nuklids abhängig, auch diese Faktoren müssen daher angegeben werden. Die Zerfallskonstante (λ) ist nuklidspezifisch unterschiedlich und ist mit der Halbwertszeit ($t_{1/2}$) über die Gleichung (4) verknüpft.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (4)$$

„Die Halbwertszeit ($t_{1/2}$) ist diejenige Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Radionuklide (N_0) zerfallen ist.“[4,S.36]

2.2.4 Ionisierende Strahlung

Wie bereits erwähnt sollte man im Zusammenhang mit radioaktivem Zerfall von ionisierender Strahlung sprechen, da Sie aufgrund ihrer Energie eine ionisierende Wirkung auf die umgebende Materie hat. Die Ionisationsenergie ist der Energieaufwand, der notwendig ist, um ein Elektron von einem neutralen Atom zu entfernen. [4,S.136]

Die Strahlungsenergie wird auf Teilchenebene üblicherweise in Elektronenvolt¹ (eV) angegeben. Die Energie von sichtbarem Licht mit einem Wellenlängenspektrum von 380 bis 780 nm liegt im Bereich von 1,6 bis 3,2 eV. Als Röntgenstrahlung bezeichnet man elektromagnetische Strahlung mit einer Energie von 100 eV bis 250 keV, noch energiereichere Strahlung bezeichnet man als Gammastrahlung.

Die Bindungs- und Übergangsenergien in der Atomhülle liegen, je nach Elektronenposition, in der Größenordnung einiger Elektronenvolt, bis zu maximal 100 keV. In den Atomkernen liegen aufgrund der starken Bindungskräfte Bindungsenergien in der Größenordnung einiger MeV vor. Bei Übergängen in der Atomhülle wird daher Röntgenstrahlung, bei Übergängen im Atomkern, Gammastrahlung emittiert. Medizinisch genutzte Röntgenstrahlung hat maximale Energien von etwa 25 keV bei der Mammografie, bis hin zu 150 keV in der Computertomografie. Strahlentherapeutische Photonenstrahlungen werden mit Grenzenergien bis zu 20 MeV genutzt. Kosmische Höhenstrahlung kann sehr hohe Energiewerte bis hin zu einigen GeV erreichen. [6,S.18]

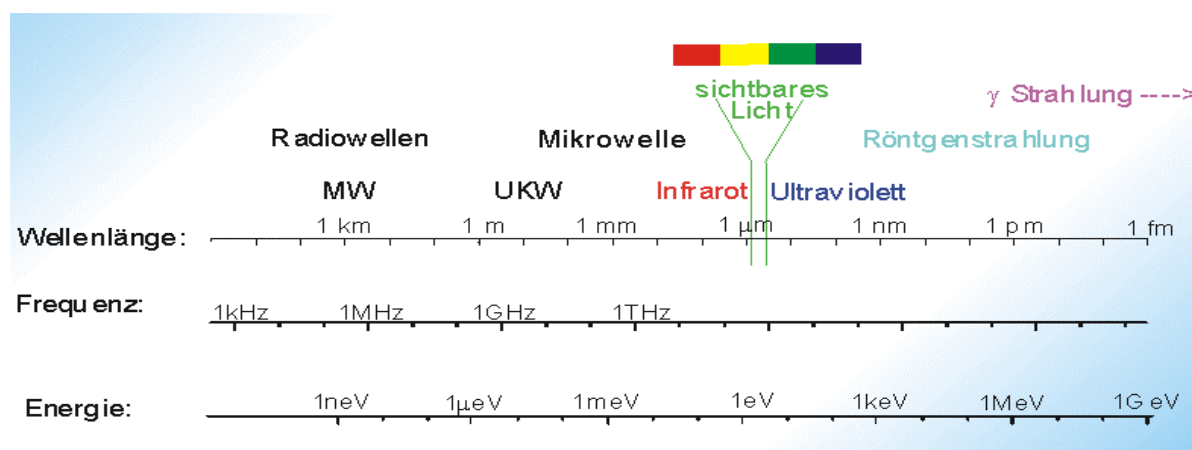


Abbildung 4: Energie und Wellenlänge elektromagnetischer Wellen [8]

¹ 1eV entspricht der Energie von $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

2.2.5 Strahlungsarten bei radioaktiven Zerfällen

Radioaktives Material zerfällt in den meisten Fällen unter Emission von verschiedenen Strahlungen mit unterschiedlicher Energie, man spricht in diesem Zusammenhang auch von Mischstrahlung, welche jedoch im Wesentlichen auf drei verschiedene Strahlungsarten zurückgeführt werden kann, die Alpha (α)-, Beta (β)- und die Gamma (γ)-Strahlung. Diese Strahlungsarten sind, aufgrund Ihrer sehr unterschiedlichen Reichweite, Abschirmbarkeit und Wirkung auf Materie, schon sehr lange bekannt. Andere Strahlungsarten wie Photonen- oder Neutronenstrahlung, die in der Kernkraft und bei Teilchenbeschleunigern auftreten, werden hier nicht weiter behandelt, da sie im Zusammenhang mit natürlicher Strahlung keine wesentliche Rolle spielen, sie seien hiermit aber erwähnt.

2.2.5.1 Der α -Zerfall

Beim Alphazerfall eines Nuklids wird aus dem Atomkern ein Alphateilchen, bestehend aus zwei Protonen und zwei Neutronen, emittiert. Die abgegebene Alphastrahlung ist also nichts anderes als ein ionisierter ^4He -Atomkern. Die Kernladungszahl und die Neutronenzahl des „Mutternuklids“ vermindern sich dadurch um je zwei, die Massenzahl um vier. [6,S.96]

Vor allem schwere Atomkerne neigen zum α -Zerfall. Alle Kerne mit Ordnungszahlen größer als 83 sind theoretisch anfällig gegenüber dem α -Zerfall, weil die Masse des ursprünglichen Kerns größer ist, als die Summe der Massen der Zerfallsprodukte Tochterkern und α -Teilchen. Die Energie der abgegebenen α -Teilchen variiert bei natürlichen Strahlungsquellen je nach Nuklid im Bereich von 4 bis 7 MeV, bei künstlich erzeugten Nukliden können beim α -Zerfall auch höhere Energien von über 10 MeV erreicht werden. [9,S.1302] Das Prinzip des α -Zerfalls ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt.

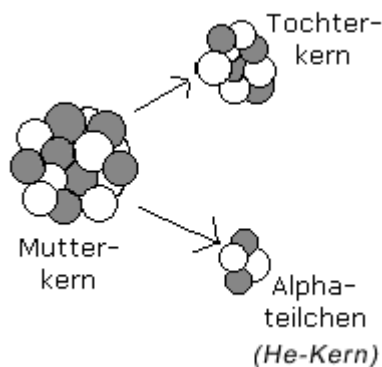


Abbildung 5: Alpha-Zerfall [10]

Die Reichweite der α -Strahlung ist sehr gering und beträgt in Luft, abhängig von ihrer Energie, einige Zentimeter, in Wasser oder organischem Gewebe nur einige μm . Die relativ schweren und großen α -Teilchen stoßen rasch mit den Atomhüllen der umgebenden Materie zusammen und werden so vollständig abgebremst. Eine Abschirmung von α -Strahlung ist daher leicht möglich und kann bereits mittels eines Blatts Papier, oder durch die menschliche Haut erreicht werden. Nichtsdestotrotz ist die α -Strahlung bei Inkorporation¹ α -strahlender Partikel für Lebewesen sehr gefährlich, weil Sie durch Ihre hohe Energie und Ihr Ionisationsvermögen, eine beträchtliche biologische Wirkung aufweist. [4,S.60]

2.2.5.2 Der β -Zerfall

„Der β -Zerfall tritt bei Kernen auf, die zu viele oder zu wenige Neutronen besitzen, um stabil zu sein.“ [9,S.1300] Dabei wandeln sich im Kern des Mutternuklids, Protonen oder Neutronen, unter Emission von geladenen Teilchen ineinander um. Je nachdem ob sich ein Neutron zu einem Proton umwandelt (oder umgekehrt) unterscheidet man die man hier die β^+ -Strahlung und die β^- -Strahlung. Beim β^- -Zerfall wandelt sich im Kern ein Neutron in ein Proton um. Dabei wird ein negativ geladenes Elektron und ein Elektron-Antineutrino, als Strahlung emittiert. Der β^- -Zerfall ist zumeist bei Kernen mit Neutronenüberschuss zu beobachten. Liegt im Kern hingegen ein Neutronendefizit vor, so ist meist der β^+ -Zerfall die logische Konsequenz. Beim β^+ -Zerfall wird ein Proton, unter Emission eines Positrons und eines Elektron-Neutrinos, in ein Neutron umgewandelt. Die beim β -Zerfall gebildeten Elektronen und Positronen sind vor dem Zerfall nicht im Mutterkern vorhanden, sondern entstehen spontan beim Zerfall. [9,S.1300-1301] In Abbildung 6 sind die beiden Arten des β -Zerfalls schematisch dargestellt.

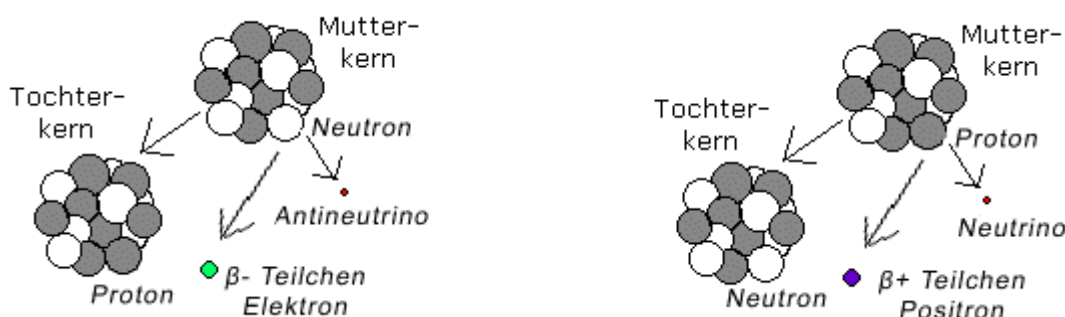


Abbildung 6: Der Beta-Zerfall [10]

¹ Einverleibung durch Inhalation, Essen oder Kontakt mit offenen Wunden

Bei Betaumwandlungen ändert sich also die Anzahl der Protonen oder Neutronen und somit die Ordnungszahl und die Neutronenzahl des zerfallenden Nuklids, die Massenzahl bleibt jedoch erhalten. Die Bewegungsenergie wird beim β -Zerfall zufällig auf das β -Teilchen¹ und das entsprechende Neutrino aufgeteilt. Das β -Teilchen kann dadurch kontinuierlich jeden Energiewert, von null bis hin zur maximal freiwerdenden Energie annehmen. [6,S.101] Die Neutrinos und Antineutrinos die beim β -Zerfall freigesetzt werden verursachen keinerlei Wechselwirkung mit Materie und sind daher bezüglich Strahlenwirkung zu vernachlässigen. Die mittelschweren β -Teilchen werden durch Zusammenstöße mit den Atomhüllen der umgebenden Materie abgebremst und dabei stark abgelenkt. Die Reichweite der mittelschweren β -Teilchen ist begrenzt und beträgt, je nach Energieinhalt, in Luft einige Meter, in organischem Material oder Wasser einige mm. Eine Abschirmung von β -Strahlung kann bereits mit Hilfe eines wenige mm dicken Metallblechs, oder einer Glasscheibe erreicht werden. Das Ionisationsvermögen und die biologische Wirkung der β -Strahlung ist geringer als die von α -Strahlung. Die größte Gefahr für Lebewesen stellt wiederum die Inkorporation β -strahlender Partikel dar. [4,S.61]

2.2.5.3 Der γ -Zerfall

Während beim α - und β -Zerfall hochenergetische Teilchen mit einer diskreten Masse emittiert werden, wird beim γ -Zerfall hochenergetische Photonenstrahlung abgegeben. Photonen sind „Lichtteilchen“ welche sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, sie besitzen daher keine Ruhemasse. Photonen weisen sowohl Teilchen als auch Welleneigenschaften² auf. Abhängig von den Hauptquantenzahlen sind nur bestimmte Energieniveaus möglich, man spricht von Quantisierung. Die Energie elektromagnetischer Photonenstrahlung wird nach Gleichung (5) durch ihre Wellenlänge (λ) bestimmt. [9,S.194]

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

h ...Planck'sches Wirkungsquantum $h = 4,135667 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

c ...Lichtgeschwindigkeit $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

λ ...Wellenlänge der emittierten Strahlung in m

ν ...Frequenz in 1/s

¹ Elektron oder Positron

² Welle-Teilchen Dualismus

Beim γ -Zerfall kommt es zu keinem wirklichen Zerfall des Mutternuklidkerns im eigentlichen Sinn. Der Kern geht beim γ -Zerfall viel mehr durch Abgabe von γ -Strahlung von einem angeregten Zustand in einen Zustand niedrigerer Energie über, ähnlich wie ein angeregtes Atom spontan Photonen im Röntgenbereich emittiert, um in den Grundzustand überzugehen. Anders als beim α -, und β -Zerfall ändert sich beim γ -Zerfall weder die Massenzahl noch die Kernladungszahl des Mutternuklids, da die Anzahl der Protonen und Neutronen im Kern unverändert bleibt, er führt lediglich zu einer Verminderung der Energie. Bei α - und β -Kernzerfällen entsteht oft ein Tochternuklidkern, der sich in einem angeregten Zustand befindet und anschließend durch einen γ -Zerfall in den Grundzustand übergeht. Die überschüssige Energie wird daher direkt nach dem α - oder β -Zerfall mit einem γ -Zerfall abgebaut, um von einem angeregten Zustand in den Grundzustand, oder einen energetisch niedrigeren Zustand überzugehen. Die Abstände der Energieniveaus in einem Atomkern liegen aufgrund der hohen Bindungsenergien im Bereich von MeV, daher wird bei Zustandsänderungen elektromagnetische Gammastrahlung mit sehr kurzen Wellenlängen im Pikometerbereich emittiert. [9,S.1301] In Abbildung 7 ist das Prinzip des γ -Zerfalls schematisch dargestellt.

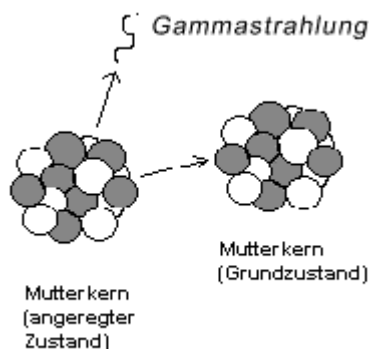


Abbildung 7: Der Gamma-Zerfall [10]

Die Reichweite der Gammastrahlung ist, wie die von sichtbarem Licht, unendlich. Die Photonen tragen keine Ladung, daher ist die Wahrscheinlichkeit einer Wechselwirkung eines Photons mit Materie wesentlich geringer als bei geladenen Teilchen. Aus diesem Grund ist die Durchdringungsfähigkeit von Photonenstrahlung viel höher als bei Teilchenstrahlung. Eine vollständige Abschirmung von γ -Strahlung durch Materie ist nicht mehr möglich, lediglich eine Abschwächung kann erreicht werden. Die Schwächung der Strahlung ist abhängig von der Dichte und Dicke des Absorbermaterials und wird durch das Schwächungsgesetz in Gleichung (6) beschrieben. [4,S.62, S.67]

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad (6)$$

I_0 ...Intensität der einfallenden Strahlung

I ...Intensität der geschwächten Strahlung

d ...Dicke des Absorbermaterials

μ ...linearer Schwächungskoeffizient des Absorbermaterials (Dichteabhängig)

Das Ionisationsvermögen und die biologische Wirkung von γ -Strahlung ist vergleichbar mit der von β -Strahlung. Aufgrund Ihrer großen Durchdringungsfähigkeit wird jedoch bei Annäherung an Strahlungsquellen auch tief liegendes Gewebe geschädigt. Die Reichweite der beschriebenen Strahlungsarten ist in Tabelle 1, für einen typischen Energiewert in verschiedenen Medien dargestellt.

Tabelle 1: Reichweite verschiedener Strahlungsarten in Wasser und Luft [11,S.665]

Strahlungsart	Energie	Reichweite in Wasser	Reichweite in Luft (x1000)
α -Strahlung	5MeV	40 μ m	40mm
β -Strahlung	1MeV	7mm	7m
γ -Strahlung	1MeV	65cm	650m

Da Gewebe zum größten Teil aus Wasser besteht, ist die Reichweite in organischem Gewebe nahezu identisch mit der Reichweite der Strahlungen in Wasser. Die Reichweite wird bei allen Strahlungsarten umso größer je höher die Strahlungsenergie ist.

2.2.6 Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie

Nachdem nun der Entstehungsmechanismus und die wichtigsten Strahlungsarten hinreichend diskutiert worden sind, ist es nun möglich auf die Auswirkungen ionisierender Strahlung einzugehen, wenn diese mit der sie umgebenden Materie wechselwirkt. Für die medizinische Wirkung und den Strahlenschutz ist dies die eigentlich entscheidende Frage. Während Neutrinos die sie umgebende Materie, wie beispielsweise organisches Gewebe, ohne weitere Folgen durchdringen können, sind die hier verursachten Wirkungen ionisierender Strahlung beträchtlich. Für die Beschreibung und Quantifizierung dieser Wechselwirkungen sind, je nach Fragestellung, die nachfolgend angeführten „Dosisgrößen“ von essentieller Bedeutung. Auch im Strahlenschutz und in der Rechtssprechung werden die physikalischen und biologischen Strahlenwirkungen mit Hilfe des Dosisbegriffes beschrieben und reglementiert.

2.2.6.1 Energiedosis und Energiedosisleistung

Aus der Aktivität alleine können keinerlei Aussagen über die Wirkung der Strahlen auf das bestrahlte Objekt getätigt werden. Aus diesem Grund wird im Strahlenschutz der Dosisbegriff eingeführt. Die Energiedosis (D) ist die vom Zielobjekt absorbierte Energiemenge, bezogen auf die betrachtete Masseneinheit in der der Energieübertrag erfolgt. Die Definition der Energiedosis ist in Gleichung (7) angegeben. [12,S.326]

$$D_E = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad (7)$$

D_E ...Energiedosis in Gray, 1Gy=1J/kg

ΔE ...vom Zielobjekt absorbierte Energiemenge in J

Δm ...Bezugsmasse in die der Energieübertrag erfolgt in kg

Da für die Strahlenwirkung auch die Bestrahlungszeit eine entscheidende Rolle spielt, wird die Größe der Dosisleistung eingeführt. Die Energiedosisleistung ist die pro Zeiteinheit auf das Zielobjekt übertragene Energiedosis und ist damit ein Maß für die Strahlungsintensität. Die Definition der Energiedosisleistung ist in Gleichung (8) angegeben. [12,S.327]

$$D_E^\circ = \frac{dD_E}{dt} \quad (8)$$

D_E° ...Energiedosisleistung in Gy/s

dD_E ...Energiedosisänderung in Gy

dt ...Zeitdifferenz in s

2.2.6.2 Ionendosis und Ionendosisleistung

Wie bereits besprochen, werden durch die ionisierende Strahlung vor allem Elektronen aus den Atomhüllen der absorbierenden Materie herausgeschlagen. Es entsteht in der Folge eine gewisse Anzahl von Ionen, beziehungsweise Elektron-Ionen-Paare, welche zur Beschreibung der Ionisierungswirkung der Strahlung in einem Medium herangezogen werden können. Da sich zur Messung dieser physikalischen Größe am besten ein Gas eignet, wird für die Definition der Ionendosis Luft oder ein Reingas als Absorptionsmedium verwendet. Die Ionendosis ist die, durch ionisierende Strahlung in einem Luftvolumen erzeugte Ladungsmenge eines Vorzeichens, bezogen auf die Masse des bestrahlten Luftvolumens. Die Definition der Ionendosis ist in Gleichung (9) angegeben [12,S.327]

$$D_I = \frac{\Delta Q}{\Delta m_L} \quad (9)$$

D_I ...Ionendosis in C/kg

ΔQ ...erzeugte elektrische Ladung eines Vorzeichens in C

Δm_L ...Masse des bestrahlten Luftvolumens in kg

Analog zur Energiedosisleistung ist auch die Ionendosisleistung definiert. [12,S.327]

$$D_I^\circ = \frac{dD_I}{dt} \quad (10)$$

D_I° ...Ionendosisleistung in C/(kg*s)= A/kg

dD_I ...Ionendosisänderung in C/kg

dt ...Zeitdifferenz in s

Die Energiedosis, Ionendosis und die entsprechenden Dosisleistungen beschreiben lediglich die physikalischen Vorgänge der Energieübertragung, bei makroskopischen Absorptionseignissen, auf das Zielobjekt. In Werkstoffen und unbelebter Materie führen diese ionisierenden Strahlenwirkungen zu Kristallgitterdefekten, Leerstellen, Bindungsbrüchen oder Vernetzungsfehlern und in weiterer Folge zu Werkstoffermüdung, Korrosion und Versprödung der Materialien. Die spezifische biologische Wirkung ionisierender Strahlung in belebtem, organischem Gewebe, lässt sich aber immer noch nicht, durch diese rein physikalischen Größen, erfassen.

2.2.6.3 Ionisationsdichte und LET

„Um die verschiedenen biologischen Wirkungen ionisierender Strahlung zu beschreiben, sind zwei grundsätzliche Faktoren maßgeblich. Strahlung wirkt unterschiedlich auf organisches Körpergewebe, wenn die Strahlungsenergie auf kurzen oder längeren Wegstrecken absorbiert wird. Dieser Umstand wird durch die Ionisationsdichte oder den sogenannten LET beschrieben.“[6,S.310] LET ist die Abkürzung für „lineares Energieübertragungsvermögen“, und beschreibt wie die Ionisationsdichte, die Dichte der Energieübertragung, bezogen auf die zurückgelegte Weglänge des Teilchens. Allgemein spricht man bei Strahlung mit Ionisationsdichten von größer 3,5 keV/μm von dicht ionisierender Strahlung, bei Strahlung mit Ionisationsdichten kleiner 3,5 keV/μm, von locker ionisierender Strahlung. [4,S.57] Röntgenstrahlung, γ-Strahlung und β-Strahlung entsprechen einer locker ionisierenden Strahlung, α-Strahlung, Protonen- und Neutronenstrahlung hingegen dicht ionisierender Strahlung. „Dicht ionisierende Strahlungen geben ihre Bewegungsenergie oft schon innerhalb der Weglänge einer einzigen menschlichen Zelle vollständig ab. Sie erzeugen

dabei eine höhere Schadensdichte entlang ihrer Bahn als locker ionisierende Strahlungen, und besitzen deshalb auch eine stärkere biologische Wirkung.“[6,S.310]

2.2.6.4 Äquivalentdosis und Qualitätsfaktor

Um die unterschiedlichen biologischen Auswirkungen der einzelnen Strahlungsarten nun speziell in organischem Gewebematerial zu beschreiben, werden der sogenannte Qualitätsfaktor¹ (Q) und die Äquivalentdosis (H) definiert. Die Äquivalentdosis ist also bereits ein Maß für den biologischen Effekt, den die ionisierende Strahlung in organischem Gewebe hervorruft, und berücksichtigt mittels Qualitätsfaktor die jeweilige Strahlenart. [12,S.20] „Q gibt an, wie viel mal schädigender eine Strahlung, im Vergleich zur γ -Strahlung gleicher Energiedosisleistung, für organisches Gewebematerial ist.“ [12,S.10]

$$H = Q \cdot D_E \quad (11)$$

- H ...Äquivalentdosis in Sv = J/kg
 Q ...Qualitätsfaktor für Weichteilgewebe laut Tabelle 2, dimensionslos
 D_E ...Energiedosis die im Weichteilgewebe absorbiert wurde in Gy = J/kg

Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv), welches als physikalische Einheit genau dem Gray (Gy) entspricht. Bei Angaben kann durch die unterschiedliche Nomenklatur leicht anhand der Einheit festgestellt werden, ob es sich bei einer Dosisangabe um eine Energiedosis, oder um eine bereits gewichtete Äquivalentdosis handelt. Die zur Berechnung der Äquivalentdosis notwendigen Qualitätsfaktoren, sind für die unterschiedlichen Strahlungsarten in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Qualitätsfaktoren bzw. Strahlungswichtungsfaktoren nach IRCP60 [6,S.320]

Strahlung	Energie	Qualitätsfaktor (Q) bzw. Strahlungswichtungsfaktor (w _R)
Photonen (Röntgen-, Gammastrahlung)	alle	1
Elektronen, Positronen (Betastrahlung)	alle	1
Alphateilchen, Ionen (Alphastrahlung)	alle	20
Neutronen	<10 keV	5
	10-100 keV	10
	2-20 MeV	10
	100 keV - 2 MeV	20
	>20 MeV	5
Protonen	>2 MeV	5
	100 keV - 2 MeV	15 bis 5

¹ entspricht für die dargestellten Strahlenarten dem neueren Strahlenwichtungsfaktor w_R

2.2.6.5 Organdosis und Effektivdosis

Eine zweite, genauere Möglichkeit zur Beschreibung der biologischen Strahlenwirkung ist die Ermittlung der Strahlenbelastung mittels Organ-, und Effektivdosis. Dabei wird, zusätzlich zur Strahlungsart berücksichtigt, dass die einzelnen Organe und Gewebearten eines Menschen, unterschiedlich empfindlich bezüglich Strahlungseinwirkung sind. Die Organäquivalentdosis ist definiert als Produkt der mittleren Energiedosis (D_T) der bestrahlten Körperpartie und einem Strahlungswichtungsfaktor (w_R), welcher für die meisten Strahlenarten genau dem mittleren Qualitätsfaktor für das jeweilige Strahlungsfeld entspricht, aber auf neueren medizinischen Erkenntnissen beruht. [6,S.319]

$$H_T = w_R \cdot D_T \quad (12)$$

H_T ...Organäquivalentdosis in Sv

w_R ...Strahlungswichtungsfaktor laut Tabelle 2, dimensionslos

D_T ...Energiedosis in einem bestimmten Körperteil oder Organ in Gy

Die derzeit gültigen Strahlungswichtungsfaktoren nach der Norm gemäß ICRP60 sind für die wichtigsten Strahlungsarten in Tabelle 2 angeführt. Sie können sich aber mit neuen Erkenntnissen in der Medizin aber durchaus ändern und dann von den älteren Qualitätsfaktoren abweichen. Für die Berechnung der Effektivdosis werden aber noch zusätzliche Faktoren benötigt, welche die unterschiedliche Empfindlichkeit der einzelnen Organe berücksichtigen. Diese Faktoren werden als Gewebewichtungsfaktoren (w_T) bezeichnet, und empirisch mittels epidemiologischen Untersuchungen ermittelt. Der Mensch wird vereinfachend in 13 unterschiedliche Organe, welche für ionisierende Strahlung empfindlich sind, unterteilt. Für jedes strahlenempfindliche Organ ist je nach Empfindlichkeit der entsprechende Gewebewichtungsfaktor in Tabelle 3 angegeben. [3,S.11]

Tabelle 3: Gewebewichtungsfaktoren [3,S.11]

Organ oder Gewebe	Gewebewichtungsfaktor (w_T)
Keimdrüsen	0,20
rotes Knochenmark	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
restliche Organe/Gewebe	0,05
SUMME	1,00

Die Summe der Gewebewichtungsfaktoren ergibt genau 1, sie sind also auf 1 normiert. Eine homogene Körperbestrahlung aller strahlenempfindlichen Organe ergibt also genau die gleiche Strahlenbelastung wie die entsprechende Äquivalentdosis.

Die Effektivdosis (H_E) ist wie die Organdosen nicht unmittelbar messbar, sondern muss durch Summenbildung aus den verschiedenen Organdosen und Gewebewichtungsfaktoren berechnet werden, siehe Gleichung (13). Die Effektivdosis soll ein Maß für das mit einer Strahlenexposition verbundenen Risiko sein, wobei hier sowohl Strahlungsart als auch Gewebeart bei der Berechnung berücksichtigt werden. Die Effektivdosis kann auch als effektive Äquivalentdosis bezeichnet werden. [6,S.322]

$$H_E = \sum(w_T \cdot H_T) \quad (13)$$

H_E ...Effektivdosis in Sv

w_T ... Gewebewichtungsfaktoren laut Tabelle 3, dimensionslos

H_T ...Organäquivalentdosis in Sv

„Die effektive Dosis ermöglicht wegen der Risikobewertung einzelner Organe eine einheitliche Beurteilung des Gesamtrisikos nach einer Strahlenexposition. Dabei kann die Exposition an einzelnen Organen, mehreren Körperpartien oder gleichförmig am ganzen Körper vorgekommen sein. Das von der Effektivdosis beschriebene Risiko von Erbschäden und langfristig an Krebs zu erkranken, ist bei einer Teilkörperexposition aufgrund der Wichtung und der Summenbildung bei gleicher Effektivdosis ebenso groß, wie das Risiko bei einer homogenen Bestrahlung des gesamten Individuums.“[6,S.324]

2.2.6.6 Ortsdosis und Personendosis

Für die Abschätzung der Effektivdosis die eine Person erhält, wenn sie sich für eine bestimmte Zeit, an einem Ort mit einer radioaktiven Strahlungsquelle aufhält, benötigt man die sogenannte Ortsdosisleistung. „Die Ortsdosis ist die Summe, der in einem bestimmten Zeitbereich erfolgenden Einwirkungen verschiedener Strahlungsfelder, an einem bestimmten Ort.“[12,S.20] Diese Ortsdosisleistung (ODL) wird auch an über 300 Messstationen des „ODL-Messnetzes“ in Österreich gemessen, um letztendlich eine Aussage über die Effektivdosis der Bevölkerung aus natürlichen, externen Strahlungsquellen treffen zu können. Bei den Radioaktivitätsmessungen die in der ThermoTeam-Anlage durchgeführt wurden, erfolgte ebenso eine Ermittlung der Ortsdosisleistung an verschiedenen Orten in der Anlage und in unmittelbarer Nähe der einzelnen Rückstellproben.

Die Personendosis ist ein individuelles Maß für die jeweilige Strahlenexposition einer Person durch externe, natürliche und künstliche Strahlungsfelder, innerhalb eines bestimmten

Zeitbereiches. [12,S.21] Für die Ermittlung der Personendosis sind die Ortsdosisleistung, die Bestrahlungsart, die zeitliche und räumliche Verteilung der Strahlungseinwirkung, und die jeweiligen Aufenthaltszeiten der Person an Orten wo ionisierende Strahlung einwirken kann, ausschlaggebend. Eine genaue Abhandlung über die Grundlagen und den Ablauf der „Personendosimetrie“ würde an dieser Stelle aber zu weit führen.

2.2.6.7 Biologische Strahlenwirkung auf Körperzellen

Durch den Energieübertrag von ionisierender Strahlung auf die Atome der einzelnen Körperzellen kommt es zu direkten und indirekten Strahlenwirkungen. Durch die direkte Einwirkung der ionisierenden Strahlung auf die Valenzelektronen, werden unmittelbar Brüche der kovalenten Molekülbindungen ausgelöst. Durch indirekte Strahleneinwirkung werden weitere physikalische und chemischen Prozesse, wie beispielsweise Radikalbildung und Bildung von Peroxiden, in Gang gesetzt. Diese können ihrerseits chemisch mit organischen Molekülen wechselwirken und sind wiederum in der Lage kovalente Molekülbindungen in Zellen aufzubrechen. Das Aufbrechen von Bindungen führt in weiterer Folge zur Veränderung der molekularen Zellstruktur, zur Beeinträchtigung der Zellfunktionen, zur Schädigung des Erbguts, Mutation und ab einer bestimmten Dosis zum Absterben der betroffenen Zelle. Die meisten Schäden können durch intrazelluläre Reparaturmechanismen wieder repariert werden. Bleiben aber Schäden unerkannt und stirbt die Zelle durch die Strahlenwirkung nicht ab, besteht langfristig ein Risiko einer Mutation oder im schlimmsten Fall die Ausbildung eines Tumors. Als Beispiel für die zerstörende Wirkung ionisierender Strahlung in organischen Molekülen, ist in Abbildung 8 die Schädigung eines DNS-Moleküls dargestellt. [13,S.330-331]

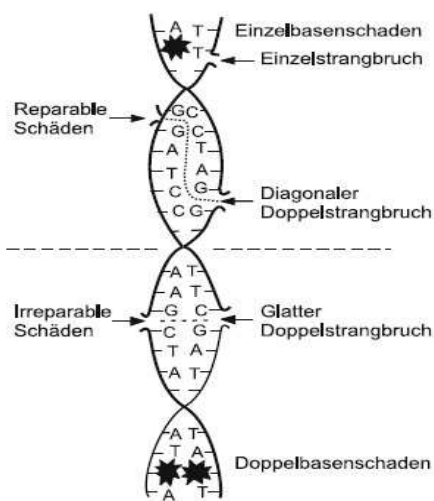


Abbildung 8: Strahlenschäden an einem DNS-Molekül [13,S.331]

Hinsichtlich Strahlenschäden unterscheidet man stochastische¹ und nicht stochastische, also direkt nachweisbare, oder deterministische Schäden. Akute Strahlenschäden treten erst bei großen Effektivdosen von über 0,25 Sv auf. Das Sievert an sich ist also, was den Strahlenschutz betrifft, eine sehr große Einheit. Ab einer Ganzkörperdosis von 0,25 Sv ist eine Veränderung des Blutbildes direkt nachweisbar. Ab 1 Sv ist mit deutlichen Symptomen der sogenannten Strahlenkrankheit zu rechnen. Die Erholung der Betroffenen ist aber hier noch fast sicher. Eine Dosis von 1 bis 3 Sv wird als „sublethale Dosis“ bezeichnet. Bei einer Dosis von 4 Sv beträgt die Überlebenswahrscheinlichkeit bereits nur mehr 50%, man nennt diese Dosis die „mittlere letale Dosis“ oder „LD 50 Dosis“. Bei einer aufgenommenen Strahlungsdosis von 7 Sv beträgt die Sterblichkeit bereits nahezu 100%, man spricht hier von der „lethalen Dosis“. [3,S.179] Die zu erwartenden Strahlenschäden für einen gesunden Erwachsenen sind abhängig von der empfangenen Effektivdosis und sind in Tabelle 4 nochmals zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 4: Strahlenschäden [3,S.179]

Effektivdosis	zu erwartender Schaden
< 0,25 Sv	stochastische Strahlenschäden, erhöhtes Krebsrisiko
0,25 Sv	erste Veränderung des Blutbildes
1 Sv	erste Symptome der Strahlenkrankheit
1-3 Sv	sublethale Dosis, Erholung möglich
4 Sv	mittlere lethale Dosis (LD 50)
7 Sv	lethale Dosis (LD 100)

Typische stochastische Strahlenschäden sind Spätschäden wie Erbgutschäden oder Krebserkrankungen nach einer Latenzzeit, die durchaus auch mehrere Jahrzehnte betragen kann. „Im Gegensatz zu den akuten Strahlenschäden, deren Wirkung der Dosis proportional ist, handelt es sich bei den Spätschäden um ein rein stochastisches Risiko, d.h. die Wahrscheinlichkeit des Auftretens hängt von der Dosis ab, nicht aber die Schwere der resultierenden Erkrankung. Das gesamte Krebsrisiko pro absorbierte Dosis von 10 mSv beträgt für einen gesunden Erwachsenen etwa 5×10^{-4} . Das bedeutet, dass von 10.000 Personen, die mit 10 mSv bestrahlt werden, im statistischen Mittel fünf aufgrund dieser Bestrahlung an Krebs erkranken.“ [3,S.181] Für Kinder oder bereits vorbelastete, kranke und alte Menschen ist das Risiko einer Erkrankung höher. Die Auftretenswahrscheinlichkeit von Krebserkrankungen nach so langen Zeitspannen kann nur mittels langfristiger epidemiologischer Studien ermittelt werden, wobei die Herstellung einer eindeutigen Ursache-Wirkungsbeziehung dementsprechend schwierig ist.

¹ Zufallsabhängige

2.3 Natürliche und künstliche Strahlenexposition in Österreich

Wenn man mit einem Geigerzähler misst, so wird dieser, auch wenn man ihn keiner radioaktiven Strahlungsquelle aussetzt, abhängig von der Zählrohrgröße, trotzdem ungefähr etwa zwanzig bis dreißig Mal in der Minute einen Zerfall registrieren. Man nennt dies die Hintergrundstrahlung, welche uns immer und überall umgibt. Zusätzlich zu diesen externen Strahlungsquellen, sind wir auch noch internen Strahlungsquellen ausgesetzt. Radioaktive Nuklide werden also auch ständig über die Nahrung oder Atemluft, also durch Ingestion und Inhalation, von uns aufgenommen. Die Summe aller, aus natürlichen Quellen stammenden, externen und internen Expositionen, wird als natürliche Strahlenexposition bezeichnet. Die natürliche Strahlenexposition eines Individuums ist sehr stark abhängig von Wohnort, Geologie¹, Ernährungs-, Wohn-, und Lebensgewohnheiten eines Einzelnen. Für die pragmatische Festsetzung von Grenzwerten, also das durch eine Bevölkerung akzeptierte Risiko für Strahlenexposition aus künstlichen Quellen, stellt die natürliche Strahlenexposition, oder besser die Schwankungen in der natürlichen Strahlenexposition, eine wesentliche Vergleichsmöglichkeit und Entscheidungsgrundlage dar. Trotz aller Schwankungen und individueller Unterschiede, ist es möglich, die mittlere Strahlenbelastung eines durchschnittlichen Österreicher zu ermitteln. Die Ergebnisse werden in regelmäßigen Abständen gemeinsam vom Gesundheits- und Lebensministerium veröffentlicht. In Abbildung 9 ist die gesamte Strahlenexposition, also die mittlere Effektivdosis, der ein durchschnittlicher Österreicher innerhalb eines Jahres ausgesetzt ist, auf Basis von Datenmaterial der Jahre 2005 und 2006 dargestellt.

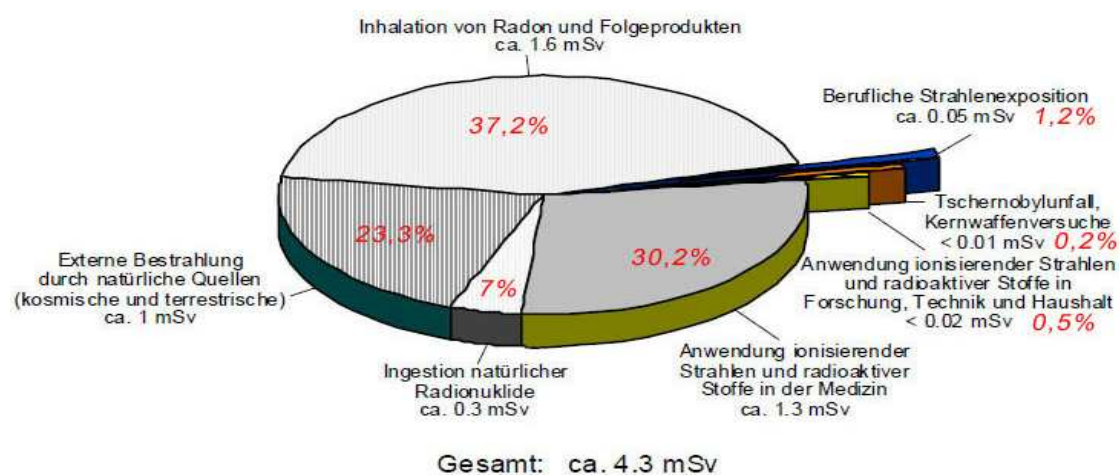


Abbildung 9: Strahlenexposition der österreichischen Bevölkerung 2005 und 2006 [14,S.7]

¹ Art der Gesteine und des Bodenaufbaus in der Region

Die Summe natürlicher Strahlenexposition für einen durchschnittlichen Österreicher im Jahre 2006 betrug 2,9 mSv, was einem Anteil natürlicher Quellen von 67,5 %, also rund zwei Drittel an der gesamten Strahlenexposition ausmacht. Nur ein Drittel der Belastung wird durch künstliche Strahlungsquellen, vor allem durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Diagnostik und Medizintechnik, verursacht. Die Strahlenbelastung die in der Bevölkerung, durch die „gezielte Nutzung von Radioaktivität“ am Arbeitsplatz, in Forschung, Technik und Industrie verursacht wird, trägt in Summe weniger als 2% zur Gesamtbelastung bei. Hier ist auch die Belastung der Bevölkerung durch Ableitung von radioaktiven Stoffen in die Atmosphäre berücksichtigt. Der weit überwiegende Anteil von 98% der Strahlenbelastung eines Österreichers erfolgt also durch natürliche Quellen, durch medizinische Untersuchungen und Therapien. [14,S.6-7]

2.3.1 Externe natürliche Strahlenexposition

Wenn man über die natürliche Strahlenbelastung eines Menschen spricht, muss zwischen interner und externer Belastung differenziert werden. Die externe Strahlenexposition hat ihre Ursachen, wie bereits in Kapitel (2.2.2) dargelegt, in kosmischer und terrestrischer Strahlung. In großen Höhen dominiert die kosmische Komponente, während in Meereshöhe die terrestrische Komponente den größeren Beitrag zur externen Strahlenexposition leistet. An Orten, wo natürliche primordiale Radionuklide in Gesteinen vermehrt vorkommen, oder in großen Höhen, sind Personen für die jeweilige Aufenthaltsdauer diesen Strahlungsquellen ausgesetzt. „Ein Großteil der externen Strahlenexposition im Freien und in geringen Höhen stammt von dem primordialen Radionuklid ^{40}K und den Nukliden der Thorium- und der Uran-Radiumreihe. Die externe Strahlenexposition hängt also im Wesentlichen von den Konzentrationen dieser Nuklide im Boden ab. Da die Gesteinszusammensetzungen und der Bodenaufbau lokal sehr unterschiedlich sind, schwanken die externen Jahresdosisleistungen aus terrestrischen Quellen stark nach geografischer Lage.“ [6,S.477,478] Auch in Österreich sind einige Gegenden mit einer, im Vergleich zum Durchschnitt, leicht erhöhten Strahlenbelastung aus dieser Quelle vorhanden. Weltweit gibt es aber einige Regionen mit einer stark erhöhten Ortsdosisleistung aus natürlichen, terrestrischen Quellen, wie beispielsweise einige Küstenregionen in Brasilien und Indien. An diesen Stränden ist „Monazitsand¹“, ein stark Thoriumhaltiges Mineral, in großen Mengen im Boden vorhanden und sorgt hier für Ortsdosisleistungen bis zu 90.000 nGy/h. [6,S.479] Diese Belastung entspricht dem 1000-fachen Wert der bei uns üblichen mittleren Ortsdosisleistung.

¹ Monazit, CePO_4 enthält bis zu 10% Thorium

Der Verlauf der externen Jahresdosisleistung durch die kosmische Komponente, und ihre Höhenabhängigkeit, ist in Abbildung 10 dargestellt.

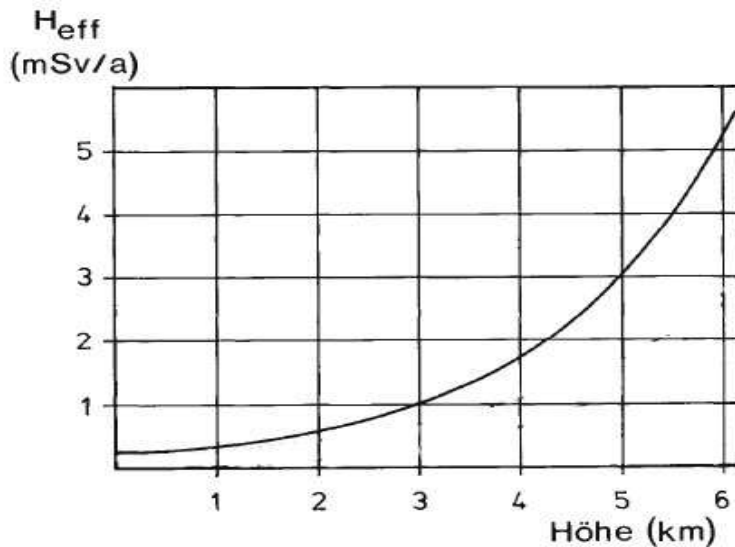


Abbildung 10: jährliche Effektivdosis durch kosmische Höhenstrahlung [6,S.486]

Der Anteil externer Strahlenexposition ist des Weiteren stark davon abhängig, ob sich der Aufenthaltsort im Freien, oder in einem Innenraum befindet, ob also Höhenstrahlung eventuell abgeschirmt wird, oder der Umgebung durch Baustoffe wiederum weitere radioaktive Strahlungsquellen hinzugefügt werden. Hierbei ist vor allem die Art der verwendeten Baustoffe ausschlaggebend. Während Holzbaustoffe wenig Abschirmwirkung für die kosmische Strahlungskomponente leisten, sind hier Ziegelbaustoffe überlegen, wobei durch die Ziegel der Umgebung aber unter Umständen wiederum weitere radioaktive Strahlungsquellen hinzugefügt werden können. Für Industriestaaten wird zur Berechnung der externen Strahlenexposition eine Aufenthaltsdauer von 80% in Innenräumen und 20% im Freien angesetzt.

Bei einem ganzjährigen Aufenthalt im Freien kommt es in Österreich im Mittel zu einer effektiven Dosis von etwa 0,78 mSv. Der österreichweite Mittelwert der Ortsdosisleistung beträgt etwa 90 nSv/h. Aufgrund der hier üblichen Ziegelbauweise, bei der radioaktive Nuklide im Ziegel in Spuren enthalten sind, ergibt sich für Innenräume mit 1,1 mSv pro Jahr im Mittel ein etwas höherer Wert als im Freien. Berücksichtigt man die Aufenthaltsdauern so ergibt sich in Österreich eine Gesamtdosis von etwa 1 mSv pro Einwohner und Jahr für die externe Strahlenbelastung.[14,S.67] Der Anteil der Belastung durch externe natürliche Strahlungsquellen beträgt, wie in Abbildung 9 dargestellt, rund 23% der durchschnittlichen Gesamtbelastung in Österreich.

2.3.2 Interne natürliche Strahlenexposition

Die interne Strahlenexposition aus natürlichen Quellen wird zum überwiegenden Teil durch Ingestion¹, und Inhalation, also Aufnahme von radioaktiven Nukliden über Nahrungsmittel und Trinkwasser, sowie Atemluft hervorgerufen. „Von den über Trinkwasser und Nahrungsmittel aufgenommenen natürlichen Radionukliden tragen nur Kalium-40 sowie einige Nuklide der Uran-Radiumreihe und der Thorium-Zerfallsreihe wesentlich zur Ingestionsdosis bei. Im menschlichen Körper befinden sich rund 2 g Kalium pro kg Körpergewebe. Dieses Kalium enthält, entsprechend dem natürlichen Isotopengemisch, das Isotop ⁴⁰K, das mit einer Aktivität von etwa 64 Bq pro kg Körpergewebe strahlt. [6,S.490] Ein durchschnittlicher Erwachsener mit einem Körpergewicht von 70 kg trägt also eine Menge des radioaktiven Isotops ⁴⁰K mit einer Aktivität von 4.500 Bq in sich. Im Mittel wird in Österreich eine jährliche effektive Dosis von etwa 0,31 mSv pro Person durch Nahrung und Trinkwasser aufgenommen.“ [14,S.68] Der Anteil der Belastung durch Ingestion beträgt, wie in Abbildung 9 dargestellt, aber nur rund 7% der durchschnittlichen Gesamtbelastung in Österreich.

