

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: ERAM
Radiologische Gegebenheiten am Standort

Autor: Löffler, C.

Erscheinungsjahr: 2006

Unterlagen-Nr.: P 219

Revision: 00

Unterlagenteil:



Kurzfassung

ERAM, Radiologische Gegebenheiten am Standort

ERAM, Strahlenexposition, Betriebszeitraum seit 1986, retrospektiv, Tochternuklide

Die radiologischen Gegebenheiten wurden dargestellt und bewertet. Die Strahlenexposition in der Umgebung wurde unter Berücksichtigung der betrieblichen Ableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe über die Schächte Bartensleben und Marie seit 1986 ermittelt. Die höchste Strahlenexposition durch die Ableitungen aus dem Schacht Bartensleben betrug $5,8 \mu\text{Sv/a}$ effektiv und $65 \mu\text{Sv/a}$ für die Lunge des Kleinkindes. Die Strahlenexposition durch die Ableitungen aus dem Schacht Marie beträgt $45,9 \mu\text{Sv/a}$ effektiv (Altersgruppe ≤ 1 Jahr) und $460,9 \mu\text{Sv/a}$ für die Lunge (Altersgruppe > 2 bis ≤ 7 Jahre). Zusätzlich wurde die Überlagerung der Strahlenexposition aus den Ableitungen beider Schachtanlagen betrachtet. Eine Vorbelastung durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus anderen Anlagen ist am Standort des ERAM nicht gegeben. Eine Vorbelastung durch Ableitungen mit dem Abwasser aus anderen Anlagen wurde nicht ermittelt, da für den Stilllegungsbetrieb keine Einleitungen vorgesehen sind. Die bisherige Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser beträgt in allen Jahren weniger als $0,1 \mu\text{Sv/a}$.

Die Grundbelastung wurde untersucht. Für den Standort des ERAM ist keine außergewöhnliche Grundbelastung infolge der untersuchten Radionuklide festzustellen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	5
2	Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Schacht Bartensleben in dessen Umgebung	6
3	Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Schacht Marie in dessen Umgebung	7
4	Ermittlung der Strahlenexposition an den Standorten Bartensleben und Marie durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft unter Berücksichtigung von Überlagerungen	16
5	Ermittlung von Strahlenexpositionen durch Ableitungen über den Wasserpfad	17
6	Grundbelastung	17
7	Zusammenfassung der Ergebnisse	24
8	Tabellen	29
9	Unterlagen	42

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG wurde durch das BfS beauftragt, einen Bericht zu den radiologischen Gegebenheiten am Standort des ERAM als Unterlage für das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung zu erstellen.

Eine geänderte Darstellung des Sachverhaltes ist erforderlich, da die Maßnahmen zur Stilllegung nun als wesentliche Änderung zur Dauerbetriebsgenehmigung des ERAM /ERAM 86/ beantragt werden.

Nach der Vorgabe des BfS ist die radiologische Standortbeschreibung durch die retrospektive Ermittlung der Strahlenexposition in der Umgebung unter Berücksichtigung der betrieblichen Ableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe über die Schächte Bartensleben und Marie für den bisherigen Betriebszeitraum des ERAM seit 1986 zu ermitteln. Dazu ist die Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem Schacht Bartensleben den jährlichen Berechnungen für den Parlamentsbericht zu entnehmen /BMU 90-04/. Den Berechnungen der Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem Schacht Marie sind die aktuellen Ableitungsbedingungen vor Errichtung eines neuen Abwetterbauwerks (diffuse und bodennahe Ableitung) zugrunde zu legen. Die Langzeitausbreitungsfaktoren sind einer Untersuchung der GRS /GRS 04/ zu entnehmen, da das Gauß-Fahnenmodell zur Bestimmung der Ausbreitungsfaktoren für die Ausbreitungsbedingungen am Schacht Marie (bodennahe Freisetzung, geringe Entfernung zu der ungünstigsten Einwirkungsstelle für den Aufenthalt) nicht validiert ist.

Eine Vorbelastung durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus anderen Anlagen ist am Standort des ERAM nicht gegeben. Eine Vorbelastung durch Ableitungen mit dem Abwasser aus anderen Anlagen wird nicht ermittelt, da für den Stilllegungsbetrieb keine Einleitungen vorgesehen sind. Die bisherige Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wird dargestellt.

Die Grundbelastung durch Radionuklide natürlicher oder anthropogener Herkunft (außerhalb des Geltungsbereichs des Atomgesetzes /ATG 02/ und der Strahlenschutzverordnung /STR 01/) ist darzustellen.

Eine Abgrenzung zwischen den Radionukliden aus den Einlagerungsbereichen des ERAM und denen natürlicher Herkunft wird vorgenommen. Die potentielle Strahlenexposition der Bevölkerung und der Umwelt infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Einlagerungsbereichen über Schacht Bartensleben und über die 2. und 3. Sohle nach Schacht Marie werden als tätigkeitsbedingt angesehen und hinsichtlich der Einhaltung des radiologischen Schutzziels gemäß § 47 StrlSchV /STR 01/ bewertet. Die flüchtigen Radionuklide natürlichen Ursprungs aus dem nicht zur kerntechnischen Anlage des ERAM gehörenden Grubengebäude Marie – dem Wirtsgestein, Einbauten im Grubengebäude und Versatzmaterial entstammend – werden durch Differenzbildung zwischen den Messwerten auf der 2. und 3. Sohle und auf Schacht Marie über Tage quantitativ ermittelt. Sie werden bei der Expositionsermittlung nach § 47 StrlSchV nicht berücksichtigt. Die mit den Frischwettern eingezogenen Radionuklide natürlichen Ursprungs werden bei der Berechnung ebenfalls in Abzug gebracht.

2 Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Schacht Bartensleben in dessen Umgebung

Die Ableitungen der radioaktiven Stoffe mit den Abwettern bzw. mit der Fortluft aus dem Schacht Bartensleben werden messtechnisch erfasst.

Die Jahresableitungen der maßgeblichen Nuklide mit den Abwettern aus dem Schacht Bartensleben wurden den Jahresberichten der DBE zur Emissionsüberwachung entnommen /DBE 90-04/. Sie sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die aus den Ableitungen resultierenden Strahlenexpositionen werden für das jeweilige Kalenderjahr berechnet. Der Beitrag der Ableitungen der Vorjahre ist darin nicht enthalten. Die Ergebnisse sind den Parlamentsberichten entnommen /BMU 90-04/ und in Tabelle 2 dargestellt. Es wird die effektive Dosis und die Organdosis für das am stärksten belastete Organ angegeben.

Die Referenzperson mit der höchsten potentiellen Strahlenexposition ist das Kleinkind (nach § 45 StrlSchV alt /STR 89/) bzw. der Säugling (≤ 1 Jahr) (nach § 47 StrlSchV /STR 01/). Die höchste im Verlauf der Jahre 1991 bis 2004 ermittelte Strahlenexposition trat im Jahr 1992 auf. Sie beträgt $5,8 \mu\text{Sv/a}$ effektiv und $65 \mu\text{Sv/a}$ für die Lunge des Kleinkindes. Dies ent-

spricht einer Ausschöpfung der Grenzwerte des § 47 StrlSchV von 1,9% (effektiv) und 7,2% (Lunge, als am stärksten belastetes Organ).

Seit Einführung der neuen Strahlenschutzverordnung /STR 01/ ist das rote Knochenmark das am stärksten belastete Organ (s. Tabelle 2). Die höchste für dieses Organ ermittelte Dosis beträgt 6,1 $\mu\text{Sv/a}$. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV für das rote Knochenmark von 2%.

3 Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Schacht Marie in dessen Umgebung

3.1 Berechnungsverfahren

Die Berechnung der Strahlenexposition erfolgt auf der Grundlage des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift /AVV 05/ zu § 47 StrlSchV (im Weiteren kurz AVV genannt). Den „Vorgaben für die Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition in der Umgebung von Schacht Marie im bestimmungsgemäßen Betrieb des ERAM nach Errichtung eines neuen Abwetterbauwerks“ /BFS 05/ des BfS wurden die zutreffenden Randbedingungen entnommen.

3.2 Ausbreitung

Die verschiedenen Langzeitausbreitungsfaktoren wurden in Abstimmung mit dem BfS einer neueren Untersuchung der GRS /GRS 04/ entnommen, da das der AVV zugrunde liegende Gauß-Fahnenmodell zur Bestimmung der Ausbreitungsfaktoren für die Ausbreitungsbedingungen am Schacht Marie (bodennahe Freisetzung, geringe Entfernung zu der ungünstigsten Einwirkungsstelle für den Aufenthalt) nicht validiert ist. Die Ausbreitungsfaktoren wurden unter den nachfolgend beschriebenen Randbedingungen ermittelt.