Durch Inhalation von Radon-222 und dessen Folgeprodukten wird jedoch mit rund 40% der weitaus größte Teil der gesamten Strahlenbelastung eines durchschnittlichen Österreicher verursacht. Radon-222 ist ein natürliches radioaktives Edelgas, und Teil der natürlichen Uran-Radium-Zerfallsreihe, welche in Abbildung 3 dargestellt ist. „Da Uran als Spurenelement in der Erdkruste nahezu überall vorkommt, wird auch Radon nahezu überall im Boden gebildet. Im Freien verdünnt sich das aus dem Boden austretende Radon sehr rasch, die Freiluftkonzentrationen sind daher im allgemeinen sehr gering, in Gebäuden kann es sich aber mitunter stark anreichern.“ [15,S.5] „Der Untergrund unter den Gebäuden kann als die wesentlichste Radonquelle angesehen werden. Aufgrund des entstehenden Unterdrucks, einer Art Kamineffekt, saugen Häuser Gase aus dem Boden an, wobei die zu erwartende Radonkonzentration, von der Urankonzentration und der Permeabilität des Bodens bestimmt ist.“ [15,S.8] „Weitere mögliche, jedoch zumeist nur in Einzelfällen relevante Quellen für Radon in Gebäuden sind das Baumaterial, die Wasser- und Gasversorgung oder Mineraliensammlungen.

Radon dringt zumeist aus dem Keller in die darüber liegenden Wohnräume ein, wobei im allgemeinen mit dem Abstand zum Untergrund die Radonkonzentration nach oben hin von Stockwerk zu Stockwerk deutlich abnimmt.“ [15,S.9] Radon-222 und vor allem seine beiden α -strahlenden Folgeprodukte Polonium-218 und Polonium-214, welche im Atemtrakt

¹ orale Aufnahme eines Stoffes mit der Nahrung bzw. über den Verdauungstrakt

verbleiben, sind hauptverantwortlich für die natürliche Strahlenexposition des gesamten Atemtraktes, der Lungen und der Bronchialschleimhäute. Im Mittel wird in Österreich eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,6 mSv, also ein Anteil von rund 40% der Gesamtbelastung, allein durch die Radonexposition verursacht. [14,S.67] Das Österreichische Radonuntersuchungsprojekt (ÖNRAP) beschäftigt sich ausschließlich mit der Radonproblematik und bietet eine umfassende Information und Hilfestellung für Interessierte und Betroffene.

In Abbildung 11 ist der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration in einem Innenraum, und im Vergleich dazu, die relativ konstante Konzentration im Freien dargestellt. Man kann in dieser Darstellung sehr gut die Anreicherung des Radons in der Raumluft nach den einzelnen Lüftungsphasen beobachten.

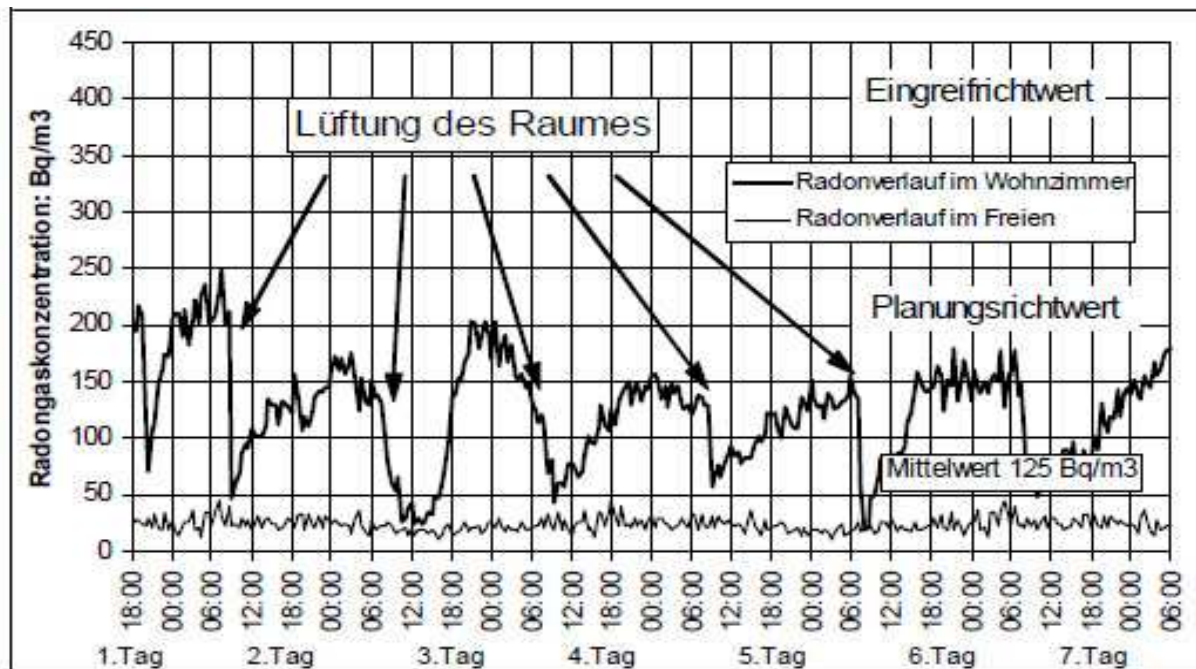


Abbildung 11: Radongaskonzentration in Innenräumen [15,S.9]

2.3.3 Österreichisches Strahlenfrühwarnsystem

Der Mensch hat von Natur aus kein Sinnesorgan, welches ihn vor radioaktiver Kontamination warnt. In der Zeit des Kalten Krieges und der ersten Nukleartests wurde es jedoch notwendig, im Falle einer radioaktiven Kontamination der Umweltmedien rechtzeitig alarmiert zu werden. Dementsprechend wurde ab 1975 in Österreich, sowie auch im übrigen Europa, ein vernetztes Radioaktivitätsmessnetz zur lückenlosen Erfassung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in der Luft errichtet.

Die Basis des Strahlenfrühwarnsystems bilden 336 Stück, auf ganz Österreich verteilte und über ein Datennetzwerk miteinander verbundene Ortsdosisleistungsmessstellen. Die ODL-Messsonden sind hochempfindliche Proportionalitätszählrohre und befinden sich in der Regel auf Dächern von öffentlichen Gebäuden. Die Maschenweite dieses dichten Überwachungsnetzes beträgt nur etwa 15 km, unter Berücksichtigung stärker besiedelter Gebiete und Ballungsräume, wo eine verstärkte Überwachung realisiert wurde. [14,S.16] Die aktuellen Messdaten aller Sonden werden, periodisch, alle zehn Minuten, von einem Server in der Bundesstrahlenwarnzentrale (BStrWZ) abgefragt, und in einer Datenbank zu Auswertungszwecken gespeichert, wobei im Fall einer Grenzwertüberschreitung automatisch ein Alarm ausgelöst wird.[16,S.3] In Abbildung 12 ist die genaue Anordnung der ODL-Messstellen dargestellt. Der zweite Teil der Überwachung des Mediums Luft wird durch 10 Stück Luftmonitore realisiert, welche ihrerseits in der Lage sind nicht nur die α -, β - und γ -Ortsdosisleistung festzustellen, sondern auch nuklidspezifische Messungen zum Nachweis einzelner Radionuklide in der Luft durchzuführen. Wie in Abbildung 12 ersichtlich, sind die Luftmonitore in grenznahen Gebieten angeordnet, um vor Kontaminationen aus dem Ausland rechtzeitig gewarnt zu werden. [14,S.17-18]

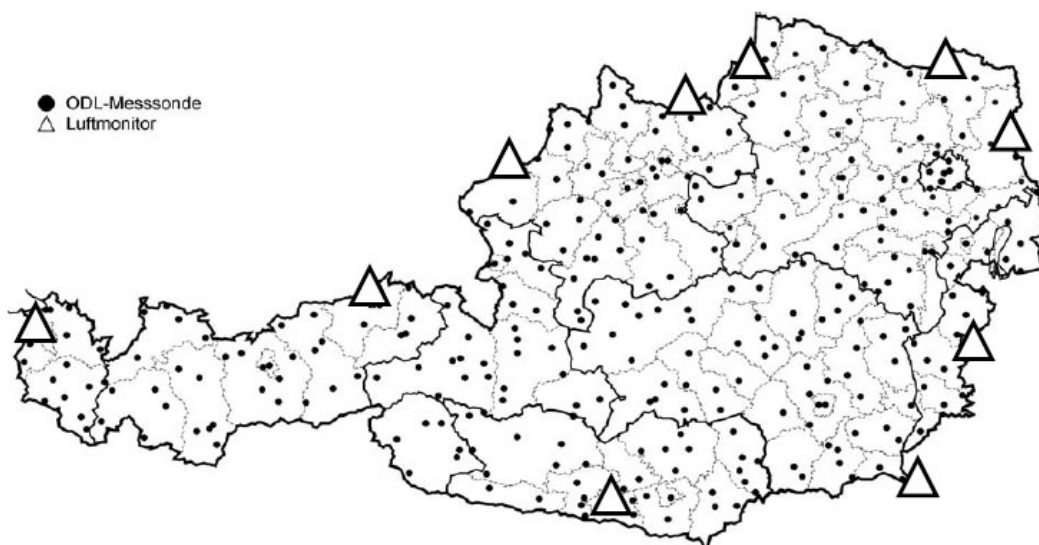


Abbildung 12: Standorte der ODL-Messsonden und Luftmonitore [14,S.17]

2.4 Gesetzliche Grundlagen in Österreich

In Österreich ist der Besitz und Umgang mit radioaktiven Strahlenquellen prinzipiell im „Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen einschließlich ihrer Nachkommenschaft vor Schäden durch ionisierende Strahlen“ (oder kurz Strahlenschutzgesetz – StrSchG BGBl.Nr227/1969) gesetzlich verankert. Weitere Gesetze, die auf ionisierende Strahlung Bezug nehmen, sind das Atomhaftungsgesetz, das Medizinproduktegesetz, das Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz, die Gewerbeordnung, das Gefahrgutbeförderungsgesetz, das Mutterschutzgesetz, das Maß- und Eichgesetz und noch etliche mehr. Zusätzlich zu den angeführten Gesetzestexten sind jeweils die entsprechenden Verordnungen zu berücksichtigen. Für die konkrete Problemstellung reicht es jedoch aus, auf spezielle wichtige Punkte des Strahlenschutzgesetzes (StrSchG) und der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung (AllgStrSchV) ein wenig einzugehen. [17,S.3-4]

2.4.1 Besitz und Umgang mit radioaktiven Strahlungsquellen

Hinsichtlich Besitz und Umgang mit radioaktiven Stoffen sind in Österreich klare gesetzliche Regelungen im Strahlenschutzgesetz festgeschrieben. So ist für alle natürlichen und juristischen Personen welche in irgendeiner Form radioaktive Stoffe besitzen eine Errichtungsbewilligung (§5.StrSchG) oder eine Betriebsbewilligung (§6.StrSchG) für Anlagen, und für alle übrigen Fälle eine Umgangsbewilligung (§10.StrSchG) oder eine Bauartzulassung (§19 StrSchG) vorgeschrieben. Zu jeder Zeit ist also prinzipiell ein Bewilligungsinhaber, oder Inhaber einer Bauartzulassung vorhanden, der für die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen, und Durchführung aller Strahlenschutzmaßnahmen, verantwortlich ist.

„Vorsätzlicher rechtswidriger Umgang mit radioaktiven Stoffen“ ist (...), jede sonstige Tätigkeit mit diesen Stoffen, die eine im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz nicht außer Acht zu lassende Exposition von Einzelpersonen bewirken kann, unter vorsätzlicher Umgehung der Bewilligungsvorschriften.“[18, §2.Abs.(48)]

Der Bewilligungsinhaber kann seinerseits einen Strahlenschutzbeauftragten mit der Durchführung aller notwendigen Maßnahmen beauftragen.

„Strahlenschutzbeauftragter ist eine für die Erfordernisse ihres Tätigkeitsbereiches qualifizierte Person, deren Ausbildung und Fachkenntnis von der zuständigen Behörde anerkannt ist und die mit der Wahrnehmung des Strahlenschutzes vom Bewilligungsinhaber oder dessen vertretungsbefugtem Organ betraut ist.“[18, §2.Abs.(43)]

Da der Strahlenschutzbeauftragte nicht alle Arbeiten mit Strahlungsquellen in einem Unternehmen selbst durchführt, wird der Begriff der beruflich strahlenexponierten Person eingeführt.

„Beruflich strahlenexponierte Personen sind (...), Arbeitskräfte (Selbständige, Arbeitnehmer oder Personen in Ausbildung), die einer Exposition ausgesetzt sind, bei denen die für Einzelpersonen der Bevölkerung durch Verordnung festgelegten Dosisgrenzwerte überschritten werden können. Diese beruflich strahlenexponierten Personen gehören den Kategorien A oder B an.“ [18, §2.Abs.(43)]

Prinzipiell dürfen nur beruflich strahlenexponierte Personen einen Strahlenbereich betreten oder Tätigkeiten im Umgang mit radioaktiven Stoffen durchführen. Diese in Strahlenbereichen tätigen Personen, müssen abgesehen von einer absolvierten Strahlenschutzausbildung, vor Aufnahme Ihrer Tätigkeit in regelmäßigen Abständen von mindestens einem Jahr unterwiesen werden. Zahlreiche zusätzliche Vorschriften wie Kennzeichnungspflicht, Festlegung von Strahlenbereichen, gesicherte Beförderung und Transport radioaktiver Stoffe und Pflicht zur Aufbewahrung unter Verschluss, sollen im Weiteren dafür sorgen, dass nur geschultes Personal einen Zugang zu radioaktiven Stoffen hat, und auch der versehentliche Gebrauch solcher Stoffe verhindert wird.

2.4.2 Klassifizierung

Da die Gefahr, welche von radioaktiven Stoffen ausgeht, von verschiedensten Faktoren wie Strahlungsart, Energie, Halbwertszeit und Aktivität des jeweiligen Nuklids abhängt, ist es notwendig eine Einteilung zu treffen, welche das Gefahrenpotential berücksichtigt und die zu treffenden Maßnahmen der Gefahr anpasst. Die Aktivitätswerte für diese Einteilung sind in der Anlage 1/Tabelle 1 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung nuklidspezifisch festgelegt. Sie erlauben einerseits die Einteilung in besonders gefährliche, hoch radioaktive Stoffe, und definieren eine Freigrenze für wenig gefährliche radioaktive Stoffe.

2.4.2.1 Freigrenze

Der Umgang mit Stoffen, deren Aktivität, bzw. spezifische Aktivität, die Freigrenzen gemäß Allgemeiner Strahlenschutzverordnung Anlage 1/Tabelle 1/Spalte 2 oder Spalte 3 nicht überschreiten, ist mit Ausnahme von Lebensmitteln und Arzneimitteln, generell von der Bewilligungspflicht und auch von der Meldepflicht ausgenommen. Die Aktivitätswerte sind nuklidspezifisch sehr unterschiedlich, und abhängig vom jeweiligen Gefährdungspotential. Auch der Umgang, mit in StrSchV/Anlage 1 nicht angeführten radioaktiven Stoffen, mit einer

Halbwertszeit bis zu einer Stunde, deren Aktivität die Freigrenze von 5.106 Becquerel nicht überschreitet, sowie radioaktiven Stoffen mit einer Halbwertszeit von mehr als 1 Stunde deren Aktivität weniger als 5.103 Becquerel beträgt, ist bewilligungsfrei gestattet. [19,§.6]

2.4.2.2 Hoch radioaktive Stoffe

„Eine umschlossene Strahlenquelle, die ein Radionuklid enthält, dessen Radioaktivität zum Zeitpunkt der Herstellung oder, falls dieser nicht bekannt ist, zum Zeitpunkt des ersten in Verkehrbringens dem in Anlage 1/Tabelle 1/Spalte 4 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung angegebenen Wert entspricht oder höher ist, gilt als hoch radioaktive Strahlenquelle.“ [19,§.64.(1)]

„Radioaktive Stoffe gelten als umschlossen, wenn deren Aufbau bei bestimmungsgemäßer Beanspruchung jede Verbreitung der radioaktiven Stoffe in die Umwelt verhindert.“ [19,§.52.(1)]

Für hoch radioaktive Strahlungsquellen (HASS¹) gelten besonders verschärfte Bewilligungs-, Meldungs-, Wartungs-, Überprüfungs-, Sicherheits- und Lagerungsvorschriften, wie beispielsweise die Aufbewahrung in umschlossenen Behältern. Die Gesamte α - und β -Strahlung wird dabei im geschlossenen Zustand von der Umhüllung absorbiert. Die γ -Strahlung muss von der Umhüllung derart geschwächt werden, dass die Dosisleistung in 1 m Entfernung zur Strahlungsquelle maximal 100 μ Sv/h beträgt. [19,§.65.(2)]

2.4.3 Aufzeichnungs- und Meldepflichten

Für „herkömmliche“, also nicht hoch radioaktive Stoffe, muss der Bewilligungsinhaber dem zentralen Strahlenquellenregister einmal jährlich eine Aktivitätsbilanz vorlegen, aus der der Bezug, die Weitergabe und die gelagerte Menge an radioaktiven Stoffen und radioaktiven Abfällen hervorgeht. [19,§.59.(4)] Alle hoch radioaktiven Strahlungsquellen, sind nicht nur indirekt über eine Aktivitätsbilanz, sondern direkt mit genauen Informationen zur Quelle und mit eindeutiger Identifikationsnummer im zentralen Strahlenquellenregister erfasst. Die Meldung erfolgt einmal jährlich oder bei Nutzungsänderung, Weitergabe oder Beseitigung der Strahlungsquelle. [19,§.64.(8)] Inhaber einer Bauartzulassung, welche Geräte die radioaktive Stoffe enthalten in Verkehr bringen, müssen vierteljährlich die Namen und

¹ High-Activity Sealed Sources

Adressen der Bezieher solcher Geräte, sowie den Umfang der Lieferungen an die Zulassungsbehörde melden. [19,§.8.(2)]

2.4.4 Entsorgung radioaktiver Abfälle

Während für die Entsorgung von herkömmlichen Abfällen das Abfallwirtschaftsgesetz maßgeblich ist, unterliegt die Entsorgung radioaktiver Abfälle dem Strahlenschutzgesetz.

„Radioaktive Abfälle, die nicht gemäß § 74 abgeleitet oder gemäß § 79 freigegeben werden, sind an eine behördlich bewilligte Einrichtung zur Wiederverwendung oder Wiederverwertung oder an eine behördlich bewilligte Einrichtung zur Konditionierung, Zwischenlagerung und späteren Beseitigung abzugeben. Sie können auch an den Hersteller oder den Lieferanten der radioaktiven Stoffe zurückgestellt werden, der sich seinerseits gegenüber dem Abgeber zur ordnungsgemäßen Beseitigung vertraglich verpflichtet.“ [19,§.78.(1)]

Für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in Österreich ist, laut §36.c des Strahlenschutzgesetzes, ausschließlich die Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH¹ (NES) zuständig und befugt. Die Entsorgung dieser Abfälle ist in Österreich also klar geregelt. Bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle erfolgt die gesamte Abwicklung, die Meldungen und die Rückführung an den Hersteller über das NES-Seibersdorf, wodurch das Risiko des Verlusts einer hoch radioaktiven Strahlungsquelle in Österreich sehr gering ist. Der radioaktive Abfall wird in Seibersdorf konditioniert und im Transferlager zwischengelagert, oder an den Hersteller retourniert. Eine direkte Rückführung des radioaktiven Abfalls an den Hersteller ist durch den Kunden bei Einhaltung aller Vorschriften und Sicherheitsmaßnahmen, wie beispielsweise gesicherte Überstellung mittels ADR-Gefahrguttransport, auch möglich.

Was ist aber nun eigentlich vor dem Gesetz ein radioaktiver Abfall und dementsprechend als solcher zu entsorgen und welche Materialien können auf herkömmlichem Wege laut Abfallwirtschaftsgesetz entsorgt werden? Um diese Fragen zu beantworten, muss man die Begriffe der „Freigabe“ und „eingeschränkte Freigabe“ beachten, welche im Strahlenschutzgesetz und in der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung definiert sind.

¹ Tochtergesellschaft des AIT (Austrian Institute of Technology), vormals ARC

2.4.4.1 Freigabe und eingeschränkte Freigabe

Wie bereits in der Einführung angedeutet, kann beinahe jedes Medium, angefangen vom Erdboden bis zur Atemluft, also auch Abfallströme, geringe Spuren von Radionukliden aufweisen und müsste so eigentlich als radioaktiver Stoff behandelt werden. Aus diesem Grund muss definiert werden, ab welcher Aktivität Stoffe überhaupt als radioaktive Stoffe gelten und somit unter die Bestimmungen des Strahlenschutzgesetzes fallen. Andererseits muss auch eine Vorgabe getroffen werden, um abgeklungene radioaktive Stoffe, aufgrund Ihrer geringen Aktivität, aus der Überwachung zu entlassen. Besonders für die Entsorgung von Materialien, also auch für die dieser Arbeit zugrundeliegende Problematik, ist diese Frage von entscheidender Bedeutung.

„Freigabe ist ein Verwaltungsakt, der die Entlassung radioaktiver Stoffe sowie kontaminierter beweglicher Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteile aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung regelt.“ [18, §2.Abs.(43)]

„Die Freigabe eines radioaktiven Stoffes bedeutet also, dass das Material (in der Regel auf Antrag des Bewilligungsinhabers) mit behördlicher Bewilligung¹ aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen wird. Voraussetzung für eine Freigabe ist grundsätzlich, dass die Strahlenbelastung für Einzelpersonen der Bevölkerung unter 10 µSv pro Jahr bleibt. Zur vereinfachten Anwendung des Freigabebegriffs sind in Anlage 1 / Tabelle 1 / Spalte 6 bis Spalte 12 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung, für alle Radionuklide Höchstaktivitäten für die Freigabe und eingeschränkte Freigabe aufgelistet.“ [20,S.6] In Tabelle 5 ist ein kurzer Auszug der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung Anlage 1 / Tabelle 1 zur Veranschaulichung der Freigrenze, Freigabe und eingeschränkten Freigabe dargestellt, die vollständige Tabelle umfasst 26 DIN-A4 Seiten.

Tabelle 5: Auszug aus der StrSchV Anlage1 / Tabelle1 [19,Anlage 1]

Radionuklid	Freigrenze		Aktivität hoch radioaktiver Quellen in Bq	Oberflächenkontamination in Bq/cm ²	Uneingeschränkte Freigabe von			Eingeschränkte Freigabe von			Halbwertszeit		
	Aktivität in Bq	spezifische Aktivität in Bq/g			festen Stoffen, Flüssigkeiten mit Ausn. von Sp. 7 in Bq/g	Beschutt, Bodenauswurf von mehr als 1000 t/a in Bq/g	Bodenflächen in Bq/g	Gebäuden zur W eder-, Weiterverwendung in Bq/cm ²	festen Stoffen zur Entsorgung mit Ausn. von Sp.7 in Bq/g	Gebäuden zum Abriss in Bq/cm ²		Metallschrott zur Rezyklierung in Bq/g	
Am-239	1 E+6	1 E+2									11,9	h	
Am-240	1 E+6	1 E+1									50,8	h	
Am-241	1 E+4	1	1 E+11	1 E-1	5 E-2	5 E-2	6 E-2	1 E-1	1	3	3 E-1	432,6	a
Am-242	1 E+6	1 E+3		1 E+2	1 E+3	3 E+1		1 E+2	1 E+3	3 E+5	1 E+3	16,0	h
Am-242m+	1 E+4	1	1 E+11	1 E-1	5 E-2	9 E-2	7 E-2	1 E-1	1	3	3 E-1	141,0	a
Am-243+	1 E+3	1	5 E+10	1 E-1	5 E-2	9 E-2	5 E-2	1 E-1	1	3	3 E-1	7,4 E+3	a
Am-244	1 E+6	1 E+1										10,1	h
Am-244m	1 E+7	1 E+4										26	m
Am-245	1 E+6	1 E+3										2,1	h
Am-246	1 E+5	1 E+1										39,0	m

¹ gemäß § 13a StrSchG

Bei einer uneingeschränkten Freigabe als inaktiver Abfall werden keinerlei Festlegungen hinsichtlich der weiteren Nutzung, Verwendung, Verwertung, Beseitigung oder dem endgültigen Verbleib der Stoffe vorgeschrieben. Als Abfall unterliegt das zu entsorgende Material dem Abfallwirtschaftsgesetz und seinen Bestimmungen. Eine eingeschränkte Freigabe fordert hingegen verpflichtend die Verbringung des Materials zur Ablagerung auf eine geeignete Deponie, oder die Beseitigung in einer geeigneten Verbrennungsanlage, wobei hier definitiv eine jegliche Verwertung oder Wiederverwendung ausgeschlossen sein muss. Dementsprechend sind bei der eingeschränkten Freigabe auch etwas höhere Restaktivitäten zulässig als bei der uneingeschränkten Freigabe. [19, Anlage 1, S.1]

2.4.4.2 Radioaktive Kontamination von Abfallströmen

Bezüglich Abfallsammlung und auch für die vorliegende Fragestellung radioaktiver Kontamination von Ersatzbrennstoffen ist vor Allem der Paragraph 61 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung wesentlich.

„Jede natürliche oder juristische Person, die Stoffe sammelt, handelt und verarbeitet, von denen nach heutigem Wissensstand anzunehmen ist, dass sie radioaktive Stoffe enthalten können oder dass sie radioaktiv kontaminiert sein können, hat durch geeignete Maßnahmen sicher zu stellen, dass diese Materialien frei von radioaktiven Stoffen und frei von radioaktiven Kontaminationen unter Beachtung der in der Anlage 1 angeführten Freigabewerte sind. Dies gilt insbesondere für Reststoffe für die Wiederverwertung und -verwendung.“ [19, §.61.(1)]

Die Freigabewerte laut Anlage 1 /Tabelle 1 /Spalte 6 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung laut müssen also gesetzlich verpflichtend für alle Inputströme der ThermoTeam-Anlage eingehalten werden. Als „geeignete Maßnahme“ zur Wahrung der Sorgfaltspflicht, und Überprüfung der Inputströme auf Risiken bezüglich radioaktiver Kontamination, wurde die vorliegende Arbeit in Auftrag gegeben.

„Wird (...); der Besitz von radioaktiv verunreinigtem oder kontaminiertem Material festgestellt, so hat der Besitzer dieses auf seine Kosten ordnungsgemäß zu entsorgen.“ [19, §.61.(2)]

Aufgrund dieser Bestimmung errichten derzeit Schrotthändler in ganz Österreich Detektoranlagen für radioaktives Material. Kann radioaktiv kontaminiertes Material bereits bei der Anlieferung, also vor der Annahme nachgewiesen werden, ist es möglich die Annahme des Materials zu verweigern und die kontaminierten Abfälle an den Lieferanten zu

retournieren, ohne das weitere Kosten für die Entsorgung anfallen. Nachdem der letzte Abfallbesitzer die anfallenden Entsorgungskosten tragen muss, ist man mit der Möglichkeit des frühzeitigen Nachweises einer möglichen Kontamination rechtlich und finanziell auf der sicheren Seite.

„Wird von einer natürlichen oder juristischen Person im Zusammenhang mit dem Umgang mit Materialien, die zur Wiederverwertung und -verwendung vorgesehen sind, mit radioaktiven Stoffen verunreinigtes oder radioaktiv kontaminiertes Material festgestellt, das die Freigabewerte gemäß Anlage 1 überschreitet, ist unverzüglich die zuständige Behörde zu informieren.“ [19, §.61.(4)]

Die zuständige Behörde welche bei einem Fund herrenloser radioaktiver Materialien in einem Inputstrom der ThermoTeam-Anlage zu benachrichtigen wäre, ist die Bezirksverwaltungsbehörde in Leibnitz. Die Anzeige eines Fundes kann auch bei der Polizei durchgeführt werden, welche dann ihrerseits eine Meldung an die zuständige Behörde weitergibt.

2.4.5 Grenzwerte für Anlagen

Als Grenzwert wird im Strahlenschutzgesetz und in der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung die höchstzulässige Effektivdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung mit 1 mSv pro Jahr festgesetzt. [19,§.14.(1)] Diese Effektivdosis ist entsprechend dem Geltungsbereich des Strahlenschutzgesetzes, nur auf Belastungen aus der „gezielten Nutzung der Radioaktivität“ begrenzt, also auf Exposition aus dem Betrieb von Anlagen, und den Umgang mit künstlichen Strahlenquellen. Die Belastung durch die natürliche Strahlung, die Radonexposition in Wohnungen und die Exposition aus medizinischen Untersuchungen und Therapien sind jedoch nicht in diesem Grenzwert erfasst. [18,§.1,§.2.(7)] Wie bereits in Abbildung 9 dargestellt ist, beträgt die jährliche Gesamtbelastung aus all diesen Quellen rund 4,3 mSv pro Jahr, der Grenzwert wäre also deutlich überschritten.

Für die Entsorgung von Materialien sind wie bereits besprochen die Freigabewerte maßgeblich. Diese Freigabewerte sind so berechnet, dass bei einer Freisetzung dieser Materialien die Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung maximal ein Hundertstel des Grenzwerts von 1 mSv beträgt. [18,§.13.(2)] Der Grenzwert für die Exposition der Bevölkerung im speziellen durch freigegebenes Material beträgt also 0,01 mSv oder 10 µSv Effektivdosis aus dieser Quelle pro Jahr. Dieser Grenzwert ist von allen Abfallentsorgungsanlagen einzuhalten, welche keine spezielle Strahlenschutzrechtliche

Genehmigung besitzen. Bei ThermoTeam in Retznei handelt es sich um eine Verwertung des Abfalls als Ersatzbrennstoff, dementsprechend ist auch hier der Grenzwert einer uneingeschränkten Freigabe für die Inputströme maßgeblich. Bei Einhaltung der Freigabewerte ist die Exposition aus dieser Quelle, verglichen mit den natürlichen Belastungen, bei Einzelpersonen der Zivilbevölkerung verschwindend gering und macht einen prozentualen Anteil von lediglich etwa 0,23% der Gesamtbelastung aus.

Für strahlenschutzrechtlich bewilligte Anlagen, wie beispielsweise das Austrian Research Center Seibersdorf (ARCS), ist ein deutlich höherer Grenzwert für die sogenannte Ableitung von radioaktiven Betriebsabwässern oder Rauchgasen zulässig.

„Werden radioaktive Stoffe in flüssiger Form mit dem Betriebsabwasser oder in Form von Aerosolen, Gasen oder Dämpfen mit der Abluft aus strahlenschutzrechtlich bewilligten Anlagen abgeleitet, so ist die abgegebene Aktivitätsmenge so zu begrenzen, dass die jährliche Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung aufgrund dieser Ableitung eine effektive Dosis von 0,3 mSv nicht überschreitet.“ [19,§.74.(1)]

Gemessen an der jährlichen Gesamtbelastung von 4,3 mSv wäre die akzeptierte Belastung der Bevölkerung aus diesen genehmigten Quellen mit einem Anteil von rund 7% der Gesamtbelastung deutlich höher zu bewerten als die Belastung durch freigegebene Abfallströme.

Für beruflich strahlenexponierte Personen sind mit 6 mSv für Personen der Kategorie A und 20 mSv für Personen der Kategorie B deutlich höhere Grenzwerte für die jährliche Effektivdosis zulässig. [19,§.11.(1)] Diese Grenzwerte sind für den Anlagenbetrieb in Unternehmen ohne radioaktive Strahlungsquellen zwar irrelevant, können aber vergleichend zur Risikobewertung bei Einzelpersonen und Mitarbeitern herangezogen werden. Ein Grenzwert ist nichts anderes als ein Maß für die akzeptierte Risikobereitschaft einer Gesellschaft mit radioaktiven Belastungen und Expositionen der Bevölkerung oder Einzelpersonen umzugehen.

3 Praktischer Teil – Radioaktivitätsmessungen

Um die Aussagen der theoretischen Betrachtungen im vierten Teil dieser Arbeit zu untermauern, und, soweit dies im Bereich des Möglichen war, den Nachweis zu führen, dass keine radioaktiven Kontaminationen in der Anlage produzierten ASB vorhanden sind, wurden im Januar und Februar des Jahres 2010 diverse Messungen in der Thermoteam-Anlage in Retznei durchgeführt. Aufgrund der enormen Stoffströme von über 60.000 t an Inputmaterial und 10.000 Einzelanlieferungen pro Jahr konnte hier keine lückenlose Überwachung über einen längeren Zeitraum und kein absoluter Nachweis realisiert werden, welcher in irgend einer Form noch verhältnismäßig und bezahlbar wäre. Eine Reduktion des Untersuchungsrahmens und des Untersuchungszeitraums war also zwingend notwendig, ohne jedoch die Aussagekraft von Messergebnissen durch zu starke Reduktion zu sehr zu schwächen. Um das bestmögliche Resultat, im Rahmen der begrenzten Mittel welche für die Messungen zur Verfügung standen, zu realisieren, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Konzept entwickelt, das seine Aussagekraft (im Unterschied zu einer einzigen punktuellen Messung) durch die Verteilung auf mehrere Säulen verstärkt und gleichzeitig mit einfachsten Mitteln in beschränkter Zeit realisierbar war.

3.1 Das vier Säulen Konzept

Das vierstufige Messkonzept beruht einerseits auf den Messungen welche in der Anlage mit einem Handmessgerät durchgeführt wurden, andererseits auf Datenmaterial das von den offiziellen Messungen des bereits beschriebenen ODL-Messnetzes im Bezirk Leibnitz stammt. Dieses Datenmaterial wurde freundlicherweise vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft zur Verfügung gestellt. Konkret beruht das Konzept auf folgenden vier Säulen:

1. Kontrolle der ASB-Rückstellproben auf radioaktive Kontaminationen
2. Kontrolle der Produktionsanlage auf radioaktive Kontaminationen
3. Dauermessung am Rohrgurttörderer über einen längeren Zeitraum
4. Kontrolle der Messwerte der ODL-Messstationen in unmittelbarer Nähe der Anlage

Bei den Handmessungen wurde die Anzahl der Ionisationen (und schließlich die Ortsdosisleistung) gemittelt über einen bestimmten Bezugszeitraum, gemessen. Für den Nachweis und die Rückverfolgbarkeit der manuell durchgeführten Messungen wurden Messprotokolle angefertigt, welche sich im Anhang dieser Arbeit befinden.

3.2 Messgerät „Gamma - Scout“

Für die Messung wurde am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik eigens ein Handmessgerät angeschafft, welches in der Lage sein sollte radioaktive Kontaminationen auch im Spurenbereich nachzuweisen. Um auch eine Messung über einen etwas längeren Zeitraum realisieren zu können, war die zweite Anforderung an das Messgerät, die Fähigkeit Messdaten abzuspeichern, welche zu einem späteren Zeitpunkt auslesbar sind. Professionelle Messgeräte die diese Funktionalität aufweisen, wie beispielsweise das Strahlenschutzmessgerät „SSM-1“ von Seibersdorf Research, kosten einige tausend Euro und wären im Rahmen der Masterarbeit nicht finanzierbar gewesen. Bei der Auswahl eines Messgerätes ist insbesondere auf die Eignung des Gerätes bezüglich der zu messenden Strahlenart, den vorliegenden Energiebereich und auf die Ober- und Untergrenze des Messbereichs zu achten. Für die Anlagenmessung und für die Kontrollmessungen der Rückstellproben sollten etwaige Kontaminationen auch im Spurenbereich, knapp über der natürlichen Strahlung, nachweisbar sein, wobei hier α -, β - und γ -Strahler gemessen werden sollten. Der Erwartungswert für die Messungen war von vornherein keine Kontaminationen nachweisen zu können, daher spielte die Obergrenze der quantitativ messbaren Strahlungsdosis für die Auswahl des Messgerätes keine Rolle. Nach langer Suche konnte ein Messgerät ausgewählt werden, das allen Anforderungen genügt, der „Gamma Scout“ des gleichnamigen Herstellers. Das Individuelle Prüfzertifikat des verwendeten Messgerätes befindet sich im Anhang A der vorliegenden Arbeit.

3.2.1 Messprinzip Geiger-Müller Zählrohr

Das „Gamma Scout“-Messgerät ist mit einem „Geiger-Müller“-Zählrohr ausgestattet, welches in der Lage ist α -, β - und γ -Strahlung nachzuweisen. Die Auswahl der Messart erfolgt durch Betätigung eines Blendenwahlschalters an der Gerätefront, welcher verschiedene Abschirmmaterialien direkt vor dem Zählrohr platziert. Für die Messungen wurde immer auf diese Abschirmung verzichtet, um die höchst mögliche Empfindlichkeit zu garantieren und gegebenenfalls alle messbaren Strahlenarten nachweisen zu können. Das Messprinzip beruht auf der bereits beschriebenen Wirkung ionisierender Strahlung, in einem Gas eine Ionisierung von Atomen hervorrufen zu können. Im Zählrohr befindet sich ein Löschgas und ein Zählrohrdraht der als Anode an einer Kammeranspannung von mehreren hundert Volt liegt. Wird im Gasraum des Messzylinders durch Eintritt eines Strahlungsteilchens eine Ionisationslawine ausgelöst, so bewegen sich die erzeugten Ladungsträger, bedingt durch das elektrische Feld, je nach ihrem Vorzeichen zur Anode oder Kathode. [3,S.58] Der dadurch erzeugte Spannungsimpuls wird registriert, elektronisch verstärkt und ausgewertet. Abbildung 13 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Zählrohres.

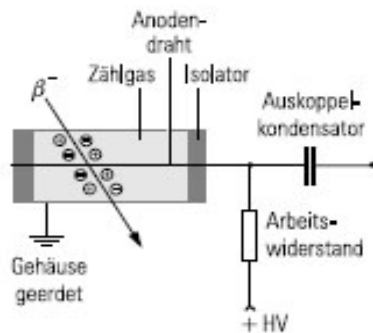


Abbildung 13: Prinzip eines Zählrohrs [6,S.59]

Der „Gamma Scout“ hat einen Messzylinder mit 9,1 mm Durchmesser und einer Länge von 38,1 mm, und ist mit einem Neon-Halogen Gas befüllt. Der kleine Zählrohrdurchmesser und das geringere Zylindervolumen, verglichen mit professionelleren Geräten, wirkt sich direkt auf die Anzahl und die Schwankungsbreite der registrierten Ionisationen aus. Die Schwankungen der zufällig ablaufenden Ionisationen in einem Volumen sind umso größer je kleiner das Messvolumen, die Anzahl der registrierten Ionisationen und je kürzer die Messdauer ist. [6,S.41] Dieser Umstand beeinflusst in direkter Weise die Messergebnisse und soll zur Erklärung der Schwankungsbreite der einzelnen Messwerte, der Vollständigkeit halber erwähnt sein.

3.2.2 Technische Daten und Messbereich

Das verwendete Messgerät hat einen kalibrierten Messbereich von 10 nSv/h bis 50 μ Sv/h, in dem die attestierte Messgenauigkeit von $\pm 5\%$ erreicht wird. Darüber hinaus kann das Messgerät Strahlungsquellen bis 1.000 μ Sv/h mit einer etwas höheren Messgenauigkeit feststellen. Für Messungen von Dosisleistungen größer als 1.000 μ Sv/h ist das Messgerät nicht geeignet. [21,S.16] Die „normale“ durchschnittliche Ortsdosisleistung beträgt in Österreich zum Vergleich in etwa 70 bis 200 nSv/h, je nachdem ob man sich im Freien oder in einem Innenraum aufhält. Vom Messbereich her ist der Gamma Scout also zur Kontrolle gängiger Umweltbelastungen und zur Feststellung von diesbezüglichen Abweichungen konzipiert und geeignet hier etwaige Auffälligkeiten zu erkennen. Darüber hinaus verfügt der Gamma Scout über einen integrierten Datenspeicher für 768 Messwerte und über eine USB-Schnittstelle. Über eine mitgelieferte Toolbox-Software können die andauernd erfassten und protokollierten Messwerte ausgelesen, und auf einen Rechner übertragen werden. Die Protokollfunktion des Messgerätes wurde für alle Messungen verwendet, und ermöglichte auch die Durchführung einer Dauermessung über einen längeren Zeitraum.

3.3 Kontrolle der Tagesrückstellproben

Der in der Thermoteam-Anlage erzeugte Abfallsubstitutbrennstoff (ASB) wird aus Gründen der Rückverfolgbarkeit, Nachweisbarkeit und aus Anforderungen des Qualitätsmanagements täglich beprobt. Alle 20 Minuten wird dem ASB-Produktstrom eine kleine Probenmenge mit einer automatischen Probenahmeverrichtung entnommen. Diese Mischprobe wird anschließend mittels „Vierteln und Diagonalisieren“ bis zur Tagesprobe verjüngt. Eine repräsentative Tagesrückstellprobe des erzeugten ASB besteht letztendlich aus rund 0,3 bis 0,4 dm³ Probevolumen, mit einem Gewicht von etwa 20 bis 25 g. Diese Tagesrückstellproben werden mit dem Entnahmedatum gekennzeichnet, gesammelt und über einen Zeitraum von zumindest einem Jahr hinweg archiviert und aufbewahrt. Eine Tagesrückstellprobe soll repräsentativ sein, also die gesamten Eigenschaften des an diesem Tag erzeugten ASB widerspiegeln, auch wenn die Probenmenge im Vergleich zur täglich erzeugten Menge von bis zu 200 t sehr gering ist. Aus dieser Überlegung heraus wurde die Idee geboren, die Rückstellproben auf etwaige radioaktive Kontaminationen zu überprüfen. Sollte in der Vergangenheit radioaktives Material in die Anlage gelangt sein, könnte anhand der entsprechenden Tagesrückstellprobe, unter bestimmten Voraussetzungen, eine radioaktive Kontamination einer Charge auch rückwirkend nachgewiesen werden.

Zweifel an der Nachweisbarkeit kleinräumiger Kontaminationen aus dieser Verfahrensweise sind jedoch durchaus berechtigt und angebracht. Grundvoraussetzung für die Nachweisbarkeit einer radioaktiven Kontamination anhand der Tagesrückstellproben ist, dass sich die radioaktive Kontamination auf den Gesamten, oder zumindest auf einen beträchtlichen Teil der erzeugten Tagesmenge an ASB verteilt. Die Verteilung einer radioaktiven oder radioaktiv kontaminierten Substanz im ASB, ist durch die Zerkleinerung und die zahlreichen mechanischen Verfahrensschritte, welche eine gute Durchmischung des ASB garantieren, nur unter bestimmten Voraussetzungen gewährleistet. Die eingetragene radioaktive Quelle muss eine flüssige, aerosolförmige, staubförmige oder pulverförmige Konsistenz aufweisen, oder durch die mechanische Einwirkung der Zerkleinerungsaggregate in eine solche Form übergeführt werden können. Nur in diesem Fall ist es möglich dass sich die eingetragene Kontamination auf größere Mengen des ASB verteilt und so auch in den repräsentativen Tagesrückstellproben nachweisbar ist. Gelangt jedoch eine punktförmige, konzentrierte Strahlungsquelle in die Anlage, die durch mechanische Einwirkung nicht maßgeblich zertrümmert und im ASB verteilt werden kann, wäre ein Nachweis mit dieser Methode unmöglich. Andererseits sind Materialien dieser Art für eine radioaktive Kontamination des erzeugten ASB aber relativ unproblematisch, weil gerade diese Stoffe in der Anlage sehr gut mechanisch abtrennbar sind. Wie alle anderen kompakten und dichten Materialien würden schwere, konzentrierte, kompakte Strahlungsquellen entweder über den

Windsichter gemeinsam mit den Inertstoffen¹, oder im Falle eines Metalls über einen der zahlreichen Metallabscheider mit großer Sicherheit aus dem Produktstrom abgetrennt werden. In Summe sind hier vier FE-Metallabscheider und ein NE-Metallabscheider im Aufbereitungsprozess integriert, welche Störstoff-Abscheidegrade von über 99% gewährleisten. Die noch sicher abtrennbare Korngröße für solche schweren Störstoffe liegt dabei in der Größenordnung von etwa 10-15 mm.

Die Tatsache, dass aufgrund der geringen Menge oder Aktivität einer möglichen Kontamination, die Verteilung im Produktstrom so punktuell und räumlich begrenzt ist, dass anhand der Rückstellprobe kein Nachweis mehr möglich ist, kann aber nicht ganz von der Hand gewiesen werden, und ist als Nachteil dieser Verfahrensweise festzuhalten. Aus diesem Grund wurden die ursprünglich angedachte Kontrollen der Tagesrückstellproben zum vier Säulen Konzept, welches bereits einführend erläutert wurde, weiterentwickelt.

Als Vorteile der Verfahrensweise, sind bei der Kontrolle von Tagesrückstellproben, die Möglichkeit einen rückwirkenden Nachweis erbringen zu können, sowie die Gewissheit dass beträchtliche und großräumige radioaktive Kontaminationen des ASB in der Vergangenheit sicher ausgeschlossen werden können, anzuführen. Auch leicht erhöhte Radioaktivitätswerte einer Charge könnten bei Eintrag der entsprechenden Stoffmengen und Verteilung in den Aggregaten, wie sie beispielsweise durch größere Mengen schwach kontaminierter Stäube oder Schlämme eingetragen werden können, sicher in einer Tagesrückstellprobe nachgewiesen werden.

3.3.1 Durchführung der Messungen

Insgesamt wurden 601 Stück Tagesrückstellproben der Produktionsjahre 2008 und 2009 gründlich auf radioaktive Kontaminationen hin überprüft. Das gesamte überprüfte Probenvolumen liegt bei ungefähr 300 dm³, die überprüfte Probenmasse betrug in Summe etwa 15 kg. In Abbildung 14 ist die Menge der Tagesrückstellproben eines Produktionsjahres dargestellt. Die Proben lagen unsortiert und in Kunststoffbeuteln verpackt zur Messung vor. Im Messprotokoll der Tagesrückstellproben sind die Proben daher auch nicht nach dem Datum geordnet, sondern entsprechend der Entnahmereihenfolge und dem Zeitpunkt der Messung aufgelistet.

¹ reaktionsarme, anorganische Stoffe hoher spezifischer Dichte z.B. Glas, Steine, Keramik



Abbildung 14: Tagesrückstellproben des Jahres 2009

Für die Dokumentation der Messungen wurde die automatische Protokollfunktion des Messgerätes ausgenutzt, wobei der Protokollabstand auf eine Minute eingestellt wurde. Jede Probe wurde also über eine Zeitdauer von exakt 60 Sekunden kontrolliert. Das Messgerät zählt dabei 60 Sekunden lang die eingehenden Impulse und rechnet sich daraus eine über diese Zeitdauer gemittelte Ortsdosisleistung aus, welche anschließend mit dem genauen Messzeitraum im Protokoll abgespeichert wird. Zur Synchronisation der Austauschzeiten mit der internen Protokollfunktion wurde ein externer Signalgeber verwendet, der mit einem akustischen Signal auf den Probenwechsel aufmerksam machte. Jeder Probenbeutel wurde zuerst beidseitig von außen in geringem Abstand von einigen Millimetern oberflächlich abgescannt, anschließend geöffnet und mit dem eingeführten Messgerät anschließend auch von innen kontrolliert. Abbildung 15 zeigt die Kontrollmessung der Tagesrückstellproben mit dem Gamma Scout und die zeitgleiche Dokumentation der durchgeführten Messungen am Computer.



Abbildung 15: Kontrollmessung der Tagesrückstellproben

3.3.2 Ergebnisse der Tagesrückstellproben Kontrollmessung

Keine der Proben wies eine, im Vergleich zur Hintergrundstrahlung, erhöhte Radioaktivität auf, welche außerhalb der statistischen Schwankungsbreite liegt. Wie bereits erwähnt, wird die Schwankungsbreite durch mehrere Faktoren, wie Zählrohrvolumen, Strahlungsintensität und Messdauer bestimmt. Bei den Kontrollmessungen der Tagesrückstellproben wurde lediglich über eine Zeitdauer von einer Minute gemittelt, somit ist hier die Schwankungsbreite, im Vergleich zu den Stundenmittelwerten bei der Dauermessung, entsprechend höher.

3.3.2.1 Statistische Auswertung der Messergebnisse

„Eine einzelne Messung ist also immer mit einem von der Zählrate abhängigen zufälligen Messfehler versehen, der nur mit Hilfe statistischer Methoden abgeschätzt werden kann. Die Zahl, der in einer konstanten Anordnung nachgewiesenen Zählereignisse (N), folgt der Theorie nach einer Poissonverteilung, die für größere Zählraten aber durch eine Gauß'sche Normalverteilung angenähert werden kann.“ [6,S.41] „Insbesondere ist die Poissonverteilung bei geringen Impulszahlen (<10) zu verwenden. Bei größeren Impulszahlen (>10) kann man die Poissonverteilung durch eine Gaußverteilung nähern. Zum Unterschied zu einer Gaußverteilung, die bekanntlich zwei Parameter aufweist, nämlich Mittelwert (μ) und Standardabweichung (σ), ist die Poissonverteilung eine Verteilung mit dem Mittelwert (n) als einzigen Parameter.“ [7,Kap.2,S.23]

„Die Halbwertbreite einer Gaußkurve beträgt (2σ). Der statistische Messfehler ist die so genannte einfache Standardabweichung (σ). Innerhalb der Standardabweichung ($\pm\sigma$) werden 68,3%, innerhalb ($\pm 2\sigma$) schon 95,5% und innerhalb ($\pm 3\sigma$) bereits 99,7% aller Messergebnisse erwartet.“ [6,S.41] Der Mittelwert (\bar{X}) aus allen Messungen (n) ergibt sich nach Gleichung (14).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad (14)$$

\bar{X} ...Mittelwert

X_i ...Einzelmesswert i

n ...Anzahl der Messungen

Die Varianz (σ^2) wird nach Gleichung (15) und die Standardabweichung anschließend nach Gleichung (16) berechnet.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (15)$$

σ^2 ...Varianz

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (16)$$

σ ...Standardabweichung

Für die Impulsrate wurde bei der Messung der Tagesrückstellproben ein Mittelwert von 19,79 cpm¹ und eine Standardabweichung von 4,61 cpm festgestellt.

Für die Ortsdosisleistung wurde bei der Messung der Tagesrückstellproben ein Mittelwert von 0,14 $\mu\text{Sv/h}$ und eine Standardabweichung von 0,033 $\mu\text{Sv/h}$ festgestellt.

Für ein Konfidenzintervall von 0,997, d.h. mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99,7% sollten alle Messwerte der Impulsrate in einem Bereich der 3-fachen Standardabweichung, also zwischen 5,96 cpm und 33,62 cpm liegen.

Für ein Konfidenzintervall von 0,997, d.h. mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99,7% sollten alle Messwerte der Ortsdosisleistung in einem Bereich der 3-fachen Standardabweichung, also zwischen 0,041 $\mu\text{Sv/h}$ und 0,239 $\mu\text{Sv/h}$ liegen.

¹ cpm= counts per minute; Ionisationen bzw. Zählereignisse pro Minute

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind die Messergebnisse der Impulsrate und der Ortsdosisleistung, in Form eines Balkendiagramms, komprimiert dargestellt. Jeder Balken repräsentiert den Messwert einer Tagesrückstellprobe. Wie in den Abbildungen leicht zu erkennen ist, liegen alle Messwerte innerhalb des statistischen Erwartungsbereiches der dreifachen Standardabweichung. Der gemessene Mittelwert der Ortsdosisleistung von $0,14 \mu\text{Sv/h}$ entspricht dem Wert der normalen, im Vergleich zum Freien leicht erhöhten, Hintergrundstrahlung in Innenräumen.

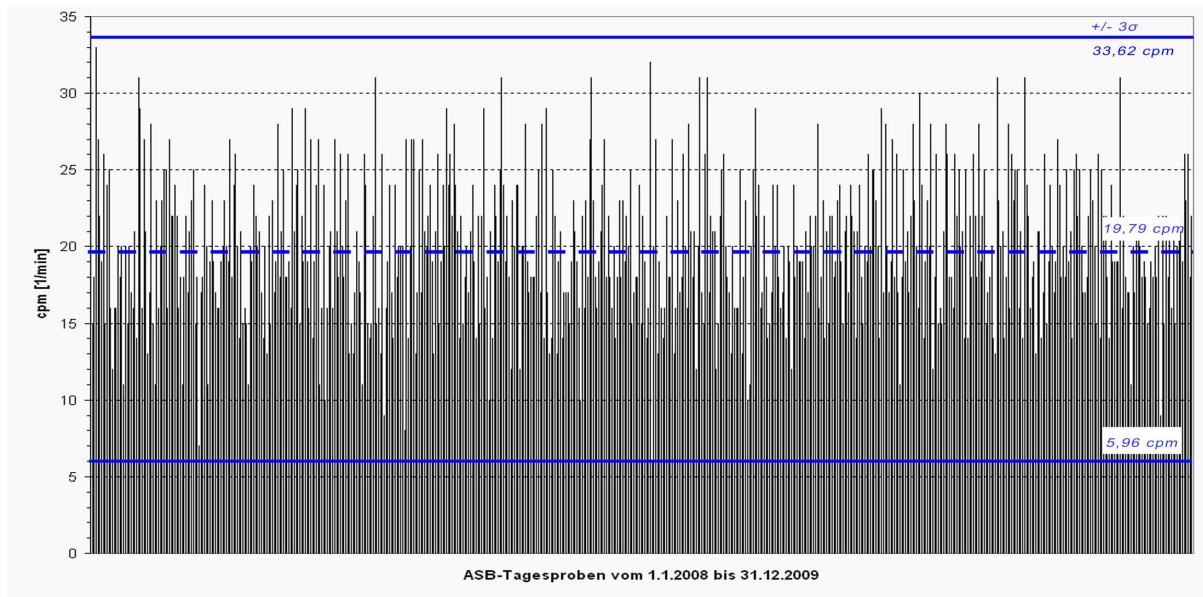


Abbildung 16: Impulsrate „counts per minute - cpm“ - Tagesrückstellprobenmessung

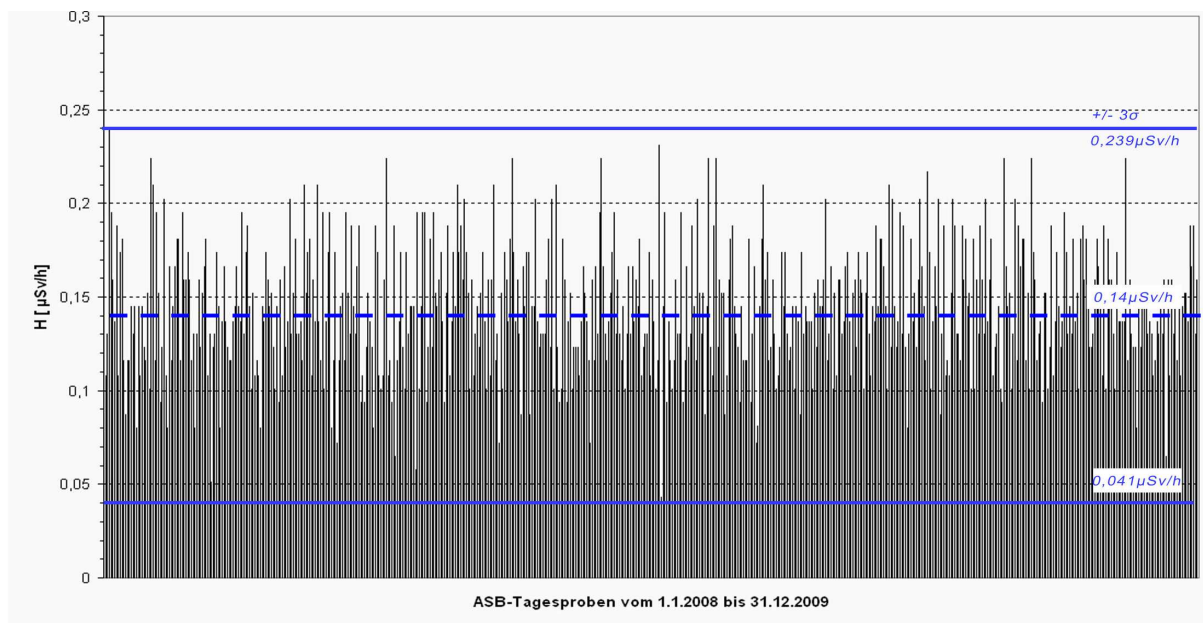


Abbildung 17: Ortsdosisleistung - Tagesrückstellprobenmessung

Die kontrollierten Probennummern, die zugehörigen Messwerte und der genaue Messzeitpunkt, sind dem Messprotokoll der ASB-Tagesrückstellprobenmessung im Anhang B zu entnehmen.

3.4 Anlagenmessung

Zusätzlich zur Kontrolle der Tagesrückstellproben wurde versucht in alten Staubablagerungen, überall in der Anlage wo die Zugänglichkeit frei gegeben war, radioaktive Kontaminationen im Spurenbereich festzustellen. Die Anlage und die Aggregate werden zwar in regelmäßigen Abständen gewartet und andauernd gereinigt, trotzdem ist es unvermeidlich, dass sich sehr feiner Staub an verschiedensten Stellen absetzt. Je dicker und kompakter diese Staubschichten sind, umso älter sind diese. Wie die Jahresringe eines Baumes enthalten auch diese Staubschichten Informationen über die Zusammensetzung des ASB-Materials vergangener Produktionstage, und könnten, so die Überlegung, auch Anzeichen für bereits erfolgte radioaktive Kontaminationen enthalten. Wenn radioaktive Strahlungsquellen in den Aggregaten durch Zerkleinerungs- oder andere mechanische Aufbereitungsschritte zerstäubt, und in die Umgebungsluft eingebracht werden, können sehr feine und leichte Staubpartikel auch über größere Entfernungen in der Anlage verteilt werden. Radioaktive Staubpartikel müssen sich also nicht zwangsläufig in unmittelbarer Nähe des Freisetzungsortes ablagern und könnten so, wenn sie denn vorhanden sind, unter Umständen überall in der Halle gefunden werden. Für die Messung wurde die Anlieferungshalle, die Produktionshalle, der ASB Lagerbereich, der Außenbereich und der Bereich des Rohrgurttförderers nach auffälligen Staubablagerungen abgesucht und diese anschließend einer Kontrollmessung unterzogen. In Abbildung 18 ist eine typische Staubablagerung am Rohrgurttförderer dargestellt.



Abbildung 18: Staubablagerung am Rohrgurttförderer

3.4.1 Ergebnisse der Anlagen Kontrollmessung

Keine der kontrollierten Staubablagerungen in der Thermoteam-Anlage oder im Außenbereich der Anlage wies eine, im Vergleich zur Hintergrundstrahlung, erhöhte Radioaktivität auf welche außerhalb der statistischen Schwankungsbreite liegt.

3.4.1.1 Statistische Auswertung der Messergebnisse

Für die Impulsrate wurde bei der Anlagenkontrollmessung ein Mittelwert von 19,75 cpm und eine Standardabweichung von 3,86 cpm festgestellt.

Für die Ortsdosisleistung wurde bei der Messung der Tagesrückstellproben ein Mittelwert von 0,14 $\mu\text{Sv/h}$ und eine Standardabweichung von 0,028 $\mu\text{Sv/h}$ festgestellt.

Für ein Konfidenzintervall von 0,997, d.h. mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99,7% sollten alle Messwerte der Impulsrate in einem Bereich der 3-fachen Standardabweichung, also zwischen 8,17 cpm und 31,33 cpm liegen.

Für ein Konfidenzintervall von 0,997, d.h. mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99,7% sollten alle Messwerte der Ortsdosisleistung in einem Bereich der 3-fachen Standardabweichung, also zwischen 0,056 $\mu\text{Sv/h}$ und 0,224 $\mu\text{Sv/h}$ liegen.

Der Verlauf der Impulsrate während der Zeit der Anlagenkontrollmessung ist in Abbildung 19 dargestellt, die minütlich gemittelte Ortsdosisleistung in Abbildung 20.

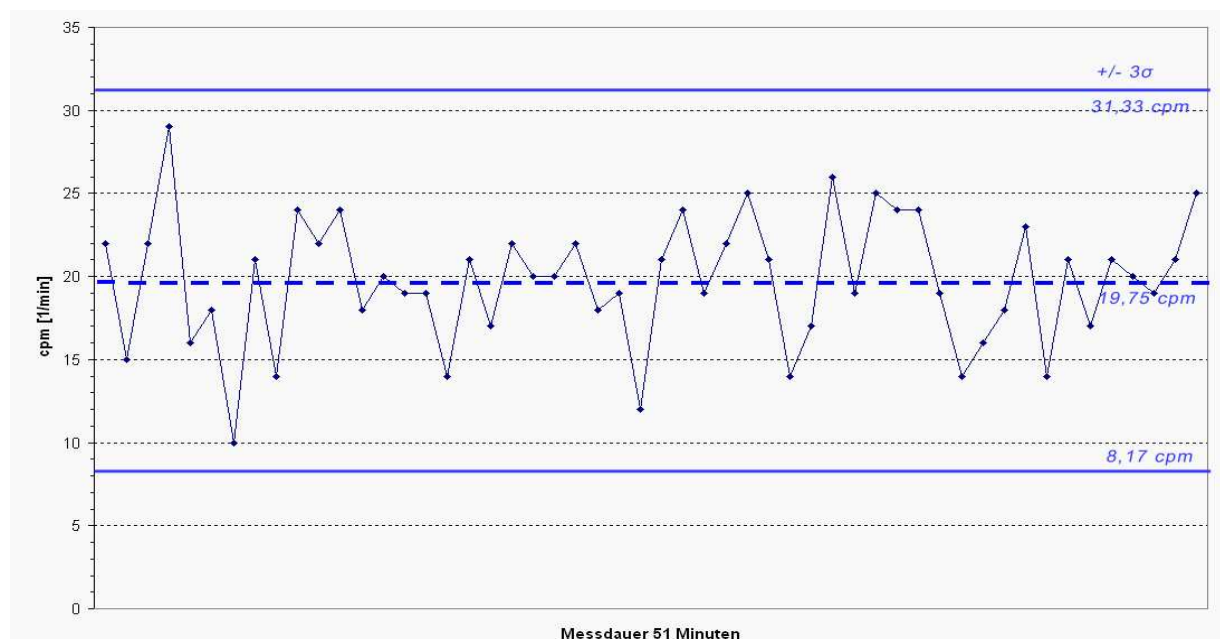


Abbildung 19: Impulsrate „counts per minute – cpm“ während der Anlagenkontrollmessung

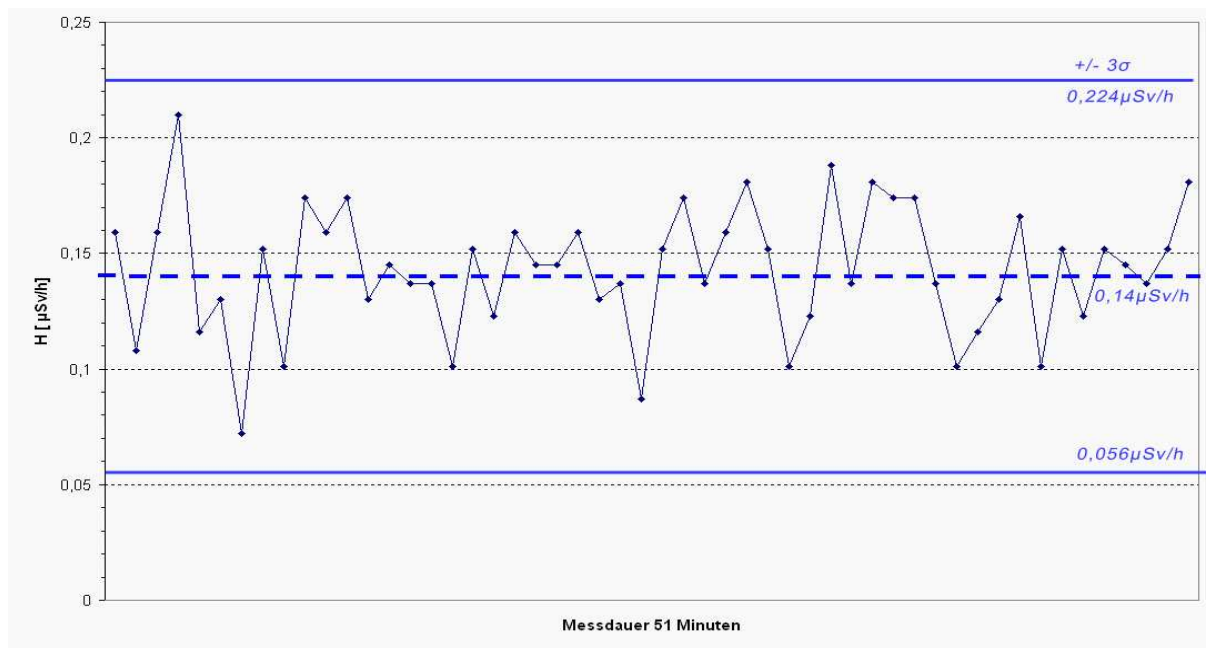


Abbildung 20: Ortsdosisleistung während der Anlagenkontrollmessung

Wie in den beiden Abbildungen leicht zu erkennen ist, liegen auch hier alle Messwerte innerhalb des statistischen Erwartungsbereiches der dreifachen Standardabweichung. Das Messprotokoll zur Anlagenkontrollmessung befindet sich im Anhang C.

3.5 Dauermessung am Rohrgurtförderer

Um auch direkt am Produktstrom Messungen durchzuführen, wurde die automatische Überwachungs-, und Protokollfunktion des Messgerätes ausgenutzt. Zuerst musste ein geeigneter Platz für die ortsfeste Installation des Messgerätes gefunden werden, an dem weder zu starke Erschütterungen, Magnetfelder oder Feuchtigkeit auftreten und an dem der ASB-Produktstrom in konzentrierter Form unter dem Zählrohr vorbeigeschoben wird. Diese Kriterien wurden am besten im Aufgabebereich des Rohrgurtförderers erfüllt. Da für eine Zeitdauer von einigen Wochen der dort eingebaute Magnetscheider zur Revision entfernt wurde, bot sich die Gelegenheit an, das Messgerät an dieser Stelle anzubringen. Um den Schutz des Messgerätes vor Staub, Feuchtigkeit und eventuellen mechanischen Einwirkungen während der Messdauer zu garantieren, wurde es in einen herkömmlichen Feuchtrauminstallationskasten eingebaut. An der Stelle des Zählrohrs wurde die Bohrung mit einer hauchdünnen Kunststofffolie überzogen, und zum Schutz des Zählrohrs vor mechanischen Einwirkungen außen eine Schutzvorrichtung angebracht. Abbildung 21 zeigt die Konstruktion zur sicheren Unterbringung des Messgerätes während der Dauermessung.



Abbildung 21: Einbau des Messgerätes

Die Messeinrichtung wurde anschließend mit einem Blechwinkel in einem Abstand von nur etwa 15 bis 20 cm zur Oberfläche des ASB-Produktstroms über dem Förderband befestigt.

In Abbildung 22 ist die Vorrichtung nach einer Betriebsdauer von 2 Wochen dargestellt. Wie erwartet ist der Befestigungsort einer starken Staubentwicklung ausgesetzt. Durch die Schutzvorrichtung wurde das Zählrohr aber erfolgreich vor Ablagerungen und Beschädigungen geschützt.



Abbildung 22: Befestigung der Messeinrichtung am Rohrgurtförderer

Rund 40% des in der Thermoteam-Anlage erzeugten ASB wird mit dem Rohrgurtförderer in das benachbarte Lafarge Zementwerk transportiert. Dabei bewegt sich das Förderband je nach Förderleistung, mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten zwischen 1 m/s und maximal 2,6 m/s. Für die Messung bedeutet dies eine Beschränkung der hier nachweisbaren radioaktiven Kontaminationen bei Punktstrahlern mit Aktivitäten mindestens im kBq Bereich, und über größere Bereiche des ASB verteilte Kontaminationen. Für leicht radioaktive punktförmige Strahlenquellen wäre die Aufenthaltszeit von ca. 0,2 bis 0,5 s im 50 cm Radius des Messbereichs unter dem Zählrohr zu kurz um signifikante Abweichungen bei den gemessenen Stundenmittelwerten der Impulsrate von durchschnittlich 800 bis 900 Impulsen hervorzurufen. Die Messungen wurden über einen Zeitbereich von fünf Wochen vom 15.01.2010 bis zum 19.02.2010 durchgeführt. Während dieser Zeitspanne wurde ein Produktteilstrom von rund 1.082 t ASB unter der eingerichteten Messstelle hindurch gefördert.

3.5.1 Ergebnisse der Dauermessung

Während der fünfwöchigen Dauermessung am Rohrgurtt Förderer wurden keine, im Vergleich zur Hintergrundstrahlung, erhöhten Radioaktivitätswerte festgestellt, welche außerhalb der statistischen Schwankungsbreite und der wetterbedingten Änderung des Strahlungshintergrunds liegen.

3.5.1.1 Statistische Auswertung der Messergebnisse

Um eine Messauflösung von einer Stunde mit der Speicherfunktion des „Gamma Scout“ zu erreichen, wurde die Dauermessung zeitlich in zwei Messabschnitte unterteilt und nach 14 Tagen der interne Protokollspeicher rückgesetzt. Eine Protokolldauer von zehn Minuten wäre für die Auflösung der Messung zwar vorteilhafter und würde auch die Empfindlichkeit der Messung erhöhen, der Speicher des Messgerätes wäre aber bereits nach drei Tagen voll und müsste ausgelesen werden. Aus diesem organisatorischen Grund wurde eine Mittelungsdauer von einer Stunde für die Messwerte ausgewählt, wodurch sich etwa 800 bis 900 Zählereignisse in der Stunde, hervorgerufen durch den natürlichen Strahlungshintergrund, einstellen. Abweichungen von einigen hundert Zählereignissen wären also auch mit dieser Auflösung noch durchaus gut detektierbar. Die statistische Auswertung erfolgt analog zu den anderen Messungen nach Gleichung 14 bis 16.

Bei der ersten Dauermessung vom 15.01.2010 bis zum 01.02.2010, wurde für die Impulsrate ein Mittelwert von 825,52 cph und eine Standardabweichung von 92,97 cph festgestellt.

Bei der zweiten Dauermessung vom 01.02.2010 bis zum 19.02.2010, wurde für die Impulsrate ein Mittelwert von 823,40 cph und eine Standardabweichung von 89,85 cph festgestellt.

Für ein Konfidenzintervall von 0,997, d.h. mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99,7% sollten alle Messwerte der Impulsrate in einem Bereich der dreifachen Standardabweichung, also zwischen 732 cph und 918 cph im Falle der ersten Dauermessung, und bei der zweiten Dauermessung zwischen 733 cph und 913 cph, liegen

In Abbildung 23 und Abbildung 24 ist der Verlauf der Impulsrate während der ersten und zweiten Dauermessung dargestellt.

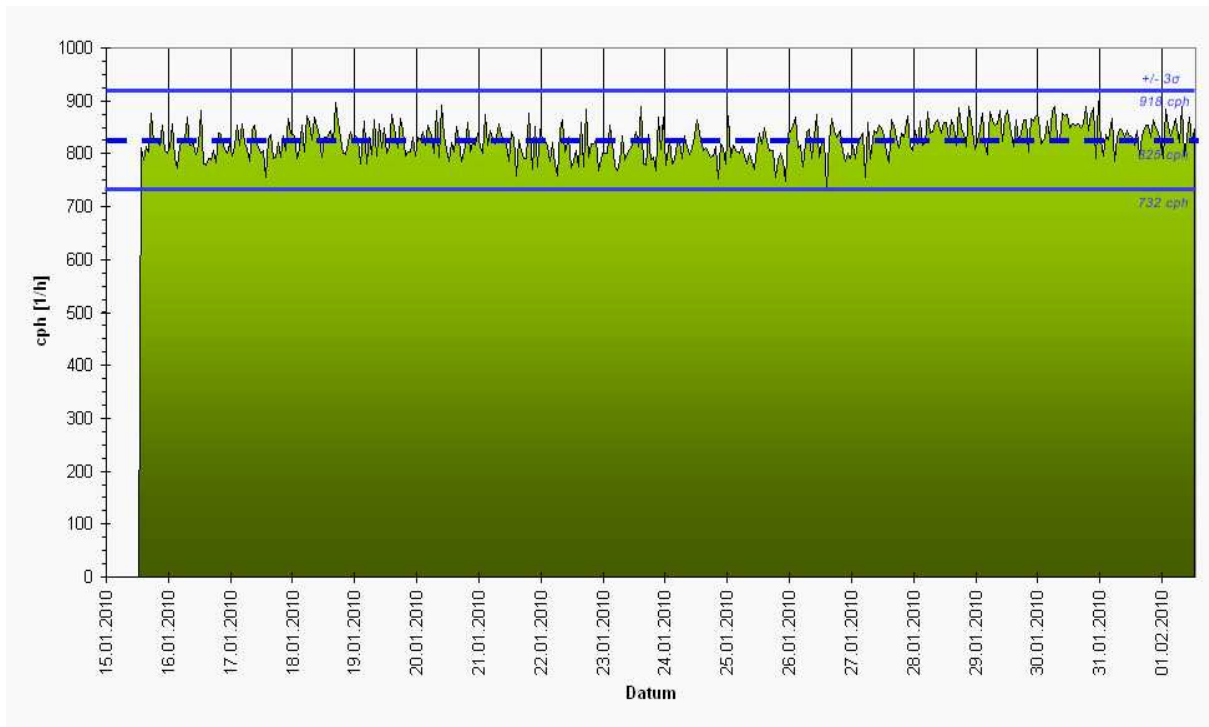


Abbildung 23: Impulsrate "counts per hour - cph" der Dauermessung „1“ vom 15.01.2010 bis 01.02.2010

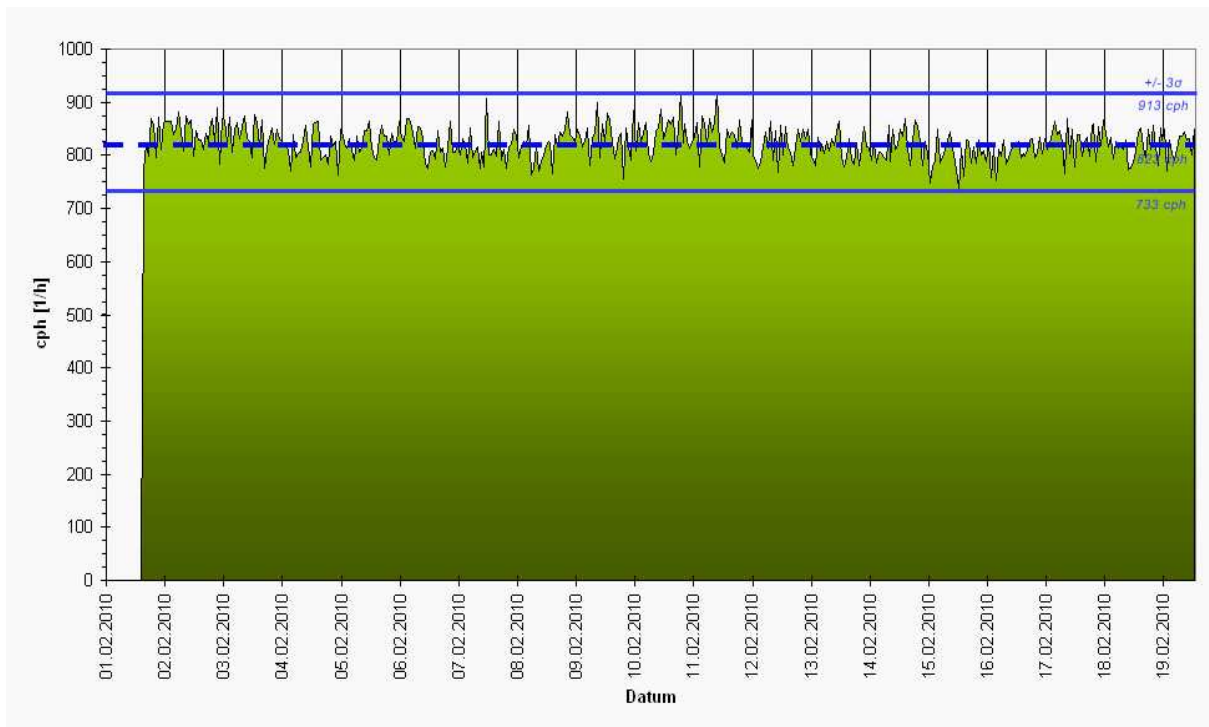


Abbildung 24: Impulsrate "counts per hour - cph" der Dauermessung „2“ vom 01.02.2010 bis 19.02.2010

Für die Ortsdosisleistung wurde bei beiden Dauermessungen ein Mittelwert von $0,100 \mu\text{Sv/h}$ und eine Standardabweichung von $0,004 \mu\text{Sv/h}$ festgestellt.

Für ein Konfidenzintervall von 0,997, d.h. mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99,7% sollten alle Messwerte der Ortsdosisleistung in einem Bereich der 3-fachen Standardabweichung, also zwischen $0,088 \mu\text{Sv/h}$ und $0,112 \mu\text{Sv/h}$ liegen.

In Abbildung 25 und Abbildung 26 ist der Verlauf der Ortsdosisleistung während der ersten und zweiten Dauermessung dargestellt.

Wie in den Abbildungen 23 bis 26 leicht zu erkennen ist, liegen auch bei der Dauermessung alle Messwerte innerhalb des statistischen Erwartungsbereiches der dreifachen Standardabweichung. Zusätzlich zu den stochastischen Schwankungen ist hier auch eine leichte Änderung der mittleren Impulsrate und Ortsdosisleistung mit den vorherrschenden Wetterbedingungen feststellbar. Da der Montageort der Messvorrichtung zwar überdacht ist, aber nicht in einem geschlossenen Innenraum liegt, ist eine solche Schwankung über eine längere Zeitdauer zu erwarten. Es zeigt sich auch, dass die mittlere Ortsdosisleistung von $0,10 \mu\text{Sv/h}$ im Freien, verglichen mit der Ortsdosisleistung bei der Tagesrückstellprobenmessung von $0,14 \mu\text{Sv/h}$ (die in einem geschlossenen Innenraum durchgeführt wurde) etwas niedriger ist.

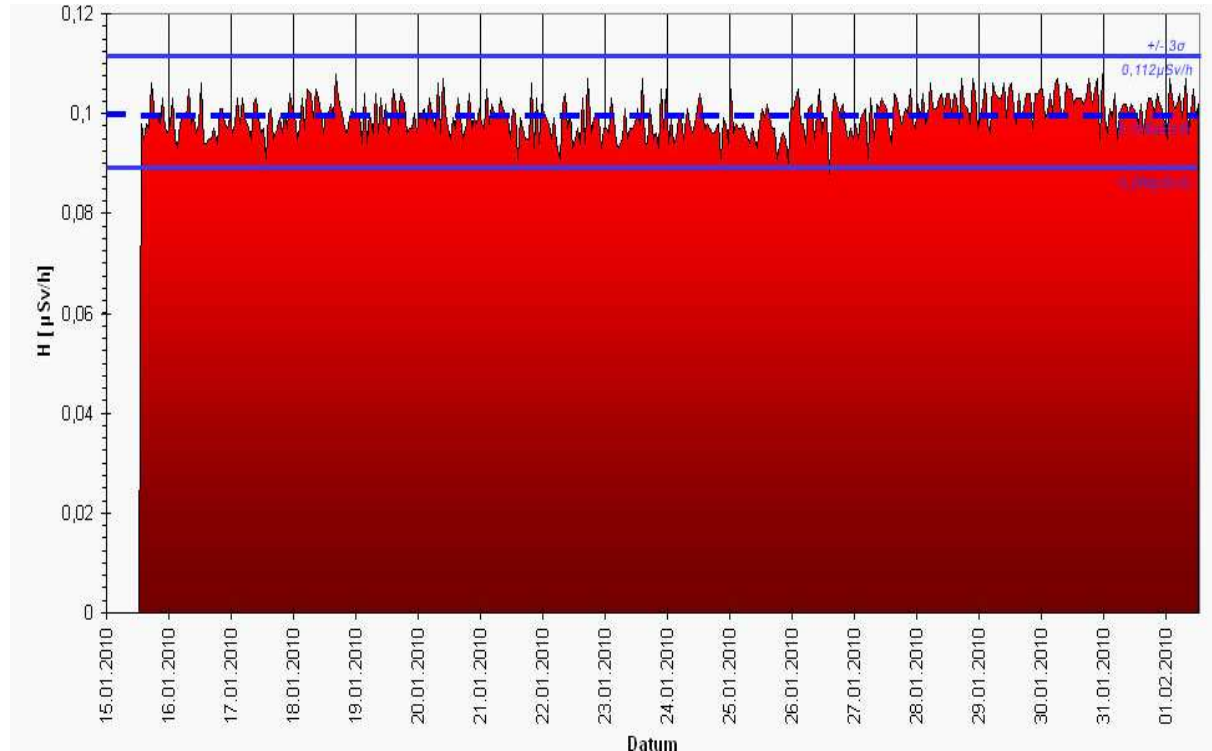


Abbildung 25: Ortsdosisleistung der Dauermessung „1“ vom 15.01.2010 bis 19.02.2010

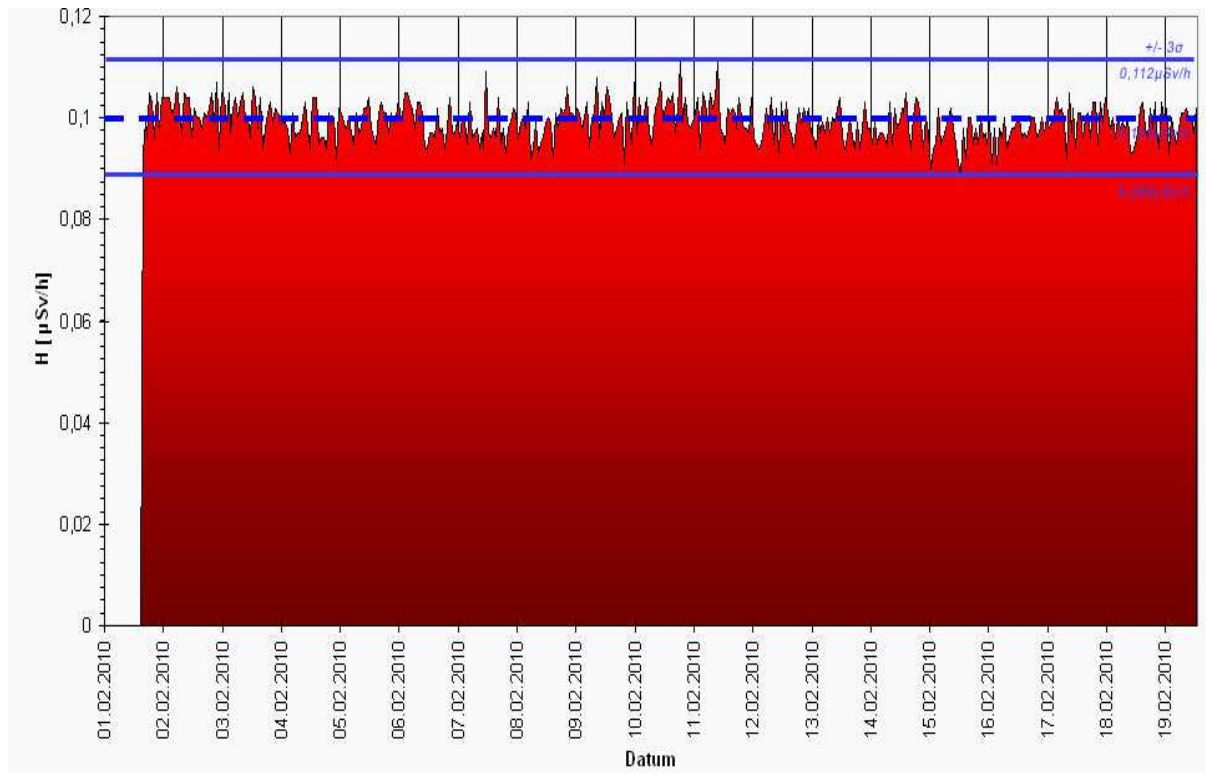


Abbildung 26: Ortsdosisleistung der Dauermessung „2“ vom 01.02.2010 bis 19.02.2010

Für die Darstellung der Messergebnisse wurde in den Abbildungen 23 bis 26 eine sehr komprimierte Form gewählt. Die Verläufe der Ortsdosisleistung sind, inklusive Betriebszeiten des Rohrgurtförderers, im Anhang E nochmals detaillierter und zeitlich gedehnt dargestellt. Festzuhalten ist, dass hierbei keinerlei Korrelation zwischen Ortsdosisleistungsverlauf und Betrieb oder Stillstand des Rohrgurtförderers hergestellt werden kann. Das Messprotokoll zu den Dauermessungen am Rohrgurtförderer befindet sich im Anhang D.

3.6 ODL-Pegel im Bezirk Leibnitz

Durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wird die Ortsdosisleistung, wie bereits im Kapitel „Österreichisches Strahlenfrühwarnsystem“ erläutert, mit einem sehr engmaschigem Überwachungsnetz, in einem 10 Minuten Intervall, an über 300 Messpunkten in Österreich laufend ermittelt. Die jeweils aktuellen Messdaten von einzelnen, ausgewählten Stationen sind für Interessierte auch online unter „<http://www.umwelt.net.at/article/articleview/81383/1/29344>“, oder im ORF–Teletext ab Seite 623, abrufbar. Im Bezirk Leibnitz befinden sich vier solcher ODL-Messstationen in den Orten Wildon, Lebring, Leibnitz und Spielfeld. Die Lage dieser Messstationen ist in Abbildung 27 dargestellt.



Abbildung 27: ODL-Messstationen in der Steiermark [22]

Die ODL-Messstationen Leibnitz und Spielfeld sind nur rund 5 km Luftlinie von der Thermoteam-Anlage und vom Lafarge Zementwerk in Retznei entfernt. Die Messstationen sind mit hoch empfindlichen Zählrohren ausgestattet, welche Änderungen der Ortsdosisleistung im nSv-Bereich registrieren können. Ein direkter Nachweis radioaktiver Kontaminationen im ASB-Material ist mit diesen Messungen natürlich nicht möglich. Sollte es in der Vergangenheit aber zu einem Ausstoß von radioaktiv kontaminierten Rauchgasen im Lafarge Zementwerke in Retznei gekommen sein, so wäre dies durch die lückenlosen Überwachung der ODL-Messungen und durch einen signifikanten Anstieg der Ortsdosisleistung über den „normalen Bereich“ hinaus nachweisbar.

3.6.1 Die mittlere Ortsdosisleistung in Leibnitz

Der „normale Bereich“ für die natürliche Ortsdosisleistung ist aus bereits erläuterten Gründen sehr stark höhen- und ortsabhängig. In für Siedlungen üblichen Höhenlagen zwischen 300 und 600 m Seehöhe beträgt die mittlere Ortsdosisleistung in Österreich etwa 70 nSv/h bis 130 nSv/h was einer jährlichen Effektivdosis von 0,61 mSv bis 1,23 mSv bei einem ständigen Aufenthalt im Freien entspricht. Konstant hohe Werte der natürlichen Hintergrundstrahlung mit überdurchschnittlichen Ortsdosisleistungen von mehr als 110 nSv/h weisen wenige Gegenden des oberen Waldviertels und Mühlviertels wie beispielsweise Gmünd in Niederösterreich, Feldbach in der Steiermark aber auch die Landeshauptstadt Graz auf. Die durchschnittliche Ortsdosisleistung in Leibnitz ist mit unter 90 nSv/h im Österreichweiten Vergleich im untersten Drittel anzusiedeln. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Ortsdosisleistungen der Jahre 2000 bis 2004 in verschiedenen österreichischen Orten.

Tabelle 6: Ortsdosisleistung an verschiedenen Orten in Österreich [23,S.31]

durchschnittliche Ortsdosisleistung in nSv/h						
Ort	Seehöhe [m]	2000	2001	2002	2003	2004
Gmünd (NÖ)	485	124	122	122	124	126
Graz (Stmk)	365	113	113	113	114	116
Feldbach (Stmk)	282	120	120	120	118	126
Bad Radkersburg (Stmk)	208	106	106	106	104	102
Leibnitz (Stmk)	274	84	85	85	83	84

3.6.2 Kurzzeitige Messwerterhöhungen und Schwankungen

Betrachtet man die Messdaten der Ortsdosisleistung einer Messstation über einen längeren Zeitraum hinweg, so fallen dem Betrachter sofort die Schwankungen und vor allem kurzzeitige Spitzenwerte auf, welche an allen Messstationen in großer Anzahl beobachtet werden können. Diese Schwankungen könnten zwar theoretisch auch künstliche Ursachen, wie Arbeiten in unmittelbarer Nähe der Messstation oder Ausstoß radioaktiver Substanzen durch Industriebetriebe, haben, in den allermeisten Fällen sind die Schwankungen aber wetterbedingt, also rein natürlichen Ursprungs. Durch Regenfälle werden beispielsweise natürliche radioaktive Stoffe, vor allem kurzlebige Radonfolgeprodukte, aus der Luft ausgewaschen, und auf dem Boden in unmittelbarer Nähe der Messsonde abgelagert, wo sie innerhalb von einigen Stunden zerfallen. „Vor allem bei Niederschlägen nach längeren Trockenperioden kommt es so häufig zu kurzzeitigen Messwerterhöhungen, im Extremfall auf das zwei- bis dreifache des Normalwerts.“[24] Auch der Luftdruck und die Luftfeuchtigkeit trägt in gewissen Grenzen zu den natürlichen Schwankungen der Messwerte bei.

Die Fragen die sich dem Betrachter hierbei stellen sind zum einen ob eine Erhöhung des Messwerts natürlichem oder künstlichen Ursprungs ist, und zum anderen ab welchem Pegel eine unnatürliche Erhöhung bzw. eine Kontamination aus einer künstlichen Quelle vorliegt. Für eine Bewertung der Situation wurden in Österreich acht Warnpegel festgelegt die auf empirischen Werten der letzten 50 Jahre beruhen. Der Pegel 0 repräsentiert die am Messort üblicherweise vorherrschende Ortsdosisleistung mit einer maximalen Abweichung von 15% nach oben hin. Pegel 1 wird sehr häufig nach Regenfällen, jedoch nur für kurze Zeitspannen von einigen Stunden erreicht, und stellt mit maximal 300 nSv/h auch die Grenze für die Schwankungen der Hintergrundstrahlung aus natürlichen Quellen dar. Eine Ortsdosisleistung von größer 300 nSv/h wird also durch natürliche Schwankungen in der Regel nicht, oder nur mehr in sehr seltenen Fällen erreicht. Wird der Pegel 1 an einer Messstation überschritten, d.h. eine Ortsdosisleistung von größer 300 nSv/h festgestellt, so wird im System automatisch ein Alarm ausgelöst. [14,S.22] In Tabelle 7 sind die acht Warnpegel des österreichischen Strahlenfrühwarnsystems dargestellt.

Tabelle 7: Warnpegel im Strahlenfrühwarnsystem [14,S.17]

Pegel	Bereich der Gammadosisleistung	
0	bis 15 % über dem am Aufstellungsort üblichen Durchschnitt vor dem Tschernobyl-Unfall	
1	Obergrenze Pegel 0	bis 300 nSv/h
2	300 nSv/h	bis 1 µSv/h
3	1 µSv/h	bis 10 µSv/h
4	10 µSv/h	bis 100 µSv/h
5	100 µSv/h	bis 1 mSv/h
6	1 mSv/h	bis 30 mSv/h
7	30 mSv/h	bis 300 mSv/h
8	über 300 mSv/h	

↓
künstlicher
Ursprung

Die Unterscheidung ob eine Messwertschwankung unter einem Pegel von 300 nSv/h natürlichem oder künstlichen Ursprungs ist, kann indirekt nur durch einen Vergleich der Messwerte mit den Messwerten anderen Messstationen, mit Wetterdaten, oder durch einen direkten Nachweis, des die Schwankung verursachenden Radionuklids, im Labor ermöglicht werden. Treten Spitzenwerte simultan an mehreren Messstationen auf, die den selben Wetterbedingungen unterliegen, so ist davon auszugehen, dass diese Schwankungen durch das Wetter hervorgerufen wurden, wie das besonders nach Regenfällen häufig der Fall ist. Liegt aber eine einzelne isolierte Messwerterhöhung an einer Messstation vor, wie sie durch ein regional begrenztes Wetterereignis, wie beispielsweise ein Wärmegewitter, ausgelöst werden kann, so ist nur durch einen zeitabhängigen Vergleich der Ortsdosisleistungswerte

mit den regionalen Niederschlagsdaten der Nachweis eines natürlichen Ursprungs der Messwertspitze auch ohne Laboruntersuchungen möglich.

3.6.3 Verlauf der Ortsdosisleistung in Leibnitz im Jahr 2009

Zur Kontrolle der Hintergrundbelastung der die Bevölkerung im Bezirk Leibnitz im Jahr 2009 ausgesetzt war, wurden vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft die Messdaten der betreffenden ODL-Messstationen angefordert und ausgewertet. Zur Kontrolle wurde ein Beobachtungszeitraum von einem Jahr angesetzt. Die übermittelten Messdaten umfassen die Stundenmittelwerte des Jahres 2009, pro Messstation also insgesamt 8.760 Messwerte der Ortsdosisleistung an den entsprechenden Stationen. Der Verlauf der Ortsdosisleistung im Jahr 2009 an den vier Messstationen Lebring, Leibnitz, Spielfeld und Wildon ist in Abbildung 28 dargestellt.