Meteorologische Daten

Datenbasis sind die Messwerte der meteorologischen Station Morsleben am Schacht Bartensleben der Jahre 1995 bis 2000, die in Stundenwerte zusammengefasst wurden. Die Übertragung dieser Daten auf den rund 1,7 km entfernten Standort Marie erfolgte unter Berücksichtigung der Orografie (s. Bericht der GRS von August 2005 /GRS 05/). Diese Wetterstatistik erfüllt die Forderung des Entwurfs der AVV /AVV 05/ zu § 47 StrlSchV /STR 01/ nach Verwendung einer mindestens fünfjährigen vierparametrischen Ausbreitungsstatistik.

Ausbreitungsbedingungen

Die Ableitung radioaktiver Stoffe aus dem Schacht Marie erfolgt bis zur Inbetriebnahme des neuen Abwetterbauwerkes teilweise über einen Kamin von ca. 17 m Höhe, teilweise als bodennahe Freisetzung über Gebäudeundichtigkeiten des Schachthauses. Nach Angaben des BfS beträgt der Anteil der bodennahen Freisetzung etwa 40% des gesamten über den Schacht Marie ausziehenden Abwetter-/Fortluftvolumenstroms.

Eine Überhöhung der Abluffahne wird nicht berücksichtigt. Dies ist konservativ und aus folgenden Gründen gerechtfertigt. Die Temperatur der Abluft beträgt ca. 20 °C. Damit handelt es sich gemäß VDI Richtlinie 3782 /VDI 85/ um eine so genannte kalte Quelle mit einer vernachlässigbaren thermischen Überhöhung. Die aufgrund des mechanischen Impulses ermittelten Überhöhungen lassen sich aufgrund der diffusen Quellgeometrie nur grob abschätzen. Sie betragen für die Ableitungen über den Kamin je nach Windgeschwindigkeit zwischen wenigen Metern und einigen 10 m.

Die Geländeneigung beträgt in der Verbindungslinie zwischen den beiden Schachtanlagen und in den benachbarten Sektoren weniger als 5 Grad, so dass orografische Einflüsse für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Ableitungen aus dem Schacht Marie nicht zu berücksichtigen sind.

Ausbreitungsmodell

Der AVV liegt das Gauß-Fahnenmodell zur Bestimmung der Ausbreitungsfaktoren zugrunde. Dieses Modell ist für die Ausbreitungsbedingungen am Schacht Marie (bodennahe Freisetzung, geringe Entfernung zu der ungünstigsten Einwirkungsstelle für den Aufenthalt) nicht validiert. Die Langzeitausbreitungsfaktoren für die bodennahe Konzentration wurden daher mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell des Programms AUSTAL2000 berechnet. Die Bestimmung der Ausbreitungsfaktoren für den Washout und die Gamma-Submersion erfolgte nach dem vereinfachten Verfahren der AVV. Die Berechnung des Washout im standortspezifischen Verfahren ist mit AUSTAL2000 derzeit nicht möglich. Da die Ausbreitungsfaktoren für den Washout etwa zwei Größenordnungen geringer sind als die Ausbreitungsfaktoren für den Fallout, beeinflusst der Washout das Gesamtergebnis nur geringfügig.

Aktuelle Landnutzung

Für den Ingestionspfad wird die aktuelle Landnutzung untersucht und berücksichtigt. Daher wurden die Langzeitausbreitungsfaktoren für die ungünstigsten Einwirkungsstellen an den Erzeugungsorten der Lebensmittelgruppen

- Milch, Fleisch,
- Getreide,
- übriges Gemüse (Wurzelgemüse, Obst, Blattgemüse, Gemüse)

berechnet. Die Größe der Anbauflächen zur Erzeugung der notwendigen Menge an Lebensmitteln für die Referenzperson ≤ 1 Jahr inklusive der stillenden Mutter wurde berücksichtigt. Da für die Erzeugung von Fleisch, Milch und Getreide eine Fläche von 6 ha erforderlich ist, wurden die Langzeitausbreitungsfaktoren für diese Lebensmittelgruppen auf diese Flächengröße gemittelt.

3.2.1 Langzeitausbreitungsfaktoren

Die für das Gesamtjahr und für das Sommerhalbjahr verwendeten Langzeitausbreitungsfaktoren der Schachtanlage Marie sind in der Tabelle 3 dargestellt.

Die ungünstigsten Einwirkungsstellen befinden sich für

- die Lebensmittelgruppe Milch und Fleisch ab 150 m westlich,
- die Lebensmittelgruppe Getreide ab 150 m westlich,
- die Lebensmittelgruppe übriges Gemüse 100 m westlich und
- den Aufenthalt etwa 45 m westlich der Schachtanlage.

3.3 Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition

3.3.1 Quellterm

Der Quellterm wurde vom BfS ermittelt /BFS 05/ und ist in Tabelle 4 angegeben. Darin sind alle in den Abwettern des ERAM messtechnisch nachgewiesenen Nuklide enthalten. In den Abwettern des Schachtes Marie werden bisher nur die Nuklide H-3, C-14 und Rn-222 durch Messungen bestimmt. Deshalb werden bzgl. der langlebigen Aerosole – ausgehend von Messwerten am Schacht Bartensleben - für deren Ableitung aus dem Schacht Marie die gleichen nuklidspezifischen Quellterme wie für den Schacht Bartensleben verwendet. Dieser Quellterm ist nach /BFS 05/ abdeckend für die betrieblichen Ableitungen des Schachtes Marie. Von den im Quellterm enthaltenen Radionukliden natürlicher Herkunft ist nur der o. g.

Anteil berücksichtigt, der durch die Tätigkeiten im ERAM entsteht. Dabei wurde der radioaktive Zerfall während der Aufenthaltszeit im ERAM berücksichtigt. Die natürlichen Radionuklide Be-7 und K-40 werden nicht im Quellterm für die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem ERAM berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Strahlenexposition in der Umgebung durch das Edelgas Radon-222 und seine Zerfallsprodukte wird konservativ angenommen, dass Radon-222 im Gleichgewicht mit seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten (entsprechend einem Gleichgewichtsfaktor von $F = 1$) abgeleitet wird. Es wird weiterhin konservativ unterstellt, dass Tritium als HTO und C-14 als CO_2 vorliegt.

3.3.2 Expositionspfade

Nach AVV /AVV 05/ wurden folgende Expositionspfade berücksichtigt:

- Inhalation,
- Ingestion,
- Gammasubmersion,
- Gammabodenstrahlung,
- Betasubmersion.

Für den Ingestionspfad werden die Teilpfade

- Luft – Pflanze,
- Luft – Futterpflanze – Kuh – Milch,
- Luft – Futterpflanze – Tier – Fleisch,
- Luft – Muttermilch,
- Luft – Nahrung – Muttermilch

betrachtet. Dabei werden sowohl die direkten Ablagerungen auf den Pflanzenteilen als auch der Transfer von Radionukliden aus dem Boden in die Wurzel der Pflanze berücksichtigt.

3.3.3 Dosiskoeffizienten

Die Dosiskoeffizienten für die aufgeführten Expositionspfade wurden dem Bundesanzeiger /BANZ 01/ entnommen. Für Rn-222 sind dort keine Angaben für die Inhalation enthalten. Der Dosisbeitrag aus der Exposition von Rn-222 stammt vorwiegend aus der Inhalation der kurzlebigen Zerfallsprodukte. Diese sind Schwermetalle und lagern sich an Aerosole an, so dass

der Gleichgewichtszustand, der sich zwischen dem Radon und seinen Zerfallsprodukten einstellt, von der Höhe der vorhandenen Aerosolkonzentration und von der Luftaustauschrate abhängt. Im Bericht der GRS /GRS 05/ sind die Dosiskoeffizienten für die Inhalation von Rn-222 und seinen kurzlebigen Tochternukliden (bis einschließlich Po-214) für die effektive Dosis und für die Lunge für alle Altersgruppen angegeben. Sie beruhen auf EURATOM /EUR 96/ und BMU /BMU 99/ sowie ICRP 32 /ICRP 81/ und sind in Tabelle 5 angegeben.

3.3.4 Verzehrsgewohnheiten, Atemrate und Referenzpersonen

Die Verzehrsmengen für verschiedene Lebensmittel und die Atemraten für die Referenzpersonen sind nach Anhang 5 der AVV /AVV 05/ berücksichtigt.

Die Referenzpersonen sind in die Altersgruppen

- ≤ 1 a,
- > 1 bis ≤ 2 Jahre,
- > 2 bis ≤ 7 Jahre,
- > 7 bis ≤ 12 Jahre,
- > 12 bis ≤ 17 Jahre,
- > 17 Jahre

unterteilt.

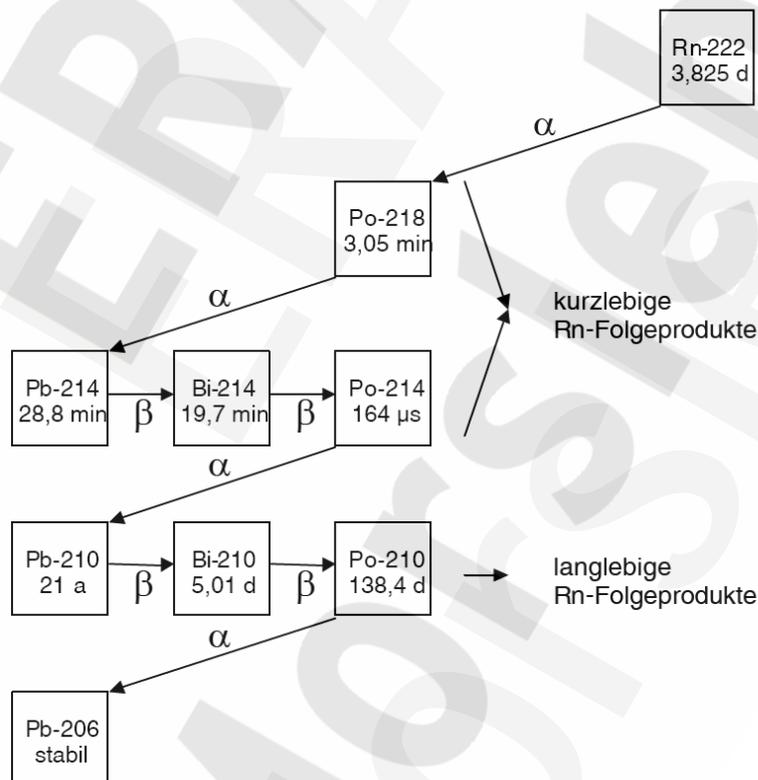
3.3.5 Dauer der Ableitungen

Der Zeitraum, in dem die Ableitungen bis zur Stilllegung erfolgen, beginnt im Jahre 1986 und endet voraussichtlich im Jahr 2010 mit Beginn des Stilllegungsbetriebs. Derzeit ist der Bau eines neuen Abwetterbauwerkes beantragt. Die Inbetriebnahme wird voraussichtlich im Jahr 2008 erfolgen. Mit dem neuen Abwetterbauwerk werden die Ausbreitungsbedingungen durch Ableitung über einen Kamin in 30 m über Grund und Vermeidung diffuser bodennahe Freisetzen verbessert. Die potentielle Strahlenexposition in der Umgebung des Schachtes Marie unter Berücksichtigung des neuen Abwetterbauwerkes wurde von der GRS /GRS 05/ ermittelt.

Wird die Verbesserung durch das neue Abwetterbauwerk außer Acht gelassen, so beträgt die Dauer der Ableitungen unter den o.g. Ausbreitungsbedingungen über den Schacht Marie voraussichtlich 24 Jahre. Nach AVV /AVV 05/ wird ein Zeitraum von 50 Jahren für die Ableitungen angesetzt. Damit wird die Strahlenexposition über die Expositionspfade, die eine Anreicherung der Radionuklide im Boden beinhalten, überschätzt.

3.3.6 Folgeprodukte des Zerfalls von Rn-222

Rn-222 zerfällt über vier kurzlebige und drei langlebige Tochternuklide zum stabilen Pb-206. Das Zerfallsschema ist nachfolgend dargestellt.



Die Strahlenexposition, die durch die Inhalation der kurzlebigen Folgeprodukte verursacht wird, ist mit dem Dosiskoeffizienten des Rn-222 berücksichtigt. Gleiches gilt für die Gamma- und Betasubmersion (Dosiskoeffizienten aus Banz /BANZ 01/). Die Bodenstrahlung ist radiologisch unbedeutend. Die Strahlenexposition durch Ingestion wird durch die Beiträge der einzelnen kurzlebigen Folgeprodukte hier berücksichtigt. Die Radonableitung wird für die kurzlebigen Folgeprodukte, die bei der Ausbreitung wie Aerosole behandelt werden, mit ei-

nem Gleichgewichtsfaktor von $F=1$ berücksichtigt. Die langlebigen Folgeprodukte Pb-210 und Po-210 werden mit einem eigenen Anteil im Quellterm gesondert berücksichtigt (s. Tabelle 4).

Das abgeleitete Pb-210 ist langlebig und zerfällt über Bi-210 zu Po-210. Radiologisch relevant ist Po-210, da es im Vergleich zu Bi-210 einen um etwa den Faktor 1000 höheren Dosiskoeffizienten für die Ingestion hat. Es sind die Bildung und der Zerfall der auf den oberirdischen Pflanzenteilen und der am Boden abgelagerten Aerosole aus der Ableitung des Pb-210 zu berücksichtigen. In die Untersuchung ist die Phase nach Beendigung des hier betrachteten Einlagerungs- und Offenhaltungsbetriebs (in der AVV als „Nachbetriebsphase“ bezeichnet) einzubeziehen. Ergeben sich nach Beendigung des Einlagerungs- und Offenhaltungsbetriebs durch Aufbau von Tochternukliden höhere flächenbezogene Aktivitäten als am Ende des Einlagerungs- und Offenhaltungsbetriebs, so sind diese der Ermittlung der Strahlenexposition zugrunde zu legen. Für die abgelagerten Folgeprodukte ist die Strahlenexposition durch Ingestion zu untersuchen.

Zur Berücksichtigung der Strahlenexposition durch die Ingestion beinhaltet die AVV /AVV 05/ folgendes Modell. Es wird der Radionuklidtransport auf die oberirdischen Pflanzenteile sowie der Transport von dort in die Pflanze und vom Boden in den essbaren Teil der Pflanzen betrachtet. Beim Transfer vom Boden in die Pflanzen wird angenommen, dass die pro Jahr abgelagerte Aktivität 50 Jahre lang gleich groß ist. Zur Berechnung der spezifischen Aktivität in pflanzlichen Produkten wird eine 50jährige Akkumulation der Aktivität im Boden angenommen. Hinzu kommt die Kontamination, wie sie sich im fünfzigsten Betriebsjahr der kerntechnischen Einrichtung ergibt.

Die Berücksichtigung radioaktiver Folgeprodukte auf dem Ingestionspfad erfolgt nach Anhang 15 der AVV. Aus der Depositionsrate des Mutternuklids sowie der Bildung und dem Zerfall der Tochternuklide wird unter Berücksichtigung der Verweildauer der Radionuklide in der obersten Bodenschicht die flächenbezogene Aktivität $B_k(t)$ der Tochternuklide berechnet (Gleichung 15.1 im Anhang 15 der AVV). Die spezifische Aktivität in den pflanzlichen Produkten und in den Weidepflanzen C_k (in Bq/kg) über den Wurzelpfad wird nach Gleichung 15.9 im Anhang 15 der AVV berechnet:

$$C_k = B_k(t) * T_K / p$$

mit

$B_k(t)$ flächenbezogene Aktivität des Tochternuklids k in Bq/m^2

T_K Transferfaktor vom Boden zur Pflanze für das Tochternuklid k ; es ist zu unterscheiden zwischen pflanzlichen Produkten und Weidepflanzen in Bq/kg Feuchtmasse pro Bq/kg Trockenmasse

p Flächentrockenmasse des Bodens; es ist zu unterscheiden zwischen Ackerboden für pflanzliche Produkte und Weideboden für Weidepflanzen in kg/m^2 .

Es wird ebenfalls untersucht, ob sich nach Beendigung des Einlagerungs- und Offenhaltungsbetriebs durch weiteren Aufbau der Folgeprodukte höhere flächenbezogene Aktivitäten ergeben.

Die Ablagerung auf oberirdischen Pflanzenteilen wird analog berechnet. Die flächenbezogene Aktivität $B_k(t)$ wird durch den Ertrag bzw. die Bewuchsdichte geteilt, um die spezifische Aktivität in den pflanzlichen Produkten und in den Weidepflanzen C_k zu erhalten. Die Ablagerung findet nur während der Wachstumsperiode der Pflanzen bis zur Ernte statt. Die entsprechenden Zeiten t_e^n sind dem Anhang 4 der AVV entnommen. Der weitere Zerfall und Aufbau während des Zeitraums zwischen Ernte und Verbrauch wird berücksichtigt. Die entsprechenden Zeiten t_v^n sind dem Anhang 4 der AVV entnommen.