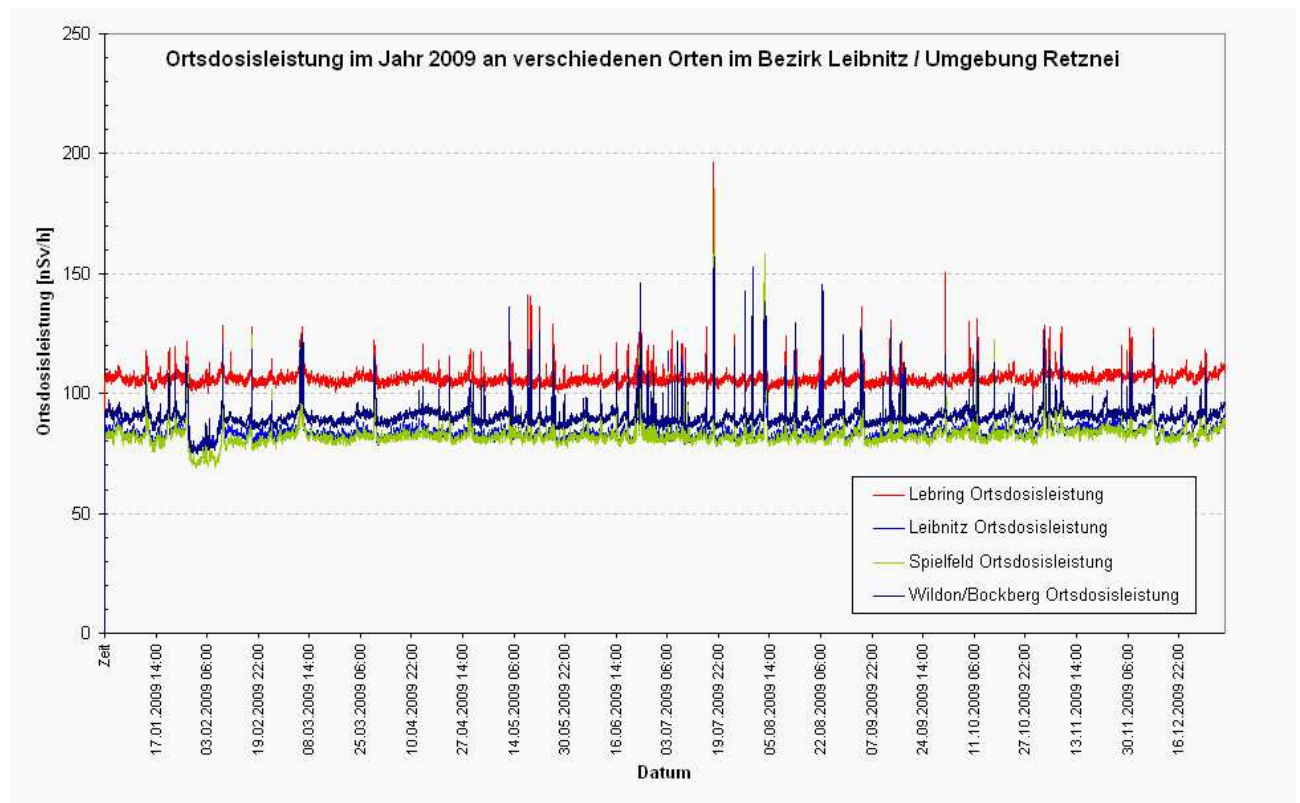


Abbildung 28: Ortsdosisleistung 2009 im Bezirk Leibnitz

In Abbildung 28 ist klar ersichtlich, dass im Jahr 2009 an keiner der Messstationen im Bezirk Leibnitz eine Ortsdosisleistung über 200 nSv/h gemessen wurde. Der höchste Messwert von 196 nSv/h wurde am 18.07.2009 in Lebring gemessen und trat als fünfstündige Messwertspitze simultan an allen vier Messstationen auf. Der Warnpegel 1 von 300 nSv/h wurde also im Jahr 2009 in Leibnitz zu keinem Zeitpunkt überschritten oder auch nur

annähernd erreicht. Aus diesen Messdaten kann also bereits der logische Schluss gezogen werden, dass im Jahr 2009 in Leibnitz keine Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus künstlichen Quellen in die Luft erfolgt ist, welche die Belastung aus natürlichen Quellen in Ihrer Dauer oder Höhe übersteigt.

Durch die unmittelbare Nähe zur Thermoteam-Anlage (und zum Lafarge Zementwerk in Retznei) sind besonders die Messwertverläufe der ODL-Messstation Leibnitz und Spielfeld interessant und sollen hier deshalb noch genauer untersucht werden. In Abbildung 29 ist ein Vergleich der Messdaten der Messstationen Leibnitz und Lebring dargestellt, welche sich in einer Entfernung von etwa 10 km befinden. Sehr gut kann man anhand von Abbildung 29 das unterschiedliche Grundniveau der durchschnittlichen Ortsdosisleistung in den beiden Orten erkennen. In Leibnitz beträgt die Hintergrundbelastung nur etwa 85 nSv/h in Lebring bereits 105 nSv/h. Jeder der in Abbildung 29 mit Pfeilen gekennzeichnete, kurzzeitige Spitzenwert tritt simultan an beiden Messstationen auf, wurde also durch ein Ereignis ausgelöst das zumindest die Distanz zwischen den beiden Stationen beinahe zeitgleich überbrückt. Zwischen dem Auftreten von Spitzenwerten an diesen beiden Messstationen sind keinerlei Abweichungen oder Auffälligkeiten festzustellen, was aufgrund der räumlichen Nähe der Messstationen keine Überraschung darstellt.

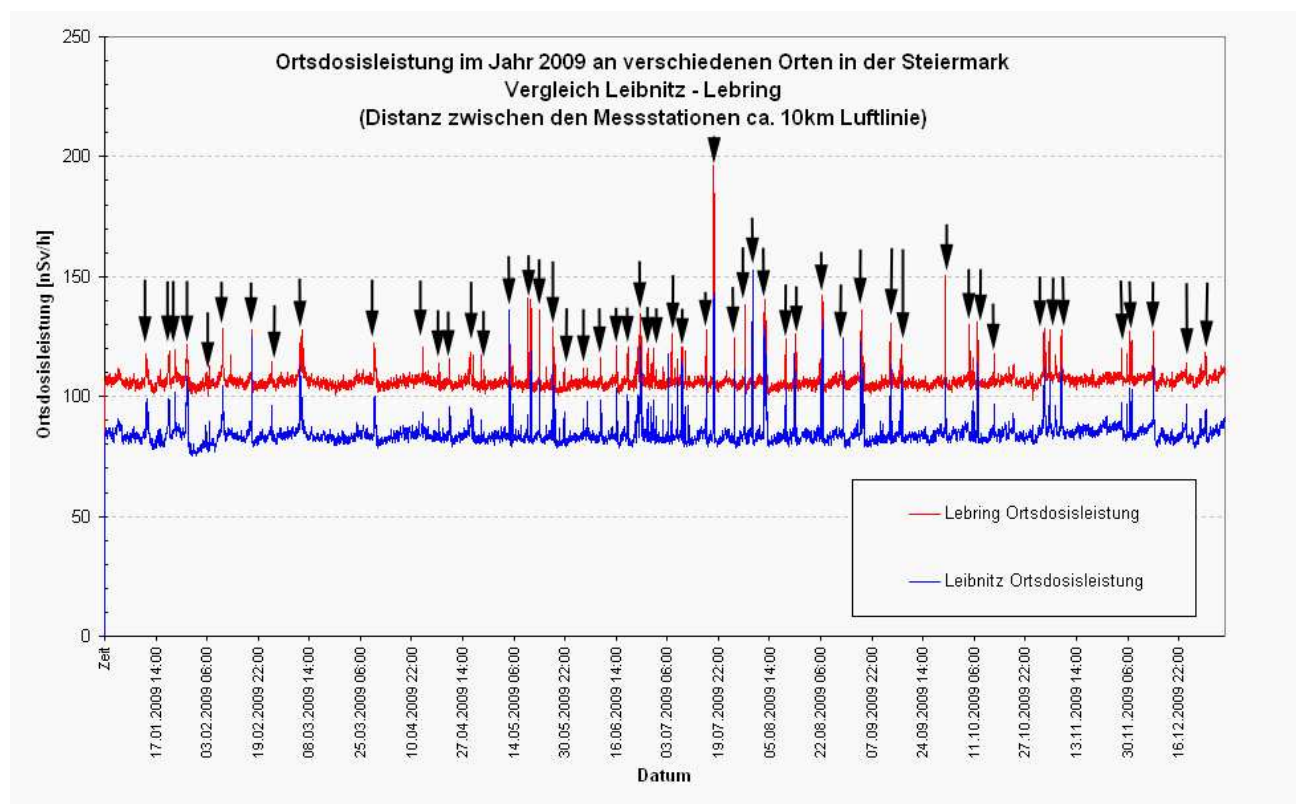


Abbildung 29: Ortsdosisleistung im Jahr 2009, Vergleich Leibnitz – Lebring

Um dennoch möglichen Einzelereignissen auf die Spur zu kommen, die sich eventuell nur in unmittelbarer Nähe der Messstation Leibnitz ereignet haben, also räumlich derartig begrenzt sind das keine weiter entfernten Messstationen davon beeinflusst werden, muss man die Messdaten aus Leibnitz mit einer Station vergleichen die sich in größerer Entfernung zur Anlage befindet. Diese Station sollte aber noch den selben Wetterbedingungen unterliegen. In diesem Fall ist für einen derartigen Vergleich die ODL-Messstation der Uni Graz eine gute Vergleichsmöglichkeit. Sollte ein nur geringfügig radioaktiv kontaminierter Rauchgasstrom beispielsweise vom Zementwerk in Retznei freigesetzt werden, vermischt sich dieser schnell mit der Umgebungsluft und wäre so unter Umständen nur in der unmittelbaren Umgebung der Anlage feststellbar, nicht aber mehr in größerer Entfernung. In Abbildung 30 ist ein Vergleich der Messdaten der Messstationen Leibnitz und Graz dargestellt, welche sich in einer Entfernung von etwa 40 km Luftlinie befinden. Hier kann man bereits einige wenige, voneinander unabhängige, Einzelereignisse feststellen die nur an einem der beiden Messorte beobachtet wurden. Die Übereinstimmung der beiden Kurvenverläufe ist aber trotzdem noch erstaunlich genau. Messwertspitzen die nur an einem der beiden Messorte beobachtet wurden sind in Abbildung 30 mit Pfeilen markiert.

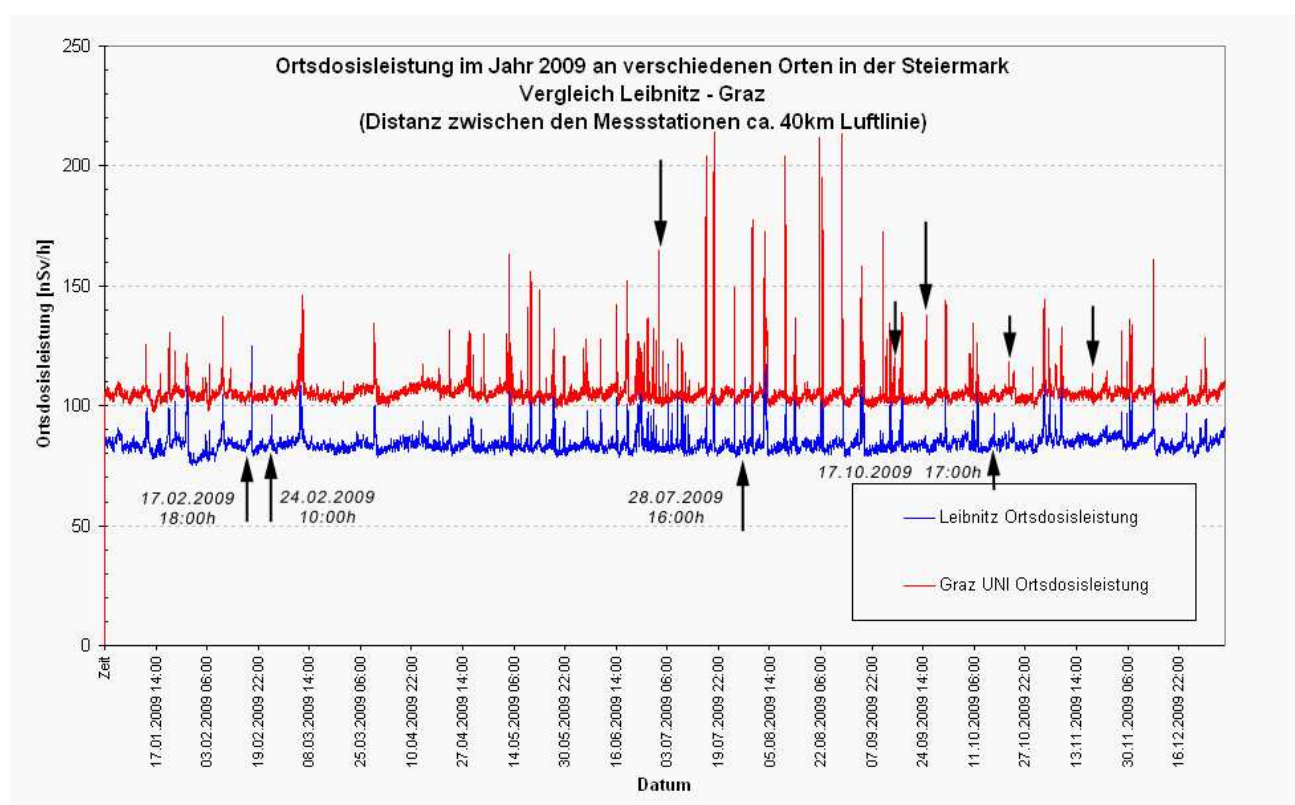


Abbildung 30: Ortsdosisleistung im Jahr 2009, Vergleich Leibnitz - Graz

Im Jahr 2009 wurden nur vier Einzelereignisse an der Messstation Leibnitz registriert die an der Messstation Graz nicht zeitgleich detektiert werden konnten. Alle anderen Anstiege der

Ortsdosisleistung sind an beiden Messstationen simultan vorhanden und wurden durch Ereignisse ausgelöst, welche sich bereits großräumig über eine Entfernung von zumindest 40 km auswirken, wie das zumeist bei Niederschlagsereignissen der Fall ist. In den Abbildungen 28 bis 30 ist auch sehr gut zu erkennen, dass sich in den warmen Sommermonaten die Anstiege häufen, im Winter dagegen kaum Spitzenwerte zu verzeichnen sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die meisten Niederschlagsereignisse in Form von Regen vorwiegend im Sommer und nicht im Winter auftreten und es vor allem in den warmen Sommermonaten häufig zu Wärmegewittern kommt. Um eine eindeutige Aussage über die Ursachen aller vorhandenen Messwertspitzen zu ermöglichen, wurden die Wetterdaten des Jahres 2009 der Wettermessstation Leibnitz-Wagna von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) angefordert und anschließend mit dem Ortsdosisverlauf verglichen. In Abbildung 31 und Abbildung 32 ist jeweils die Ortsdosisleistung gemeinsam mit der örtlichen Niederschlagsmenge in einem Diagramm dargestellt.

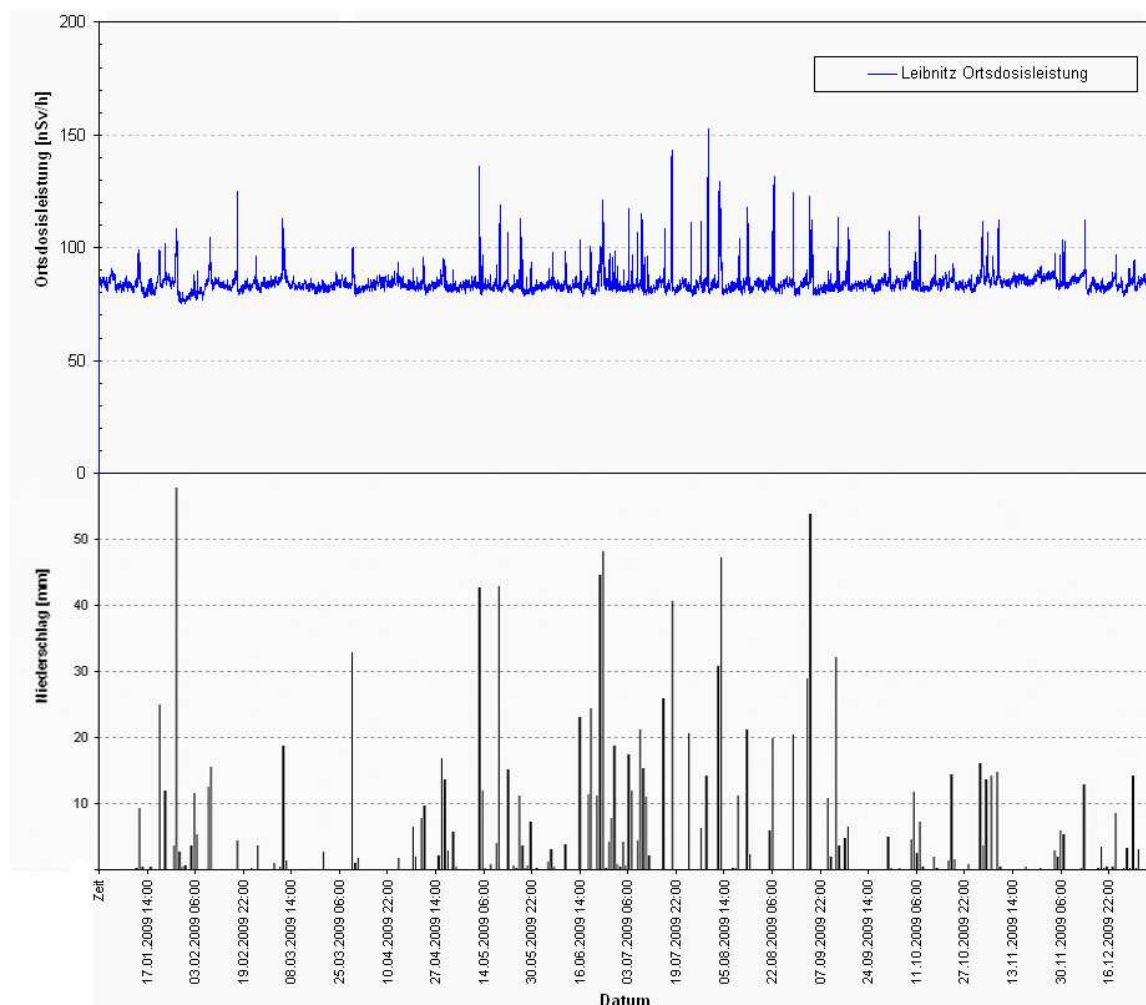


Abbildung 31: Ortsdosisleistung und Niederschlagsmenge im Jahr 2009 in Leibnitz

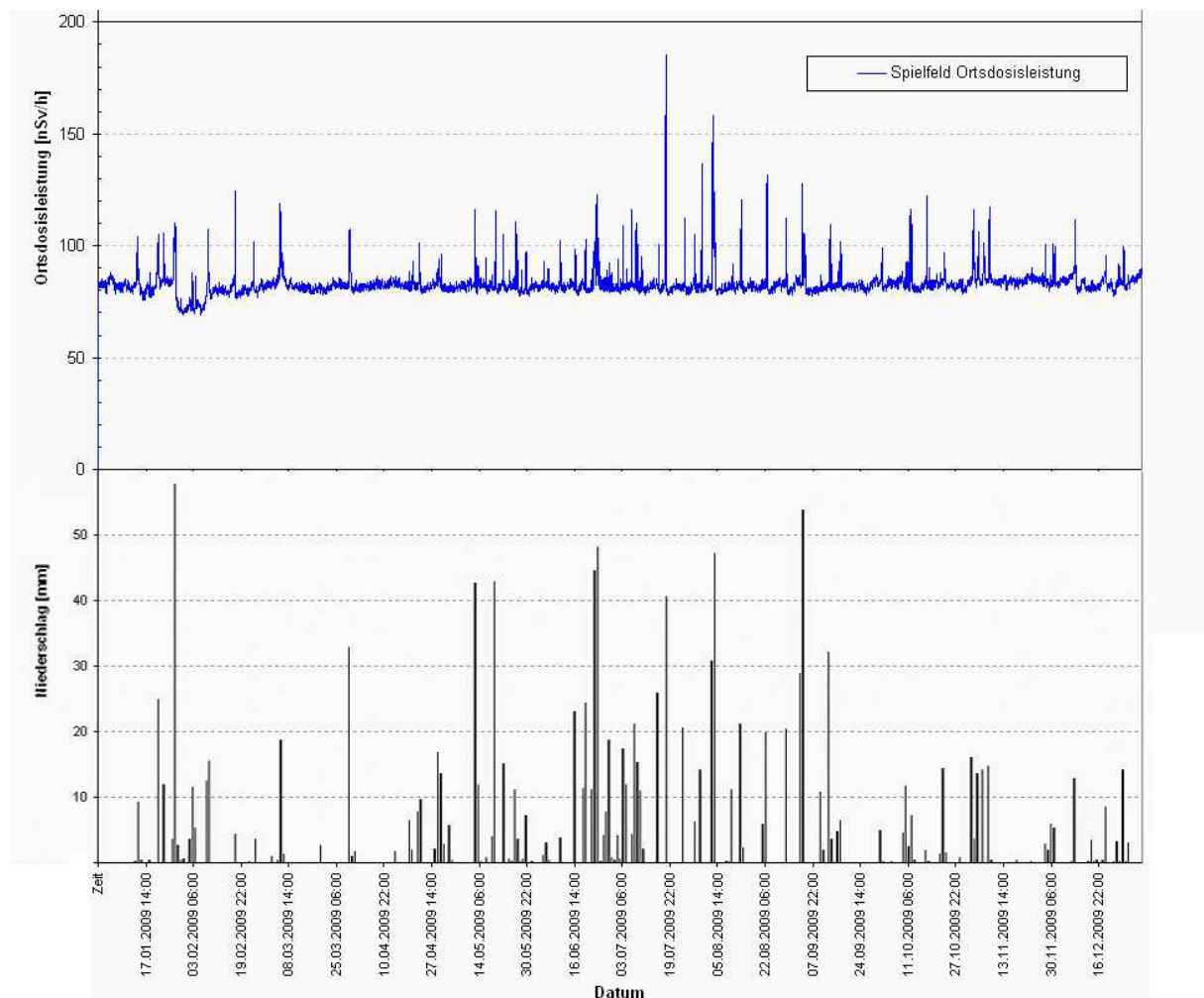


Abbildung 32: Ortsdosisleistung und Niederschlagsmenge im Jahr 2009 in Spielfeld

Ein Vergleich mit den Niederschlagsdaten zeigt die eindeutige Korrelation der kurzzeitigen Anstiege der Ortsdosisleistung nach Niederschlagsereignissen. Jede aufgezeichnete Messwertspitze der ODL-Messstationen Leibnitz und Spielfeld ist im Jahr 2009 eindeutig auf ein solches Niederschlagsereignis rückführbar. Auch ein signifikanter Anstieg der Ortsdosisleistung über einen längeren Zeitraum hinweg, abweichend von der natürlichen Schwankungsdauer im Stundenbereich, kann anhand der Messdaten zu keinem Zeitpunkt festgestellt werden. Die mittlere Ortsdosisleistung liegt in diesem Gebiet auf einem durchschnittlichen Niveau von unter 90 nSv/h. Die Amplitude der natürlichen Schwankungen nach Regenfällen ist, bedingt durch die niedrigere Hintergrundbelastung in dem Gebiet um Leibnitz, auch meist geringer als die Schwankungshöhe in Gebieten mit einer überdurchschnittlichen Ortsdosisleistung. Beispielsweise wurde an der Messstation Lebring nach einem Starkregenereignis am 18.07.2009 mit einer Niederschlagsmenge von 50 mm kurz ein Maximalwert von 196 nSv/h gemessen, während die Ortsdosisleistung in Leibnitz bei ähnlicher Niederschlagsmenge auf nur 138,5 nSv/h anstieg.

3.7 Schlussfolgerungen

Die Kontrollmessungen der Ortsdosisleistung, welche in der ThermoTeam-Anlage und an den Rückstellproben durchgeführt wurden, konnten keine Spuren von radioaktiven Kontaminationen nachweisen. Der Nachweis sehr schwach strahlender, punktförmig verteilter radioaktiver Verunreinigungen oder leicht abschirmbarer α -Strahler, wie sie beispielsweise in Ionisationsrauchmeldern ihre Anwendung finden, ist jedoch technisch sehr aufwändig und erfordert zwingend eine lückenlose Überwachung des kompletten Inputstromes mit hochempfindlichen und großflächigeren Messinstrumenten. Ein Nachweis dieser Kontaminationen wäre mit den durchgeführten Messungen also rein zufällig. Dementsprechend kann eine solche Verunreinigung durch die Messungen auch nicht gesichert ausgeschlossen werden. Großräumige radioaktive Kontaminationen des kontrollierten ASB-Materials und der Eintrag sowie die Verteilung von hoch radioaktiven Strahlungsquellen in der Anlage, können aber, im Rahmen der gezogenen Grenzen, dezidiert ausgeschlossen werden. Eine klare Aussage kann auch aus den Messdaten der ODL-Messungen der örtlich sehr nahe zur Anlage gelegenen ODL-Messstationen Leibnitz und Spielfeld abgeleitet werden. Im Kontrollzeitraum lagen alle Messwertschwankungen der Ortsdosisleistung bei den betroffenen Messstationen weit unter dem Warnpegel 1 von 300 nSv/h und zeigten auch keinerlei anderweitige Auffälligkeiten im Kurvenverlauf. Jede kurzzeitige Messwerterhöhung ist zudem eindeutig auf ein Niederschlagsereignis zurückzuführen. Abschließend kann hier der logische Schluss gezogen werden, dass im Jahr 2009 keine detektierbaren, künstlichen radioaktiven Kontaminationen in der Umgebung von Retznei in die Luft freigesetzt wurden. Ein Eintrag von radioaktiven Kontaminationen durch den ASB in das Produkt Zement kann durch diese Messungen in der Luft natürlich nicht ausgeschlossen werden. Ein derartiger Nachweis ist auch hier wieder nur durch eine vollständige Überwachung des Produktstroms mit hochempfindlichen, großflächigen Messinstrumenten möglich.

4 Qualitative Risikoanalyse

Unter Risiko versteht man allgemein das Produkt aus Auftretenswahrscheinlichkeit und der durch das Ereignis verursachten Auswirkungen. Einem Risiko immanent ist dabei immer ein gewisser Grad der Ungewissheit und Unsicherheit, der automatisch jedem komplexen, probabilistischem System innewohnt. Mit verschiedenen Methoden der Risikoanalyse wird versucht auf Basis bekannter Daten und Fakten, eine Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen für bestimmte Ereignisse zu ermöglichen. Ist das verfügbare Datenmaterial gut genug, um mit Hilfe von statistischen Methoden wissenschaftlich fundierte, oder im besten Fall sogar überprüfbare Aussagen zu erhalten, kann problemlos eine quantitative Risikoanalyse durchgeführt werden. Dabei ist die Qualität des zu Grunde liegenden Datenmaterials von entscheidender Bedeutung und beeinflusst die Ergebnisse in sehr starkem Maße. Aufgrund der schlechten Datenlage wurde in diesem Fall aber bewusst auf die Durchführung einer quantitativen Risikoanalyse mit Hilfe statistischer Methoden verzichtet. So wäre kein aussagekräftiges, quantitatives Ergebnis mit statistischen Methoden auf Basis der vorliegenden Daten modellierbar. Für komplexe Systeme wo gesicherte Informationen komplett fehlen, oder nur in einem geringen Maß vorliegen, kann eine qualitative, vergleichende Risikoanalyse dennoch durchgeführt werden. Dabei werden keine absoluten Auftretenswahrscheinlichkeiten und Risikokennzahlen modelliert, sondern auf Basis logischer Überlegungen verschiedene Handlungsalternativen, Merkmale oder Tätigkeiten miteinander verglichen. Durch diese Gegenüberstellung erhält man dann als Ergebnis eine relative Aussage über das mit einer Tätigkeit verbundene Risiko im Vergleich zu alternativen Handlungen. Im besten Fall kann als Ergebnis eine nachvollziehbare Rangreihenfolge für die verglichenen Handlungsalternativen daraus abgeleitet werden. Diese Methode bietet außerdem einige Vorteile hinsichtlich der Risikowahrnehmung, die bei Menschen stark mit vertrauten Alltagserfahrungen verknüpft ist. So können sich beispielsweise die wenigsten Menschen etwas unter Wahrscheinlichkeiten vorstellen, vor allem wenn diese so klein sind, dass sie nicht mehr mit dem normalen Zeitgefühl eingeschätzt werden können. Auch bei quantitativen Risikoanalysen ist daher in einem weiteren Schritt zur Darstellung der statistisch modellierten Ergebnisse, oft ein Vergleich mit anderen Risiken notwendig.

Bezüglich dem Kontaminationsrisiko von Ersatzbrennstoffen werden nach der Erhebung risikorelevanter Eintragsquellen von radioaktiven Materialien in herkömmliche Abfallströme, die Inputströme der ThermoTeam-Anlage genauer betrachtet und abschließend ein Vergleich mit Handlungsalternativen durchgeführt.

4.1 Risikopotentiale - Einsatz radioaktiver Materialien

Nach dem sogenannten „ALARA¹-Prinzip“ muss jede Anwendung radioaktiver Stoffe und jede Anlage, die in irgend einer Weise eine Strahlenexposition verursacht auch gerechtfertigt sein. Das bedeutet im Speziellen, dass die Anwendung oder der Anlagenbetrieb für die Allgemeinheit, oder im Falle der medizinischen Anwendung für den Einzelnen, einen Nutzen erbringen muss, der auf einem anderen Weg nicht erreicht werden kann. Das mögliche Risiko einen Schaden zu verursachen, muss also durch den Nutzen der Anwendung mehr als gerechtfertigt sein. Nur wenn das ALARA-Prinzip erfüllt ist, können und dürfen radioaktive Stoffe unter Einhaltung aller damit verbundenen Sicherheitsmaßnahmen angewendet werden. Dieser Grundsatz wird von der Behörde vor der Erteilung einer Bewilligung überprüft. Im Wesentlichen lassen sich die drei Hauptanwendungsgebiete Industrie, Forschung und Medizin für den Einsatz radioaktiver Stoffe identifizieren. Neben der legalen und behördlich genehmigten Anwendung radioaktiver Stoffe in Industrie, Forschung und Medizin, stellen auch radioaktive Altlasten aus früheren Anwendungen und illegales Material weitere Gefahrenquellen für den Eintrag solcher Stoffe in herkömmliche Abfallströme dar.

4.1.1 Anwendung radioaktiver Stoffe in Industrie und Forschung

Generell muss bei industriellen Anwendungen radioaktiver Stoffe zwischen der Anwendung umschlossener und offener radioaktiver Stoffe unterschieden werden. Umschlossene Strahlenquellen enthalten meist hoch radioaktive Materialien und sind durch eine Umhüllung aus Metall so von der Umwelt abgeschirmt das im geschlossenen Zustand nur mehr γ -Strahlung in abgeschwächter Form austreten kann. Die Radionuklide sind also dauerhaft abgeschlossen und bei betriebsmäßiger Beanspruchung tritt keine Freisetzung dieser Materialien in die Umgebung auf. Wird eine umschlossene Strahlenquelle jedoch geöffnet, oder gelangt sie in ein mechanisches Aufbereitungsaggregat wo die schützende Umhüllung aufgebrochen wird, kann je nach Aktivität des eingesetzten Radionuklids, eine weiträumige radioaktive Kontamination der gesamten Umgebung die Folge sein. Durch den Einsatz langlebiger und hoch radioaktiver Strahlenquellen, wie beispielsweise Kobalt-60, ist die Gefahr einer starken radioaktiven Kontamination bei einem unsachgemäßen Gebrauch entsprechend hoch. Weltweit sind einige dutzend Fälle dokumentiert, wo umschlossene Strahlenquellen aufgebrochen wurden und die radioaktiven Stoffe in die Umwelt gelangten. Schwere akute Strahleschäden bei den betroffenen Personen sind meist die Folge. Da die Umhüllung aus kompakten und dickwandigem Metallen gefertigt ist, sind in Zusammenhang

¹ als low as reasonably achievable

mit umschlossenen, hoch radioaktiven Quellen vor allem Vorfälle auf Schrottplätzen bekannt geworden. Bleibt eine solche Kontamination am Schrottplatz unentdeckt, so kann sie unter Umständen durch die Rückführung des Altmetalls in den Metallerzeugungsprozess gelangen und beim Einschmelzen im Stahlwerk Tonnen von Stahlerzeugnissen radioaktiv kontaminieren. Unter Umständen können sogar aus kontaminierten Metallwerkstoffen hergestellte Produkte wieder in den Handel gelangen. Auch dies ist in der Vergangenheit bereits des öfteren passiert. Als Folge solcher Vorfälle wurden auf vielen Schrottplätzen und Stahlwerken Einfahrtskontrollen eingerichtet, um radioaktive Kontaminationen rechtzeitig zu entdecken und aus dem Materialkreislauf auszuschleusen.

Abbildung 33 zeigt typische, umschlossene radioaktive Strahlungsquellen, wie sie in der Industrie zur Werkstoffprüfung und zur Dichtemessung eingesetzt werden. Die metallischen Umhüllungen sind dickwandig, oft auffällig mit einer Signalfarbe lackiert und immer mit dem Radioaktivitätswarnzeichen gekennzeichnet. Entweder werden umschlossene Strahlungsquellen stationär in den Anlagen montiert, oder gesichert unter Verschluss aufbewahrt. Ein Verlust oder die irrtümliche Entsorgung einer solchen Quelle ist in Österreich zudem aufgrund der strengen Sicherheitsbestimmungen und Überwachungsmaßnahmen, abgesehen von krimineller Beschaffung, sehr unwahrscheinlich.



Abbildung 33: Umschlossene Strahlenquellen im industriellen Einsatz [25]

Die Anwendung umschlossener Strahlenquellen ist in vielen Industriesparten üblich und auch weit verbreitet. Tabelle 8 zeigt gängige Anwendungsgebiete und einige industrielle Branchen wo bevorzugt ein Einsatz von radiometrischen Verfahren üblich ist. Tatsächlich werden radioaktive Stoffe in vielfältiger Weise auch in Industriebranchen eingesetzt wo man es eigentlich kaum erwarten würde, wie beispielsweise in Umweltschutz- und Recyclingbetrieben, in der Lebensmittelindustrie und auch in der Pharmaindustrie.

Hauptsächlich finden umschlossenen radioaktive Quellen aber in produzierenden Industriebetrieben ihren Einsatz, wo sie meist als Sensoren zur Prozesssteuerung oder in der Werkstoffprüfung verwendet werden.

Tabelle 8: Einige Anwendungen umschlossener Strahlenquellen in der Industrie [26]

Anwendung	Verfahrensprinzip	radioaktive Quellen	bekannte Branchen/Einsatzgebiete
Dickenmessung	Durchstrahlverfahren Rückstrahlverfahren	Pm-147, Kr-85, Ti-204, Sr-90 Am-241, Cs-137, Co-60, Cm-244	Stahlindustrie Blechherstellung Walzwerke Papierindustrie Beschichtungsindustrie
Fördermengenmessung	Durchstrahlverfahren	Pm-147, Kr-85, Ti-204, Sr-90 Am-241, Cs-137, Co-60, Cm-245	Rohstoffgewinnung Rohstoffaufbereitung Erzabbau Bergbau
Füllstandsmessung	Detektorprinzip	Sr-90, Am-241, Cs-137, Co-60	universeller industrieller Einsatz
Füllhöhenmessung	Detektorprinzip	Co-60	Erdölindustrie Chemieindustrie Raffinerien Stranggussanlagen
Keimbabtötung Konservierung	Durchstrahlverfahren	Sr-90, Am-241, Cs-137, Co-60	Lebensmittelindustrie Pharmaindustrie
Dichtemessung	Schwächungsprinzip	Cs-137	Erdölindustrie Gasindustrie Raffinerien Stahlindustrie Bohrloch- und Bodenfestigkeitsuntersuchungen
Feuchtigkeitsdetektion	Neutronendetektion	Am-241, Be	universeller industrieller Einsatz
Messung der Materialzusammensetzung	Rückstrahlverfahren	Am-241, Cd-109, Fe-55	Rohstoffgewinnung Rohstoffaufbereitung Werkstoffprüfung Erzabbau Bergbau Kraftwerke (Aschegehalt)
Durchleuchtung	Durchstrahlverfahren	Am-241	Reifenherstellung Werkstoffprüfung Schweißnahtprüfung
Schichtdickenmessung	Röntgenemissionsanalyse	Am-241, Cd-109, Fe-55	Stahlindustrie Blechherstellung Walzwerke Papierindustrie Beschichtungsindustrie
Neutronenspektrometrie Beseitigung von elektrostat. Aufladungen	PGNAA	Cf-252	Rohstoffgewinnung Rohstoffaufbereitung Erzabbau Bergbau
Aufbringen von elektrostat. Aufladungen	Durchstrahlverfahren	Po-210	Bergbau Schleifmittelindustrie
Markierung von Anlageteilen	Detektorprinzip	Co-60	Rauchgasreinigung Bauindustrie (Brückenmarkierung, Rohrverlegung) Seilbahnen

Der Einsatz offener radioaktiver Strahlenquellen ist in der Industrie genauso weit verbreitet wie der von geschlossenen Strahlungsquellen. Häufig werden offene radioaktive Stoffe in der Industrie als Markierungssubstanzen, sogenannte Tracer, zur Prozesskontrolle, Prozesssteuerung, zur Qualitätssicherung oder zu Forschungszwecken eingesetzt. Dabei wird der radioaktive Tracer den zu untersuchenden Stoffen beigemischt und begleitet den Prozess ohne ihn zu beeinflussen. Anwendungsgebiete sind beispielsweise die Untersuchung von Materialtransporten und Materialverteilungen, oder die Bestimmung von Volumina und Durchflussgeschwindigkeiten. Auch in der Forschung werden solche

Methoden zur radioaktiven Markierung von Materialien häufig angewendet. Großtechnisch wird die Markierung von Stoffströmen mit radioaktiven Tracern vor allem in flüssigen und gasförmigen Medien angewendet. Weitere Anwendungsgebiete für radioaktive Tracer sind Markierungen im Rahmen der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, in der Produktentwicklung und Materialforschung. Hier können radioaktive Markierungen beispielsweise bei Verschleiß- und Abriebsmessungen erfolgreich zu Nachweiszwecken eingesetzt werden. Diese speziellen Anwendungen offener radioaktiver Stoffe sind aber zumeist auf wenige spezielle Untersuchungen im Rahmen industrieller Forschung beschränkt. [27,S.1-15] In der wissenschaftlichen Forschung werden noch viele andere Methoden wie Radioaktivierung, verschiedene Radioreagenzmethoden, Isotopenverdünnungsmethoden und viele Andere zu speziellen Analyse- und Nachweiszwecken eingesetzt. Sehr häufig ist dabei die Untersuchung der Struktur von kristallinen Substanzen, von chemischen Bindungen oder von biochemischen Molekülen mit Hilfe von radioaktiven Markierungen. Auch die Verwendung von sogenannten Schulstrahlenquellen ist in diversen Forschungs-, Ausbildungs- und Lehrbetrieben wie Universitäten und Schulen üblich.

Ein relevanter Spezialfall für die großtechnische Anwendung von relevanten Mengen offener radioaktiver Stoffe in der Industrie ist die Auskleidung von Hochöfen, Konvertern und anderen Einrichtungen der Eisen- und Stahlindustrie mit feuerfesten Auskleidungen. In diesen Auskleidungen sind radioaktive Platin-Iridium Drähte mit eingearbeitet, die wiederum der Verschleißmessung dienen. Bei Abnutzung einer Auskleidung nimmt einerseits die Aktivität der Auskleidung selber ab und andererseits die Aktivität des im Ofen geschmolzenen Stoffes zu. Dieser Mechanismus kann zur Ermittlung der Abnutzungen während der laufenden Produktion herangezogen werden, ohne die Anlagen selber zu öffnen oder den Produktionsprozess zu unterbrechen. [27,S.17-19]

Auch in der Zementindustrie ist der Einsatz offener radioaktiver Stoffe für die Prozesssteuerung üblich. Beispielsweise kann dem Zement im Drehrohrofen eine radioaktive Markierungssubstanz zugegeben werden, um aus der von außen messbaren Aktivitätsverteilung auf die Verteilung des Zements und die Verweilzeiten im Drehrohr schließen zu können. [27,S.40-44] Ob eine derartige Methode der Verweilzeitmessung auch in den belieferten Zementwerken angewendet wird, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden und ist auch nicht Gegenstand der Untersuchung.

4.1.1.1 Risikorelevanz für Quellen aus Industrie und Forschung

Der Eintrag umschlossener radioaktiver Quellen in Inputströme der Thermoteam-Anlage ist einerseits aufgrund der großteils privaten und gewerblichen Herkunft der Inputströme nicht zu erwarten. Bislang wurde in Österreich auch noch kein einziger Verlust einer solchen Strahlenquelle bekannt. Durch die dickwandige Metallummantelung sind bei irrtümlicher Entsorgung einer umschlossenen Strahlenquelle Abfallströme wie Altmetalle und Schrotte tendenziell am stärksten gefährdet. Bei an der Strahlenquelle vorhandenen elektronischen Komponenten wie Sensoren, Messgeräte und Prüfstrahlern, wären Elektronik- und Elektroaltgeräte die am stärksten gefährdete Abfallfraktion. Abfallwirtschaftliche Betriebe die solche Abfallströme verwerten, sind durch diese hoch gefährliche Eintragsquelle durchaus gefährdet. Auch aus Metall- oder Elektronikschrotten abgetrennte Fraktionen könnten bei Zerstörung der Umhüllung eventuell kontaminiert werden. Besonders bei Shredderfraktionen ist eine derartige Kontamination daher nicht auszuschließen.

Keiner der angeführten Abfallarten wird jedoch bei Thermoteam angenommen, verwertet, oder stellt die Ausgangsbasis für einen Inputstrom dar. Auch Shredderleichtfraktionen die aus eventuell gefährdeten Abfallfraktionen abgetrennt werden, werden aufgrund des hohen Schwermetallanteils an der Thermoteam-Anlage nicht angenommen. Da alle Inputströme bereits vor Anlieferung im Rahmen des Regionalpartnerschaftskonzeptes mit diversen Aufbereitungsschritten qualitativ so aufbereitet werden das garantiert keine Störstoffe mit Kantenlängen von über 200 mm im Inputstrom enthalten sind, kann diese Gefahrenquelle hier relativ sicher ausgeschlossen werden. Umschlossene radioaktive Strahlungsquellen in Abfallströmen des Restmülls und der Verpackungsfraktion würden mit großer Wahrscheinlichkeit bereits während der qualitativen Aufbereitungsphase im ASB-Vormaterial entdeckt und vor der Anlieferung sicher ausgeschleust werden. Sollten solche Quellen doch in Inputströme gelangen, würden kompakte Metallgehäuse bei der ersten Metallabscheidung noch vor der Vorzerkleinerung vom Inputstrom abgetrennt und abgeschieden werden. Der Eintrag offener radioaktiver Stoffe in Form von radioaktiven Tracern oder markierten Medien in Inputströme der Thermoteam-Anlage ist nicht vollständig auszuschließen. Durch die schier unbegrenzten Möglichkeiten für den Einsatz offener radioaktiver Stoffe in Technik und Forschung kann theoretisch in jedem Abfallstrom der nicht privater Herkunft ist eine solche Kontamination vorkommen. Diese Kontaminationen würden sich im Falle von Thermoteam vor allem in den beiden Gewerbefraktionen wiederfinden. Die Aktivitäten und Stoffmengen bei radioaktiv markierten Medien sind aber in den allermeisten Fällen außerordentlich gering und würden auch bei Freisetzung keine ernsthaften Gefährdungen nach sich ziehen. So wird wie vorher beschrieben, sowohl in der Stahlindustrie als auch in einigen Zementwerken,

selbst das erzeugte Produkt absichtlich mit kleinen Mengen radioaktiver Stoffe verunreinigt um den gewünschten Markierungseffekt zu erzielen. Aufgrund der niedrigen Aktivitäten und geringen Halbwertszeiten stellen Kontaminationen mit radioaktiv markierten Materialien in Abfallströmen, weder für die Produktionsanlage noch für den erzeugten ASB, eine ernsthafte Gefahrenquelle dar. Beim vollständigen Verlust einer Strahlenquelle in Forschungseinrichtungen sind aber auch hier Gefährdungen nicht auszuschließen.

4.1.2 Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin

In der Medizin werden Radionuklide vor allem in der Strahlentherapie, also Krebs- und Schmerztherapie, der bildgebenden Diagnostik und in der Nuklearmedizin eingesetzt. Man muss hier prinzipiell zwischen innerer und äußerer Anwendung ionisierender Strahlung unterscheiden. Bei der inneren Anwendung werden radioaktive Substanzen meist in flüssiger Form, manchmal aber auch in Form von Festkörpern (Seeds), in den menschlichen Körper eingebracht. Bei der externen Anwendung ionisierender Strahlung werden durch medizinischen Geräte ionisierende Strahlen von Außen auf den Körper gerichtet. Die am weitesten verbreitete medizinische Anwendung ionisierender Strahlung ist sicher die Röntgenuntersuchung, bei der jedoch keine radioaktiven Nuklide für die Erzeugung der Röntgenstrahlung notwendig sind. Die Erzeugung der Röntgenstrahlung erfolgt hier in einer Röntgenröhre mittels Hochspannung. Auch in anderen medizinischen Anwendungen, wie beispielsweise bei der Computertomographie wird Röntgenstrahlung zur Diagnostik eingesetzt. Von der gesamten, medizinisch verursachten Strahlenbelastung, die in Österreich durchschnittlich etwa 1,3 mSv pro Jahr beträgt, werden 1,2 mSv allein durch Röntgenuntersuchungen verursacht. [14,S.68] Weitere wichtige Anwendungsgebiete externer Strahlenquellen sind beispielsweise die Strahlentherapie oder die Stereotaktische Bestrahlung. In Tabelle 9 sind einige Anwendungen ionisierender Strahlung in der Medizin und die dabei häufig eingesetzten Radionuklide dargestellt.

Tabelle 9: Anwendungen ionisierender Strahlung in der Medizin [28]

medizinische Anwendung	Anwendungsart	häufig eingesetzte Nuklide	Aktivitätsbereich	Halbwertszeit der Nuklide
Röntgenuntersuchung	extern	keine (Röntgenröhre)	-	
Computertomographie (CT)	extern	keine (Röntgenröhre)	-	
Radiobestrahlungstherapie	extern	keine (Beschleuniger)		
Radiochirurgie - Stereotaktische Bestrahlung	extern	Co-60		
Szintigraphie	intern	verschiedene, vor allem Tc-99m	20-1.000 MBq	6h
Positronen-Emissions Tomographie (PET)	intern	verschiedene, vor allem F-18	ca.1,5 MBq	1min - 96 h
Single-Photon-Emissionscomputertomographie (SPECT)	intern	Tc-99m	ca.200 MBq	6 h
Radioiodtherapie	intern	I-131	740-3.700 MBq	8 d
Palliative Schmerztherapie	intern	Sr-89, Sm-153, Re-186	150-1250 MBq	2 - 51 d
Brachytherapie	intern	Co-60, Ir-192, Sr-90, Ph-32	-	-
Radiosynoviorthese	intern	Y-90, Re-186, Er-169	9-275 MBq	24 - 226 h
Radioimmuntherapie	intern	Y-90	15 MBq /kg KG	28 h

Für die Innere Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin kommen praktisch nur β - und γ -Strahler mit relativ kurzen Halbwertszeiten in Frage. Nur so können schwere biologische Schädigungen im Körper weitgehend verhindert werden. Wie in Tabelle 9 ersichtlich, liegen die üblichen physikalischen Halbwertszeiten für diese „Radiopharmaka“ im Stundenbereich, oder maximal im Bereich von einigen Tagen. Die verabreichten Aktivitäten sind bei einigen inneren Anwendungen mitunter durchaus beachtlich und liegen bei hochdosierten Therapien oft im MBq Bereich. Es sind heute viele hunderte solcher Radiopharmazeutika in der Nuklearmedizin im Einsatz. Die Anzahl der allein in Österreich mit Radionukliden behandelten oder untersuchten Personen liegt bei etwa 200.000 pro Jahr.

4.1.2.1 Risikorelevanz für Quellen aus der Medizin

Die häufigste Anwendungsquelle ionisierender Strahlung in der Medizin, die Röntgenuntersuchung, ist im Gegensatz zu der von ihr verursachten Strahlenbelastung aus abfallwirtschaftlicher Sicht eher unerheblich. Es werden hierbei normalerweise keine radioaktiven Nuklide als Strahlenquelle oder als Kontrastmittel bei der Untersuchung verwendet. In vielen Fällen werden aber in diagnostischen Instituten verschiedene nuklearmedizinische Verfahren eingesetzt, sodass Röntgeninstitute als potentielle Quelle für radioaktive Kontaminationen in Abfallströmen nicht per se ausgeschlossen werden können. In Krankenhäusern, besonders aber auf Stationen wo auch Krebs- und Schmerztherapien durchgeführt werden, sind radioaktive Strahlenquellen mit Sicherheit in großer Anzahl vorhanden. Das medizinische und technische Personal ist jedoch in diesen hochspezialisierten Abteilungen durchwegs ausgezeichnet ausgebildet und auch die Sicherheitsbestimmungen sind bei der Anwendung ionisierender Strahlenquellen in der Medizin sehr streng. Medizinische Geräte dürfen nur von befugtem Personal, unter Einhaltung aller Sicherheitsbestimmungen gewartet, oder in Betrieb gesetzt werden. Der zufällige Verlust einer hoch aktiven Strahlungsquelle direkt aus einem medizinischen Gerät erscheint schon aufgrund der hier üblichen Preise für solche Einrichtungen sehr unwahrscheinlich. Bislang wurde in Österreich auch kein solcher Verlustfall bekannt. Viel Wahrscheinlicher ist der Verlust oder die irrtümliche, fehlerhafte Entsorgung radioaktiv kontaminierter Reinigungs-, und Hygienematerialien in Krankenanstalten oder Kliniken. Dieses Material könnte aufgrund seiner Beschaffenheit unter Umständen auch in Inputströme der ThermoTeam-Anlage gelangen und wäre auch nicht durch mechanische Aufbereitungsmaßnahmen daraus zu entfernen.

Eine relevante Gefahrenquelle für den Eintrag von radioaktiv kontaminierten Materialien in herkömmliche Abfallströme sind also medizinische Behandlungen und Therapien, die durch Einsatz von Radiopharmaka in der Folge menschliche Ausscheidungen radioaktiv

kontaminieren. Dies ist beispielsweise bei der sehr häufig bei Schilddrüsenerkrankungen eingesetzten Radiojodit-Therapie (RJT) der Fall. Durch die Verwendung von Windeln oder spezieller Abwasserführung werden die mit Jod-131 kontaminierten Fäkalien in Krankenanstalten normalerweise getrennt erfasst. Nach der Abklingzeit und dem Unterschreiten der entsprechenden Grenzwerte ist nach Freigabe auch in Krankenanstalten eine herkömmliche Entsorgung von ursprünglich radioaktiv kontaminierten Materialien üblich. Das solche radioaktiven Kontaminationen von Abfallströmen durchaus auch in der Praxis vorkommen, zeigt der Bericht der meldepflichtigen Zwischenfälle in Deutschland des Jahres 2007 im Anhang F. Durch die große Anzahl derartiger Behandlungen, ist auch in Österreich davon auszugehen, dass im Restmüll gelegentlich solche Kontaminationen vorhanden sind. Bei einer Entsorgung der Exkremente auf herkömmlichem Wege finden sich die langlebigeren Radionuklide normalerweise im Abwasser und können beispielsweise auch bei Wasseranalysen in Kläranlagen nachgewiesen werden. [14,S.45] „Im Abwasser und im Klärschlamm von Kläranlagen wurden bei Untersuchungen des Lebensministeriums folgende aus nuklearmedizinischen Anwendungen stammende Radionuklide festgestellt: Gallium-67, Indium-111, Jod-123, Jod-131, Technetium-99m, Thallium-201, Thallium-202 und Samarium-153.“[14,S.47] Es ist davon auszugehen, auch im Restmüll die selben Radionuklide aus medizinischen Behandlungen gefunden werden können wie im Klärschlamm. „Nuklearmedizinische Diagnoseverfahren, niedrigdosierte Radiojodit-Therapien, sowie Therapien mit anderen Radionukliden, werden in der Regel ambulant durchgeführt. Die Aktivitäten der verabreichten Substanzen sind hier normalerweise so gering, dass keine Gefährdung der Bevölkerung auftreten kann. Bei mittel- bis hochdosierten Therapien erfolgt die Behandlung jedoch überwiegend stationär.“[14,S.48] Gemäß medizinischer Strahlenschutzverordnung müssen bei nuklearmedizinischen Behandlungen mit offenen Radionukliden die Bestimmungen des Paragraphen 33 eingehalten werden, hochdosierte Therapien werden daher immer stationär durchgeführt.

„Ausscheidungen von stationären Patienten sind wie radioaktive Abfälle zu behandeln.“[29,§.33.(2)]. „Der Patient darf erst entlassen werden, wenn die durch die verabreichte Aktivität, (...) die verursachte effektive Dosis pro Jahr für: a) unbeteiligte Einzelpersonen der Bevölkerung 0,3 Millisievert, b) Familienangehörige des Patienten ein Millisievert und c) wesentlich und willentlich helfende Personen drei Millisievert nicht überschreitet.“ [29,§.33.(4)].

Der Grenzwert für Belastung der Zivilbevölkerung aus medizinischen Ursprungsquellen dieser Art ist dabei mit einer jährlichen Effektivdosis von 0,3 mSv gleich hoch angesetzt wie der Grenzwert für die sogenannte Ableitung von radioaktiven Betriebsabwässern oder

Rauchgasen aus strahlenschutzrechtlich genehmigten Anlagen. Bei fehlerhafter Entsorgung von kontaminierten Hygienematerialien in Krankenanstalten oder bei ambulanter Behandlung von Patienten, können also durchaus mit kurzlebigen Radionukliden kontaminierte, menschliche Ausscheidungen in einen Inputstrom der Thermoteam-Anlage gelangen. Verunreinigungen dieser Art würden sich aufgrund ihrer Beschaffenheit vor allem im Restmüll wiederfinden und können auch nicht durch eine vorgeschaltete, qualitative Aufbereitung daraus entfernt werden. Für den Eintrag radioaktiver Materialien in Inputströme der Thermoteam-Anlage und den erzeugten ASB stellen also kontaminierte, menschliche Ausscheidungen und Hygienematerialien aus inneren medizinischen Behandlungen mit Sicherheit die wahrscheinlichste Eintragsquelle für radioaktive Materialien dar.

4.1.2.1.1 Gefahrenpotential von Jod-131

Jod-131 ist ein sehr häufig in der Nuklearmedizin eingesetztes Nuklid, beispielsweise zur Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen. Aufgrund der für Radiopharmaka relativ langen physikalischen Halbwertszeit von rund acht Tagen, kann es nach dem Ausscheiden gelegentlich in Abfallströmen oder im Abwasser nachgewiesen werden. [14,S.47] Nach drei Halbwertszeiten, also 24 Tagen, ist noch 12,5% der ursprünglichen Aktivität festzustellen. Nach 10 Halbwertszeiten, also 80 Tagen, ist nur mehr 0,1% der ursprünglichen Aktivität festzustellen. Jod-131 ist ein β -Strahler mit einer Strahlungsenergie von 971 keV. Gemäß Tabelle 9 liegen die verabreichten Dosen bei hochdosierten Radiojodit-Therapien üblicherweise zwischen 740 MBq und 3.700 MBq. Bei diagnostischen Untersuchungen sind die verabreichten Aktivitäten jedoch viel geringer. Entscheidend für die in den Ausscheidungen auffindbare Restaktivität ist bei inneren medizinischen Behandlungen und Therapien mit Radionukliden die biologische Halbwertszeit, d.h. die Dauer in der die Hälfte des verabreichten Nuklids im Körper durch Stoffwechselprozesse abgebaut oder ausgeschieden wird. Die biologische Halbwertszeit ist abhängig vom verabreichten Radiopharmaka, von der Behandlungsart, der verabreichten Konzentration und vielen anderen Parametern, so dass sie nicht allgemein gültig für ein Nuklid angegeben werden kann. Durch die zeitverzögerte Ausscheidung aus dem menschlichen Körper werden jedoch in der Regel weit geringere Aktivitätswerte in Ausscheidungen festzustellen sein als theoretisch möglich wären. Gemäß Anhang F wurden bei Funden von kontaminierten Materialien medizinischen Ursprungs im Restmüll Ortsdosisleistungen zwischen 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ und maximal 29 $\mu\text{Sv/h}$ erreicht. Die β -Strahlung durchdringt bei Annäherung an die Kontamination auch die oberste Hautschicht und verursacht dementsprechend auch Schädigungen bei längerer Bestrahlung von Außen. Bei Inkorporation oder Inhalation sind β -Strahler durch den niedrigeren Strahlungswichtungsfaktor weniger gefährlich als

beispielsweise α -Strahler. Jod-131 lagert sich dabei bevorzugt in der Schilddrüse ab, wie bei den medizinischen Behandlungen für die das Radionuklid bevorzugt eingesetzt wird. Durch Einnahme von Kaliumjodid Tabletten kann die Aufnahme von Iod-131 im Falle von nuklearen Zwischenfällen reduziert werden. Im Falle einer vereinzelt Freisetzung von Iod-131 in Rauchgasen wäre die Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung aber weit geringer als bei einer medizinischen Untersuchung. Die resultierende Effektivdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung würde den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwert von 0,3 mSv sehr wahrscheinlich nicht überschreiten. Die Aktivitätswerte für eine uneingeschränkte Freigabe der Abfallströme werden beim Vorhandensein einer solchen Kontamination aber mit Sicherheit überschritten.

Mit einem Schmelzpunkt von 113,7 °C und einem Siedepunkt von 184,3 °C kann bei dem Eintrag von radioaktivem Jod-31 in thermische Prozesse davon ausgegangen werden, dass der Stoff zum größten Teil in die Gasphase, und so in die Rauchgase übergeführt wird. Bei Rauchgastemperaturen über 180 °C, die bei den meisten thermischen Anlagen aus technischen Gründen üblich sind, kann der gasförmige Stoff auch nicht durch übliche Rauchgasreinigungsmaßnahmen abgetrennt werden. Dementsprechend wird die Kontamination also mit hoher Wahrscheinlichkeit mit den Rauchgasen aus der Anlage ausgetragen.

4.1.3 Radioaktive Strahlungsquellen im Privatbesitz

Für den Privatbesitz radioaktiver Materialien gibt es heute in Österreich, wie bereits erläutert, strenge gesetzliche Vorschriften und Regelungen. Mit Ausnahme von natürlich vorkommenden Mineralien und diverser bauartzugelassener Geräte ist für die Zivilbevölkerung in Österreich heute kein radioaktives Material mehr frei erhältlich. Jede Anwendung radioaktiver Materialien mit Aktivitäten über der Freigrenze ist bewilligungspflichtig und an die Erfüllung und Einhaltung der entsprechenden Bewilligungsvoraussetzungen gebunden. Diese strenge Reglementierung und Beschränkung durch den Staat ist aber erst seit der Einführung des Strahlenschutzgesetzes im Jahr 1969 wirksam. In der Zeit vor 1969 war radioaktives Material noch für bestimmte Gruppen der Zivilbevölkerung frei nutzbar und wurde beispielsweise im Uhrmachergewerbe und bei Ärzten häufig eingesetzt. Vor 1950 waren beispielsweise noch Anwendungen wie mit Radon angereicherte „Heilwässer“ oder mit Thoriumfäden bestickte Decken zur Rheumabehandlung oder zur Schmerztherapie in der Zivilbevölkerung verbreitet. Erst mit zunehmender medizinischer Forschung konnten stochastische Strahlenschäden auf die Anwendung von radioaktiven Materialien zurückgeführt werden. Mit der zunehmenden gesetzlichen Reglementierung verschwanden die Anwendungen dann nach und nach vom Markt.

4.1.3.1 Industrieprodukte mit Bauartzulassung

Bei bestimmten Industrieerzeugnissen ist der Einsatz radioaktiver Stoffe, die Verwendung, sowie der Import und Export dieser Produkte, mit einer behördlichen Genehmigung, der sogenannten Bauartzulassung, gestattet. Die Bauartzulassung ist immer mit einem Rücknahmekonzept des Herstellers und mit der Verpflichtung des Verbrauchers, das Gerät nach der Nutzung ordnungsgemäß zurückzuführen, gekoppelt. [30,S.69] Gemäß Strahlenschutzverordnung darf die Ortsdosisleistung in 10 cm Entfernung von der Oberfläche dieser Geräte nicht mehr als 1 $\mu\text{Sv/h}$ betragen [19,§.7.(3)] „Unter diese Regelung fallen eine große Zahl von Erzeugnissen, die vorwiegend in der Wissenschaft und Technik Verwendung finden. Die in diesen Produkten eingesetzten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht zu ersetzende Hilfsmittel, die erst eine bestimmte Leistung eines Gerätes ermöglichen. Es handelt sich dabei z.B. um technische Speziallampen, Sonden, Messgeräte oder um spezielle Kathodenstrahlröhren und Schulstrahlvorrichtungen.“ [30,S.69]

Für die vorliegende Fragestellung sind jedoch eigentlich nur wenige Anwendungsfälle bauartzugelassener Produkte interessant, welche auch in größerer Stückzahl bei Privatpersonen eingesetzt werden. Vor allem Troxler-Sonden und Ionisationsrauchmelder sind auch Privatpersonen in größeren Stückzahlen zugänglich. Troxler-Sonden sind Dichte- und Feuchtigkeitsmessgeräte und werden häufig in der Bauindustrie zur Analyse von Mauerwerk und Böden eingesetzt. Auch in Österreich sind nach Schätzungen einige hundert solcher Messgeräte bei diversen Baufirmen und Bausachverständigen im Einsatz. Troxler-Sonden enthalten den Gamma-Strahler Cäsium-137 und einen Neutronen-Strahler wie Americium-241 oder Beryllium, mit Aktivitäten zwischen 185 MBq und 3700 MBq. [31] In Abbildung 34 sind einige Bauarten von Troxler-Sonden dargestellt.



Abbildung 34: Troxler-Sonden zur Dichte- und Feuchtigkeitsbestimmung [31]

Neben bauartzugelassenen Messgeräten sind aber vor allem Ionisationsrauchmelder eine mögliche Eintragsquelle für radioaktives Material in Abfallströme. Ionisationsrauchmelder sind bauartzugelassene Detektoren für Brandmeldeanlagen, die mit Hilfe ionisierender Strahlen, Rauchentwicklung sehr selektiv und sensitiv erkennen können. Aufgrund der strengen gesetzlichen Bestimmungen und der Entsorgungsproblematik, versuchen heute alle Hersteller von Brandmeldeanlagen, weitgehend auf Ionisationsrauchmelder zu Gunsten von anderen Technologien zu verzichten. Die größte Zahl von Ionisationsrauchmeldern stammt daher aus Altbeständen. Nur für wenige spezielle Anwendungsfälle werden Ionisationsrauchmelder noch bei Neuanlagen eingesetzt. Bei Wartungen, Instandsetzungen oder bei der Sanierung von Gebäuden werden Ionisationsrauchmelder normalerweise sukzessiv durch ungefährliche Technologien, wie optische Melder und Thermotransfermelder, ersetzt.

Die Anzahl der in Österreich jährlich von den Herstellern entsorgten Ionisationsrauchmelder schwankt sehr stark zwischen 500 Stück bis maximal 62.000 Stück¹, je nachdem wie viele Gebäude in diesem Zeitraum saniert oder abgerissen werden. Nach Schätzungen dürften noch einige 100.000 dieser Melder in österreichischen Gebäuden vorhanden sein. Vor dem Abriss eines Gebäudes ist normalerweise eine vollständige Demontage aller Melder vorgesehen. Nach Rücknahme durch den Hersteller ist für die Entsorgung in Österreich die Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH (NES) zuständig. Ionisationsrauchmelder enthalten nur sehr geringe Mengen von schwach radioaktivem Material. Bei den meisten Meldern wird Americium-241, ein schwacher α - und γ -Strahler, als Strahlenquelle eingesetzt. Früher wurde mitunter auch Radium-226, Krypton-85 oder Tritium als Strahlenquelle in Meldern verwendet. Eine telefonische Anfrage bei mehreren Herstellern ergab, dass heute aus Sicherheitsgründen nur mehr Americium-241 als radioaktive Strahlenquelle in Ionisationsrauchmeldern verwendet wird. Die Aktivität der Strahlenquelle beträgt bei alten Meldern bis zu 2,6 MBq, bei Meldern neuer Bauart üblicherweise zwischen 15 kBq und 40 kBq. [32,S.13] Keinesfalls darf bei der Verwendung von Americium-241 in Ionisationsrauchmeldern aber die 10-fache Freigrenze von 100 kBq überschritten werden. [19,§.8.(1)] Das Americium ist in eine Trägerfolie aus Metall eingepresst, aufgedampft, oder in einer festen Matrix eingeschlossen und kann so nicht in die Umgebung gelangen. Bei Ionisationsrauchmeldern des Marktführers, ist die Strahlenquelle aus Americium beispielsweise gleichmäßig in einer Goldmatrix verteilt. Diese aktive Schicht aus Americium und Gold wird von einem Träger aus Silber und einer Deckschicht aus einer Gold-

¹ laut Auskunft der Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH

Palladiumlegierung umschlossen. Die aktive Schicht ist dabei auf einer Fläche von nur rund zwei mal fünf Millimetern und mit einer Schichtdicke von einigen Zehntel-Millimeter aufgebracht, was einer Menge von wenigen Milligramm Material entspricht.¹ Durch die feste Verbindung des radioaktiven Materials mit der Trägerfolie aus Metall, kann, wenn überhaupt möglich, nur unter gezielter Anwendung starker mechanischer Beanspruchung, radioaktives Material von der Trägerfolie abgeschabt oder abgekratzt werden. Abbildung 35 zeigt links einen Ionisationsrauchmelder neuer Bauart im montierten Zustand und rechts einen geöffneten Ionisationsrauchmelder. Das radioaktive Americiumplättchen befindet sich dabei zentral auf dem mit dem Pfeil markierten Metallstreifen in der Mitte des Melders.

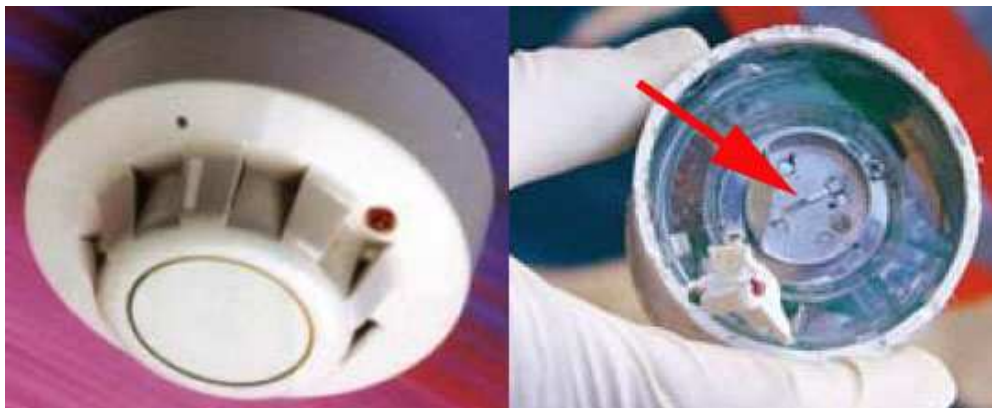


Abbildung 35: Ionisationsrauchmelder (IRM) [33,S.34],[32,S.15]

4.1.3.1.1 Gefahrenpotential von Americium-241

Da Ionisationsrauchmelder eine wesentliche Gefahrenquelle für den Eintrag von radioaktivem Material in Abfallströme darstellen, soll im folgenden speziell auf die Gefahr die vom Radionuklid Americium-241 ausgeht etwas näher eingegangen werden. Americium-241 zerfällt unter Aussendung von α -Strahlung mit einer Energie von 5,5 MeV und von γ -Strahlung mit 60 keV. Die Halbwertszeit von Americium-241 beträgt 432,2 Jahre. „Die Reichweite der α -Strahlung beträgt, trotz ihres hohen Energieinhaltes, in der Luft nur etwa 4 cm. Die Reichweite der α -Strahlung im Körpergewebe liegt im Bereich von Zehntel-Millimetern. Die äußeren Schichten der menschlichen Haut können daher nicht von der Strahlung durchdrungen werden. Es besteht bei Americiumstrahlern also keine Gefahr durch die Bestrahlung mit α -Teilchen von Außen. Unbedingt vermieden werden muss jedoch jede Inkorporation beim Umgang mit beschädigten Ionisationsrauchmeldern. α -Strahlung hat eine

¹ laut Auskunft der Fa.Siemens

hohe Ionisationsdichte und überträgt daher, wie bereits erläutert, ihre Energie auf engstem Raum auf die umliegenden Zellen. Deshalb kommt es in diesen Bereichen auch zu hohen spezifischen Schäden. Bei Inkorporation wird Americium bevorzugt an der Knochenoberfläche abgelagert, wo sich die meisten blutbildenden Organe befinden. Eine theoretische Gefahr für Personal in abfallwirtschaftlichen Betrieben besteht also einerseits beim Hantieren mit verletzter Haut an mechanisch beschädigten Ionisationsrauchmeldern. Americium-241 könnte so unter Umständen über die Wunde bis in die Blutbahn gelangen. Wenn man keine offenen Verletzungen hat, besteht noch die Gefahr einer Inkorporation von Americium-241 durch Nahrungsaufnahme. Die Verwendung von Handschuhen und das Waschen der Hände vor der Nahrungsaufnahme ist daher Pflicht, wenn man zuvor unter Umständen mit mechanisch beschädigten Ionisationsrauchmeldern in Berührung gekommen ist. Damit wird verhindert, dass der α -Strahler von den Händen auf die Nahrung übertragen wird und so in den Magen-Darmtrakt gelangt.“[32,S.14]

Americium-241 hat einen Schmelzpunkt von 1.176 °C und einen Siedepunkt von 2.607 °C. Bei der Verwendung in Brandmeldern ist es zudem meist in einer festen Metallmatrix als Legierungsbestandteil eingeschlossen oder fest mit einem metallischen Trägermaterial verbunden. Auch die Verwendung von Americium(IV)-Oxyd¹, das bei einer Temperatur von 1.000 °C zerfällt, ist in alten Brandmeldern häufig. Beim Eintrag dieser Kontaminationen in thermische Prozesse kann davon ausgegangen werden, dass der Stoff nicht, oder nur zum Teil in die Gasphase übergeführt wird, weil die dafür notwendigen Temperaturen nicht erreicht werden. Bei Oxidation mit Luftsauerstoff kann sich unter Umständen Americiumoxyd verschiedener Oxidationsstufen bilden. Die radioaktiven Rückstände finden sich aufgrund des hohen Siedepunkts, mit großer Wahrscheinlichkeit vollständig in der Verbrennungsrückstande, oder wie im Fall der Zementherstellung im Produkt Zement wieder. Der Austrag radioaktiver Kontaminationen durch die Rauchgase ist im Fall einer Verunreinigung mit Ionisationsrauchmeldern also eher unwahrscheinlich.

4.1.3.2 Altlasten und Dachbodenfunde

Wie bereits angedeutet wurde radioaktives Material früher teilweise auch von Privatpersonen verwendet, oder war in verschiedenen Alltagsprodukten enthalten. Diese „Altlasten“ aus vergangener Zeit, tauchen gelegentlich bei Wohnungsräumungen, Entrümpelungen, in Tauschbörsen im Internet oder auch am Flohmarkt wieder auf. Entweder werden diese Strahlenquellen entdeckt und können so noch rechtzeitig einer ordnungsgemäßen

¹ AmO₂

Entsorgung zugeführt werden, oder sie werden von den Besitzern früher oder später in herkömmliche Abfallströme entsorgt. Die häufigsten Funde solcher „Altlasten“ betreffen thoriumhaltige Gasglühstrümpfe und Rheumdecken, Uhren, Messgeräte, elektronische Bauteile und Zielfernrohre mit radioaktiver Ziffernbeleuchtung, Radium- und Tritiumhaltige Leuchtfarben aus Uhrmacherbeständen, Kacheln und Fliesen die Uranoxyd als Färbemittel enthalten, Radontinkturen und Trinkgefäße oder natürliche radioaktive Mineralien wie beispielsweise Uranitit (Pechblende) aus Mineraliensammlungen. Wenn, wie in den meisten Fällen, keine Kennzeichnung am Produkt selber angebracht ist, können diese Strahlenquellen von Privatpersonen auch nicht als solche erkannt und ordnungsgemäß entsorgt werden. Aus diesem Grund ist der Eintrag dieser Materialien in herkömmliche Abfallströme also durchaus wahrscheinlich und kann angenommen werden. Das Gefährdungspotential das von diesen Quellen ausgeht, ist aufgrund der geringen Aktivitäten und Stoffmengen jedoch in den allermeisten Fällen entsprechend gering. Auch werden in absehbarer Zeit immer weniger solcher radioaktiver „Altlasten“ bei Privatpersonen im Umlauf sein, insofern sollte diese Gefahrenquelle auch nicht überbewertet werden. In einer Schwerpunktsaktion für die Untersuchung von verdächtigen, privaten Materialien, die in einer gemeinsamen Kampagne der Kantonalen Laboratorien Basel im Jahre 2006 durchgeführt wurde, konnten verschiedene radioaktive Materialien privater Herkunft sichergestellt werden. Einige dieser typischen Funde sind in Abbildung 36 dargestellt. Links oben befinden sich uranoxydhaltige Wandfliesen mit Aktivitäten über 400 Bq. Rechts oben ist eine Radiumtinktur und die innenliegende Radiumquelle mit einer Aktivität von 100 kBq dargestellt. Darunter befindet sich ein Wecker mit Radium Leuchtziffern und einer Aktivität von 900 Bq. Rechts unten sind Tritium Leuchtfarben aus einem alten Uhrmacherbestand, mit der durchaus beachtlichen Aktivität von 300 MBq abgebildet.[34]



Abbildung 36: radioaktive Materialien aus Privatbesitz [34]

4.1.3.3 Risikorelevanz für privates Material

Aus abfallwirtschaftlicher Sicht sind Ionisationsrauchmelder, neben Rückständen aus der medizinischen Behandlung, eine der wahrscheinlichsten Eintragsquellen von radioaktiven Materialien in Abfallströme. Diese Geräte werden in hoher Zahl eingesetzt und sind auch für Privatpersonen oft frei zugänglich. Prinzipiell ist der Entsorgungspfad für diese Geräte genau vorgeschrieben. Dennoch tauchen Ionisationsrauchmelder gelegentlich bei Behandlern von Elektroaltgeräten oder auch in anderen Abfallströmen auf [32,S.15] Hierbei besonders gefährdete Abfallströme sind Elektro- und Elektronikschrotte, Elektroaltgeräte, Shredderfraktionen die aus diesen Abfällen abgetrennt werden und auch Bauschutt. Da gerade beim Abbruch von Gebäuden des Öfteren Ionisationsrauchmelder irrtümlicherweise verloren gehen, sind alle daraus abgetrennten Leichtfraktionen potentiell gefährdet. Bei der Bauschuttzubereitung würden Ionisationsrauchmelder vorrangig mit der Leichtfraktion abgetrennt werden und könnten so auch in Inputströme der Thermoteam-Anlage gelangen. Da solche Abfälle bei Thermoteam aber nicht angenommen werden hält sich auch dieses Risiko in Grenzen. Die bei Thermoteam angenommene Leichtfraktion aus Baustellenabfällen ist durch diese Strahlenquelle nicht gefährdet und muss Begrifflich vom Bauschutt streng abgegrenzt werden. Die visuelle Unterscheidung von Ionisationsrauchmeldern und herkömmlichen Rauchmeldern, ist aufgrund der ähnlichen Optik schwierig. Dieser Umstand führt dazu, dass immer wieder Gebäude abgerissen werden, ohne vorher alle Ionisationsrauchmelder zu demontieren und ordnungsgemäß zu entsorgen. Die relativ geringe Einzelaktivität von rund 30 kBq und der energetisch schwache Gammastrahlungsanteil, macht zudem ein Aufspüren verlorener Ionisationsrauchmelder mit Handspürmessgeräten im Bauschutt beinahe aussichtslos. Das gesamte Material müsste für eine Messung großflächig, in einer dünnen Schicht ausgebreitet werden, was aufgrund der großen Materialmengen aber meist unmöglich ist. „Ionisationsrauchmelder können grundsätzlich am Zeichen für radioaktive Stoffe erkannt werden, das auf der Rückseite des Rauchmelders angebracht sein muss. Das Radioaktivitätszeichen kann aber auch in den Kunststoff eingegossen oder eingeprägt sein und dann die Farbe des Kunststoffes aufweisen. Sollte die Kennzeichnung jedoch aus irgend einem Grund entfernt worden sein, können Ionisationsrauchmelder nur mehr anhand der genauen Typenbezeichnung, oder aufgrund einer Aktivitätsmessung, von anderen Rauchmeldern unterschieden werden.“ [32,S.14] Da in der Thermoteam-Anlage keine Abfälle aus Elektroschrott, Elektronikaltgeräten oder Bauschutt angenommen werden, reduziert sich das Risiko einer Kontamination mit Ionisationsrauchmeldern auf ein Minimum.

Der Verlust einer Troxler-Sonde oder eines anderen Messgerätes mit einem radioaktiven Prüfstrahler in einer privaten Einrichtung ist zwar unwahrscheinlicher als der Verlust von

Ionisationsrauchmeldern, wäre aber trotzdem denkbar. Sachverständige und Anwender solcher Geräte sind normalerweise über die Sicherheitsbestimmungen und die Rückgabepflichtung an den Hersteller sehr genau informiert. Messgeräte, Prüfstrahler und andere technische Einrichtungen finden sich bei irrtümlicher Entsorgung naturgemäß auch häufig in Elektro- und Elektronikschrotten, sowie bei Elektroaltgeräten. Da in der Thermoteam-Anlage keine Abfälle aus Elektroschrott oder Elektronikaltgeräten angenommen werden, ist das Risiko für den Eintrag einer solchen Strahlenquelle sehr gering und reduziert sich auf aus Restmüll abgetrennte Inputströme. Bei der qualitativen Aufbereitung der ASB-Vormaterialien würden solche auffälligen Kontaminationen mit hoher Wahrscheinlichkeit entdeckt und abgetrennt werden. Der Eintrag dieser Strahlungsquellen in Inputströme der Thermoteam-Anlage und in den erzeugten ASB ist daher unwahrscheinlich.

Radioaktive Altlasten und „Dachbodenfunde“, wie sie häufig bei Wohnungsräumungen und Entrümpelungen immer wieder auftauchen, können je nach Art der Quelle, als Fehlwürfe im Restmüll, Sperrmüll, im Schrott oder bei Elektroaltgeräten erwartet werden. Meist ist dem Besitzer die vom Objekt ausgehende Gefahr nicht bewusst und der Gegenstand wird aufgrund seiner Beschaffenheit und Optik einem herkömmlichen Abfallstrom zugeordnet. Oft werden solche unbekannt, oder nicht genau zuordenbaren Gegenstände, auch bei kommunalen Problemstoffsammlungen abgegeben. Die Wahrscheinlichkeit für einen Eintrag solcher Strahlungsquellen in Fraktionen der Sammlung von Altstoffen, wie beispielsweise getrennt gesammelte Leichtfraktionen, ist aus diesem Grund aber tendenziell eher gering. Bei der Entsorgung solcher Quellen in die getrennte Altstoffsammlung muss hier eine mutwillige Falschentsorgung der Gegenstände vorausgesetzt werden. Gemäß Anhang F sind keine Funde derartiger Materialien in Altstoffen und speziell in der Leichtfraktion dokumentiert. Für die Thermoteam-Anlage bleibt also im Wesentlichen ein Restrisiko für den Eintrag solcher Strahlungsquellen in Inputströme die aus Restmüll abgetrennt werden.

4.2 Funde von radioaktiven Materialien in Abfallströmen

Für die Meldung von Verlusten und Funden von radioaktiven Materialien oder anderen Vorfällen mit radioaktiven Stoffen, ist in Österreich gemäß Paragraph 94 der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung ein zentrales Störfallregister gesetzlich vorgeschrieben. Dieses Störfallregister beinhaltet Berichte über die Ursachen und den Ablauf eines Störfalls, Informationen über voraussichtliche Expositionen und über die betroffene radioaktive Quelle. Laut Auskunft des Lebensministeriums befindet sich dieses Störfallregister in Österreich aber noch in der Aufbauphase und ist frühestens mit Ende des Jahres 2011 verfügbar¹. Ausreichendes Datenmaterial eines längeren Beobachtungszeitraums über Zwischenfälle mit radioaktiven Stoffen in Österreich wird dementsprechend erst in einigen Jahren verfügbar sein. Derzeit werden Zwischenfälle in Österreich nur an die zuständigen Lokalbehörden, wie beispielsweise die Bezirkshauptmannschaften, gemeldet. Die Daten liegen derzeit also nicht zentral gesammelt und aufbereitet vor. Aus diesem Grund ist eine Datenerhebung in Österreich überaus schwierig und würde, Kooperationsbereitschaft von sämtlichen Behörden vorausgesetzt, viel Zeit in Anspruch nehmen. Aus diesem Grund wurde in weiterer Folge auf diesbezügliche Nachforschungen verzichtet und auf verfügbares Datenmaterial aus Deutschland zurückgegriffen.

In Deutschland wird eine zentrale Erfassung aller Zwischenfälle mit radioaktiven Materialien schon lange durchgeführt. Die Meldungen werden gesammelt, aufbereitet und jährlich im Bericht für Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit veröffentlicht. Alle Zwischenfälle, also auch Funde und Verluste radioaktiver Materialien in Abfallströmen, sind dabei in Form einer übersichtlichen Tabelle im Anhang dieser Jahresberichte veröffentlicht. Eine Beschreibung aller Zwischenfälle mit radioaktiven Materialien der Jahre 2005 bis einschließlich 2008 in Deutschland, sind dieser Arbeit im Anhang F beigelegt. Die Tabellen wurden dabei den entsprechenden Jahresberichten entnommen, zusammengefügt und die abfallwirtschaftlich relevanten Zwischenfälle markiert. Insgesamt wurden im Bezugszeitraum von vier Jahren in Deutschland 133 Funde von radioaktiven Materialien in Abfallströmen bekannt. Dies entspricht etwa einem Anteil von 50% aller meldepflichtigen Zwischenfälle. Im selben Bezugszeitraum wurden 38 Fälle bekannt, wo radioaktive Strahlenquellen verloren, entsorgt oder gestohlen wurden. In 16 Verlustfällen konnte direkt eine fehlerhafte Entsorgung der Strahlenquellen in herkömmliche Abfallströme nachgewiesen werden. In der Tabelle 10 ist

¹ laut Auskunft des Lebensministeriums, Abteilung V/7 Strahlenschutz

eine kurze Auswertung und Zusammenfassung der Anzahl abfallwirtschaftlich relevanter Zwischenfälle im Bezugszeitraum von 2005 bis 2008 dargestellt.

Tabelle 10: abfallwirtschaftlich relevante Zwischenfälle mit radioaktiven Materialien in Deutschland (2005 bis 2008) [30,S.268-272], [35,S.275-280], [36,S.269-275], [37,S.263-268]

Zwischenfälle in Deutschland 2005 bis 2008 (in 4 Jahren)	Anzahl	Bemerkung/Erklärung
Meldepflichtige Zwischenfälle Gesamt	274	Funde, Verluste, Falschmeldungen, Unzulässiger Transport, Unzulässige Exposition und Fehlbestrahlungen von Menschen...usw.
Funde radioaktiver Strahlenquellen Gesamt	177	
Sonstige Funde von radioaktiven Strahlenquellen ausserhalb von Abfallströmen (die noch nicht in Abfallströme gelangen konnten)	45	in Privatfirmen, bei Privatpersonen, bei Behörden, in öffentlichen Einrichtungen und Anlagen durch Unkenntnis, illegalem Erwerb, Besitz oder Verkauf, Unachtsamkeit, illegalem Versand und Transport... usw.
Funde radioaktiver Materialien in herkömmlichen Abfallströmen Gesamt	133	
Funde radioaktiver Materialien in Schrottfractionen (Elektroschrott, Metallschrott und Schrott allgemein)	88	
Funde radioaktiver Materialien im Restmüll Gesamt	41	
Funde radioaktiv kontaminierter Hygienematerialien medizinischen Ursprungs im Restmüll	39	kontaminierte Windeln, Zellstoffe oder andere Hygienematerialien mit Verunreinigungen aus medizinisch genutzten Radionukliden: 31xI-131, 4xRa-226, 1xSm-153, 1xTc-99m, 1xIn-111
Funde sonstiger Strahlenquellen im Restmüll	4	1x Gasglühstrumpf mit Th-232; 1x Uran kontaminierter Zellstoff 1x unbekannte Quelle mit U-238 und Ra-226; 1x natürliche Schlämme
Funde in nicht genau bezeichneten Abfallfraktionen und Anlagen	4	Funde 1xRa-226, 2xI-131 sind auch medizinischen Ursprungs daher vermutlich auch im Hausmüll oder bei Altstoffen gefunden 1x Ionisationsrauchmelder Kr-85 vermutlich im Elektroschrott
Funde bei Recyclingbetrieben Gesamt	35	verschiedenste Strahlenquellen, Haupteintragsquelle ist aber 17xRa-226 aus Leuchtfarben, Prüfstrahlern, el. Bauteilen, Trinkbecher, Kompressen...; 3xTh232; 1xCo-60; 1xI-131; 4xCs-137; 1xEu-152; 3xU-238;
Funde bei Recyclingbetrieben im Metallschrott und Schrott allgemein	24	
Funde bei Recyclingbetrieben im Elektroschrott und Elektroaltgeräten	5	
Funde bei Recyclingbetrieben in nicht näher bezeichneten Fraktionen	6	
Funde bei Metallverarbeitungsunternehmen, Schrottverwertungsfirmen, Schrotthändlern, Stahlwerken und in Schrottlieferungen	53	28xRa-226 (Kathodenstrahlröhren, el. Bauteile, Instrumente mit Leuchtfarben, Kabel); 10x kontaminierte Stahl- und Metallstücke; 6xCo-60; 5xCs-137, 1xBa133; 1xTh232; 1xAm-241; 1xKr-85; 1xSchulstrahlquellensatz
Verlust von Strahlenquellen Gesamt	38	1xLabor, 1xPrivatfirma, 1xChemiepark, 1xHubschrauber, 1xBaumarkt, 1xBaustelle, 6xSchulstrahlenquellen, 1xZollbehörde, 4xTransport, 1xForschungszentrum, 2xKlinik, 1xBergbau
Verlust von radioaktiven Strahlenquellen durch nachgewiesene oder vermutete fehlerhafte Entsorgung in herkömmliche Abfallströme	16	2xEntsorgung eines kompletten Schulstrahlenquellensatzes in den Hausmüll, 5x Entsorgung von Ionisationsrauchmeldern im Bauschutt
Verlust speziell von Ionisationsrauchmeldern in Abfallströme	8	6xSanierungs- und Abbrucharbeiten(Bauschutt), 1xBrandschutt, 1xDiebstahl
Verlust von radioaktiven Strahlenquellen auf unbekannte Weise (zB Diebstahl) mit Potential in Abfallströme zu gelangen	12	
Verluste ohne erkennbare Gefährdung von Abfallströmen	10	

Leider werden im deutschen Jahresbericht nicht immer die betroffenen Abfallströme genannt, in denen radioaktive Kontaminationen gefunden wurden. Auch der Begriff „Recyclingunternehmen“ ist des öfteren nicht genauer spezifiziert. So besteht zwischen den verwendeten Begriffen „Recyclingunternehmen“ und „Metallverwertungsfirma“ oft kein Unterschied. Die meisten Zwischenfälle und Funde radioaktiver Materialien bei Recyclingbetrieben sind, soweit aus dem Bericht erkennbar, aber fast vollständig auf das Recycling von Elektroschrott und Metallschrott und nicht auf Altstoffrecycling von Papier- oder Verpackungsmaterialien zurückzuführen. Im Bezugszeitraum von 2005 bis 2008 wurde in Deutschland nur sechs Funde von radioaktiven Materialien in nicht näher deklarierten Abfallströmen in Recyclingunternehmen bekannt. Während der selben Zeit wurden insgesamt 88 Zwischenfälle im Elektro- und Metallschrottreycling aufgezeichnet. Teilweise

wird diese signifikante Ungleichverteilung sicher durch die in den Branchen unterschiedlich weit verbreiteten Überwachungsmaßnahmen für radioaktive Kontaminationen, verursacht. Über den Einflussfaktor dieses Umstands lässt sich hier aber lediglich spekulieren. In Branchen wo prinzipiell keine Überwachung für radioaktive Kontaminationen vorgesehen ist, wird in der Folge auch kaum verunreinigtes Material gefunden werden. In Branchen, wie beispielsweise beim Schrottreycling, wo Überwachungsmaßnahmen in großer Anzahl bereits flächendeckend vorhanden sind, könnte durch den hohen Überwachungsanteil die Dunkelziffer hingegen bereits sehr gering sein. Diese Risikobranchen erscheinen dann in Folge dieser Gegebenheiten, im Vergleich zu anderen Branchen, noch gefährlicher. Diese Dunkelziffern könnten über eine branchenspezifische Gegenüberstellung von Funden und der in überwachten und nicht überwachten Anlagen behandelten Massenströme, ermittelt werden. Eine solche Studie würde Analysen der Abfallströme und der Überwachungseinrichtungen bei Behandlungsanlagen in ganz Deutschland erfordern. Eine solche Studie ist im beschränkten Rahmen dieser Arbeit leider nicht möglich, wäre aber hoch interessant. Festzuhalten ist daher die Tatsache, dass auch wenn keine Funde radioaktiver Materialien explizit in Papier- und Kunststoffrecyclinganlagen vermerkt sind, aufgrund fehlender Überwachungsmaßnahmen bei vielen Anlagen, einige unentdeckte Kontaminationen nicht dezidiert ausgeschlossen werden können. Naturgemäß sind diese Abfallströme aber doch weit weniger gefährdet als Schrottraktionen. Der Eintrag von hoch radioaktiven, umschlossenen Strahlungsquellen ist bevorzugt vor allem in Metall- und Elektroschrottfractionen zu erwarten. Hier wurden gemäß Anhang F sogar auch einige Co-60 und Cs-137 HASS-Quellen entdeckt. Die nachgewiesenen, recht häufigen Funde von teilweise durchaus gefährlichen Quellen in Schrottfractionen, rechtfertigen die Überwachungsmaßnahmen der Schrottbranche mehr als deutlich. In Abbildung 37 sind einige typische Funde solcher radioaktiver Quellen in Schrottfractionen abgebildet.



Abbildung 37: Funde radioaktiver Strahlenquellen in Schrottfractionen [38,S.3-4]

Für die vorliegende Fragestellung ist besonders die Tatsache interessant, dass im Bezugszeitraum von 2005 bis 2008, in Deutschland auch 41 Funde radioaktiver Materialien im Restmüll aufgezeichnet wurden. Diese Funde wurden bei Abfallsammlern, in diversen Restmüllbehandlungsanlagen, und in Müllverbrennungsanlagen gemacht. Der Fund radioaktiver Materialien im Restmüll ist auf Basis dieser Daten also durchaus realistisch. Von diesen 41 Funden radioaktiv kontaminierter Materialien im Restmüll, sind aber zumindest 39 Funde eindeutig auf Rückstände von medizinischen Behandlungen zurückzuführen. Diese Funde betreffen wie erwartet vor allem kontaminierte Hygienematerialien die auf medizinische Therapien mit Jod-131 und anderen Radiopharmaka zurückzuführen sind. Das Radionuklid Jod-131 wurde beispielsweise 31 Mal im Restmüll gefunden. Die Vermutung, dass kontaminierte Rückstände aus medizinischer Behandlung die wichtigste Eintragsquelle für radioaktive Kontaminationen in den Restmüll darstellen, scheint sich auf Basis dieser Daten also mehr als zu Bewahrheiten. Andere Verunreinigungen dieser Fraktion kommen wie erwartet sehr selten vor. Die Entsorgung von privaten, bauartzugelassenen Gerätschaften und Dachbodenfunden in den Restmüll, ist aber in geringem Ausmaß zu erwarten. Am 28.02.2005 wurde beispielsweise ein kompletter Schulstrahlenquellensatz irrtümlicherweise über den Restmüll entsorgt und am 19.02.2008 fand man mit Uran-238 und Radium-226 verunreinigtes Material in einer Müllverbrennungsanlage. Ein Fund einer hoch radioaktiven, umschlossenen Strahlenquelle im Restmüll wurde im Beobachtungszeitraum jedoch nicht gemacht.

Im Gewerbemüll, oder in anderen getrennt gesammelten Abfallfraktionen, sind, soweit aus Anhang F erkennbar, keinerlei dokumentierte Funde radioaktiver Kontaminationen bekannt. Vier Funde radioaktiver Materialien konnten anhand der Beschreibung nicht eindeutig den Schrotten oder dem Restmüll zugeordnet werden, sie könnten also auch eventuell in getrennt gesammelten Abfallfraktionen gefunden worden sein.

Der Eintrag von Ionisationsrauchmeldern in Abfallströme betrifft wie erwartet vor allem die Fraktionen Elektronikschrott und Bauschutt. Auch diese Annahme wird durch das Datenmaterial aus Deutschland im Anhang F bestätigt. So sind im Zeitraum von 2005 bis 2008 fünf Verlustfälle von Ionisationsrauchmeldern im Bauschutt und einige Funde in Abfallströmen wie Elektroschrott und Metallschrott dokumentiert.

Zusammenfassend können aus abfallwirtschaftlicher Sicht die in Tabelle 11 angeführten radioaktiven Strahlenquellen als Hauptrisikofaktoren für radioaktive Kontaminationen in den jeweiligen Abfallströmen angeführt werden. Diese Strahlenquellen sind auch gemäß Anhang F oft in den entsprechenden Abfallfraktionen nachgewiesen worden.