Nach Kap. 3.3.2 der AVV ergibt sich die Jahresdosis nach dem 50. Jahr aus der Summe der Jahresdosis des primären Nuklids und den Jahresdosen der Tochternuklide.

Im vorliegenden Fall ist die Ingestion des durch die Ableitungen des Pb-210 entstandenen Po-210 zu berücksichtigen. Das Zwischenprodukt Bi-210 trägt nicht signifikant zur Strahlenexposition bei und wird daher nicht betrachtet.

Die Differentialgleichung (Gl. 15.1, Anhang 15 AVV) zur Beschreibung der Zufuhr, der Bildung und des Zerfalls der Radionuklide einer Zerfallskette wird numerisch mittels einer von uns entwickelten Excel-Anwendung gelöst. Die Dosisbeiträge der Tochternuklide nach Anhang 15 der AVV werden mit den in Tabelle 3 angegebenen Langzeitausbreitungsfaktoren ermittelt und separat ausgewiesen.

3.3.7 Dosisberechnung

Die Berechnung der Strahlenexposition durch die Ableitungen aus dem Schacht Marie erfolgt mit dem Programm BSAVVL /BS 04/ unter Berücksichtigung des Entwurfstandes der AVV /AVV 05/. Die Ermittlung der Dosisbeiträge durch die Folgeprodukte des Pb-210 ist in Abschnitt 3.3.6 beschrieben.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8 angegeben. Die Beiträge der Tochternuklide sind in den Ergebnissen enthalten. Tabelle 6 enthält die Strahlenexposition für alle Altersgruppen und Organe. Für die Referenzperson ≤ 1 a wurde die höchste effektive Dosis errechnet. Die Strahlenexposition ist für diese Altersgruppe in Tabelle 7 pfadspezifisch dargestellt. In Tabelle 8 ist für alle Altersgruppen die effektive Dosis nuklidspezifisch aufgeführt. Der Anteil der Tochternuklide an der effektiven Gesamtdosis beträgt je nach Altersgruppe zwischen 0,3 (> 17 a) und 3% (≤ 1 a). Die Bodenstrahlung der kurzlebigen Tochternuklide durch die Ableitung von Rn-222 liefert keinen signifikanten Beitrag zur Strahlenexposition. Sie beträgt etwa $1\text{E-}03 \mu\text{Sv/a}$ und ist in Tabelle 8 nicht angegeben.

Die Referenzperson mit der höchsten effektiven Dosis ist der Säugling (≤ 1 Jahr). Der Säugling wird mit Muttermilch ernährt. Dies führt über den Luftpfad zu höheren Strahlenexpositionen als die Ernährung mit Milchfertigprodukten. Aus der pfadspezifischen Darstellung in Tabelle 7 wird deutlich, dass die effektive Dosis zu etwa 70% durch die Ingestion und zu etwa 30% durch die Inhalation bestimmt wird. Die effektive Dosis für diese Altersgruppe beträgt insgesamt $45,9 \mu\text{Sv/a}$. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV /STR 01/ für die effektive Dosis von 15%.

Die höchste Organdosis ergibt sich - auch im Hinblick auf den Ausschöpfungsgrad der Organdosisgrenzwerte des § 47 StrlSchV - in allen Altersgruppen für die Lunge. Die höchste Lungendosis ist in der Altersgruppe > 2 bis ≤ 7 Jahre mit $460,9 \mu\text{Sv/a}$ zu verzeichnen. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV für die Lungendosis von 51%. Die Lungendosis wird maßgeblich von den kurzlebigen Folgeprodukten des Rn-222 bestimmt. Die Annahme eines Gleichgewichtsfaktors $F = 1$ für das Verhältnis der kurzlebigen Rn-222-Folgeprodukte zu Rn-222 stellt die obere Grenze des physikalisch Möglichen dar. Realistisch ergeben sich für F Werte zwischen 0,3 und 0,7, bei denen sich die potentielle Strahlenexposition direkt proportional verringert.

4 Ermittlung der Strahlenexposition an den Standorten Bartensleben und Marie durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft unter Berücksichtigung von Überlagerungen

Die Schächte Bartensleben und Marie liegen rund 1,7 km voneinander entfernt. Die Überlagerung der Strahlenexposition aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe beider Schächte am jeweils anderen Standort wird betrachtet. Ferner wird untersucht, ob nach § 47 (5) StrlSchV /STR 01/ Ableitungen aus dem Betrieb anderer Anlagen und Einrichtungen im Geltungsbereich der StrlSchV zur Strahlenexposition in der Umgebung der Standorte Bartensleben und Marie beitragen.

4.1 Vorbelastung durch andere Anlagen oder Einrichtungen

In der Umgebung des ERAM existieren keine anderen Anlagen oder Einrichtungen im Geltungsbereich der StrlSchV /STR 01/, deren Ableitungen für die Standorte relevant wären. Ein Beitrag zur Strahlenexposition über den Luftpfad aus solchen Anlagen oder Einrichtungen als Vorbelastung liegt folglich nicht vor.

4.2 Überlagerung am Standort Schacht Bartensleben

Die ungünstigste Einwirkungsstelle am Schacht Bartensleben befindet sich im Sektor 6 in südsüdöstlicher Richtung und einer Entfernung von rund 1700 m vom Schacht Marie. Für diese Einwirkungsstelle wird die Dosis aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe (s. Tabelle 4) des Schachtes Marie berechnet. Diese effektive Dosis beträgt für die am höchsten belastete Referenzperson (≤ 1 Jahr) mit Berücksichtigung der Tochternuklide $0,7 \mu\text{Sv/a}$. Zusammen mit dem Beitrag aus dem Schacht Bartensleben (s. Kap. 2) von $5,8 \mu\text{Sv/a}$ beträgt die effektive Dosis am Standort Bartensleben für die am höchsten belastete Referenzperson (≤ 1 Jahr) insgesamt rund $6,5 \mu\text{Sv/a}$. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV /STR 01/ für die effektive Dosis von 2%.

Die höchste Organdosis durch die Ableitungen aus dem Schacht Marie am Standort Bartensleben ergibt sich - auch im Hinblick auf den Ausschöpfungsgrad der Organgrenzwerte des § 47 StrlSchV - für die Lunge des Kleinkindes. Es wird davon ausgegangen, dass das Kleinkind nach der alten Strahlenschutzverordnung /STR 89/ vergleichbar ist mit der Altersgruppe > 1 bis ≤ 2 Jahre der neuen Strahlenschutzverordnung /STR 01/. Die Lungendosis dieser Altersgruppe beträgt $1,8 \mu\text{Sv/a}$. Zusammen mit dem Beitrag aus dem Schacht Bartensleben

(s. Kap. 2) von $65 \mu\text{Sv/a}$ beträgt die Lungendosis am Standort Bartensleben für die am höchsten belastete Referenzperson (> 1 bis ≤ 2 Jahre) insgesamt rund $67 \mu\text{Sv/a}$. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV für die Lungendosis von 7%.

4.3 Überlagerung am Standort Schacht Marie

Die Strahlenexposition am Standort Bartensleben, die aus den gemessenen Jahresableitungen des Schachtes Bartensleben resultiert, liegt etwa eine Größenordnung niedriger als die Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem Schacht Marie am Standort Marie. An der ungünstigsten Einwirkungsstelle in der Umgebung der Schachanlage Marie ist daher kein signifikanter Beitrag durch die Ableitungen aus dem Schacht Bartensleben zu erwarten. Auch ist an anderen Orten keine Überlagerung möglich, die zu höheren radiologischen Auswirkungen führt.

5 Ermittlung von Strahlenexpositionen durch Ableitungen über den Wasserpfad

Eine Ableitung radioaktiver Stoffe über den Abwasserpfad am Schacht Bartensleben erfolgt während der Stilllegung nicht. Am Schacht Marie hat bisher keine Ableitung radioaktiver Stoffe über den Abwasserpfad stattgefunden. Sie ist auch während der Stilllegung nicht vorgesehen.

Die bisherigen jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser am Standort Bartensleben sind den Parlamentsberichten /BMU 90-04/ entnommen und in Tabelle 9 zusammengestellt. Die Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser beträgt nach den Angaben in den Parlamentsberichten in allen Jahren weniger als $0,1 \mu\text{Sv/a}$.