Tabelle 11: häufige Eintragsquellen radioaktiver Materialien in Abfallströme

Fraktion	vor allem gefährdet durch
Sperrmüll	Dachbodenfunde, privates Material
Restmüll	menschliche Rückstände aus medizinischen Behandlungen, kontaminierte Hygienematerialien, privates Material
Metallschrott, Metallabfälle	technische Geräte oder Anlagen aus Metall, umschlossene hoch radioaktive Quellen mit Metallummantelung
Elektroschrott, Elektroaltgeräte	elektronische Geräte und Messgeräte mit Prüfstrahlern, Kathodenstrahlröhren, Anzeigegeräte mit radioaktiven Leuchtfarben, Ionisationsrauchmelder
Bauschutt, Betonabbruch	Ionisationsrauchmelder
Shredderleichtfraktion	bei Abtrennung aus Sperrmüll, Elektronikschrott oder Metallschrott
getrennt gesammelte Altstoffe	kontaminierte Hygienematerialien aus Papier oder Kunststoff, ansonsten nur absichtliche Fehlwürfe, daher geringeres Risiko durch irrtümliches Entsorgen von radioaktiven Materialien als im Restmüll

4.2.1 Ableitung von Erwartungswerten für Funde in Österreich

Da in Deutschland eine sehr ähnliche Rechtsgrundlage und Verfahrensweise im Umgang mit radioaktiven Strahlenquellen wie in Österreich besteht, ist es zulässig auf Basis der vorliegenden Daten aus Deutschland, Rückschlüsse für österreichische Abfallströme abzuleiten. Hierzu muss allerdings der Größenunterschied der beiden Länder berücksichtigt werden. Für den Vergleich von deutschen mit österreichischen Verhältnissen kann entweder die Bevölkerungszahl, oder besser die Anzahl der Zulassungsinhaber für den Umgang mit radioaktiven Strahlungsquellen, zueinander ins Verhältnis gesetzt werden. „In Deutschland waren im Jahr 2008 14.188 Genehmigungen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen gültig. Die Zahl der Inhaber dieser Genehmigungen betrug insgesamt 10.728. Davon waren 25% im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre, 11% im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin, 57% im Bereich Industrie und gewerblichen Wirtschaft und 7% in sonstigen Bereichen registriert.“[35,S.267]

In Österreich sind laut Auskunft des Lebensministeriums nur insgesamt 307 Zulassungsinhaber von Genehmigungen für den Umgang mit radioaktiven Strahlenquellen vorhanden¹. Dies betrifft Zulassungen für den Umgang mit umschlossenen Strahlenquellen, offenen Strahlenquellen und auch Inhaber von Bauartzulassungen. Aus dem Verhältnis der Anzahl von Zulassungsinhabern in Österreich und Deutschland kann abgeleitet werden, dass in Österreich proportional zur geringeren Zahl der Anwender im selben Bezugszeitraum statistisch etwa nur 2,9% der Zwischenfälle mit radioaktiven Materialien zu erwarten sind. Bei Umlage über die Bevölkerungszahlen ergibt sich ein höherer Wert von etwa 10%. Da aus Österreich kein gesammeltes Datenmaterial über Funde vorliegt, ist die einzige Möglichkeit zur Ermittlung eines Erwartungswertes, das Datenmaterial aus Deutschland über diese

¹ laut Auskunft des Lebensministeriums, Abteilung V/7 Strahlenschutz

Faktoren umzulegen. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass aufgrund der ähnlichen Rechtsgrundlage und des vergleichbaren industriellen und medizinischen Standards, in Deutschland und Österreich die Anzahl von Funden radioaktiver Materialien in Abfallströmen miteinander korreliert. Die Tatsache das Deutschland im Gegensatz zu Österreich auch in der nuklearen Energiegewinnung tätig ist, und über eine unterschiedliche Industriedichte verfügt, beeinflusst den Umrechnungsfaktor in geringem Maße. Dieser Umstand wird hierbei daher bewusst vernachlässigt. Eine Ableitung der Erwartungswerte für einen Fund radioaktiver Stoffe in österreichischen Abfallströmen, auf Basis des deutschen Datenmaterials, ist in Tabelle 12 dargestellt. Dabei wurde lediglich die Anzahl der dokumentierten, Vorfälle aus Tabelle 10, mit den Umrechnungsfaktoren auf österreichische Größenverhältnisse umgerechnet. Daraus ergibt sich der minimale Erwartungswert für Zwischenfälle aus dem Verhältnis der Zulassungsinhaber, der maximale Erwartungswert aus dem Verhältnis der Bevölkerungszahlen der beiden Länder. Da durch den freien Handel eine gegenseitige Beeinflussung nicht ganz von der Hand zu weisen ist, also unter Umständen auch deutsche Strahlenquellen in österreichischen Abfallströmen gefunden werden können, ist die Umrechnung über die Bevölkerungszahl eine Möglichkeit diesen Einflussparameter mit zu berücksichtigen.

Tabelle 12: Erwartungswerte für Zwischenfälle mit radioaktiven Materialien in Österreich

Erwartungswert für Zwischenfälle in Österreich (auf Basis der dokumentierten Zwischenfälle in Deutschland)	min. Anzahl in 4 Jahren (f1)	max. Anzahl in 4 Jahren (f2)	min. Anzahl in 8 Jahren (f1)	max. Anzahl in 8 Jahren (f2)
Meldepflichtige Zwischenfälle Gesamt	7,8	28,1	15,7	56,1
Funde radioaktiver Strahlenquellen Gesamt	5,1	18,1	10,1	36,3
Sonstige Funde von radioaktiven Strahlenquellen ausserhalb von Abfallströmen (die noch nicht in Abfallströme gelangen konnten)	1,3	4,6	2,6	9,2
Funde radioaktiver Materialien in herkömmlichen Abfallströmen Gesamt	3,8	13,6	7,6	27,3
Funde radioaktiver Materialien in Schrottfractionen (Elektroschrott, Metallschrott und Schrott allgemein)	2,5	9,0	5,0	18,0
Funde radioaktiver Materialien im Restmüll Gesamt	1,2	4,2	2,3	8,4
Funde radioaktiv kontaminierter Hygienematerialien medizinischen Ursprungs im Restmüll	1,1	4,0	2,2	8,0
Funde sonstiger Strahlenquellen im Restmüll	0,1	0,4	0,2	0,8
Funde in nicht genau bezeichneten Abfallfraktionen und Anlagen	0,1	0,4	0,2	0,8
Funde bei Recyclingbetrieben Gesamt	1,0	3,6	2,0	7,2
Funde bei Recyclingbetrieben im Metallschrott und Schrott allgemein	0,7	2,5	1,4	4,9
Funde bei Recyclingbetrieben im Elektroschrott und Elektroaltgeräten	0,1	0,5	0,3	1,0
Funde bei Recyclingbetrieben in nicht näher bezeichneten Fraktionen	0,2	0,6	0,3	1,2
Funde bei Metallverarbeitungsunternehmen, Schrottverwertungsfirmen, Schrotthändlern, Stahlwerken und in Schrottlieferungen	1,5	5,4	3,0	10,9
Verlust von Strahlenquellen Gesamt	1,1	3,9	2,2	7,8
Verlust von radioaktiven Strahlenquellen durch nachgewiesene oder vermutete fehlerhafte Entsorgung in herkömmliche Abfallströme	0,5	1,6	0,9	3,3
Verlust speziell von Ionisationsrauchmeldern in Abfallströme	0,2	0,8	0,5	1,6
Verlust von radioaktiven Strahlenquellen auf unbekannte Weise (zB Diebstahl) mit Potential in Abfallströme zu gelangen	0,3	1,2	0,7	2,5
Verluste ohne erkennbare Gefährdung von Abfallströmen	0,3	1,0	0,6	2,0
Gesamtanzahl der Bewilligungsinhaber in Österreich (A)	307			
Gesamtanzahl der Bewilligungsinhaber in Deutschland (B)	10.728			
Umrechnungsfaktor f1 = A/B (für Minimum)	0,029			
Bevölkerungszahl Österreich (C)	8.383.784			
Bevölkerungszahl Deutschland (D)	81.835.000			
Umrechnungsfaktor f2= C/D (für Maximum)	0,102			

Natürlich lässt sich die Wahrscheinlichkeit eines Zwischenfalles nicht exakt berechnen. Für die qualitative Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit ist ein solcher Vergleich aber durchaus interessant. Die Erwartungswerte aus Tabelle 12, welche auf Basis von empirischen Datenmaterial aus Deutschland ermittelt wurden, lassen zumindest eine ungefähre Abschätzung der Größenordnung zu, mit denen solche Vorfälle auch in Österreich zu erwarten sind. So kann in einem Zeitraum von acht Jahren mit etwa acht bis 27 Funden von radioaktiven Materialien in Abfallströmen gerechnet werden. Im Restmüll und bei Recyclingbetrieben ist im selben Bezugszeitraum insgesamt mit etwa zwei bis acht Funden zu rechnen.

In Österreich sind dem Lebensministerium nach eigener Aussage seit 2005, also innerhalb eines Zeitraums von fünf Jahren, konkret nur zwei Funde von radioaktiven Materialien in Abfallströmen bekannt. Diese beiden Funde betreffen Ionisationsrauchmelder, welche bei Abrissarbeiten mit dem Bauschutt entsorgt wurden. Die Größenordnung der Auftretenswahrscheinlichkeit entspricht hier also durchaus den in Tabelle 12 angeführten Erwartungswerten. Der Verlust einer hoch radioaktiven, umschlossenen Strahlenquelle in Österreich, ist dem Lebensministerium in der Vergangenheit nicht bekannt und wird als sehr unwahrscheinlich bezeichnet.¹ Über Funde oder Verluste anderer radioaktiver Materialien, konnte vom Lebensministerium leider keinerlei Auskunft erteilt werden. Da hier zu Lande kein Datenmaterial verfügbar ist und ein zentrales Störfallregister zumindest derzeit noch fehlt, kann zur Verifizierung der in Tabelle 12 ermittelten Erwartungswerte kein weiterer Vergleich angeführt werden. Durch die sensible Problematik waren großteils auch abfallwirtschaftliche Unternehmen nicht bereit konkrete Aussagen zu Funden von radioaktiven Stoffen in ihren Anlagen an Dritte weiterzugeben. Nach telefonischer Auskunft sind jedoch auch in den Wiener Müllverbrennungsanlagen „einige Funde“ von mit Jod-131 kontaminierten Hygienematerialien im Restmüll bereits vorgekommen.

Das Verluste radioaktiver Strahlungsquellen auch in Industriestaaten vorkommen, zeigt aber auch das verfügbare Datenmaterial aus Deutschland im Anhang F klar und deutlich. „Nach Schätzungen der Europäischen Union gehen in den Mitgliedstaaten pro Jahr bis zu 70 Strahlenquellen verloren, d.h. sie sind nicht auffindbar, wurden gestohlen, illegal entsorgt oder sind auf andere Weise außerhalb der Kontrolle der zuständigen Behörden geraten. Für die USA liegen die entsprechenden Schätzungen bei rund 300 Strahlern pro Jahr. Diese Zahlen lassen erahnen, dass die Aufsicht für radioaktives Material und Diebstahlschutz nicht

¹ laut Auskunft des Lebensministeriums, Abteilung V/7 Strahlenschutz

allein ein Problem der Nachfolgestaaten der Sowjetunion oder von Entwicklungsländern ist, sondern auch hierzulande durchaus Handlungsbedarf besteht.“ [39,S.54] Rechnet man also in der EU mit rund 70 verlorenen Strahlenquellen pro Jahr, so ist bei Umlage über die Bevölkerungszahlen in Österreich jährlich nur mit etwa einem¹ Verlust einer legalen Strahlenquelle zu rechnen. Dieser Erwartungswert erscheint in Anbetracht der geringen Anzahl von Zulassungsinhabern durchaus realistisch und deckt sich Größenordnungsmäßig auch mit den Erwartungswerten die in Tabelle 12 ermittelt wurden. Man kann davon ausgehen, dass die meisten verlorenen Strahlenquellen früher oder später illegal in herkömmliche Abfallströme entsorgt werden, wenn sie nicht für spezielle kriminelle Tätigkeiten bzw. für terroristische Zwecke beschafft, oder in der Zwischenzeit ins Ausland verbracht worden sind. Durch den freien Binnenmarkt und die fehlenden Grenzkontrollen, ist diesbezüglich auch eine gegenseitige Beeinflussung der EU Mitgliedsstaaten zu erwarten.

Für die Ersatzbrennstoffherstellung der Thermoteam GmbH liegt der Erwartungswert einer radioaktiven Kontamination in einem Inputstrom theoretisch in einem zu vernachlässigenden Bereich. Die gesamten Inputströme der Thermoteam Ersatzbrennstoffproduktion umfassen etwa 70.000 t pro Jahr. Im Jahr 2008 sind in Österreich laut Bundesabfallwirtschaftsplan rund 3.786.400 t Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen und 2.055.000 t Altstoffe aus Gewerbe und Industrie angefallen. Laut Tabelle 12 ist im Restmüll und bei Recyclingbetrieben außerhalb der Schrottbranche maximal mit etwa einem Fund einer radioaktiven Quelle pro Jahr zu rechnen. Der Erwartungswert für den Eintrag einer radioaktiven Strahlenquelle in einen Inputstrom der Thermoteam-Anlage mit einem Gesamtinput von rund 70.000 t beträgt gemessen am Gesamtstrom theoretisch also nur 0,012² Funde pro Jahr. Mit anderen Worten ausgedrückt bedeutet dies, dass hier theoretisch mindestens mit einem Fund alle 100 Jahre gerechnet werden muss. Aufgrund der Dunkelziffer und fehlender Überwachungsmaßnahmen bei vielen Abfallwirtschaftlichen Anlagen kann angenommen werden, dass der Erwartungswert für einen Fund dementsprechend höher liegt. Natürlich ist eine solche Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit rein spekulativ, für eine qualitative Abschätzung der Größenordnung kann sie aber durchaus herangezogen werden. Wenn man davon ausgeht, dass ein Fund von radioaktiven Materialien im Restmüll höchstwahrscheinlich medizinisch kontaminierte Rückstände und Hygienematerialien betrifft, kann man hier aber nicht direkt von einem akuten Handlungsbedarf sprechen.

¹ $(8.000.000/490.000.000) * 70 \text{ Verluste/Jahr} = 1,14 \text{ Verluste/Jahr}$

² $(70.000/[3.786.400+2.055.000]) = 0,012 \text{ Funde pro Jahr}$

4.3 Risikobewertung der Inputströme

Zur Untersuchung der Inputströme wurde als Kontrollzeitraum das Jahr 2009 festgelegt. In diesem Zeitraum wurden 65.196 t Inputmaterial mit 3.693 Einzelanlieferungen in die Thermoteam-Anlage geliefert. Die Anlieferung erfolgt mittels LKW, wobei das Inputmaterial zur einfacheren Handhabung meist zu kompakten Ballen gepresst und mit einem Drahtgeflecht umschlossen ist. Alle Anlieferungen sind genauestens in einer Inputliste erfasst, welche auch die Datengrundlage für die nachfolgenden Betrachtungen bildet. Das Datenmaterial wurde so aufbereitet, dass die jährliche Anlieferungsmenge aus jeder aufgezeichneten Quelle, geordnet für alle Fraktionen erkennbar wird. In Abbildung 38 sind die Massen und prozentualen Anteile der Inputströme im Jahr 2009 für die einzelnen Fraktionen dargestellt.

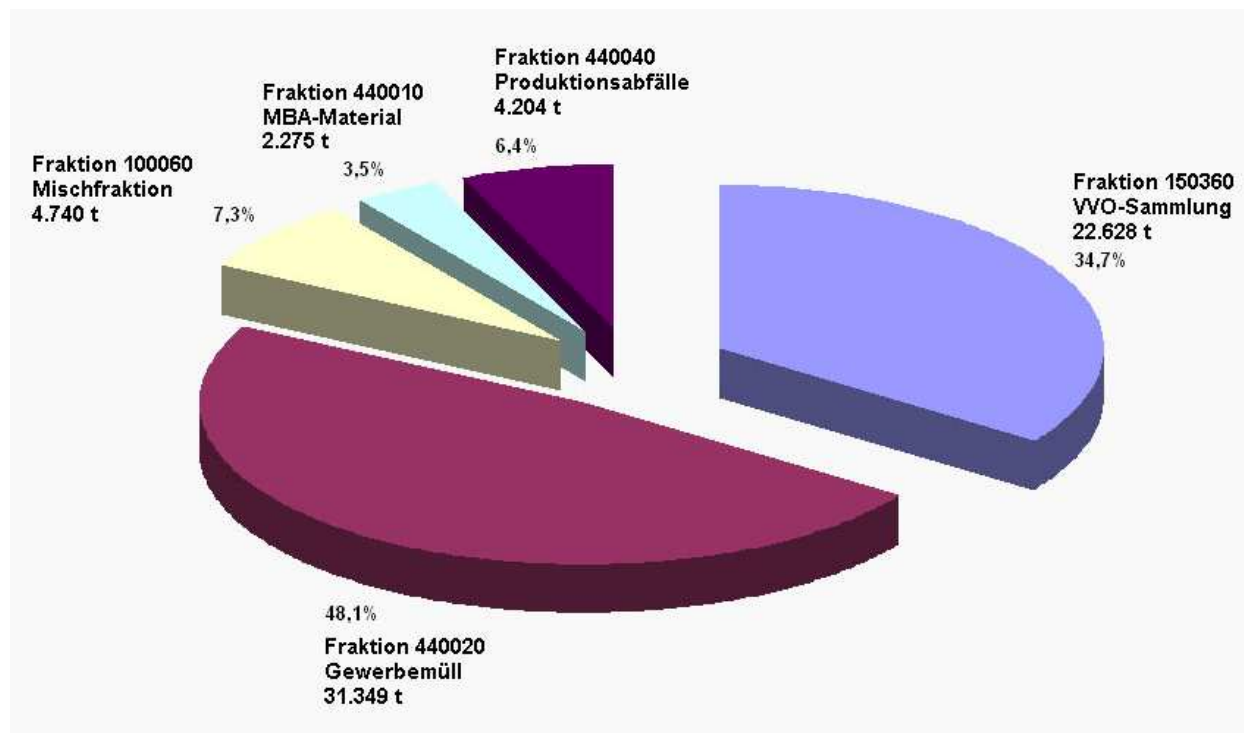


Abbildung 38: Inputströme 2009 nach Fraktionen

Wie in Abbildung 38 ersichtlich werden nur fünf verschiedene Fraktionen angeliefert, welche mit internen Fraktionsnummern gekennzeichnet sind. Die Fraktion 440020, eine heizwertreiche Fraktion aus Gewerbemüllsplittingsanlagen, macht mit rund 48% der Anlieferungsmenge den größten Teil des Inputmaterials aus. Ein zweiter wichtiger Inputstrom, mit einem Anteil von rund 35%, besteht aus Verpackungsmaterial und entstammt der Altstoffsammlung laut Verpackungsverordnung (VVO). Die getrennte Sammlung von Altstoffen im Österreichischen Kunststoff Kreislauf (ÖKK), erfolgt mittels „gelber-Tonne“ oder

„gelbem-Sack“. Alle weiteren Fraktionen haben, mit einer Summe von etwa 17%, einen weit geringeren Anteil am Gesamtinput der ThermoTeam-Anlage.

Um einen besseren Überblick über die Herkunft der einzelnen Stoffströme zu bekommen, wurden die Daten aus der Inputliste graphisch aufbereitet. Die erstellten Flussdiagramme sind in den nachfolgenden Kapiteln für jede dieser fünf Fraktionen dargestellt. Bei der Erstellung der Flussdiagramme wurde auf die Nachkommastellen verzichtet, wodurch es gegebenenfalls zu geringen Abweichungen von der tatsächlichen Mengen bei Summenströmen kommen kann.

4.3.1 Fraktion 440010 – Material aus MBA

Die Fraktion 440010 besteht aus Rückständen der mechanisch, biologischen Abfallaufbereitung (MBA). Im Abfallkatalog laut ON-S2100 ist diese Fraktion mit der Schlüsselnummer 91103 und mit der Bezeichnung „Rückstände aus der mechanischen Abfallbehandlung“, angeführt. Mit einem Anteil von 3,5% und einer Menge von 2.275 t leistet diese Fraktion nur einen unwesentlichen Beitrag zum Gesamtinput der Anlage. In Abbildung 39 ist die Herkunft des Inputmaterials der Fraktion 440010 im Jahr 2009 in einem Flussdiagramm dargestellt. Der überwiegende Hauptanteil dieses Massenstromes entstammt hier der MBA in St. Pölten und der MBA der Firma ASA in Halbenrain.

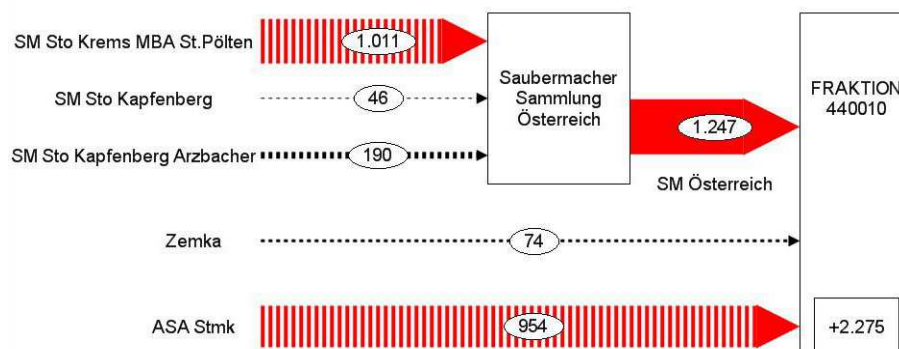


Abbildung 39: Fraktion 440010 – Flussdiagramm (Massenangaben in t/Jahr)

In Abbildung 40 sind die prozentualen Anteile der Fraktion 440010, aufgeteilt nach externer und interner Herkunft dargestellt. Als interne Herkunft wird im folgenden Material bezeichnet, dass durch die Firma Saubermacher gesammelt wird, oder aus Anlagen stammt welche von Saubermacher selber betrieben werden. Bei interner Sammlung und Vorbehandlung ist aufgrund des durchgängig vorhandenen Qualitäts- und Umweltmanagements, dass von der

Firma Saubermacher seit Jahren erfolgreich betrieben wird, anzunehmen, dass sich das Risiko für unerwünschte Kontaminationen im Vergleich zu Fremdanlieferungen minimiert.

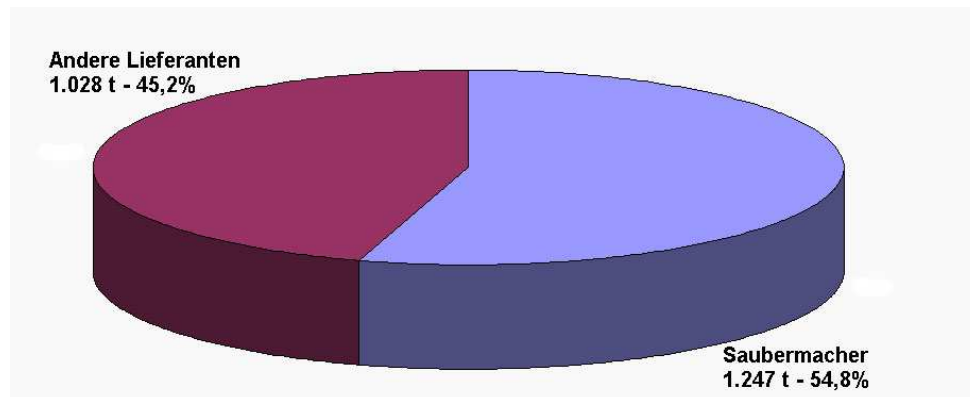


Abbildung 40: Fraktion 440010 - Verteilung der Herkunft

In Österreich sind derzeit 16 MBA-Anlagen mit einer genehmigten Kapazität von 780.000 t im Betrieb. [40,S.137] Das Ziel dieser mechanisch, biologischen Kombinationsbehandlung ist die Massenreduktion, der Abbau des organischen Anteils und der Reaktionsfähigkeit um letztendlich einen deponierungsfähigen Abfallstrom zu schaffen. Die dabei abgetrennte heizwertreiche Fraktion wird, aufgrund der heterogenen Zusammensetzung und des hohen TOC – Gehalts, zum Großteil in thermischen Anlagen verwertet. „Laut der Studie des Umweltbundesamtes „Behandlung von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen in Österreich – Auswertung und Interpretation“, wurden von 14 bilanzierten Anlagen, welche 90 % der Gesamtkapazität aller Anlagen in Österreich stellen, im Jahr 2007 etwa 616.000 t an Inputmaterial verarbeitet. Als wesentlichste Abfallarten wurden Abfälle der SN 91101 „Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle“ mit 72 % des Gesamtinputs und der SN 91103 „Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung“ mit rund 11% des Gesamtinputs eingebracht. Der Gesamtoutput der 14 bilanzierten MBA-Anlagen betrug rund 495.500 t, davon wurden rund 284.500 t thermisch behandelt, 169.000 t deponiert, 16.500 t stofflich verwertet und 25.500 t einer sonstigen Verwertung oder Beseitigung zugeführt. Der Verbleib des Outputs aus den mechanisch, biologischen Anlagen ist in der Abbildung 41 dargestellt.“ [40,S.139] Wie in Abbildung 41 ersichtlich ist die thermische Behandlung von Material aus MBA-Anlagen in Österreich mit einem Anteil von 58% die hier übliche Verfahrensweise. Eine Alternative für die Beseitigung dieses Materials ist außer der thermischen Verwertung nur die Deponierung, die jedoch aufgrund gesetzlicher Regelungen nicht mehr möglich ist.

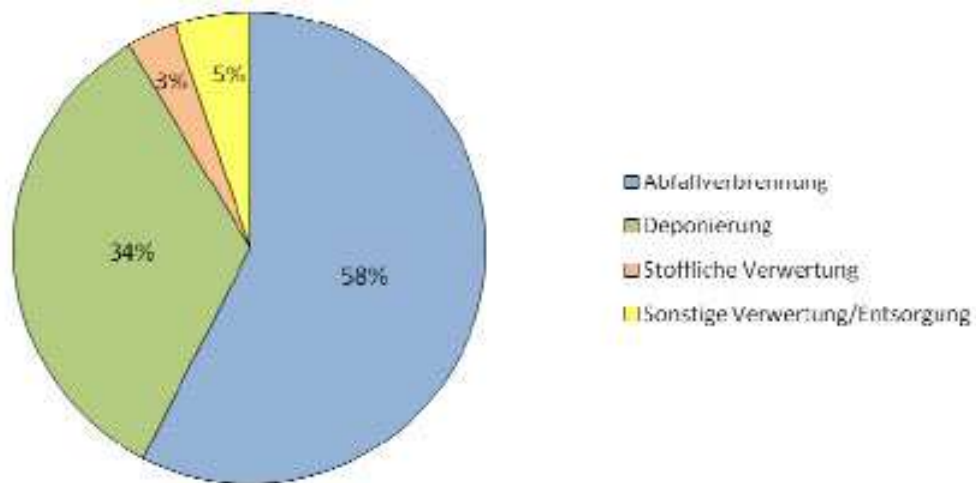


Abbildung 41: Verbleib der Outputfraktionen von MBA-Anlagen im Jahr 2007 [40, S.140]

Die in MBA-Anlagen verarbeiteten Abfallströme sind, wie bereits dargelegt, im wesentlichen Siedlungsabfälle oder siedlungsähnliche Gewerbeabfälle und stammen in der Regel aus privaten Quellen, Kleingewerbe oder Büroräumen und nicht aus großtechnischen Produktionsprozessen. Die Inputfraktion 440010 wird im Sinne des Regionalpartnerkonzeptes mit sechs Modulen qualitativ aufbereitet bevor der Inputstrom in die Thermoteam-Anlage gelangt. Eine direkte Annahme des Restmülls ist bei Thermoteam nicht vorgesehen. Erst nach Vorzerkleinerung, Absiebung, Kontrollsichtung, schwer-leicht Abtrennung, Fe-Abscheidung und Transportkonditionierung wird ASB-Vormaterial aus Restmüll überhaupt als Inputstrom angenommen.

Ein relevantes Risiko für den Eintrag von radioaktiven Kontaminationen in die Thermoteam-Anlage besteht bei der Fraktion 440010 vor allem durch radioaktiv kontaminierten Rückstände medizinischen Ursprungs. Da kontaminierte Stoffe wie Windeln, Zellulose, Tücher, Inkontinenzmaterialien und andere Hygienematerialien mit dem anderen Material zerkleinert, und nicht durch mechanische Aufbereitungsschritte entfernt werden können, ist das Risiko für den Eintrag in einen Inputstrom und in der Folge bis in den erzeugten ASB dementsprechend groß. Da die hochkalorische Leichtfraktion in MBA-Anlagen bereits vor der biologischen Stufe abgetrennt wird, bringen hier auch die üblichen Behandlungsdauern von 10 bis 16 Wochen keinen wesentlichen Vorteil im Sinne des Abklingvorgangs. Auch andere radioaktive Strahlenquellen privaten Ursprungs könnten durchaus mit dem Restmüll in die vorgeschalteten Aufbereitungsanlagen gelangen. Durch die mehrstufige, qualitative Aufbereitung der MBA-Inputfraktion sollten jedoch die meisten dieser Kontaminationen mit großer Wahrscheinlichkeit aber schon vor der Annahme an der Thermoteam-Anlage abzutrennen sein.

4.3.2 Fraktion 440040 – Sortenreine Produktionsabfälle

Die Inputfraktion 440040 enthält sortenreine Produktionsabfälle und besteht aus Stoffströmen der Abfallschlüsselnummern welche in der Tabelle 13 zusammengefasst sind.

Tabelle 13: Schlüsselnummern Fraktion 440040

SN gem.ON.S2100	Bezeichnung gem. ON S2100
18 407	Rückstände aus der Altpapierverarbeitung
18 702	Papier und Pappe beschichtet
58 107	Stoff- und Gewebereste, Altkleider
57 129	sonstige ausgehärtete Kunststoffabfälle

Im Speziellen werden in der ThermoTeam-Anlage Etiketten, Autositzbezüge, Innenverkleidungen, Spritzgussabfälle, Skiaußenschuhe, Stoffreste, Transportverpackungen und verschiedene sortenreine Rejekte aus Papier, Karton oder Kunststoffen unter dieser Fraktionsnummer angeliefert. Rejekte sind Reststoffe, welche bei der stofflichen Verwertung von Altstoffen anfallen, jedoch nicht den Qualitätsanforderungen einer solchen Verwertung genügen. Diese Materialien müssen daher anderweitig entsorgt werden. Eine thermische Verwertung ist aufgrund des hohen Heizwerts auch bei diesen Abfallströmen die einzige Alternative zur Deponierung. In Abbildung 42 ist die Herkunft des Inputmaterials der Fraktion 440040 im Jahr 2009 in einem Flussdiagramm dargestellt.

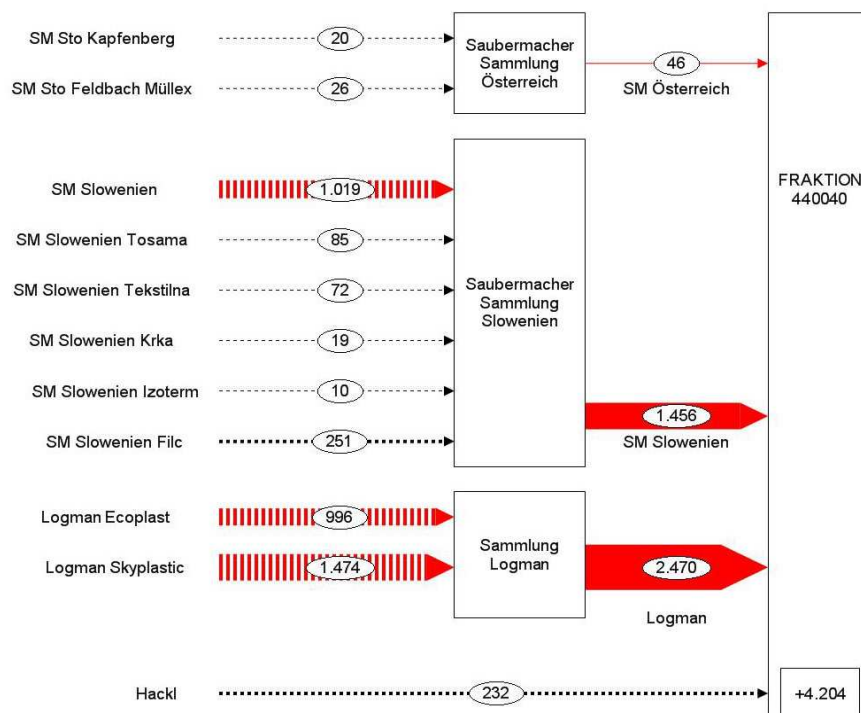


Abbildung 42: Fraktion 440040 – Flussdiagramm (Massenangaben in t/Jahr)

In Abbildung 43 sind die prozentualen Anteile der Fraktion 440040, aufgeteilt nach externer und interner Herkunft dargestellt. Der überwiegende Anteil von 64% dieser Fraktion wird durch Rejekte der VVO-Sammlung und sortenreine Produktionsabfälle der Unternehmen Skyplastic und Ecoplast abgedeckt. Der restliche Anteil von rund 36% besteht aus Material der Sammlung Saubermacher Slowenien, wo im Speziellen Textilien der Autoindustrie, also Sitzbezüge, Teppichabfälle und Textilien sortenrein angeliefert werden.

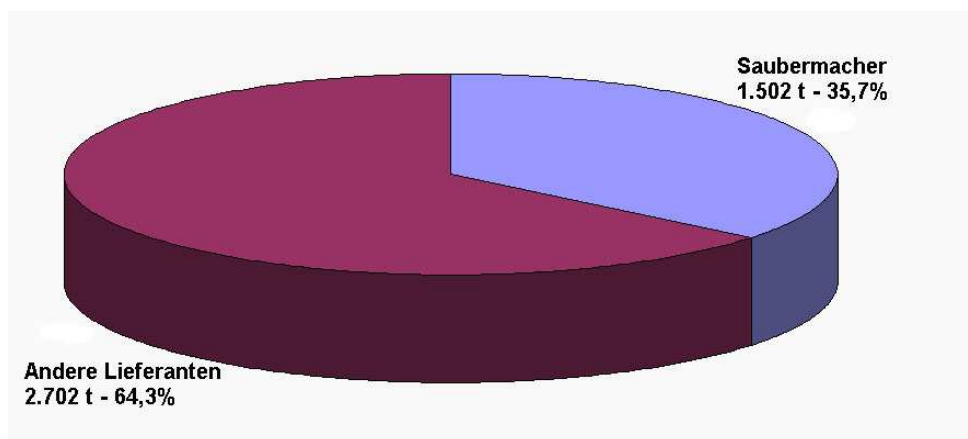


Abbildung 43: Fraktion 440040 - Verteilung der Herkunft

Die sortenrein angelieferten Produktionsabfälle der Unternehmen Skyplastic und Ecoplast, die den Hauptanteil von 64% der Fraktion 440040 ausmachen, setzen sich aus zum einen aus Rejecten der VVO-Sammlung, zum anderen aus sortenreinen Produktionsabfällen aus Industrie und Gewerbe zusammen. Die Unternehmen Skyplastic und Ecoplast sind Kunststoffrecyclingunternehmen die auf das Recycling von Kunststoffabfällen spezialisiert sind. Als Ausgangsstoffe dienen dabei Industrie- sowie auch Haushaltsabfälle. Aus diesen Grundstoffen werden Rohgranulate für den Spritzguss und die Extrusion hergestellt. Beide Unternehmen verfügen über zertifizierte Qualitäts- und Umweltmanagementsysteme nach ISO 9001, ISO 14001, sowie über eine EMAS-Validierung. Wie man den Umwelterklärungen dieser Unternehmen entnehmen kann, setzt das Unternehmen Skyplastic als Rohstoffe verschiedene sortenreine Industrieabfälle und Haushaltsabfälle aus getrennter Sammlung ein. Bei Ecoplast werden als Rohstoffe vor allem gebrauchte LDPE¹-Folien und HDPE²-Hohlkörper wie beispielsweise Rohre verwendet. Das Risiko einer radioaktiven Kontamination aus diesen Ursprungsquellen ist aufgrund der Sortenreinheit der vorliegenden Abfallstoffe und der hier durchgängig vorhandenen Umwelt- und

¹ Low-Density-Polyetylen

² High-Density-Polyetylen

Qualitätsmanagementsysteme, welche die Einhaltung aller Rechtsvorschriften und der Qualitätsanforderungen garantieren sollten, sehr gering. Gemäß Regionalpartnerkonzept wird vor der Annahme der Fraktion zusätzlich eine Kontrollsichtung durchgeführt. Der Störstoffanteil ist bei dieser Fraktion sehr gering und die Anzahl der Lieferanten ist zudem überschaubar. Das Risiko für einen möglichen Eintrag radioaktiver Strahlungsquellen durch die Fraktion 440040 der sortenreinen Produktionsabfälle ist daher sehr gering.

4.3.3 Fraktion 150360 – Heizwertreiche Fraktion aus der VVO-Sammlung

Die heizwertreiche Fraktion 150360 besteht fast vollständig aus getrennt gesammelten Verpackungskunststoffen die im Rahmen der „gelben Tonne“ und des „gelben Sacks“ als sogenannte Altstoffe, getrennt von anderen Abfällen, erfasst werden. Die Erfassung erfolgt über den Österreichischen Kunststoff Kreislauf (ÖKK), der von der Österreichischen Kunststoff Kreislauf AG, einer Tochtergesellschaft der Altstoff Recycling Austria (ARA), betrieben wird. Die in dieser Fraktion vorwiegend enthaltenen Materialien sind vor allem Kunststofffolien, Schalen, PET- Flaschen, Getränkekartons und ähnliches Verpackungsmaterial aus privaten Haushalten aber auch lizenzierte Verpackungsmaterialien aus Gewerbe und Industrie. „Im Jahr 2009 sammelte die ARA AG 205.933 t Leichtverpackungen aus Haushalt, Industrie und Gewerbe. Etwa 20 % der erfassten Leichtverpackungen stammen dabei aus der Gewerbe- und Industrieentsorgung. 2009 wurden 35.713 t aus diesen Quellen mit der Verpackungssammlung erfasst.“ [41,S.30]

In Abbildung 44 ist die Herkunft des Inputmaterials der Fraktion 150360 im Jahr 2009 in einem Flussdiagramm dargestellt. Der überwiegende Massenanteil von rund 16.936 t entstammt der ARA-Verpackungssammlung laut Verpackungsverordnung. Die Sammlung wird im Auftrag der ARA von vielen lokalen Abfallsammlern durchgeführt, wie in der Abbildung 44 auch gut ersichtlich ist. Ein kleinerer aber doch nennenswerter Anteil dieser Fraktion von 4.484 t, kommt aus der Sammlung der italienischen „COREPLA“ die ein Pendant zum österreichischen ÖKK darstellt. Auch hier erfolgt, wie beim österreichischen System, eine getrennte Sammlung der Verpackungsabfälle, die wie bei der ARA zum überwiegenden Teil aus privaten Haushalten stammt.

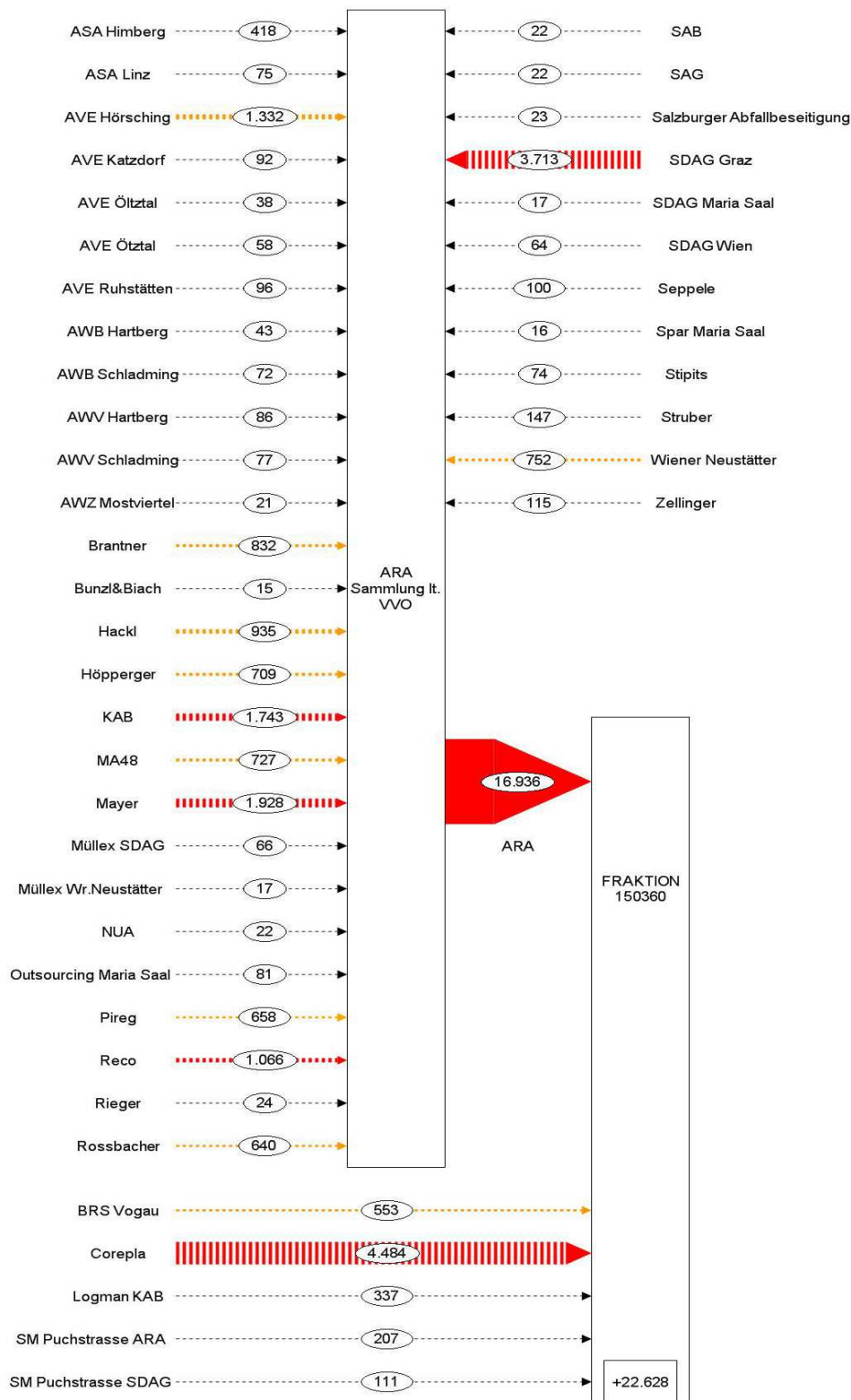


Abbildung 44: Fraktion 150360 – Flussdiagramm (Massenangaben in t/Jahr)

In Abbildung 45 sind die prozentualen Anteile der Fraktion 150360, aufgeteilt nach externer und interner Herkunft dargestellt. Da hier beinahe der gesamte Massenstrom von externen Partnern bereitgestellt wird, muss bei der Annahme auf die qualitative Vorbereitung und die

Einhaltung der geforderten Materialeigenschaften im Rahmen des Qualitätsmanagements besonders geachtet werden.

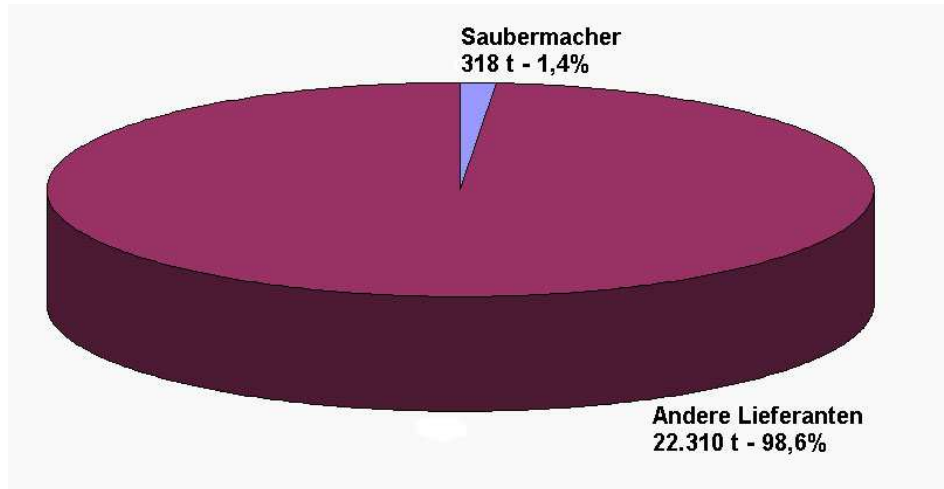


Abbildung 45: Fraktion 150360 - Verteilung der Herkunft

Getrennt gesammelte Kunststoffabfälle und im besonderen die Leichtfraktion aus der kommunalen Verpackungssammlung stellen für den Eintrag radioaktiver Kontaminationen keine wesentliche Risikofraktion dar. Durch Fehlwürfe von radioaktiv kontaminierten Hygienematerialien und Rückständen aus medizinischen Behandlungen wäre zwar auch hier eine Kontamination denkbar, ist aber unwahrscheinlicher als im Restmüll. Auch das Risiko von irrtümlich entsorgten, privaten Materialien, ist in der getrennt gesammelten Leichtfraktion im Vergleich zum Restmüll geringer. Hierbei muss eine mutwillige Falschentsorgung der Gegenstände vorausgesetzt werden. Der Fehlwurfanteil in der Verpackungssammlung beträgt laut ARA im Bundesdurchschnitt etwa 19%. [41,S.30] Die Verpackungsabfälle dieser Fraktion werden im Rahmen des Regionalpartnerkonzeptes mittels Absiebung und Kontrollsichtung vorbehandelt, bevor sie in die Anlage gelangen. Eine direkte Annahme der gesammelten Leichtfraktion ist also nicht vorgesehen. Eine Abtrennung von Kontaminationen mit Rückständen aus medizinischen Behandlungen, wäre aber wie schon beim Restmüll, allein durch mechanische Aufbereitung nicht möglich. Aus diesem Grund bleibt auch bei dieser Fraktion, ein geringes Restrisiko für den Eintrag von kontaminierten Hygienematerialien in die Thermoteam-Anlage.

4.3.4 Fraktion 440020 – Heizwertreiche Fraktion aus Gewerbemüll

Die Fraktion 440020 beinhaltet die Abfallschlüsselnummer 91103, also Rückstände aus der mechanischen Abfallbehandlung. Bei der mechanischer Abfallbehandlung in sogenannten Gewerbemüllsplittingsanlagen werden durch rein mechanische Aufbereitungsschritte

heizwertreiche Fraktionen aus gemischten Gewerbemüll, also aus nicht getrennt gesammelten Gewerbeabfällen abgetrennt. Diese rein mechanische Sortierung ist bei Gewerbeabfällen aufgrund des niedrigen organischen Anteils und der geringen Feuchtigkeit des Gewerbemülls möglich. Im Vergleich zu Siedlungsabfall aus kommunaler Herkunft der einen hohen Organikanteil von bis zu 40% aufweist, enthält der Restmüll aus gewerblichen Quellen in der Regel weniger als 10% organische Anteile und daher auch viel weniger Feuchtigkeit. Eine Abtrennung der organischen Fraktion durch eine biologische Aufbereitungsstufe wie in MBA-Anlagen ist hier daher auch nicht notwendig. Die Zusammensetzung dieser Gewerbeabfälle ist zudem meist homogener als bei Restmüll aus kommunalen Quellen. Auch der Störstoffanteil ist normalerweise geringer. Durch den hohen Heizwert eignet sich diese Abfallfraktion ausgezeichnet zur Abtrennung einer hochkalorischen Fraktion für die Ersatzbrennstoffherstellung.

Im Flussdiagramm in Abbildung 46 ist die Herkunft der Fraktion 440020 im Jahr 2009 dargestellt. Mit 48% Anteil am gesamten Inputstrom und 31.349 t stellt diese Fraktion klar den größten Inputstrom in die Anlage dar. Ein Großteil des Materials entstammt hier verschiedenen Saubermacher-Anlagen. Hauptsächlich wird hier Material der Splittinganlage Puchstraße Graz, der Splittinganlage in Wien und der Abfall Entsorgungs und Verwertungs GmbH (AEVG) in Graz angenommen. Da bei der Firma AEVG eine Überwachungsanlage für radioaktive Kontaminationen vorhanden ist, kann dieser Inputstrom für einen Eintrag radioaktiver Quellen ausgeschlossen werden. Das Risiko für den Eintrag radioaktiver Kontaminationen in die ThermoTeam-Anlage ist trotz der überwiegend gewerblichen Herkunft vermutlich geringer als im Restmüll kommunalem Ursprungs. Aufgrund der Tatsache, dass im Besonderen kontaminierte Rückstände und Hygienematerialien medizinischen Ursprungs in dieser Fraktion relativ unwahrscheinlich sind minimiert die Auftretenswahrscheinlichkeit für eine radioaktive Kontamination beträchtlich. Für diese Einschätzung muss jedoch die Annahme von Gewerbemüll aus Krankenanstalten ausgeklammert werden. Als Vorbehandlungsschritte für das ASB-Vormaterial werden hier Vorzerkleinerung, Absiebung, Kontrollsichtung, Schwer-Leicht-Abtrennung und auch Fe-Abscheidung durchgeführt. Eine direkte Annahme dieser Fraktion ist also auch nicht vorgesehen. Die Abtrennung von Störstoffen also auch von stückigen, umschlossenen Strahlungsquellen wie sie bei der Fehlentsorgung von Prüfstrahlern oder technischen Instrumenten in Gewerbebetrieben theoretisch vorkommen könnte, sollte mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits bei den Vorbehandlungsanlagen erfolgen. Eine Unsicherheitsquelle stellen hier eventuell die Ströme externer Firmen wie von der Firma Transbeton Lieferbeton GmbH (Cemex), der Freudenthaler GmbH, der Abfallbehandlung B.S.U. Ges.m.b.H. in Hagenbrunn und der BRS

Baustoffrecycling-Süd GmbH in Vogau dar, da hier unter Umständen auch Bauschutt und andere Risikofractionen zur Abtrennung der Leichtfraktion verwendet werden könnten.

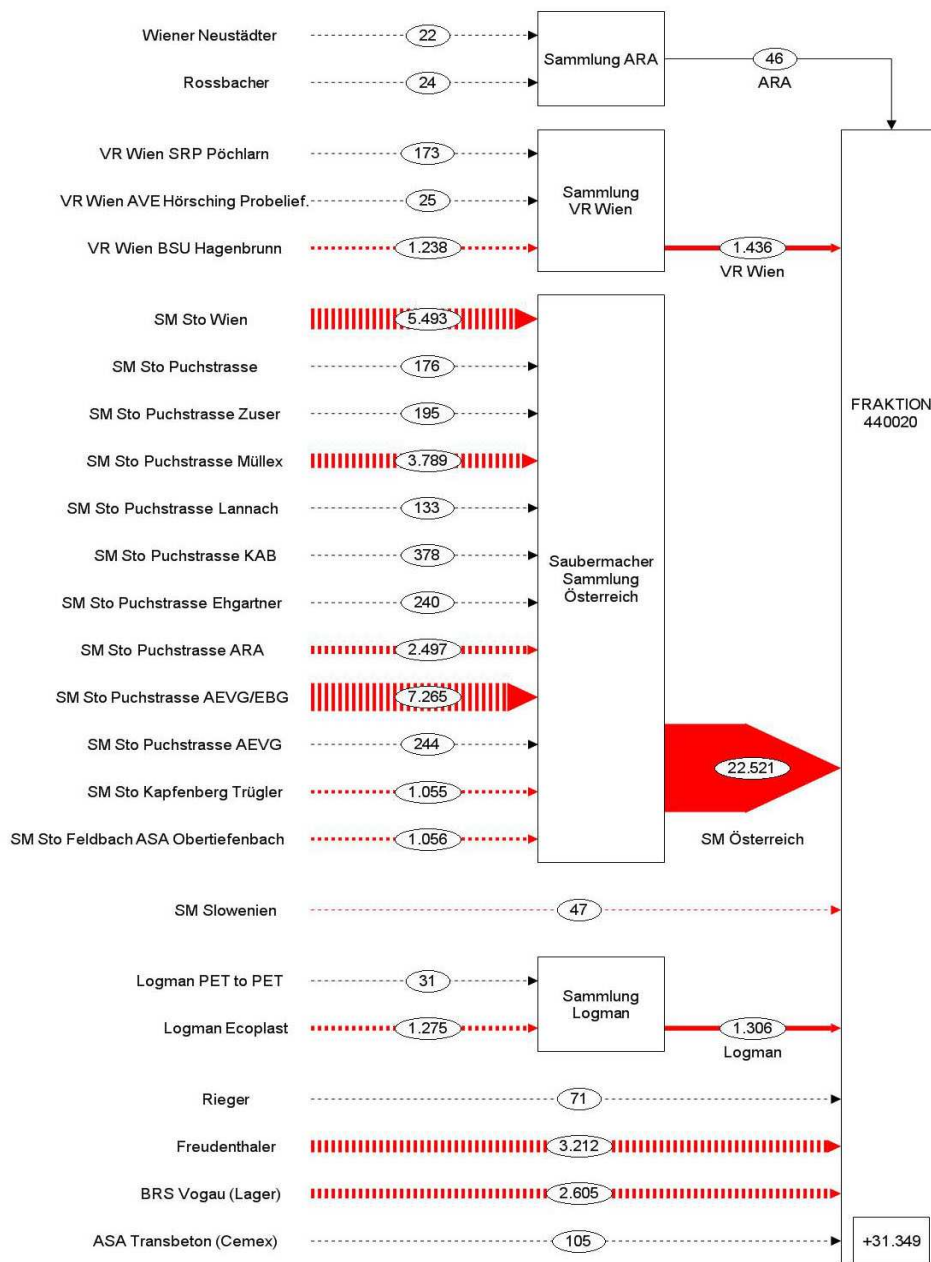


Abbildung 46: Fraktion 440020 – Flussdiagramm (Massenangaben in t/Jahr)

In Abbildung 47 ist die Herkunft der Fraktion 440020 in Form eines Tortendiagramms dargestellt. Etwa 72% des Massenstroms dieser Fraktion wurden durch hauseigene Aufbereitungsanlagen bereitgestellt und nur etwa 28% stammen aus externen Quellen, was das Risiko von Kontaminationen hier weiter senkt. Um Risikobereichen wie Krankenanstalten auszuschließen, wurde bei den betroffenen Fraktionen mit gewerblichen Ursprungsquellen versucht mit Hilfe einer Umfrage mehr Transparenz zu schaffen. Hierzu wurde an

Unternehmen mit wiederkehrenden und massenmäßig relevanten Strömen von mehr als 1.000 t/Jahr eine kurze Umfrageliste bezüglich der Materialherkunft verschickt. Die Resultate dieser Umfrage werden später noch genauer besprochen, die meisten externen Unternehmen waren aber leider nicht bereit, schriftliche Auskünfte über ihre Kunden weiterzugeben.

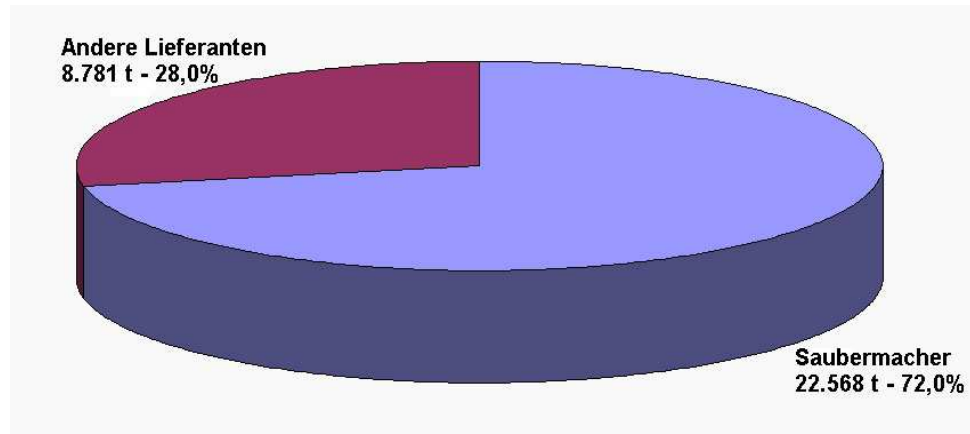


Abbildung 47: Fraktion 440020 - Verteilung der Herkunft

4.3.5 Fraktion 10060 – Heizwertreiche Fraktion gemischt

Die Fraktion 10060 besteht aus gemischten, heizwertreichen Produktionsabfällen, Verpackungen und heizwertreichen Gewerbemüllfraktionen. Die Fraktion beinhaltet die Abfallschlüsselnummer 91201 also Verpackungsmaterialien und Kartonagen gewerblicher Herkunft. Diese Abfälle werden in Gewerbebetrieben entweder getrennt oder gemeinsam gesammelt, sind aber meist verunreinigt oder irgendwelche Verbundmaterialien, so dass sie für eine stoffliche Verwertung nicht in Frage kommen. Enthalten sind hier vor allem nicht lizenzierte Verpackungsmaterialien, Kunststoff-, Gummi- und Verbundmaterialien aus Papier oder Karton und verschmutzte Papier- und Kunststoffverpackungen. Die Fraktion 10060 macht mit etwa 4.740 t/Jahr nur etwa 7% des Gesamtinputstroms aus und eignet sich aufgrund ihres hohen Heizwerts sehr gut für die thermische Verwertung.

Prinzipiell gelten auch für diese Fraktion genau die gleichen Überlegungen wie für die heizwertreiche Fraktion aus Gewerbemüll 440040. Das Risiko für den Eintrag radioaktiver Strahlungsquellen ist im Vergleich zum Restmüll geringer, da auch hier nicht mit dem Eintrag von medizinisch indizierten Kontaminationen zu rechnen ist. Bei Ursprungsquellen der Abfallströme in Risikobranchen wie Krankenhäusern erhöht sich das Kontaminationsrisiko wiederum. Um hier Risikobranchen als Ursprungsquellen auszuschließen, wurde also auch bei der Fraktion 10060 versucht mit einer Umfrage eventuell risikobehaftete

Ursprungsquellen auszuschließen. Keine Risikorelevanz hat hier ausdrücklich der Inputstrom der vom Schrotthandelsunternehmen „Schweiger-Schrott“ übernommen wird, da auch hier eine Überwachungsanlage für radioaktive Kontaminationen installiert ist. Die restlichen Anlieferungen sind Einzel- und Probeanlieferungen oder interne Ströme wie aus dem Lafarge Zementwerk ohne weitere Risikorelevanz. Das Flussdiagramm für Inputströme der Fraktion 10060 im Jahr 2009 ist in Abbildung 48 dargestellt.

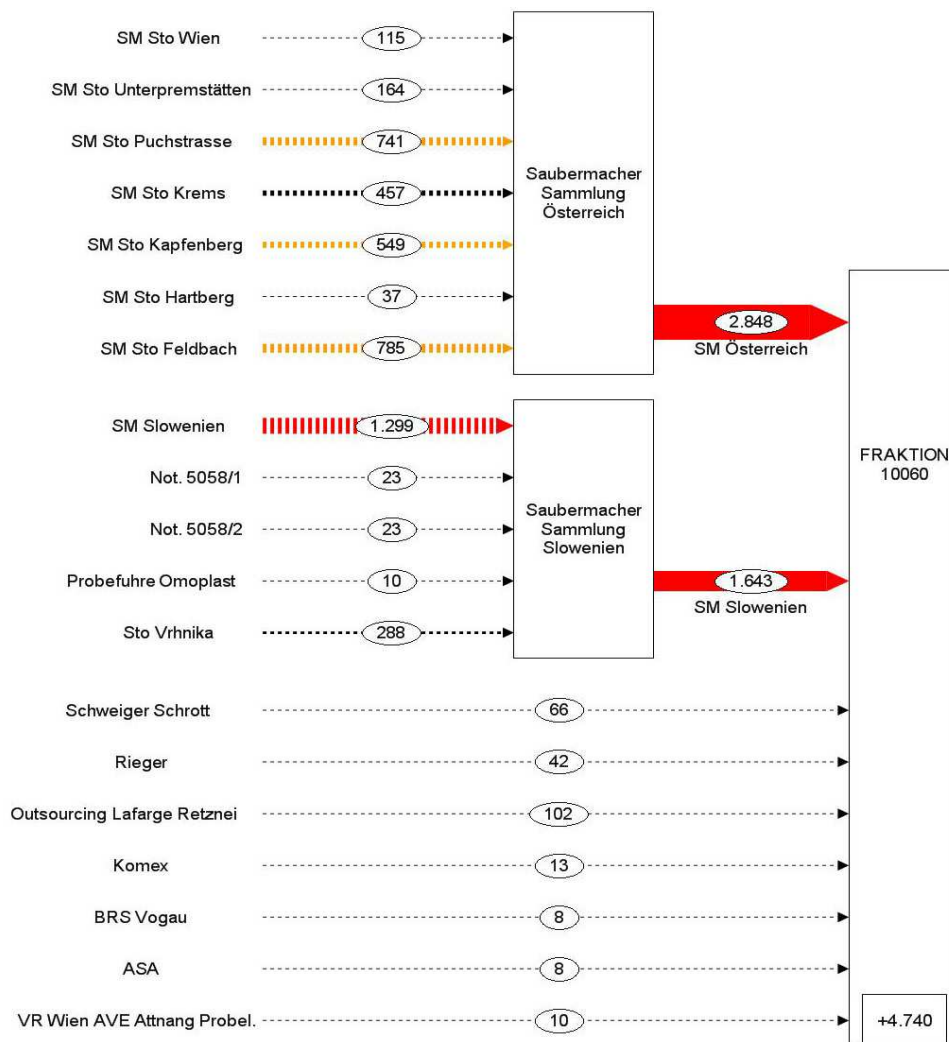


Abbildung 48: Fraktion 10060 – Flussdiagramm (Massenangaben in t/Jahr)

In Abbildung 49 ist die Herkunft der Fraktion 10060 in Form eines Tortendiagramms dargestellt. Etwa 94% des Massenstroms wurden bei dieser Fraktion durch hauseigene Anlagen von Saubermacher bereitgestellt, nur etwa 28% entstammen hier externen Quellen. Das Risiko radioaktive Kontaminationen durch die Übernahme dieser Fraktion zu Verursachen liegt hier also fast vollständig in eigener Hand.

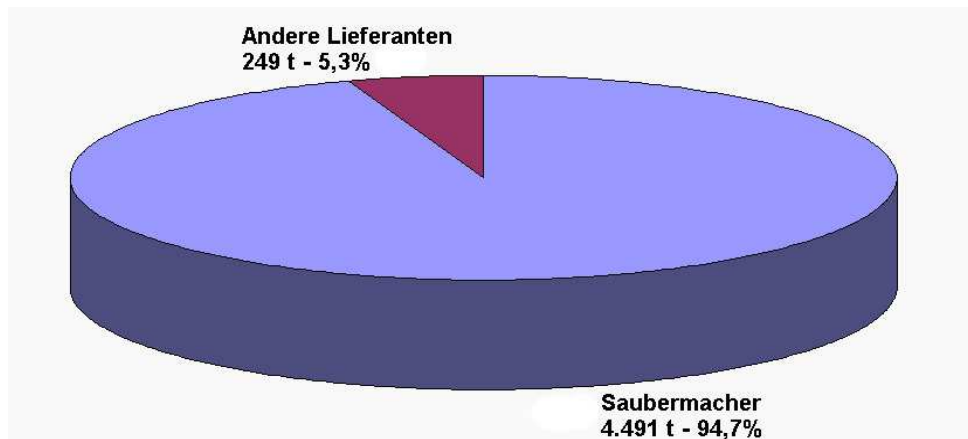


Abbildung 49: Fraktion 10060 - Verteilung der Herkunft

4.3.6 Ausschluss von Risikobranchen

Um Risikobranchen als Ursprungsquelle für Abfallströme die in die ThermoTeam gelangen auszuschließen, müssten alle Ströme theoretisch bis zum jeweiligen Abfallverursacher zurückverfolgt werden. Das dies aufgrund der großen Anzahl von Anlieferungen tausender Quellen in ganz Österreich nicht möglich ist, liegt auf der Hand. Eine genaue Rückverfolgung hat eigentlich auch nur dann einen Sinn, wenn man genau weiß welche österreichischen Unternehmen im großen Stil radioaktive Strahlenquellen einsetzen. Eine telefonische Anfrage beim Lebensministerium brachte hier diesbezüglich kein Ergebnis. Aus Datenschutzgründen werden hier keinerlei konkrete Informationen zu Anwendern ionisierender Strahlung bekannt gegeben.¹ Diesbezüglich kann also nur durch den Ausschluss von bekannten Risikobranchen als Ursprungsquelle eine relative Risikoreduktion angenommen werden. Zusätzlich erschwerend ist die Tatsache, dass die österreichischen Abfallwirtschaftsunternehmen aufgrund der angespannten Konkurrenzsituation und aus Vorsichtsgründen zum Großteil nicht bereit sind, schriftliche Auskünfte über ihre Anlagen und Kunden an Dritte weiterzugeben. Hierbei ist aber vor allem auch der psychologische Faktor entscheidend. Traut man den Meinungsumfragen der europäischen Union im Eurobarometer 297 vom Juni 2008, so sind Österreicher im Europäischen Vergleich mit am wenigsten über nukleare Abfälle informiert. Die Vorbehalte, sich mit radioaktiven Kontaminationen in Abfallströmen zu befassen, entstammt also nicht nur der Konkurrenzsituation, sondern ist auch zum Teil Ausdruck der österreichischen Mentalität. Um trotzdem irgendwie allgemein bekannte Risikobranchen als Ursprungsquellen für das ASB-Vormaterial auszuschließen, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine kurze Frageliste per email an externe Unternehmen

¹ laut Auskunft des Lebensministeriums, Abteilung V/7 Strahlenschutz

und Saubermacher-Standorte mit relevanten Anlieferungsmengen von über 1.000 t/Jahr verschickt. Dabei wurde versucht den Großteil des Massenstroms der Fraktionen abzudecken wo gewerbliche Ursprungsquellen vorhanden sind und die Abfallherkunft nicht eindeutig bekannt ist. In der Frageliste sind acht einfach zu beantwortende Fragen zu Management, Überwachungseinrichtungen, angenommenen Abfällen, zur Materialherkunft und speziell zur hergestellten Leichtfraktion aufgelistet. Damit die Anfrage von einem bekannten Vertragspartner kommt, wurde sie intern von Thermoteam- und Saubermacher Mitarbeitern verschickt. Ausgespart wurden hier die Fraktionen 150360 (VVO-Sammlung) und 440040 (sortenreine Produktionsabfälle), da hier die Abfallherkunft bekannt ist. Es wurde versucht die Frageliste so kurz und übersichtlich wie möglich zu halten, damit bei der Beantwortung kein hoher Arbeitsaufwand bei den betroffenen Personen entsteht. Außerdem wurde versucht die Fragen so allgemein wie möglich zu stellen, damit externe Unternehmen die zueinander in einer Konkurrenzsituation stehen keine sensiblen Daten preisgeben müssen. Leiter konnte trotz dieser Maßnahmen nicht von allen Unternehmen und Saubermacher Standorten eine positive Rückantwort verzeichnet werden. Im Anhang G befindet sich die an die Unternehmen ausgeschickte Frageliste und in Tabelle 14 ist die Auswertung der retournierten Formulare in komprimierter Form dargestellt.

Tabelle 14: Umfrageergebnisse Lieferantenbefragung

Frageliste verteilt an:	Saubermacher MBA St.Pölten, Saubermacher Krems, Saubermacher Splittinganlage Wien, Saubermacher Graz, Saubermacher Slowenien, Saubermacher Kapfenberg, Saubermacher Feldbach, AEVG Graz, Freudenthaler, BSU Hagenbrunn, ASA Halbenrein
Frageliste beantwortet:	Saubermacher Graz, Saubermacher Slowenien, Saubermacher Kapfenberg, Saubermacher Feldbach, AEVG Graz, ASA Halbenrein
Rücklaufquote:	55%
1.Verfügt Ihr Unternehmen über ein Qualitäts-, Sicherheits-, oder Umweltmanagementsystem?	6x ISO 9001, 5x ISO 14001 (Ausnahme ASA Halbenrein besitzt kein Umweltmanagementsystem), AEVG besitzt zusätzlich noch EMAS und Öko Profit
2.Verfügt Ihr Unternehmen über eine Eingangskontrolle mit Detektoranlage für radioaktive Materialien?	2x ja (Saubermacher Slovenien STO Kidričevo und AEVG Graz), 4x nicht vorhanden
3.Werden in Ihrem Unternehmen folgende Abfälle üblicherweise behandelt, verwertet oder angenommen?	allgemein gefährliche Abfälle: 3x ja, 3x nein; Bauschutt (Gebäudeabbruchmaterial): 5x ja, 1x nein; Metallschrotte: 5x ja, 1x nein; Elektro-Altgeräte: 5x ja, 1x nein; Abfälle aus Krankenhäusern oder Universitätskliniken: 4x ja, 2x nein; Abfälle aus Laboratorien oder Forschungseinrichtungen: 2x ja, 4x nein; Abfälle aus Röntgenlaboratorien: 2x ja, 4x nein; Abfälle aus der Materialprüfung: 2x ja, 4x nein; Abfälle aus der Feuerfestindustrie 2x ja, 4x nein; Abfälle aus der Schleifmittelindustrie 1x ja, 5x nein; Abfälle aus der Rohphosphatverarbeitung oder Phosphorchemie: 6x nein; Abfälle aus Zirkon- u.Zirkonoxidindustrie: 6x nein; Abfälle aus der Bergbauindustrie: 1x ja, 5x nein; Abfälle aus Feuerfestauskleidungen der Metalurgie oder Glasherstellung: 1x ja, 5x nein; Abfälle aus der Erdölindustrie: 1x ja, 5x nein; Abfälle aus der Erdgasreinigung 1x ja, 5x nein;
4.Werden in Ihrem Unternehmen Abfallfraktionen die unter Punkt 3 aufgeführt sind weiter verarbeitet und im Speziellen ein heizwertreiches Produkt der Leichtfraktion, zum Zwecke der Verbrennung, daraus abgetrennt?	5x nein keine Abtrennung von Leichtfraktionen, 1x Abtrennung der Leichtfraktion aus Sperrmüll (Kapfenberg)
5.Werden in Ihrem Unternehmen Abfallfraktionen die unter Punkt 3 aufgeführt sind getrennt erfasst, und ist durch innerbetriebliche Abläufe und Regelungen sichergestellt, dass es zu keiner Vermischung mit der zum Zwecke der Verbrennung hergestellten Leichtfraktion kommen kann?	5x ja getrennte Erfassung der Abfälle, 1x nein Abtrennung der Leichtfraktion aber nur aus Sperrmüll (Kapfenberg)
6.Verfügen Sie in Ihrem Unternehmen selbst über radioaktive Stoffe oder Strahleneinrichtungen? (zb Detektoren, Sensoren zur Füllstands-, Dichte, Feuchtigkeitsmessung ...etc)	6x nein
7.Verfügen Ihre Anlieferungskunden Ihres Wissens nach über über rad. Stoffe oder Strahleneinrichtungen?	2x nein, 4x möglicherweise, nicht bekannt
8.Sind Ihnen Zwischenfälle oder Funde sog. herrenloser radioaktiver Materialien in Ihrem Tätigkeitsbereich oder Umfeld bekannt, oder haben Sie selber schon radioaktives Material in einem Abfallstrom gefunden?	4x nein, 2x ja (bei AEVG und Saubermacher Kapfenberg sind Funde bekannt)

Auch wenn die Rücklaufquote gering ist, lassen sich aus den hier gegebenen Antworten einige Aussagen treffen. Abfälle aus Risikobereichen oder Risikofraktionen sind beinahe an allen Standorten in irgendeiner Form vorhanden. Besonders hervorzuheben ist hier der Saubermacher Standort in Kapfenberg wo gleich 11 Abfallarten aus Risikobereichen gemäß Frage drei der Frageliste angenommen werden. Wo also Abfälle aus solchen bekannten Risikobereichen angenommen werden, ist die Wahrscheinlichkeit eines Fundes von radioaktiven Materialien in Abfallströmen durchaus gegeben. Auch ein Fund radioaktiver Zusatzstoffe vom Feuerfestunternehmen RHI ist hier dokumentiert. Da dieser Saubermacher Standort über keine Überwachungseinrichtung verfügt, ist es nicht selbstverständlich dass solche Kontaminationen auch entdeckt werden, noch bevor Gefährdungen daraus entstehen. Für die Leichtfraktion die an die Thermoteam-Anlage geliefert wird, ergibt sich bei Einhaltung aller Vorschriften jedoch keine Gefährdung, da alle diese risikobehafteten Abfälle getrennt erfasst werden. Am Standort Kapfenberg wird lediglich aus Sperrmüll eine Leichtfraktion abgetrennt, die später in der Thermoteam-Anlage thermisch verwertet wird. Ein Musterunternehmen im Sinne der präventiven Überwachung von radioaktiven Kontaminationen ist die AEVG in Graz. Obwohl hier außer Schrotten und Bauschutt keine Abfälle aus bekannte Risikobereichen angenommen werden, ist hier eine Überwachungseinrichtung für radioaktive Kontaminationen installiert. Auch hier sind schon zwei Funde von radioaktiven Kontaminationen in Abfallströmen dokumentiert. In einem Fall wurde ein Navigationsinstrument aus dem zweiten Weltkrieg mit einem radioaktiven Strahler gefunden, das andere Mal ein radioaktives Dachfließ im Abbruchmaterial eines Gebäudes. Wo also Überwachungseinrichtungen für radioaktive Kontaminationen vorhanden sind, ist über kurz oder lang damit zu rechnen, dass auch Funde radioaktiver Materialien in Abfallströmen gemacht werden. Bei überwachten Anlagen sollte also von ein bis zwei Funden in einem Zeitraum von einigen Jahren gemäß diesen Erfahrungswerten also durchaus gerechnet werden. Alle Massenströme der AEVG Graz können aufgrund der vorhandenen Überwachungsmaßnahmen bezüglich Kontaminationsrisiko ausgeschlossen werden. Abfallströme der AEVG machen mit 7.265 t und 30% Anteil den größten Massenstrom der Inputfraktion 440020 (heizwertreiche Fraktion aus Gewerbemüll) und rund 10% des gesamten Inputstroms der Thermoteam-Anlage aus. Auch die Ströme der Saubermacher Standorte Kapfenberg, Graz, Feldbach und Slowenien sind, aufgrund der hier nachweislich durchgeführten getrennten Erfassung von Risikoabfällen ohne Kontakt zur Leichtfraktion, nicht als Risikoerhöhend einzustufen. Nach Ausschluss dieser Ströme und von Strömen die aufgrund ihrer bekannten Herkunft nicht zu Risikobereichen gezählt werden können, ergibt sich für die Fraktion 440020 eine Restmenge von rund 10.800 t die ein Restrisiko für Kontaminationen aufgrund der hier unbekannt gewerblichen Abfallherkunft beinhaltet. Dies entspricht rund 34% des Fraktionsstroms. Wären alle Fragelisten, wie

ursprünglich geplant, beantwortet worden, so wäre hier ein Ausschluss bis auf nur 14% möglich gewesen. Geht man nach diesem Ausschlussverfahren weiter vor, so können bei der Fraktion 10060 (gemischte Produktionsabfälle) rund 90% der Massenströme bezüglich eines erhöhten Kontaminationsrisikos durch Risikobranchen ausgeschlossen werden. Hier verbleibt also ein Restrisiko für Kontaminationen bei nur 10% oder etwa 500 t der Massenströme. Da sich Einzelanlieferungen und Kleinmengen von Jahr zu Jahr ändern, hat eine Nachverfolgung dieser Ströme kaum einen Sinn. Wenn zukünftig Leichtfraktionen aus Risikobranchen wie der Bauschutttaufbereitung oder Shredderleichtfraktionen in Kleinmengen angenommen werden, erhöht sich jedoch das Kontaminationsrisiko dementsprechend. Bei der Fraktion 440010 (MBA-Material) ist aufgrund der großteils privaten Abfallherkunft nicht mit der Verarbeitung von Abfällen aus industriellen Risikobranchen oder Risikofractionen an den MBA-Anlagen zu rechnen. Auch die Befragungsergebnisse bestätigen diese Annahme.

4.4 Risikobewertung von Handlungsalternativen

Für die Verwertung von heizwertreichen Fraktionen gibt es je nach Abfallqualität einige Möglichkeiten. Von getrennt gesammelten Altstoffen wird ein Großteil direkt einer stofflichen Verwertung zugeführt. Das gilt sowohl für Altstoffe privater Herkunft als auch für getrennt gesammelte Gewerbeabfälle. Die bei der mechanischen Aufbereitung von Altstoffen aussortierten, hochkalorischen Fraktionen genügen jedoch nicht den hohen Qualitätsanforderungen einer stofflichen Verwertung und können daher nur deponiert oder unter Nutzung des Energieinhalts thermisch verwertet werden. Gleiches gilt auch für die in MBA-Anlagen aus Restmüll abgetrennte hochkalorische Fraktion. Da gemäß Deponieverordnung Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung (aus Splitting- und Sortieranlagen) nur mehr unter einem Brennwert von 6.600 kJ/kg und einem organischen Kohlenstoffanteil (TOC) von unter 8 % auf Massenabfalldeponien abgelagert werden dürfen, bleibt für diese Abfälle als einzige Alternative die Verbrennung. Auch für die Rückstände aus mechanisch biologischer Behandlung (MBA) bleibt mit einem Grenzwert von maximal 5 % organischem Anteil (TOC) nur mehr die Verbrennung als einzige Handlungsalternative übrig. Die Verbrennung dieser Abfälle kann nur als Beseitigung in Müllverbrennungsanlagen oder als thermische Verwertung in Mitverbrennungsanlagen erfolgen. Dabei steht bei der thermischen Verwertung die Nutzung des Energieinhalts, bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen klar der Beseitigungsgedanke im Vordergrund. Die Mitverbrennung von Abfällen ist vor allem in der Papierindustrie, in der Holzverarbeitenden Industrie und in der Zementindustrie möglich, da hier große Energiemengen in Form von Prozesswärme benötigt werden. Vergleicht man nun die beiden

Handlungsalternativen in Bezug auf das Risiko das radioaktiv kontaminierte Materialien bis in den thermischen Prozess gelangen können, so ist aufgrund der qualitätsgesicherten Aufbereitung eines Ersatzbrennstoffs die Mitverbrennung mit Sicherheit die bessere Alternative. So werden im Falle von ThermoTeam mit Ausnahme von sortenreinen Produktionsabfällen keine unbehandelten Abfälle bei der ThermoTeam-Produktionsanlage übernommen. Die Vorbehandlung an Sortieranlagen, Splittinganlagen, und mechanisch-biologischen Anlagen muss den Vorgaben laut Regionalpartnerkonzept entsprechen. Die Verfahrensschritte bei den vorgelagerten Anlagen sind also auf die Einhaltung aller für den ASB qualitätsrelevanten Kriterien abgestimmt. Nur so kann die Einhaltung der Produktqualität garantiert werden. Diese Herangehensweise wird von der Firma Saubermacher auch mit dem Begriff „qualitatives Splitting“ bezeichnet. [42,S.207] Der zweite Behandlungsschritt erfolgt dann in der ThermoTeam-Produktionsanlage selbst. In Abbildung 50 ist schematisch der Prozess der Ersatzbrennstoffherstellung von der Sammlung bis zur Verwertung dargestellt.

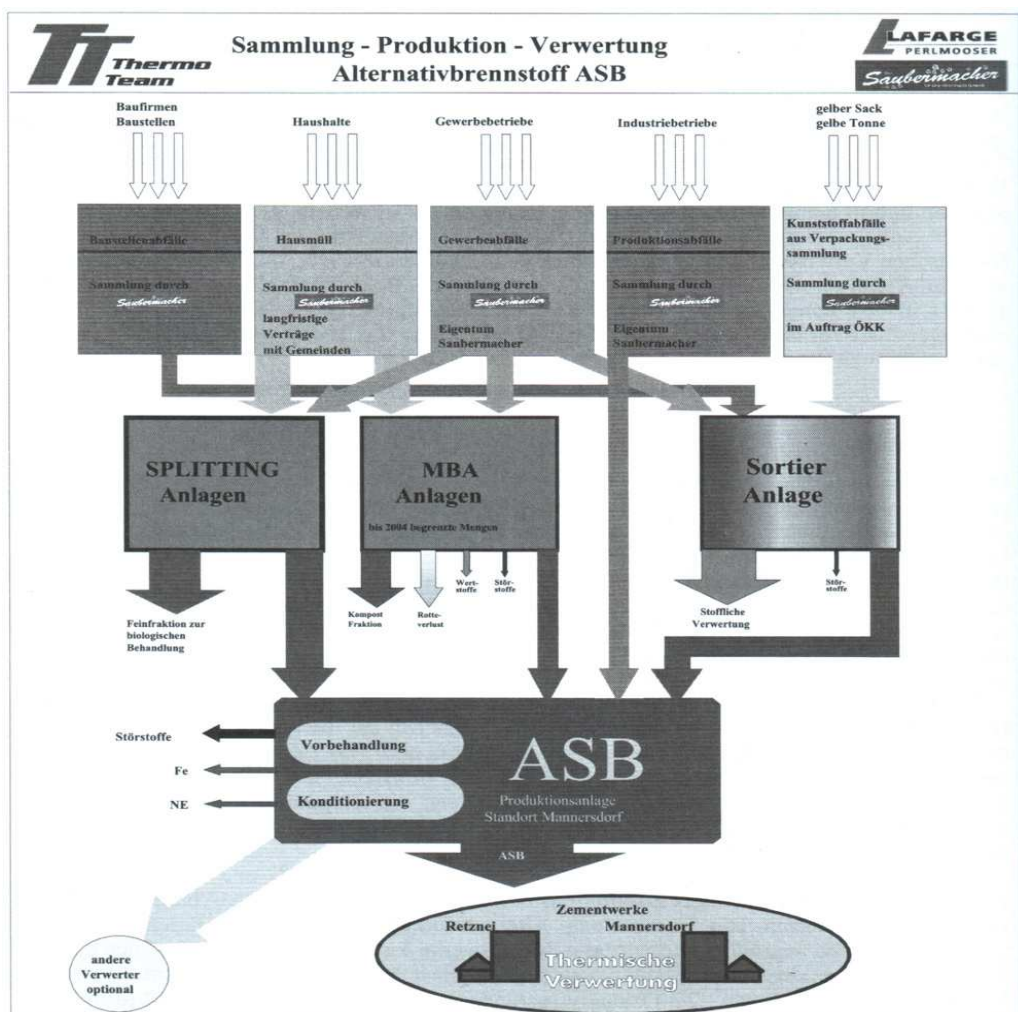


Abbildung 50: Sammlung, Produktion und Verwertung des ASB bei ThermoTeam [42,S.206]

Die Qualitätssichernden Maßnahmen bei der Ersatzbrennstoffproduktion erstrecken sich also von der Sammlung bis zur Verwertung und sind nicht nur auf den reinen ASB-Produktionsprozess beschränkt. Restmüll und Gewerbemüll wird nicht ohne Vorbehandlungsschritte übernommen.

Im Falle der thermischen Abfallbeseitigung in Müllverbrennungsanlagen ist die Herangehensweise grundsätzlich eine Andere. Da hier klar der Beseitigungsgedanke im Vordergrund steht, müssen die an diversen Vorbehandlungsanlagen anfallenden Reststoffe ohne Einhaltung von qualitativen Parametern in der Verbrennungsanlage übernommen werden. Restmüll, der mit mehr als 95% klar den größten Anteil am Gesamtinput bei Müllverbrennungsanlagen abdeckt, wird direkt in den Anlieferungsbunker übernommen. Aufgrund des Verfahrenskonzeptes ist bei einer Müllverbrennungsanlage auch die direkte Verbrennung von inhomogenen und grob-stückigen Abfällen möglich. Auch die Metallabscheidung erfolgt bei Müllverbrennungsanlagen normalerweise erst nach dem thermischen Prozess aus der Verbrennungsasche. Somit kann auch die Abtrennung von metallumschlossenen Strahlenquellen nicht vor dem thermischen Prozess garantiert werden. Der direkte Eintrag von etwaigen in Abfallströmen vorhandenen Kontaminationen bis direkt in den Brennraum ist bei Müllverbrennungsanlagen also in Summe viel wahrscheinlicher als bei der Ersatzbrennstoffproduktion. Im Fall der Müllverbrennungsanlagen wäre die vollständige Überwachung der angelieferten Abfallströme auf radioaktive Kontaminationen mit einer Detektoranlage bei der Materialannahme also mit Sicherheit zu befürworten. Abbildung 51 zeigt Müllverbrennungsanlagen für Restmüll in Österreich.

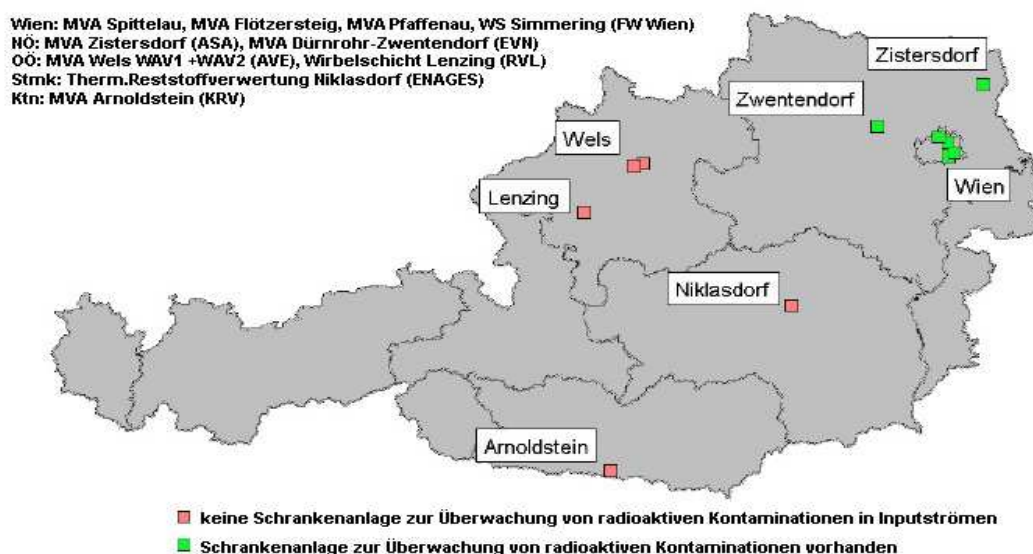


Abbildung 51: Müllverbrennungsanlagen in Österreich und Ihre Überwachungsmaßnahmen [40,S.129]

Eine Anfrage bei Müllverbrennungsanlagen in ganz Österreich brachte das Ergebnis das in Abbildung 51 dargestellt ist. Während alle Müllverbrennungsanlagen in Wien und Niederösterreich mit einer vollautomatischen Überwachungseinrichtung für radioaktive Kontaminationen ausgestattet sind, ist in den Müllverbrennungsanlagen der anderen Bundesländern nirgends eine solche Anlage vorhanden. An den Müllverbrennungsanlagen WAV1 und WAV2 in Wels sind zumindest Handmessgeräte zur Kontrolle von verdächtigen Gegenständen vorhanden, die aber auch keine durchgängige Überwachung der Inputströme ermöglichen. Die restlichen Anlagen verfügen über keine Messeinrichtungen für radioaktive Kontaminationen. Wie hier deutlich zu erkennen ist, scheint sich also auch im Falle der Müllverbrennung, die Überwachung auf radioaktive Kontaminationen in Österreich noch nicht vollständig durchgesetzt zu haben. Nur ungefähr 50% der Anlagen sind mit solchen Messeinrichtungen ausgestattet. Besonders in dicht besiedeltem Gebiet und bei Neuanlagen gehen aber die Anlagenbetreiber hier diesbezüglich aber offensichtlich lieber keine Risiken mehr ein. So sind alle Müllverbrennungsanlagen der Fernwärme Wien und auch die neue MVA der A.S.A in Zistersdorf mit einer Überwachungseinrichtung versehen. Der Trend geht aber eindeutig zur Überwachung. So ist im Bescheid der Umweltverträglichkeitsprüfung der geplanten Reststoffverbrennungsanlage RVA Heiligenkreuz eine Überwachungseinrichtung für radioaktive Kontaminationen verpflichtend vorgeschrieben, da hier auch Shredderrückstände thermisch verwertet werden sollen. Auch bei Behörden ist also zunehmend eine Sensibilisierung für das Thema radioaktive Kontaminationen in Abfallströmen festzustellen. Bei Neuanlagen ist also davon auszugehen, dass Überwachungseinrichtungen auch per Bescheid vorgeschrieben werden.

Im Vergleich mit nicht überwachten Müllverbrennungsanlagen bleibt für die Ersatzbrennstoffherstellung ein geringeres Risiko für die Freisetzung einer radioaktiven Kontamination. Ein akuter Handlungsbedarf für die Errichtung einer Überwachungsanlage für radioaktive Kontaminationen ist für die Ersatzbrennstoffherstellung aus diesem Hintergrund also nicht unzwingend gegeben. Durch die qualitative Aufbereitung des Brennstoffs ist die Wahrscheinlichkeit der Freisetzung einer Kontamination im thermischen Prozess hier vergleichsweise geringer. Im Vergleich mit überwachten Müllverbrennungsanlagen bleibt für eine nicht überwachte Ersatzbrennstoffherstellung, trotz qualitativer Aufbereitung der Inputstoffe, in Summe aber ein höheres Restrisiko für den Eintrag von radioaktiven Kontaminationen.

Für eine Risikoabschätzung ist neben der Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Kontamination der Rauchgase auch der Freisetzungspfad und die Expositionsbeurteilung, also die Abschätzung der resultierenden Effektivdosis bei

Einzelpersonen der Zivilbevölkerung, von entscheidender Bedeutung. Da das Gefährdungspotential stark von der eingetragenen Quelle abhängig ist, wird bei solchen Berechnungen oft ein „worst-case“ Szenario angenommen. Hierbei werden in einem ersten Schritt die Verteilung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre mittels Ausbreitungsrechnungen unter Berücksichtigung des Freisetzungsortes, der meteorologischen Gegebenheiten und der Topographie in einem Computermodell simuliert. Am häufigsten wird in Europa das sogenannte Gaußmodell für eine computergestützte Ausbreitungsmodellierung radioaktiver Substanzen in der Atmosphäre verwendet. Danach müssen alle Expositionspfade (Wasser, Luft, Boden, Pflanzen, Nahrung) und viele andere Parameter wie Lebensgewohnheiten, Demographie und Bevölkerungsdichte in die Berechnung der resultierenden Effektivdosis mit einbezogen werden. Da für eine derartige Berechnung im Rahmen dieser Arbeit weder die Daten noch die technischen Mittel zur Verfügung stehen, sei auf die vollständige Vernachlässigung des Auswirkungsfaktors an dieser Stelle ausdrücklich hingewiesen.

4.5 Präventive Vorbeugungsmaßnahmen

Die sicherste Variante radioaktive Kontaminationen rechtzeitig zu entdecken ist und bleibt mit Sicherheit die präventive Detektion von Kontaminationen bereits vor der Materialannahme. In vielen abfallwirtschaftlichen Unternehmen ist ein solcher Strahlendetektor vorhanden. Vor allem Unternehmen der Metall- und Schrottbranche setzen diese Überwachungseinrichtungen bereits seit einiger Zeit flächendeckend ein. Durch den Vorteil der frühzeitigen Erkennung, kann eine kontaminierte Lieferung abgelehnt werden und verursacht so auch keine Entsorgungskosten. Nachteilig wirken sich im Sinne der Überwachung aber vor allem mögliche Täuschungsalarme und die daraus resultierende, unnötige Verunsicherung der Bevölkerung aus. Aus diesem Grund ist bei Errichtung einer solchen Überwachungsanlage die ständige Anwesenheit einer fachkundigen Person dringend anzuraten. Diese Person sollte zumindest über die grundlegenden Strahlenschutzausbildungen verfügen, in der Lage sein bei Täuschungsalarmen mittels Handmessgerät eine manuelle Kontrolle durchzuführen und den Fehlalarm gegebenenfalls zu quittieren. Auch bieten diese Detektoranlagen keinen vollständigen Schutz vor Strahlenquellen. Beispielsweise können schwache α -Strahler, wie sie in Ionisationsrauchmeldern verwendet werden, aufgrund der geringen Strahlenreichweite und bei entsprechender Abschirmung durch anderes Abfallmaterial nicht sicher erkannt werden. Alle wirklich gefährlichen und relevanten Kontaminationen können mit Hilfe dieser Technik aber mit großer Sicherheit rechtzeitig erkannt werden. In Abbildung 52 ist ein YANTAR-2L Schrottmonitor der Firma Seibersdorf Labor GmbH zur Überwachung von Anlieferungen per LKW dargestellt.



Abbildung 52: YANTAR-2L Schrottmonitor zur Überwachung von Lastkraftwagen [43]

„Der Monitor besteht aus zwei Detektorsäulen welche gegenüberliegend montiert sind. Der Abstand zwischen beiden Detektorenplatten kann zwischen 3 m und 6 m betragen. Der Gammadetektor und die Messelektronik sind in einem wetterfestem Metallgehäuse untergebracht. Sensoren stellen fest ob sich ein Fahrzeug im Messbereich befindet und starten den Messvorgang automatisch. Die Messung eines einfahrenden Fahrzeuges sowie die Messung der Umgebungsstrahlung erfolgt vollautomatisch. Im Falle eines Alarmes wird dieser akustisch und optisch angezeigt. Außer der Quittierung eines Alarmes ist keine Bedienung erforderlich.“[43] Die Absicherung über einen derartigen Schrottmonitor ist am Standort Retznei aber nur in Form einer gemeinsamen Einfahrtsschleuse, in Kooperation mit dem benachbarten Lafarge Zementwerk sinnvoll, da auch hier unter Umständen radioaktive Kontaminationen durch verunreinigte Ausgangsprodukte in den thermischen Prozess eingetragen werden könnten. Auch der Eintrag solcher Verunreinigungen und die Auslieferung von kontaminierten Zementprodukten könnte durch eine derartige Überwachungseinrichtung wirkungsvoll unterbunden werden. Die Kosten für den in Abbildung 52 dargestellten YANTAR-2L Schrottmonitor belaufen sich inklusive Montage und Inbetriebnahme auf rund 36.700 Euro.¹ Hinzu kommen noch Kosten für bauliche Maßnahmen der Fundamente, für Elektroinstallationen und für ein leistungsfähiges Handmessgerät mit einer Großflächenkontaminationssonde. Insgesamt würde diese

¹ laut Angebot der Firma Seibersdorf Labor GmbH vom März 2010

präventive Vorsichtsmaßnahme mit etwa 50.000 Euro zu Buche schlagen. Schon allein aus Kostengründen wäre also eine gemeinsame Errichtung einer Überwachungsanlage mit dem benachbarten Zementwerk sinnvoll. Prinzipiell können solche Überwachungseinrichtungen für alle Abfallwirtschaftsbetriebe uneingeschränkt empfohlen werden, da ein Restrisiko für den Fund eines radioaktiven Strahlers in jeglichen Abfallströmen nie gänzlich ausgeschlossen werden kann. Für abfallwirtschaftliche Verbrennungsanlagen die bekannte Risikofaktionen einer thermischen Behandlung zuführen, werden solche Überwachungseinrichtungen aber normalerweise per Bescheid vorgeschrieben, was bei Thermoteam nicht der Fall ist.

Eine weit kostengünstigere Möglichkeit ist die Überwachung der Ortsdosisleistung in der Anlage selber. Werden durch die Zerkleinerungs- und Aufbereitungsschritte radioaktive Materialien in der Anlage freigesetzt, so kann beispielsweise ein akustischer Alarm ausgelöst werden. Diese Überwachungsmaßnahme ist zwar nicht so wirkungsvoll wie eine präventive Überwachung bei der Materialannahme, kann aber bereits mit sehr geringen Investitionskosten von einigen hundert Euro realisiert werden. Messgeräte wie beispielsweise der verwendete „Gamma Scout“ sind für eine Dauerüberwachung in Anlagen konzipiert. Eine geschickte Anordnung einiger solcher Messgeräte an neuralgischen Punkten der Produktionsanlage, wie beispielsweise bei der Vorzerkleinerung, kann die Freisetzung von radioaktiven Substanzen wirkungsvoll anzeigen. Zumindest der Nachweis, dass keine Freisetzung radioaktiver Stoffe in der Produktionsanlage selber erfolgt ist, wäre mit Hilfe der auslesbaren Tagesmittelwerte ohne Probleme möglich. Dabei würde beispielsweise schon ein jährliches Auslesen des Messgerätespeichers mit anschließender Datenauswertung ausreichen, um diesen Nachweis zu erbringen.