6 Grundbelastung

6.1 Definition

Die radioaktive Grundbelastung ist diejenige radioaktive Kontamination der Umwelt, die entweder auf Aktivitäten natürlichen Ursprungs oder auf künstliche Radioaktivität außerhalb des Geltungsbereiches des Atomgesetzes und der Strahlenschutzverordnung zurückgeht. Sie

wird am Standort des ERAM zu einem Teil durch die natürlich vorkommenden radioaktiven Nuklide verursacht. Durch unterschiedliche geologische Verhältnisse bedingt, variiert dieser Anteil der Grundbelastung und muss daher für jeden Standort individuell bestimmt werden.

Zur Grundbelastung sind auch die anthropogenen radioaktiven Nuklide zu zählen, die von Emittenten außerhalb des Geltungsbereiches des Atomgesetzes (AtG) /ATG 02/ und der StrlSchV /STR 01/ freigesetzt worden sind.

Dieser Anteil der Strahlenexposition tritt durch anthropogene radioaktive Nuklide auf, welche dem Fallout der oberirdischen Kernwaffenversuche und des Kraftwerksunfalls in Tschernobyl als weiträumig verfrachtete Freisetzungen zuzuordnen sind.

6.2 Datenbasis

Die Zusammenstellung der Grundbelastungsdaten wurde für die Umweltmedien Luft, Boden, Bewuchs und Oberflächenwasser jeweils aus Messungen des Betreibers /DBE 99, DBE 00, DBE 01/ entnommen. Sie wurden mit den Daten der unabhängigen Messstelle /LUSA 00, LUSA 01, LUSA 02/ verglichen und an einigen Stellen ergänzt.

Die Überwachung der Umweltradioaktivität erfolgt nach den in der Richtlinie für Emissions- und Immissionsüberwachung /REI 05/ vorgesehenen Programmen. Vom Betreiber und der unabhängigen Messstelle werden Messungen an unterschiedlichen Orten, welche geeignet sind, die radiologische Situation wiederzugeben, im Umkreis des Standortes durchgeführt.

Die Immissionsmessstellen und –probeentnahmeorte (IM) befinden sich im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des Schachtes Bartensleben

- für die Messungen des Betreibers in ca. 150 m Entfernung und nordöstlich des Schachtes Bartensleben auf dem Betriebsgelände,
- für die unabhängige Messstelle in ca. 300 m Entfernung und nordöstlich des Schachtes Bartensleben außerhalb des Betriebsgeländes an der Einfriedung (Endlagerzaun).

Die Referenzmessstellen und –probeentnahmeorte (RM) befinden sich

- für die Messungen des Betreibers in ca. 4 km Entfernung ost-südöstlich des Schachtes Bartensleben am Ortsrand von Alleringersleben,
- für die unabhängige Messstelle in ca. 5 km Entfernung nördlich des Schachtes Bartensleben am Ortsrand von Schwanefeld.

Aufgrund ihrer Entfernung zu den Schächten Bartensleben und Marie bleiben die Referenzorte im Vergleich zur ungünstigsten Einwirkungsstelle weitgehend unbeaufschlagt von Emissionen des ERAM.

Die ermittelten Messwerte für natürliche radioaktive Nuklide sind unten aufgeführt. Bei Aerosolmessungen der Luft wurde vom ERAM in den Jahren 1999 bis 2001 /DBE 99, DBE 00, DBE 01/ das Radionuklid Be-7 mit Werten zwischen $2,3E-03 \text{ Bq/m}^3$ und $5,7E-03 \text{ Bq/m}^3$ nachgewiesen.

K-40 wurde im Jahr 2001 bei einer Messung mit einem Wert von $5E-05 \text{ Bq/m}^3$ nachgewiesen. Co-60- und Cs-137-Aktivitätskonzentrationen in der Luft konnten nicht festgestellt werden; deren Nachweisgrenze lag bei $2E-06 \text{ Bq/m}^3$.

Die Abgabe der Grubenwässer erfolgt in den Salzbach, der diese Wässer zur Aller, die vom ERAM als Vorfluter genutzt wird, transportiert. Der Salzbach fließt zum Teil durch Rohre. Wasser für Brauchzwecke wird ihm nicht entnommen.

Im Oberflächenwasser wurden vom Betreiber des ERAM Messungen an den Messstellen der Aller (nach Zufluss des Salzbaches und der gereinigten Wässer der Kläranlage) sowie am Salzbach bei Eintritt in das und bei Austritt aus dem Betriebsgelände vorgenommen. An den Messstellen an der Aller sowie dem Salzbach vor der Einleitung wurden 0,13 bis 0,76 Bq/l K-40 gemessen. Am Salzbach nach der Einleitung wurden 4,0 bis 7,5 Bq/l K-40 gemessen /DBE 99, DBE 00, DBE 01/.

Die in Tabelle 10 aufgeführten Ergebnisse der Messungen von natürlichen Radionukliden wurden in Bodenproben von unterschiedlichen Probeentnahmenorten in den Jahren 1999 bis 2001 ermittelt. Neben dem Radionuklid K-40 wurde auch das Radon-Folgeprodukt Pb-210 gemessen. Messwerte für Po-210 liegen nicht vor.

In Tabelle 11 sind die gemittelten Ergebnisse der Messungen natürlicher Radionuklide im Bewuchs (Gras) aus den Jahren 1999 bis 2001 aufgeführt. Die Probeentnahmestellen entsprechen den Probeentnahmestellen der Bodenproben. An natürlichen Radionukliden wurden in allen Fällen Be-7, K-40 und Pb-210 gefunden.

Als anthropogene (durch die Zivilisation in die Umwelt verbrachte) Radionuklide konnten Sr-90 und Cs-137, im Jahre 1999 auch Cs-134 in Bodenproben nachgewiesen werden (Tabelle 12). Die Messwerte für Sr-90 lagen in den Jahren 1999 bis 2001 zwischen 0,3 und 1,0 Bq/kg TM und damit im Bereich der Nachweisgrenze. Die Messwerte für Cs-137 betragen 4 bis 16 Bq/kg TM. Für Cs-134 wurden Werte von weniger als 0,2 Bq/kg TM im Jahre 1999 festgestellt.

Die Tabelle 13 zeigt, dass Cs-137 im Bewuchs (Gras) vorwiegend im Jahr 1999 nachgewiesen werden konnte. In den Jahren 2000 und 2001 wurden nur noch am Referenz-Messort des Betreibers Werte oberhalb der Nachweisgrenze gemessen.

H-3 und C-14 sind Radionuklide, die sowohl aus natürlichen als auch aus künstlichen Quellen stammen können. Von der unabhängigen Messstelle liegen Auswertungen von H-3 und C-14 im Bewuchs vor (Tabelle 15). Die Werte liegen in den Jahren 1999 bis 2001 für H-3 bei ca. 1 Bq/kg TM sowie für C-14 zwischen 110 und 155 Bq/kg TM.

6.3 Bewertung der Messergebnisse

Zur Bewertung der gemessenen Grundbelastung in der Umgebung des Standortes des ERAM sind die Messwerte natürlicher Radionuklide der verschiedenen Messstellen auf außergewöhnliche Messwerte sowie durch einen Vergleich mit den Messwerten in anderen Regionen der Bundesrepublik Deutschland auf Übereinstimmung mit den statistischen Mittelwerten zu prüfen. Hierbei ist auch die Kontamination mit Cs und Sr sowie von anthropogen in die Umwelt verbrachtem H-3 und C-14 zu bewerten, die von Emittenten außerhalb des Geltungsbereiches des AtG /ATG 02/ und der StrlSchV /STR 01/ stammen könnte und damit der Grundbelastung zuzurechnen ist.

6.3.1 Radionuklide natürlichen Ursprungs

Die Messungen der Konzentration radioaktiver Aerosole in der Luft liefern Werte mit einer geringen Streuung. Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Probeentnahmestelle Braunschweig, ergeben Werte, die für Be-7 in Höhenlagen unter 200 m zwischen $2,2E-03$ Bq/m³ und $3,0E-03$ Bq/m³ und für K-40 in Braunschweig bei $9,4E-06$ Bq/m³ liegen (entnommen aus dem Jahresbericht 2000 des BMU /BMU 00/).

Der einzige in den Jahren 1999 bis 2001 in der Umgebung des ERAM gemessene Wert von K-40 ist mit einer Messunsicherheit von 33% bei einem Messwert von $5,0E-05$ Bq/m³ angegeben. Die gegenüber einem Vergleichswert erhöhte K-40-Konzentration in Luft kann ihre Ursache in aerosolförmigen Staubaufwirbelungen von Halden des Salzbergbaus haben. Sie stellt zudem ein singuläres Ereignis dar.