Für die Prävention von radioaktiven Kontaminationen können aber auch organisatorische Maßnahmen ergriffen werden. Beispielsweise kann als einfache Maßnahme, im Sinne des Qualitätsmanagements, bei allen neuen Liefervereinbarungen der Lieferant zusätzlich auf die Möglichkeit eines Eintrags von radioaktiven Kontaminationen in die Lieferantenanlage überprüft werden. Bei risikorelevanten Abfallströmen, wie beispielsweise bei Leichtfraktionen aus dem Bauschuttrecycling oder bei Shredderleichtfraktionen die aus Schrotten abgetrennt werden, sollte vorab abgeklärt werden, ob der Lieferant über die entsprechenden Überwachungseinrichtungen verfügt und wenn nicht, gegebenenfalls auf solche Vormaterialien für den ASB verzichtet werden. Von externen Lieferanten könnte zusätzlich ein dokumentierter Nachweis für die Unbedenklichkeit der Abfallherkunft oder ein Ausschluss von Risikobereichen wie beispielsweise von Krankenhäusern eingefordert werden.

All diese Maßnahmen tragen, ohne enorme Kosten zu verursachen, zur Minimierung des Kontaminationsrisikos bei. Maßnahmen dieser Art sind zur Absicherung im Sinne des Qualitätsmanagements und zur Wahrung der Sorgfaltspflicht für das hier vorliegende, vergleichsweise relativ geringe Restrisiko bereits ausreichend. Die vollständige Überwachung der Inputmaterialien bleibt aber dennoch die beste Alternative, besonders in Bezug auf externe Stakeholder wie Anrainer und Bürgerinitiativen.

4.6 Schlussfolgerungen

Der Eintrag von festen, stückigen radioaktiven Strahlungsquellen wie elektronischen Instrumenten und Messgeräten sowie der Eintrag von metallumschlossenen, hoch radioaktiven Quellen mit dem erzeugten ASB in den thermischen Prozess ist aufgrund der Abfallherkunft und der qualitativen Aufbereitung des Brennstoffs sehr unwahrscheinlich. Durch die vorgeschalteten Aufbereitungsschritte und die mehrmalige Abscheidung von Störstoffen im Rahmen des Regionalpartnerkonzeptes, werden die meisten Verunreinigungen bereits aus den ASB-Vormaterialien abgeschieden, noch bevor sie überhaupt als Inputströme in die Aufbereitungsanlage gelangen können. Die restlichen eventuell noch verbleibenden Störstoffe werden in den Aufbereitungsschritten der Thermoteam-Anlage aus dem ASB-Produktstrom abgetrennt. Wie bereits erläutert ist auch der Erwartungswert für den Fund solcher Quellen in den Inputfraktionen zu Grunde liegenden Abfallströmen sehr gering. Da eine mögliche, großräumige Freisetzung der radioaktiven Stoffe und die daraus resultierende allgemeine Gefährdung, erst im Brennraum des thermischen Prozesses erfolgt, ist das Risiko tatsächlich radioaktive Kontaminationen der Luft zu verursachen, im Vergleich zur nicht überwachten Müllverbrennung eindeutig geringer. Da aber bereits mehrere Müllverbrennungsanlagen in Österreich über eine solche Überwachungseinrichtung verfügen, bleibt der unüberwachten Ersatzbrennstoffherstellung hier im Vergleich trotzdem ein höheres Risiko.

Nicht alle Strahlenquellen können alleine durch mechanische Aufbereitungsschritte aus den ASB-Vormaterialien entfernt werden. Der Eintrag von kontaminierten, medizinischen Rückständen mit Hygienematerialien im Restmüll ist generell bei beiden Entsorgungsvarianten ein Problem und kann auch nur durch dementsprechende Überwachungsmaßnahmen bei den Anlagen gelöst werden. Zudem ist eine solche Verunreinigung im Restmüll, durch die große Anzahl medizinischer Behandlungen und auch Anhand der vorliegenden Erkenntnisse, relativ wahrscheinlich. Auch eine mechanische Aufbereitung bringt diesbezüglich keine wesentlichen Vorteile im Sinne der Risikominimierung.

5 Ergebnisse und Diskussion

Weder auf Basis der durchgeführten Messungen noch aufgrund der Inputströme kann bei der Erzeugung und der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken von einem erhöhten Risiko für die Freisetzung von radioaktiven Materialien ausgegangen werden. In der Thermoteam-Anlage wird de Facto kein besonders gefährlicher, oder von vorn herein für radioaktive Kontaminationen prädestinierter Abfallstrom zur Erzeugung des Ersatzbrennstoffs verwendet. Die verwendeten Leichtfraktionen sind schon wegen ihrer geringen Dichte im Gegensatz zu anderen Abfällen eine tendenziell eher wenig risikobehaftete Abfallart, da Kontaminationen aufgrund des Größen- und Dichteunterschieds normalerweise frühzeitig entdeckt und abgetrennt werden. Vor allem schwere umschlossene, hoch radioaktive Quellen können so wirkungsvoll mechanisch abgetrennt werden, noch bevor sie in die Anlage gelangen. Durch die vorgelagerte, mehrstufige, qualitative Aufbereitung ist bei einer im Abfall vorhandenen Strahlenquelle eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen bei den vorgelagerten Aufbereitungsanlagen weit wahrscheinlicher als in der Thermoteam-Anlage selbst.

Der größte Anteil der in der Thermoteam-Anlage verarbeiteten Abfallströme kann auch aufgrund seiner Herkunft und Art als unbedenklich eingestuft werden. Der überwiegende Anteil besteht aus diversen Verpackungsmaterialien und aus Material privaten Ursprungs. Die angenommenen sortenreinen Produktionsabfälle aus Industriebetrieben sind ebenso unbedenklich und entstammen keinen bekannten Risikobereichen. Risikobehaftete Leichtfraktionen wie Shredderleichtfraktionen werden schon aufgrund ihres hohen Schwermetallanteils nicht bei Thermoteam angenommen.

Das größte Risiko für den Eintrag radioaktiver Materialien in Inputströme der Thermoteam-Anlage ist die Entsorgung von Hygienematerialien die mit Radionukliden medizinischen Ursprungs verunreinigt sind. Diese Kontaminationen sind vor allem im Restmüll zu erwarten und auf Basis des zur Verfügung stehenden Datenmaterials auch relativ häufig anzutreffen. Aufgrund der geringen Stoffmengen von Radionukliden in menschlichen Ausscheidungen ergibt sich hier aber mit großer Wahrscheinlichkeit trotzdem keinerlei Gefährdung der Zivilbevölkerung, selbst wenn diese Stoffe durch Rauchgase freigesetzt werden sollten.

Mangels Alternativen gibt es im Besonderen für die hochkalorische Leichtfraktion derzeit auch keine besseren Entsorgungsmöglichkeiten als die Verbrennung. Die Frage ob Überwachungseinrichtungen für radioaktive Kontaminationen in Abfallwirtschaftlichen Unternehmen nicht generell sinnvoll sind, betrifft eigentlich die gesamte Abfallwirtschaft gleichermaßen. Obwohl strenge gesetzliche Vorschriften für den Umgang mit radioaktiven Materialien existieren und auch die Entsorgungspfade klar geregelt sind, kommt es auch in

den Industriestaaten immer wieder zu Verlusten von radioaktiven Materialien. Bei dem Verlust von radioaktiven Strahlenquellen ist aber prinzipiell immer davon auszugehen, dass diese früher oder später in herkömmliche Abfallströme entsorgt werden. Es überwiegt zwar klar der Verlust von wenig gefährlichen, offenen radioaktiven Stoffen, die selbst bei der Verbrennung und Freisetzung in die Atmosphäre keine übermäßige Gefährdung der Öffentlichkeit nach sich ziehen würden, eine rechtzeitige Detektion und Ausschleusung dieser Kontaminationen bleibt aber trotzdem immer die sicherste Handlungsalternative. Der Eintrag von umschlossenen, hoch radioaktiven Strahlenquellen mit dementsprechend großem Gefährdungspotential in herkömmliche Abfallströme ist ausgesprochen selten und betrifft vor allem die Schrottbranche, wo auf diese Gefahrenquelle aber bereits weitgehend reagiert wurde.

Im Vergleich zur natürlichen Strahlenbelastung ist die durch künstliche Quellen hervorgerufene Exposition von Einzelpersonen der Zivilbevölkerung verschwindend gering. Auch im Vergleich mit anderen zivilisatorischen Risiken wie Rauchen, ungesunder Ernährung und anderen Krebs fördernden Verhaltensweisen, ist die Gefährdung der Zivilbevölkerung durch radioaktive Kontaminationen aus abfallwirtschaftlichen Betrieben so gering, dass wohl kaum verpflichtende, flächendeckende Überwachungsmaßnahmen für die gesamte Abfallwirtschaft gerechtfertigt und durchsetzbar sind. Das in der Abfallwirtschaft und in der Industrie keine relevanten Mengen radioaktiver Stoffe in die Luft freigesetzt werden, beweist unter anderem das bereits seit vielen Jahren vorliegende Datenmaterial aus den ODL-Messnetzen in Österreich und Europa. Jede relevante Freisetzung radioaktiver Materialien wird durch dieses hochempfindliche Überwachungssystem genauestens erfasst und gewährleistet so andauernd die Sicherheit der Zivilbevölkerung.

Letztendlich bleibt aber jede Entscheidung über den Umgang mit radioaktiven Stoffen und die daraus abzuleitenden Vorsichtsmaßnahmen eine Frage der Risikobereitschaft und der Risikowahrnehmung in unserer Gesellschaft. Ein gewisses Restrisiko bleibt also immer und ist auch im Falle der Ersatzbrennstoffproduktion nicht auszuschließen.

Bei den Recherchen zu dieser Arbeit ist auch der unterschiedliche Umgang mit Informationen zu diesem heiklen Thema in den verschiedenen Ländern aufgefallen. Während manche Länder eine transparente Darstellung der Verhältnisse bevorzugen, wird anderer Orts tendenziell eher Geheimhaltungspolitik betrieben. Diese Problematik wurde von vorn herein unterschätzt und zeigt deutlich, dass zu diesem Thema zukünftig noch viel Aufklärungsarbeit geleistet werden muss.

6 Verzeichnisse

6.1 Literatur

- [1] Wikipedia, Enzyklopädie: abgefragt unter, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/archive/3/38/20090409020945!Periodic_Table_by_Radioactivity.pre.jpg, am 30.04.2010
- [2] Wikipedia, Enzyklopädie: abgefragt unter, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:NuclideMap_stitched_colors_changed.jpg&filetimestamp=20090730155845, am 30.04.2010
- [3] Gruppen, C.: Grundkurs Strahlenschutz. 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2008. - ISBN 3-540-00827-6
- [4] Geringer, T.: Grundlagen der Physik ionisierender Strahlung. Unterlagen zur Strahlenschutzausbildung 2006, Seibersdorf 2004
- [5] Wikipedia, Enzyklopädie: abgefragt unter, <http://de.wikipedia.org/wiki/Nuklid>, am 30.04.2010
- [6] Krieger, H.: Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. 3.Auflage. Wiesbaden: Verlag Vieweg & Teubner, 2009. - ISBN 978-3-8348-0801-1
- [7] Friedmann, H.: Skriptum Einführung in die Kernphysik. Technische Universität Wien, Fakultät für Physik, Institut für Isotopenforschung und Kernphysik; Wien, 2009
- [8] Forschungszentrum Dresden: Onlineinformation. abgefragt unter, <http://www.fzd.de/FW/populaer/fwk/fel/Bilder/spectrum.gif>, am 30.04.2010
- [9] Tipler, A.; Mosca, G.: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2.Auflage. München: Spektrum Akademischer Verlag, 2004. - ISBN 3-8274-1164-5
- [10] Hands on Particle Physics Masterclasses: Onlineinformation. abgefragt unter, <http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/bonn1/de/strahlung.htm>, am 30.04.2010
- [11] Gerthsen, C.; Vogel, H.: Physik. 17.Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1993. - ISBN 3-540-51217-9
- [12] Geringer, T.: Grundlagen des Strahlenschutzes und der Dosimetrie. Unterlagen zur Strahlenschutzausbildung 2006, Seibersdorf, 2005

- [13] Bethge, K.; Walter, G.; Wiedemann, B.: Kernphysik, eine Einführung. 3.Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2008. - ISBN 978-3-540-74566-2
- [14] Republik Österreich; BMG Sektion III; BMLFUW Sektion V (Hrsg.): Radioaktivität und Strahlung in Österreich 2005 und 2006, Daten und Bewertung. Wien, 2009
- [15] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Das österreichische nationale Radonprojekt – ÖNRAP, Projekt – Endbericht. Wien, 2007
- [16] Umweltbundesamt, Onlineinformation Strahlenschutz: abgefragt unter, <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/strahlenwarnsysteme/>, am 30.04.2010
- [17] Riedlmayer, L.: Gesetzliche Vorschriften und Schutzmaßnahmen für die sichere Anwendung radioaktiver Stoffe und Strahleneinrichtungen. Unterlagen zur Strahlenschutzausbildung 2006, Seibersdorf, 2007
- [18] Republik Österreich: Strahlenschutzgesetz – StrSchG, BGBl.Nr227/1969. Wien, Fassung vom 16.11.2009
- [19] Republik Österreich: Allgemeinen Strahlenschutzverordnung – AllgStrSchV, BGBl.II.Nr.191/2006. Wien, Fassung vom 16.11.2009
- [20] Karg, V.: Die Allgemeine Strahlenschutzverordnung – neu, Erläuterung zur Allgemeinen Strahlenschutzverordnung. Wien, 2006
- [21] Mirow, G.: Gamma Scout Manual. Schriesheim, 2008
- [22] Steirisches Umweltinformationssystem: Onlineinformation. abgefragt unter, <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/590625/DE/>, am 30.04.2010
- [23] Republik Österreich; BMG Sektion III; BMLFUW Sektion V (Hrsg.): Radioaktivitätsmessungen in Österreich 2003 und 2004. Wien, 2005
- [24] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Onlineinformation Strahlenfrühwarnsystem, abgefragt unter <http://www.umweltnet.at/article/articleview/81396/1/29344>, am 30.04.2010
- [25] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Onlineinformation: abgefragt unter, <http://www.smul.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/2325.htm>, am 30.04.2010

- [26] Geringer, T.: Anwendung von umschlossenen radioaktiven Stoffen und Strahleneinrichtungen. Unterlagen zur Strahlenschutzausbildung 2006, Seibersdorf, 2004
- [27] Riedlmayer, L.: Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen in der Industrie. Unterlagen zur Strahlenschutzausbildung 2006, Seibersdorf, 2004
- [28] Krukemeyer, M., (Hrsg.): Strahlenmedizin, ein Leitfaden für den Praktiker. Berlin: Walter de Gruyter Verlag, 2004. - ISBN 3-11-018090-1
- [29] Republik Österreich: Medizinische Strahlenschutzverordnung, BGBl. II Nr. 409/2004. Wien, Fassung vom 28.10.2004
- [30] Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung - Jahresbericht 2007. Bonn, 2008
- [31] Frutiger AG: Onlineinformation Isotopensonden. abgefragt unter, <http://www.frutiger.com/index.php?page=122&printview=1>, am 30.04.2010
- [32] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Umweltrelevante Inhaltsstoffe in Elektro- und Elektronikaltgeräten. Augsburg, 2002. - ISBN 3-936385-05-X;
- [33] Umweltministerium Baden Württemberg (Hrsg.): Jahresbericht Gewerbeaufsicht 2007. Stuttgart, 2007. - ISSN 1865-7087
- [34] Kantonales Laboratorium der Stadt Basel (Hrsg.): Untersuchungsbericht Radioaktivität - Wandfliesen und andere Gegenstände. Gemeinsame Kampagne der Kantonalen Laboratorien Basel-Stadt und Basel-Landschaft, Basel, 2006
- [35] Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung - Jahresbericht 2008. Bonn, 2009
- [36] Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung - Jahresbericht 2006. Bonn, 2007
- [37] Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung - Jahresbericht 2005. Bonn, 2006
- [38] Deutsche Bahn AG, Bahn-Umwelt-Zentrum, Konzernstrahlenschutz (Hrsg.): Funde radioaktiver Stoffe im Schrottverkehr. Minden, 2003

- [39] Bielefeld, T.; Fischer, H.: Medizinische und industrielle Strahlenquellen als radiologische Waffen, Strahlenschutzpraxis 03-2006. Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Bremen, 2006
- [40] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich – Statusbericht 2009. Wien, 2010
- [41] A.R.A Altstoff Recycling Austria AG (Hrsg.): ARA Leistungsreport 2009. Wien, 2010
- [42] Pomberger, R.: Projekt Thermoteam- Stoffstrom und qualitätsbezogene Anlagenkonzeption, Tagungsband Depotech 2002. Essen: Verlag Glückauf, 2002. – ISBN 3-7737-5979-6
- [43] Austrian Research Center Seibersdorf (Hrsg.): Broschüre - YANTAR-2L, Monitor zur Messung radioaktiver Kontamination. Seibersdorf, 2007

6.2 Abkürzungsverzeichnis

ASB	Abfall Substitut Brennstoff
ARA	Altstoff Recycling Austria
etc.	et cetera
HASS	High Activity Sealed Sources
LKW	Lastkraftwagen
MBA	Mechanisch biologische Anlage
MVA	Müllverbrennungsanlage
ODL	Ortsdosisleistung
ÖKK	Österreichischer Kunststoff Kreislauf
PSE	Periodensystem der Elemente
SN	Abfallschlüsselnummer nach ONS2100
sog.	sogenannten
TOC	total organic carbon
VVO	Verpackungsverordnung
z. b.	zum Beispiel
α	Alpha
β	Beta
γ	Gamma

6.3 Alte Einheiten

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq * 1 Bq = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci = 27 pCi
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy * 1 Gy = 100 rd *
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv * 1 Sv = 100 rem *
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg * = 0,258 mC/kg * 1 C/kg = 3876 R
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	1 rd/s = 0,01 Gy/s * 1 Gy/s = 100 rd/s *
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	1 R/s = $2,58 \cdot 10^{-4}$ A/kg * = 0,258 mA/kg *

6.4 Präfixe bei Einheiten

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Hekto	h	10^2
Deka	da	10^1

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

6.5 Tabellen

Tabelle 1: Reichweite verschiedener Strahlungsarten in Wasser und Luft.....	17
Tabelle 2: Qualitätsfaktoren bzw. Strahlungswichtungsfaktoren nach IRCP60	20
Tabelle 3: Gewebewichtungsfaktoren.....	21
Tabelle 4: Strahlenschäden.....	24
Tabelle 5: Auszug aus der StrSchV Anlage1 / Tabelle1	35
Tabelle 6: Ortsdosisleistung an verschiedenen Orten in Österreich.....	58
Tabelle 7: Warnpegel im Strahlenfrühwarnsystem.....	59
Tabelle 8: Einige Anwendungen umschlossener Strahlenquellen in der Industrie.....	69
Tabelle 9: Anwendungen ionisierender Strahlung in der Medizin.....	72
Tabelle 10: abfallwirtschaftlich relevante Zwischenfälle mit radioaktiven Materialien in Deutschland von 2005 bis 2008	85
Tabelle 11: häufige Eintragsquellen radioaktiver Materialien in Abfallströme.....	88
Tabelle 12: Erwartungswerte für Zwischenfälle mit radioaktiven Materialien in Österreich....	89
Tabelle 13: Schlüsselnummern Fraktion 440040	96
Tabelle 14: Umfrageergebnisse Lieferantenbefragung	106

6.6 Abbildungen

Abbildung 1: Periodensystem der Elemente	7
Abbildung 2: Nuklidkarte.....	8
Abbildung 3: Die natürliche Uran-Radium– Zerfallsreihe	9
Abbildung 4: Energie und Wellenlänge elektromagnetischer Wellen	12
Abbildung 5: Alpha-Zerfall	13
Abbildung 6: Der Beta-Zerfall	14
Abbildung 7: Der Gamma-Zerfall	16
Abbildung 8: Strahlenschäden an einem DNS-Molekül.....	23
Abbildung 9: Strahlenexposition der österreichischen Bevölkerung 2005 und 2006	25
Abbildung 10: jährliche Effektivdosis durch kosmische Höhenstrahlung	27
Abbildung 11: Radongaskonzentration in Innenräumen.....	29
Abbildung 12: Standorte der ODL-Messsonden und Luftmonitore	30

Abbildung 13: Prinzip eines Zählrohrs	41
Abbildung 14: Tagesrückstellproben des Jahres 2009	44
Abbildung 15: Kontrollmessung der Tagesrückstellproben	45
Abbildung 16: Impulsrate „counts per minute - cpm“ - Tagesrückstellprobenmessung	47
Abbildung 17: Ortsdosisleistung - Tagesrückstellprobenmessung	47
Abbildung 18: Staubablagerung am Rohrgurttörderer	48
Abbildung 19: Impulsrate „counts per minute – cpm“ während der Anlagenkontrollmessung	49
Abbildung 20: Ortsdosisleistung während der Anlagenkontrollmessung	50
Abbildung 21: Einbau des Messgerätes	51
Abbildung 22: Befestigung der Messeinrichtung am Rohrgurttörderer	52
Abbildung 23: Impulsrate "counts per hour - cph" der Dauermessung „1“ vom 15.01.2010 bis 01.02.2010	54
Abbildung 24: Impulsrate "counts per hour - cph" der Dauermessung „2“ vom 01.02.2010 bis 19.02.2010	54
Abbildung 25: Ortsdosisleistung der Dauermessung „1“ vom 15.01.2010 bis 19.02.2010.....	55
Abbildung 26: Ortsdosisleistung der Dauermessung „2“ vom 01.02.2010 bis 19.02.2010.....	56
Abbildung 27: ODL-Messstationen in der Steiermark	57
Abbildung 28: Ortsdosisleistung 2009 im Bezirk Leibnitz.....	60
Abbildung 29: Ortsdosisleistung im Jahr 2009, Vergleich Leibnitz – Lebring	61
Abbildung 30: Ortsdosisleistung im Jahr 2009, Vergleich Leibnitz - Graz	62
Abbildung 31: Ortsdosisleistung und Niederschlagsmenge im Jahr 2009 in Leibnitz	63
Abbildung 32: Ortsdosisleistung und Niederschlagsmenge im Jahr 2009 in Spielfeld.....	64
Abbildung 33: Umschlossene Strahlenquellen im industriellen Einsatz.....	68
Abbildung 34: Troxler-Sonden zur Dichte- und Feuchtigkeitsbestimmung	77
Abbildung 35: Ionisationsrauchmelder (IRM)	79
Abbildung 36: radioaktive Materialien aus Privatbesitz	81
Abbildung 37: Funde radioaktiver Strahlenquellen in Schrottfractionen	86
Abbildung 38: Inputströme 2009 nach Fraktionen.....	92
Abbildung 39: Fraktion 440010 – Flussdiagramm.....	93
Abbildung 40: Fraktion 440010 - Verteilung der Herkunft	94
Abbildung 41: Verbleib der Outputfraktionen von MBA-Anlagen m Jahr 2007	95
Abbildung 42: Fraktion 440040 – Flussdiagramm.....	96

Abbildung 43: Fraktion 440040 - Verteilung der Herkunft	97
Abbildung 44: Fraktion 150360 – Flussdiagramm.....	99
Abbildung 45: Fraktion 150360 - Verteilung der Herkunft	100
Abbildung 46: Fraktion 440020 - Flussdiagramm.....	102
Abbildung 47: Fraktion 440020 - Verteilung der Herkunft	103
Abbildung 48: Fraktion 10060 - Flussdiagramm	104
Abbildung 49: Fraktion 10060 - Verteilung der Herkunft	105
Abbildung 50: Sammlung, Produktion und Verwertung des ASB bei Thermoteam	109
Abbildung 51: Müllverbrennungsanlagen in Österreich und Ihre Überwachungsmaßnahmen	110
Abbildung 52: YANTAR-2L Schrottmonitor zur Überwachung von Lastkraftwagen.....	113

Anhang A – Prüfzertifikat „Gamma Scout“

hochschule mannheim



hochschule mannheim



Fachhochschule Mannheim · Windeckstraße 110 · 68163 Mannheim

Institute for Radiochemistry and Radiation Protection

Fachhochschule Mannheim · Windeckstraße 110 · 68163 Mannheim

Institut für Radiochemie und Strahlenschutz

Certificate

The GAMMA-SCOUT® unit No. **37180** was used to measure the environmental radiation for three days. The results were compared with those of a reference device and found to deviate from these by less than $\pm 5\%$.

The reference devices were measured at the Institute for Radiochemistry and Radiation Protection of the public College of Technology and Design in a dose equivalent range up to $10 \mu\text{Sv/h}$, and determined suitable.

The reference devices are regularly checked.

The measuring performance of the GAMMA-SCOUT® unit No. **37180** can therefore be certified as being very good.

Prof. Dr. E. Folz

- Head of the Institute -

Windeckstraße 110 · 68163 Mannheim · Telefon (0621) 295-6111 · Bahnverbindung Sparkasse Mannheim (BLZ 67050101) 100 692

Zertifikat

Mit dem GAMMA-SCOUT® Nr. **37180** wurde 3 Tage die Umgebungsstrahlung gemessen und mit einem Referenzgerät verglichen.

Die Abweichung von diesem Referenzgerät ist kleiner als $\pm 5\%$.

Die Referenzgeräte wurden im Institut für Radiochemie und Strahlenschutz

der Fachhochschule Mannheim - Hochschule für Technik und Gestaltung - im Bereich bis zu einer Äquivalentdosisleistung von $10 \mu\text{Sv/h}$ gemessen und für geeignet ermittelt.

Die Referenzgeräte werden regelmäßig überprüft.

Dem GAMMA-SCOUT® Nr. **37180** kann deshalb eine sehr gute Meßeistung bestätigt werden.

Prof. Dr. E. Folz

- Institutsleiter -

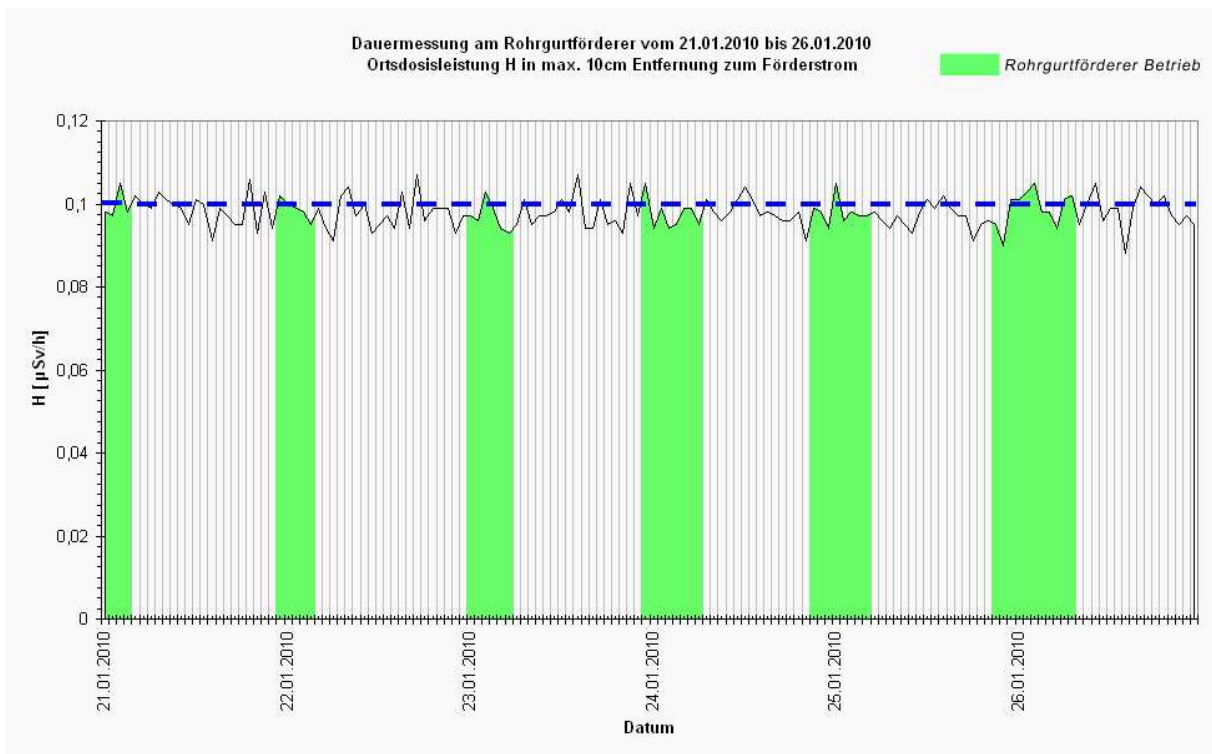
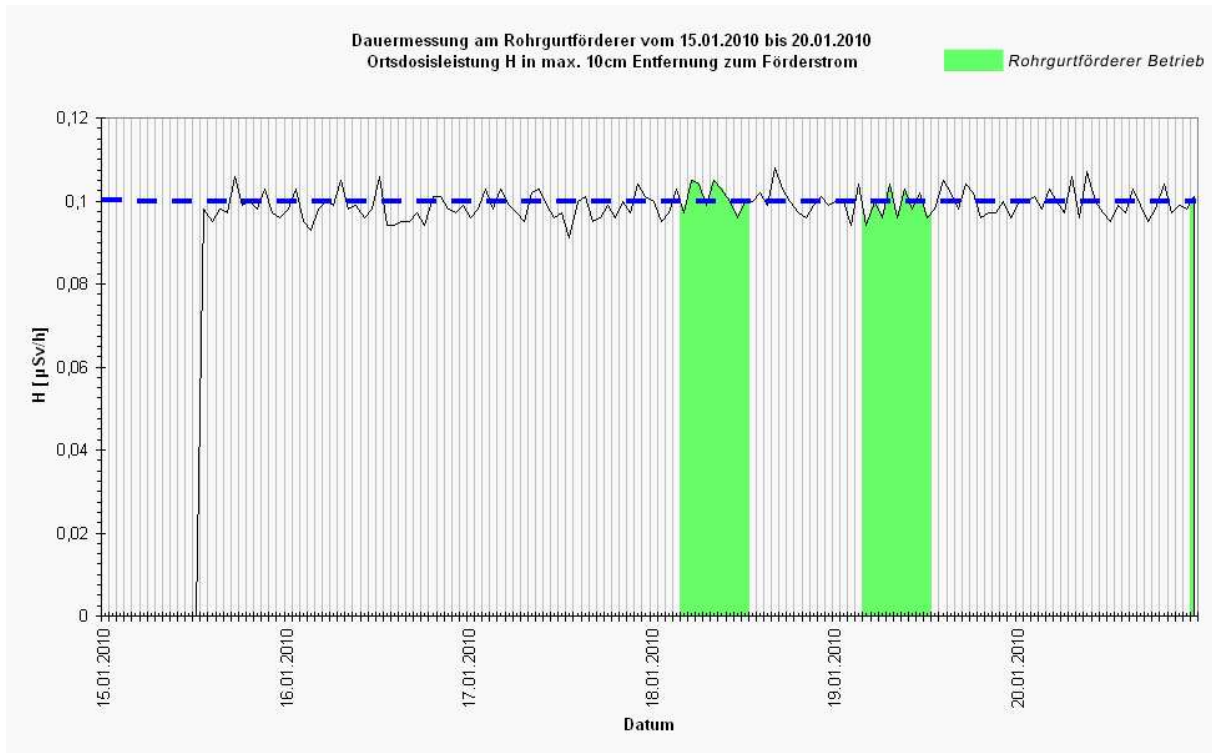
Windeckstraße 110 · 68163 Mannheim · Telefon (0621) 295-6111 · Bahnverbindung Sparkasse Mannheim (BLZ 67050101) 100 982

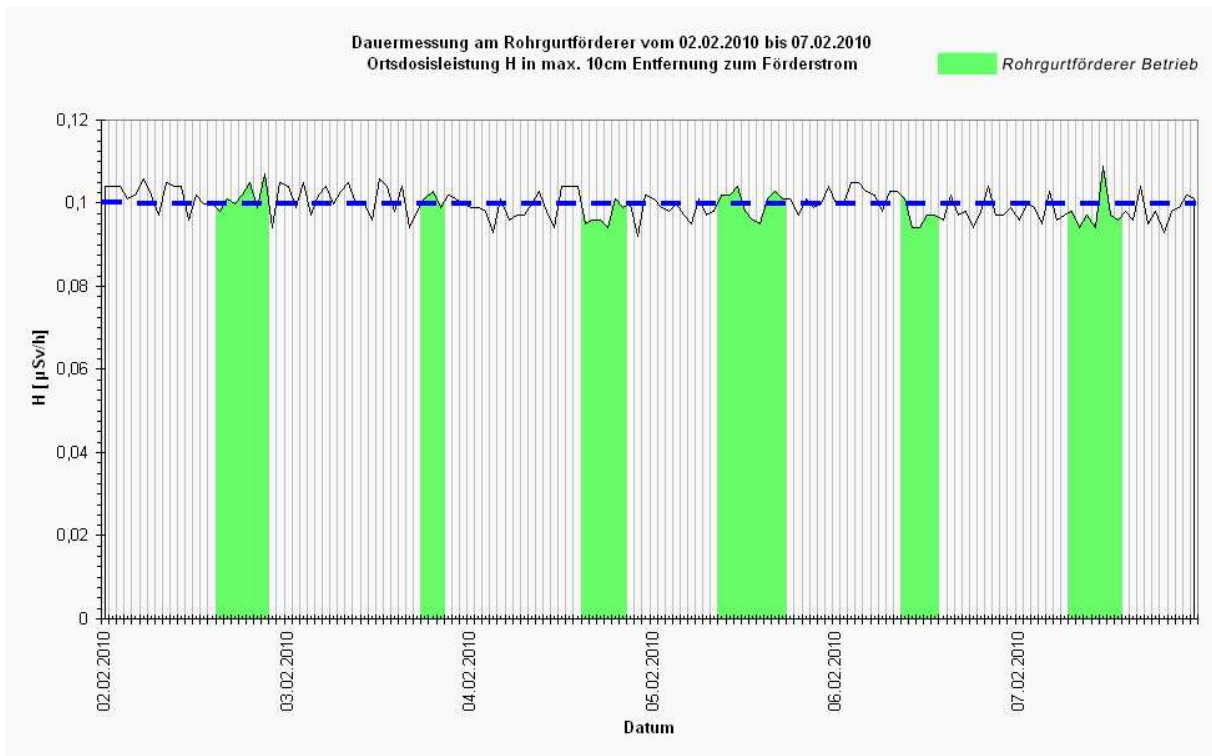
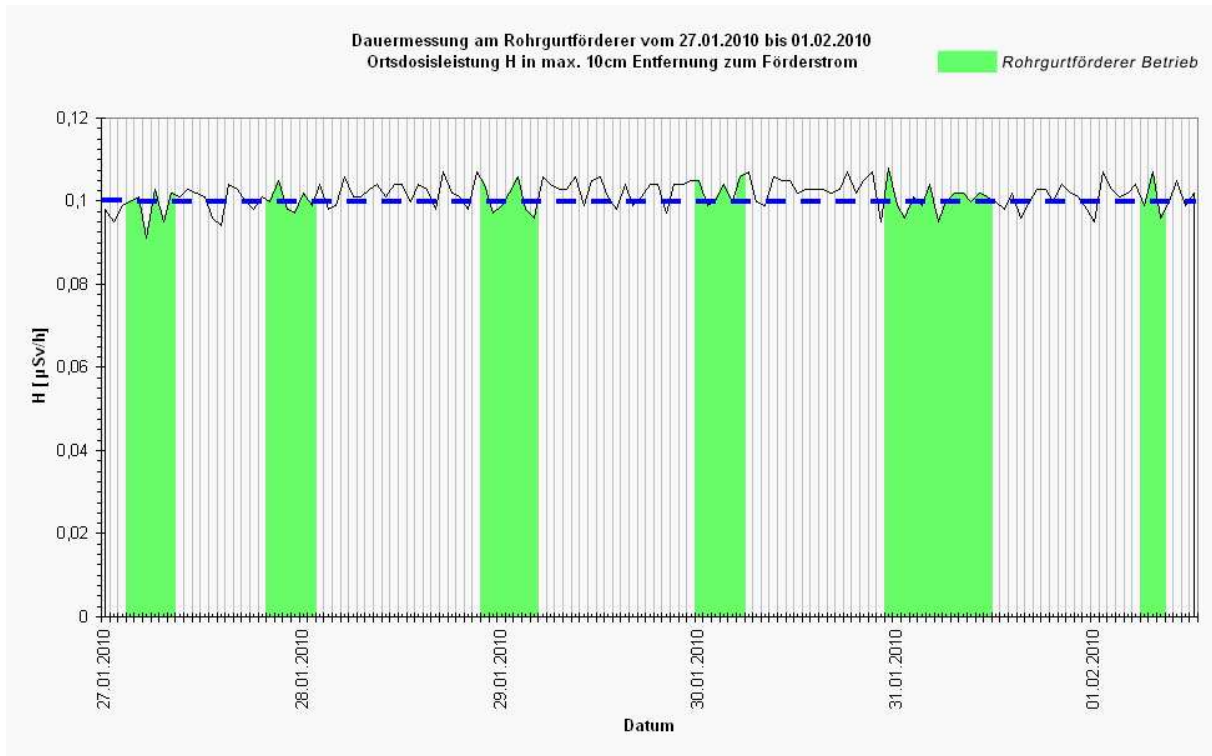
Anhang B – Messprotokoll ASB Rückstellproben

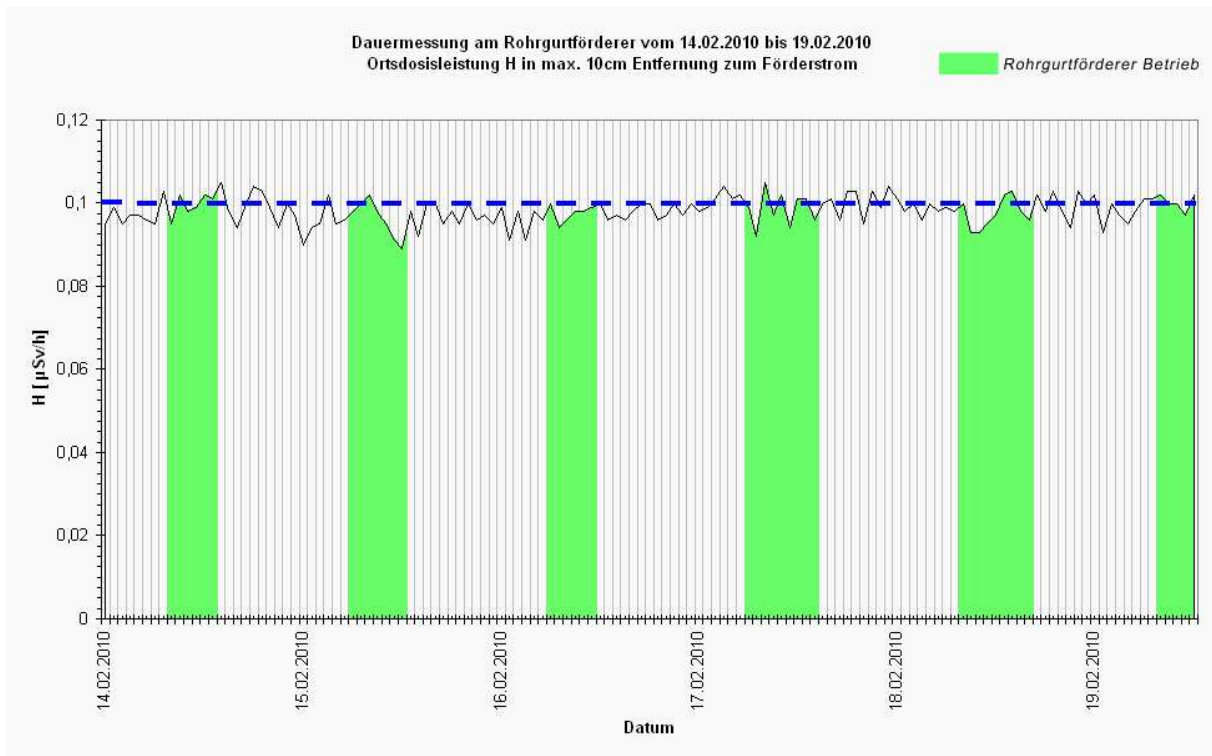
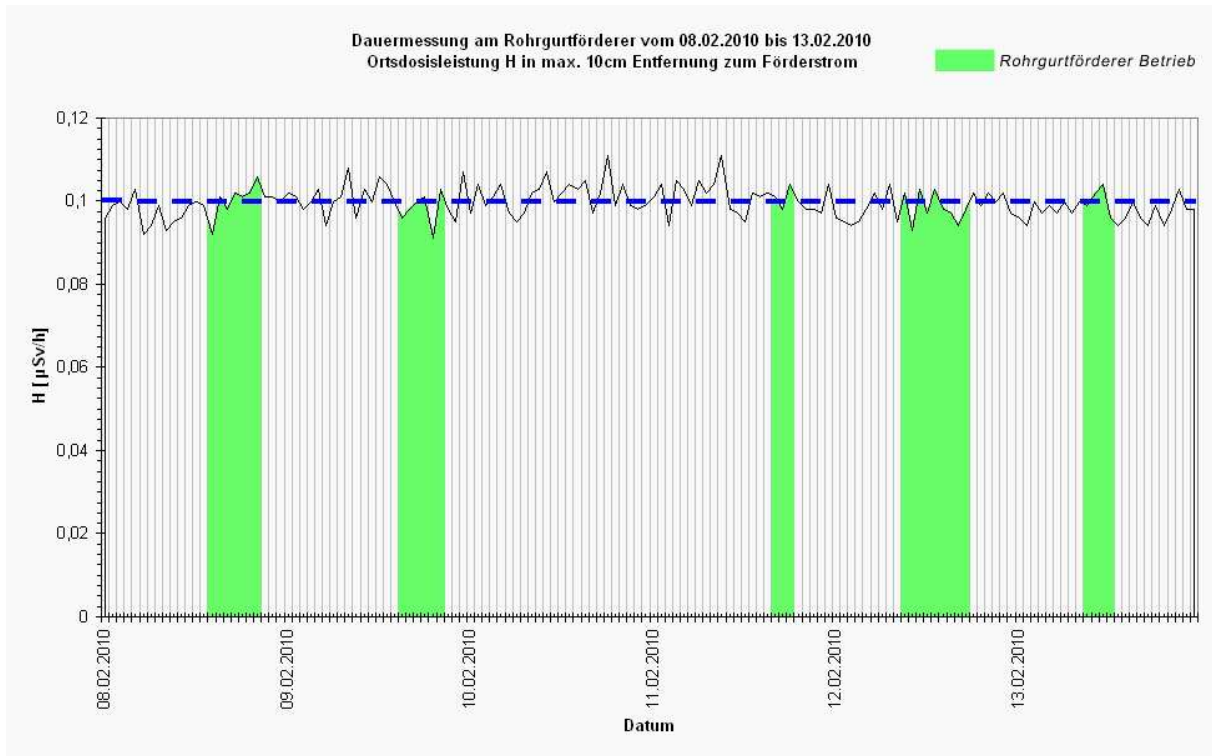
Anhang C – Messprotokoll Anlagenmessung

Anhang D – Messprotokoll Dauermessung

Anhang E – Diagramme Ortsdosisverlauf Dauermessung







Anhang F – meldepflichtige Ereignisse und Zwischenfälle mit radioaktiven Strahlern von 2005 bis 2008 in Deutschland

Auszug aus den Jahresberichten der Jahre 2005 bis 2008 „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. [25,S.268-272],[30,S.275-280],[31,S.269-275], [32,S.263-268]

Anhang G – Frageliste Lieferantenbefragung

UMFRAGE RADIOAKTIVITÄT IN ERSATZBRENNSTOFFEN - THERMOTEM

0. Name Ihres Unternehmens: Datum:

1. Verfügt Ihr Unternehmen über ein Qualitäts-, Sicherheits-, oder Umweltmanagementsystem?

Qualität:	<input type="checkbox"/> ISO 9001	<input type="checkbox"/> AFQM	<input type="checkbox"/> Andere:	<input type="text"/>
Umwelt:	<input type="checkbox"/> EMAS	<input type="checkbox"/> ISO 14001	<input type="checkbox"/> Andere:	<input type="text"/>
Sicherheit:	<input type="checkbox"/> ISA 2000	<input type="checkbox"/> BS 8800	<input type="checkbox"/> Andere:	<input type="text"/>

2. Verfügt Ihr Unternehmen über eine Eingangskontrolle mit Detektoranlage für radioaktive Materialien?

ja nein

3. Werden in Ihrem Unternehmen folgende Abfälle üblicherweise behandelt, verwertet oder angenommen?

> allgemein gefährliche Abfälle	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
> Bauschutt (Gebäudeabbruchmaterial)	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
> Metallschrotte	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
> Elektro-Altgeräte	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
			wenn ja, welche/woher?
> Abfälle aus Krankenhäusern oder Universitätskliniken	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus Laboratorien oder Forschungseinrichtungen	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus Röntgenlaboratorien	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus der Materialprüfung	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus der Feuerfestindustrie	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus der Schleifmittelindustrie	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus der Rohphosphatverarbeitung oder Phosphorchemie	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus Zirkon- u. Zirkonoxidindustrie	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus der Bergbauindustrie (Mineralienabbau oder Verarbeitung)	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus Feuerfestauskleidungen der Metallurgie oder Glasherstellung	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus der Erdölindustrie	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Abfälle aus der Erdgasreinigung	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>
> Schlämme, Stäube, Schlacken aus Rohrleitungen, Bergbau, Tunnelbau oder Geothermieanlagen?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="text"/>

4. Werden in Ihrem Unternehmen Abfallfraktionen die unter Punkt 3 aufgeführt sind weiter verarbeitet und im Speziellen ein heizwertreiches Produkt der Leichtfraktion, zum Zwecke der Verbrennung, daraus abgetrennt?

ja nein wenn ja woraus?

5. Werden in Ihrem Unternehmen Abfallfraktionen die unter Punkt 3 aufgeführt sind getrennt erfasst, und ist durch innerbetriebliche Abläufe und Regelungen sichergestellt, dass es zu keiner Vermischung mit der zum Zwecke der Verbrennung hergestellten Leichtfraktion kommen kann? (nur wenn Fr.4 mit ja beantwortet wurde)

ja nein

6. Verfügen Sie in Ihrem Unternehmen selbst über radioaktive Stoffe oder Strahleneinrichtungen? (z.B. Detektoren, Sensoren zur Füllstands-, Dichte, Feuchtigkeitsmessung ...etc)

ja nein wenn ja, welche?

7. Verfügen Ihre Anlieferungskunden Ihres Wissens nach über über radioaktive Stoffe oder Strahleneinrichtungen?

ja nein möglicherweise/nicht bekannt

8. Sind Ihnen Zwischenfälle oder Funde sog. herrenloser radioaktiver Materialien in Ihrem Tätigkeitsbereich oder Umfeld bekannt, oder haben Sie selber schon radioaktives Material in einem Abfallstrom gefunden?

ja nein wenn ja, welche?

VIELEN DANK FÜR IHRE WERTVOLLE MITHILFE!