Die am Standort gemessenen Werte in der Luft für Be-7 liegen zwar teilweise über den Vergleichswerten, deuten aber auf keine signifikante Überhöhung hin.

In Oberflächengewässern beträgt die Schwankungsbreite der natürlich vorkommenden K-40-Aktivität 0,04 bis 2 Bq/l /BMU 00/. Diese Aktivität kann als durchschnittliche Grundbelastung angesehen werden.

Die Streuung der Messwerte der Proben aus Oberflächengewässern am Standort des ERAM liegt mit Ausnahme der K-40-Konzentration an der Einleitungsstelle in den Salzbach innerhalb dieser Schwankungsbreite.

Die beobachtete Erhöhung der K-40-Konzentration an der Einleitungsstelle in den Salzbach ist auf gelöstes Salz zurückzuführen. Die Messwerte der Aller zeigen, dass das Verdünnungsvermögen der Aller ausreicht, das eingeleitete K-40 nach kurzer Fließstrecke auf die natürlich vorkommende Aktivitätskonzentration zu verdünnen.

Eine außergewöhnliche Belastung in Form der Konzentrationserhöhung natürlich vorkommender Nuklide geht daher von den Einleitungen nicht aus.

Die Ergebnisse der halbjährlichen Messungen für K-40 und Pb-210 in Bodenproben, welche als gemittelte Jahreswerte für den Zeitraum 1999 bis 2001 in Tabelle 10 aufgeführt sind, ergeben eine hohe räumliche und zeitliche Übereinstimmung untereinander und zeigen eine geringe Schwankungsbreite.

Untersuchungen in anderen Bereichen des Landes Sachsen-Anhalt /LUSA 94/ zeigen eine ähnliche Verteilung der K-40-Werte. In dem Bericht /BMU 00/ sind K-40-Werte für den Bundesdurchschnitt aufgeführt, welche für verschiedene Gesteins- und Bodenarten gewonnen wurden. Der Schwankungsbereich beträgt 100 bis 650 Bq/kg Trockenmasse (TM).

Diese Werte wurden für einen Vergleich herangezogen. Die in der Umgebung des ERAM für den Boden gemessenen Werte an K-40 liegen bis auf einen geringfügig höheren Wert am Referenzort der unabhängigen Messstelle im Jahre 2001 innerhalb der in den verschiedenen Gesteins- und Bodenarten vorkommenden Schwankungsbreite. Neben den Konzentrationen von K-40 sind noch Werte für Pb-210 aufgeführt. Dieses Nuklid ist ein Zerfallsprodukt der Zerfallsreihe des U-238. Ein Vorgänger des Pb-210 ist Rn-222.

Für das Land Sachsen-Anhalt wird im Umweltjahresbericht /BMU 91/ eine spezifische Ra-226-Konzentration im Boden von 17 bis 64 Bq/kg TM angegeben. Ra-226 zerfällt zu Rn-222, Folgeprodukte sind Pb-214, Bi-214 und Pb-210. Diese Zerfallsprodukte des natürlich im Boden vorkommenden Rn-222 sind Schwermetalle und verbleiben somit im Boden oder gelangen über den Boden in die Nahrungskette.

Die gemessene spezifische Aktivität von Pb-210 im Boden (Tabelle 10) liegt im Rahmen der Messwerte an anderen Standorten in Deutschland und zeigt keine Auffälligkeit. Mit Hilfe der Annahmen der SSK /SSK 92/ wurde die Produktionsrate der Aktivität von Po-210 aus Pb-210 konservativ mit einem Quotienten der beiden Nuklide von 1 abgeschätzt. Damit liegt die spezifische Aktivität von Po-210 ebenfalls zwischen 20 und etwa 50 Bq/kg TM.

Die Messungen des Betreibers des ERAM zeigen im Vergleich zu anderen Gebieten in Sachsen-Anhalt /LUSA 94/ eine erhöhte spezifische Aktivität von K-40 des Bewuchses. Diese kann auf aerosolförmige Staubaufwirbelungen von Halden des Salzbergbaus zurückzuführen sein. K-40 wird durch den Wind mechanisch abgetragen, mit der Luftströmung verfrachtet und anschließend teilweise wieder durch Fallout und Washout auf dem Boden abgeschieden. Darüber hinaus findet durch Niederschlag auch ein unmittelbarer Eintrag in das Oberflächenwasser und in das Grundwasser statt.

Die Werte des durch Höhenstrahlung ständig nachgebildeten Be-7 stimmen mit den Messwerten aus anderen Landesteilen überein.

Insgesamt zeigt sich bei den Messungen der Grundbelastung durch natürliche radioaktive Nuklide im Bewuchs eine durchschnittliche Belastung, dabei tritt ein erhöhter K-40-Wert gegenüber anderen Gegenden in Sachsen-Anhalt auf, der durch den Standort bedingt ist.

6.3.2 Radionuklide anthropogenen Ursprungs

Da zur Grundbelastung auch die anthropogenen radioaktiven Nuklide zählen, welche von Verursachern außerhalb des Geltungsbereiches des AtG /ATG 02/ emittiert werden, sind in der Tabelle 12 die spezifischen Aktivitäten von Sr-90, Cs-134 und Cs-137 im Boden und in Tabelle 4 die Cs-137-Belastung des Bewuchses aufgeführt.

Aus dem Verhältnis der Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137 kann der Zeitpunkt der Ablagerung abgeleitet und damit die Herkunft aus dem Tschernobyl-Ereignis belegt werden. Cs-134 war im Boden nur noch bis zum Jahr 1999 in Spuren nachzuweisen. Im Bewuchs konnte Cs-134 nicht mehr nachgewiesen werden; die Nachweisgrenze lag zwischen 0,2 und 0,4 Bq/kg TM. Dies ist eine Folge des weiteren Zerfalls und des Transfers in tiefere Bodenschichten. Werden Messwerte aus 1993 für Cs-137 zugrunde gelegt und ein acht Jahre dauernder Zerfall angenommen, so ergeben sich die in der Tabelle 14 berechneten Werte.

Die Zerfallsrechnung (Tabelle 14) zeigt im Vergleich zu den gemessenen Werten für den Boden vergleichbare Ergebnisse. Aus dem Abklingverhalten kann geschlossen werden, dass keine zusätzlichen Ablagerungen von Cäsium seit dem Tschernobyl-Ereignis hinzugekommen sind.

Die Belastung durch die Cäsium-Kontamination am Standort des ERAM zeigt keinen auffälligen Wert. Die gemessene Cäsium-Belastung ist dem Tschernobyl-Ereignis zuzuordnen.

Die Sr-90-Bodenkontaminationen stammen zum überwiegenden Teil aus den Freisetzungen der weltweiten oberirdischen Kernwaffenversuche des Zeitraumes 1945 bis 1980, wobei der Höhepunkt der Tests in den Jahren 1961 und 1962 lag.

Die angegebenen Messwerte für Sr-90 lagen für die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1991 entsprechend dem Jahresbericht 1991 des BMU /BMU 91/ zwischen 1,5 und 8,9 Bq/kg. Wird der Zerfall bis 2001 berücksichtigt, so liegen die gemessenen Sr-90 Werte innerhalb dieser Bandbreite und zeigen ebenfalls keine Auffälligkeit. Die am Standort gemessenen Sr-90-Kontaminationen des Bodens sind mit denen anderer Gegenden Deutschlands vergleichbar.

Auch die in der Umgebung des ERAM gemessene spezifische Aktivität von Pb-210 im Boden zeigt im Vergleich zu den anderen Regionen keine Auffälligkeiten. Da das Radionuklid Po-210 ein Folgeprodukt des Pb-210 ist, trifft diese Aussage auch für Po-210 zu.

6.3.3 Radionuklide, die sowohl natürlichen als auch künstlichen Ursprungs sind

H-3 (Tritium) und C-14 (Kohlenstoff-14) werden ebenso wie Be-7 (Beryllium-7) von der kosmischen Strahlung in der Atmosphäre erzeugt.

H-3 gelangt durch Aufnahme aus der feuchten Luft und den Niederschlägen unmittelbar oder über den Boden in die Pflanze.

Die Aufnahme von C-14 in die Pflanzen erfolgt bezogen auf den natürlichen Kohlenstoff in dem gleichen Verhältnis, wie es in der Luft am betrachteten Ort vorliegt.

Der größte Teil des heute in den Umweltmedien enthaltenen H-3 stammt auch unter Berücksichtigung des Zerfalls noch aus den oberirdischen Kernwaffentests /KFK 92/. Auch die Konzentration von C-14 in der Atmosphäre ist infolge der Kernwaffentests gegenüber dem kosmogenen Anteil angestiegen und enthält einen wesentlichen anthropogenen Anteil. Dieser anthropogene Anteil wird durch die Verbrennung C-14-armer fossiler Brennstoffe nur zu einem Teil kompensiert (sog. SUESS-Effekt).

Die in der Umgebung des ERAM von der unabhängigen Messstelle gemessenen H-3-Konzentrationen im Bewuchs betragen im Mittel ca. 1 Bq/kg TM.

Die gemessenen C-14-Konzentrationen im Bewuchs liegen zwischen 110 und 155 Bq/kg TM. Im Vergleich zu anderen Standorten in Deutschland ergeben sich keine signifikanten Auffälligkeiten.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der vorliegende Bericht enthält die radiologischen Gegebenheiten am Standort des ERAM. Er wurde als Unterlage für das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung erstellt.

Eine geänderte Darstellung des Sachverhaltes ist erforderlich, da die Maßnahmen zur Stilllegung nun als wesentliche Änderung zur Dauerbetriebsgenehmigung des ERAM /ERAM 86/ beantragt werden.

Die Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem Schacht Bartensleben wurde den jährlichen Berechnungen für den Parlamentsbericht /BMU 90-04/ entnommen. Die Referenzperson mit der höchsten potentiellen Strahlenexposition ist das Kleinkind (nach § 45 StrlSchV alt /STR 89/) bzw. der Säugling (≤ 1 Jahr) (nach § 47 StrlSchV /STR 01/). Die höchste im Verlauf der Jahre 1991 bis 2004 ermittelte Strahlenexposition trat im Jahr 1992 auf. Sie beträgt $5,8 \mu\text{Sv/a}$ effektiv und $65 \mu\text{Sv/a}$ für die Lunge des Kleinkindes. Dies entspricht einer Ausschöpfung der Grenzwerte des § 47 StrlSchV von 1,9% (effektiv) und 7,2% (Lunge, als am stärksten belastetes Organ).

Für die radiologische Standortbeschreibung in der Umgebung des Schachtes Marie wurde die Strahlenexposition in der Umgebung unter Berücksichtigung der betrieblichen Ableitungen flüchtiger radioaktiver Stoffe für den bisherigen Betriebszeitraum des ERAM seit 1986 retrospektiv ermittelt. Die aktuellen Ableitungsbedingungen vor Errichtung eines neuen Abwetterbauwerks (diffuse und bodennahe Ableitung) am Schacht Marie wurden durch Verwendung von mit AUSTAL2000 ermittelten Langzeitausbreitungsfaktoren berücksichtigt. Diese Ausbreitungsfaktoren tragen auch der aktuellen Landnutzung (Ingestionspfad) Rechnung.

Die Dosisberechnung erfolgte auf der Grundlage des Entwurfs der AVV /AVV 2005/ zu § 47 StrlSchV von Mai 2005. Der Aufbau und Zerfall von Folgeprodukten des Rn-222 wurde betrachtet. Radiologisch relevant ist die Bildung von Po-210 durch den Zerfall des Pb-210. Die Referenzperson mit der höchsten effektiven Dosis ist der Säugling (≤ 1 Jahr). Aus der pfadspezifischen Darstellung in Tabelle 7 wird deutlich, dass die effektive Dosis zu etwa 70% durch die Ingestion und zu etwa 30% durch die Inhalation bestimmt wird. Die effektive Dosis für diese Altersgruppe beträgt insgesamt $45,9 \mu\text{Sv/a}$. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV /STR 01/ für die effektive Dosis von 15%. Die höchste Organdosis ergibt sich in allen Altersgruppen für die Lunge. Die höchste Lungendosis ist in der Altersgruppe > 2 bis ≤ 7 Jahre mit $460,9 \mu\text{Sv/a}$ zu verzeichnen. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV für die Lungendosis von 51%. Die Lun-

gendosis wird maßgeblich von den kurzlebigen Folgeprodukten des Rn-222 bestimmt, für die abdeckend ein Gleichgewichtsfaktor von $F = 1$ angenommen wurde. Realistisch wird F zwischen 0,3 und 0,7 liegen und die potentielle Strahlenexposition wird - proportional dazu - geringer sein.

Eine Vorbelastung durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus anderen Anlagen ist am Standort des ERAM nicht gegeben.

Die Überlagerung der Strahlenexposition aus den beiden rund 1700 m voneinander entfernten Schächten der Doppelschachanlage Bartensleben und Marie des ERAM wurde betrachtet. Die effektive Dosis aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe des Schachtes Marie an der ungünstigsten Einwirkungsstelle am Schacht Bartensleben beträgt für die am höchsten belastete Referenzperson (≤ 1 Jahr) mit Berücksichtigung der Tochternuklide $0,7 \mu\text{Sv/a}$. Zusammen mit dem Beitrag aus dem Schacht Bartensleben beträgt die effektive Dosis am Standort Bartensleben für die am höchsten belastete Referenzperson (≤ 1 Jahr) insgesamt rund $6,5 \mu\text{Sv/a}$. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV für die effektive Dosis von 2%. Die höchste Organdosis durch die Ableitungen aus dem Schacht Marie am Standort Bartensleben ergibt sich - auch im Hinblick auf den Ausschöpfungsgrad der Organgrenzwerte des § 47 StrlSchV - für die Lunge des Kleinkindes. Es wird davon ausgegangen, dass das Kleinkind nach der alten Strahlenschutzverordnung /STR 89/ vergleichbar ist mit der Altersgruppe > 1 bis ≤ 2 Jahre der neuen Strahlenschutzverordnung /STR 01/. Die Lungendosis dieser Altersgruppe beträgt $1,8 \mu\text{Sv/a}$. Zusammen mit dem Beitrag aus dem Schacht Bartensleben von $65 \mu\text{Sv/a}$ beträgt die Lungendosis am Standort Bartensleben für die am höchsten belastete Referenzperson (> 1 bis ≤ 2 Jahre) insgesamt rund $67 \mu\text{Sv/a}$. Dies entspricht einer Ausschöpfung des Grenzwertes des § 47 StrlSchV für die Lungendosis von 7%.

Die Strahlenexposition am Standort Bartensleben, die aus den gemessenen Jahresableitungen des Schachtes Bartensleben resultiert, liegt etwa eine Größenordnung niedriger als die Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus dem Schacht Marie am Standort Marie. An der ungünstigsten Einwirkungsstelle in der Umgebung der Schachanlage Marie ist daher kein signifikanter Beitrag durch die Ableitungen aus dem Schacht Bartensleben zu erwarten. Auch ist an anderen Orten keine Überlagerung möglich, die zu höheren radiologischen Auswirkungen führt.

Eine Vorbelastung durch Ableitungen mit dem Abwasser aus anderen Anlagen wird nicht ermittelt, da für den Stilllegungsbetrieb keine Einleitungen vorgesehen sind. Die bisherigen jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser am Standort Bartensleben wurden den Parlamentsberichten des BMU entnommen und tabellarisch zusammengestellt. Die Strahlenexposition durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser beträgt nach den Angaben in den Parlamentsberichten in allen Jahren weniger als $0,1 \mu\text{Sv/a}$.

Für die Umgebung des Standortes ERAM wurde die radioaktive Grundbelastung der Umweltmedien Luft, Oberflächengewässer, Boden und Bewuchs anhand von Messungen des BMU, der unabhängigen Messstelle des ERAM und der Betreibermessungen des ERAM ermittelt und bewertet.

Die Grundbelastung am Standort ERAM setzt sich zusammen aus

- der Strahlenexposition infolge natürlicher radioaktiver Stoffe (u.a. H-3, Be-7, C-14, K-40, Pb-210, Po-210)
- der Strahlenexposition infolge künstlicher radioaktiver Stoffe (Sr-90, Cs-134, Cs-137)
- der Strahlenexposition infolge anthropogen in die Atmosphäre verbrachten natürlichen radioaktiven Stoffen (u.a. H-3, C-14, Pb-210, Po-210) außerhalb des Geltungsbereichs des AtG

Bei Radionukliden natürlichen Ursprungs ist eine erhöhte K-40 Belastung insbesondere bei Messungen des Bewuchses festzustellen. Diese rührt von aerosolförmigen Staubaufwirbelungen der Halden des Salzbergbaus her.

Neben natürlich vorkommenden Radionukliden wurden geringe Aktivitäten von Sr-90, Cs-134 und Cs-137 in Boden und von Cs-137 im Bewuchs festgestellt, die nachweislich auf oberirdische Kernwaffenversuche und den Unfall in Tschernobyl 1986 zurückzuführen sind.

Diese Quellen liegen außerhalb des Geltungsbereiches des Atomgesetzes /ATG 02/, so dass die daraus resultierenden Immissionen der Grundbelastung zuzuordnen sind. Hinsichtlich des Folgeprodukts Pb-210 aus der natürlichen Uran/Radium-Reihe geben sich keine Auffälligkeiten. Dies gilt dann nach theoretischen Analysen auch für das Folgeprodukt Po-210.

Die gemessenen spezifischen Anteile von H-3 und C-14 im Bewuchs liegen im Bereich der durchschnittlichen Belastung in Deutschland und sind sowohl auf kosmische Ursachen als auch auf die Freisetzungen bei oberirdischen Kernwaffentests zurückzuführen.

Insgesamt ist für den Standort des ERAM keine außergewöhnliche Grundbelastung infolge der genannten Radionuklide festzustellen.

8 Tabellen

- Tabelle 1: Jahresableitungen der für die potentielle Strahlenexposition maßgeblichen Nuklide mit den Abwettern aus dem Schacht Bartensleben
- Tabelle 2: Strahlenexposition durch die Ableitungen des Schachtes Bartensleben in $\mu\text{Sv/a}$; effektive Dosis und Dosis für das am stärksten belastete Organ
- Tabelle 3: Langzeitausbreitungsfaktoren für den Schacht Marie vor Errichtung des neuen Abwetterbauwerks
- Tabelle 4: Quellterm für die Ableitungen mit den Abwettern aus Schacht Marie
- Tabelle 5: Dosiskoeffizienten für Rn-222, Inhalation
- Tabelle 6: Potentielle Strahlenexposition durch Ableitungen aus dem Schacht Marie für alle Altersgruppen und Organe in $\mu\text{Sv/a}$
- Tabelle 7: Potentielle Strahlenexposition durch Ableitungen aus dem Schacht Marie für die Altersgruppe ≤ 1 Jahr (mit Muttermilchernährung) expositionspfadspezifisch in $\mu\text{Sv/a}$; prozentuale Anteile der Summendosen der Organe an den Grenzwerten
- Tabelle 8: Potentielle Strahlenexposition durch Ableitungen aus dem Schacht Marie für alle Altersgruppen nuklidspezifisch in $\mu\text{Sv/a}$
- Tabelle 9: Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Schacht Bartensleben
- Tabelle 10: ERAM, Natürliche Radionuklide in Bodenproben, 1999 bis 2001
Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle
- Tabelle 11: ERAM, Natürliche Radionuklide im Bewuchs (Gras), 1999 bis 2001
Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle

Tabelle 12: ERAM, Anthropogene Radionuklide im Boden, 1999 bis 2001
Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle

Tabelle 13: ERAM, Anthropogene Radionuklide im Bewuchs (Gras), 1999 bis 2001
Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle

Tabelle 14: ERAM, Berechnete Cs-137-Aktivitätskonzentration im Boden nach acht Jahren
Zerfall

Tabelle 15: ERAM, Messwerte von H-3 und C-14 im Bewuchs (Gras), 1999 bis 2001
Messergebnisse der unabhängigen Messstelle

Tabelle 1: Jahresableitungen der für die potentielle Strahlenexposition maßgeblichen Nuklide mit den Abwettern aus dem Schacht Bartensleben

Jahr	Ableitung Pb-210* (Bq)	Ableitung H-3 (Bq)	Ableitung C-14 (Bq)	Ableitung Rn-222** (Bq)
1990	***	1,8E11	4,4E9	4,4E10
1991	***	1,0E11	1,4E9	2,0E10
1992	3,5E06	4,8E11	2,1E9	3,0E10
1993	3,6E06	1,4E10	1,5E9	1,7E10
1994	5,6E06	1,2E11	1,5E9	3,3E10
1995	1,6E06	4,8E11	2,7E9	2,8E10
1996	1,7E06	3,3E11	6,4E8	1,6E10
1997	1,2E06	2,8E10	1,4E9	1,2E10
1998	6,9E05	2,2 E10	1,3E9	1,1E10
1999	1,1E06	2,8 E10	2,0E9	0,6E10
2000	1,6E06	2,8 E10	2,2E9	0,9E10
2001	1,6E06	4,9 E10	1,7E9	1,2E10
2002	1,4E06	3,2 E10	9,3E8	0,9E10
2003	1,5E06	2,4 E10	8,2E8	0,9E10
2004	9,4E05	1,4 E10	7,3E8	0,7E10

- * einschließlich des Pb-210 natürlicher Herkunft, auch aus Frischwettern
 ** einschließlich des Radons natürlicher Herkunft (gleichgewichtsäquivalente Rn-222-Aktivität), auch aus Frischwettern
 *** beim Betreiber bis April 1991 keine Messwerte vorhanden

Tabelle 2: Strahlenexposition durch die Ableitungen des Schachtes Bartensleben in $\mu\text{Sv/a}$; effektive Dosis und Dosis für das am stärksten belastete Organ

Jahr	Erwachsener (> 17 a)			Kleinkind (> 1 bis \leq 2a)			Säugling (\leq 1 a) **	
	effektiv	RKM	Lunge	effektiv	RKM	Lunge	effektiv	RKM
1991	2,3*		1,9*	3,6*		37*		
1992	3,4*		33*	5,8*		65*		
1993	1,2*		6,9*	2,0*		14*		
1994	0,8*		5,0*	1,4*		9,9*		
1995	0,8*		4,4*	1,3*		8,5*		
1996	0,5*		2,5*	0,9*		4,8*		
1997	0,4*		1,8*	0,6*		3,5*		
1998	0,3*		1,5*	0,5*		3,0*		
1999	0,4*		0,6*	0,6*		1,1*		
2000	0,4*		0,6*	0,7*		1,2*		
2001	0,4*		0,7*	0,7*		1,3*		
2002	0,2	0,4		0,6	1,7		1,9	5,9
2003	0,2	0,4		0,6	1,7		2,0	6,1
2004	0,2	0,3		0,4	1,1		1,2	3,7

* gem. StrlSchV alter Fassung /STR 89/

** mit Muttermilchernährung

RKM Rotes Knochenmark

Tabelle 3: Langzeitausbreitungsfaktoren für den Schacht Marie vor Errichtung des neuen Abwetterbauwerks

Expositionspfad / Lebensmittelgruppe	Langzeitausbreitungsfaktor bodennahe Konzentration in s/m ³		Washoutfaktor in 1/m ²		Langzeitausbrei- tungsfaktor für Gammasubmersion in s/m ²
	Gesamtjahr	Sommer	Gesamtjahr	Sommer	
Milch, Fleisch	1,8E-05	1,8E-05	5,5E-10	5,1E-10	
Getreide	2,5E-05	2,5E-05	6,8E-10	5,8E-10	
übriges Gemüse	7,3E-05	7,3E-05	1,3E-09	1,4E-09	
Aufenthalt	1,7E-04		1,8E-09		2,0E-04

Tabelle 4: Quellterm für die Ableitungen mit den Abwettern aus Schacht Marie

Radionuklid	Ableitung über Schacht Marie in Bq/a
H-3 als HTO	2,5E11
C-14 als CO ₂	7,5E09
Co-60	1,8E04
Sr-90	2,7E04
Cs-137	4,5E04
Rn-222 (F=1)	4,0E10
Pb-210	2,9E06
Po-210	1,5E04

Tabelle 5: Dosiskoeffizienten für Rn-222, Inhalation

Altersgruppe	Effektive Dosiskoeffizienten /EUR96, BMU99/ in Sv/Bq	Dosiskoeffizienten für die Tracheobronchialregion in Sv/Bq
> 17 a	6,5E-09	1,0E-07
> 12 bis ≤ 17 a	7,4E-09	1,6E-07
> 7 bis ≤ 12 a	9,4E-09	2,7E-07
> 2 bis ≤ 7 a	1,7E-08	6,2E-07
> 1 bis ≤ 2 a	2,8E-08	7,4E-07
≤ 1a	4,9E-08	1,4E-06

Tabelle 6: Potentielle Strahlenexposition durch Ableitungen aus dem Schacht Marie für alle Altersgruppen und Organe in $\mu\text{Sv/a}$

Altersgruppe	≤ 1 a *)	> 1 bis ≤ 2 a	> 2 bis ≤ 7 a	> 7 bis ≤ 12 a	> 12 bis ≤ 17 a	> 17 a
Nuklide						
ET Luftwege	18,0	18,6	16,3	16,0	11,9	10,9
Lunge	364,4	341,8	460,9	370,8	286,6	213,1
Blase	15,5	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Brust	15,5	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Gehirn	15,4	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Haut	15,4	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Hoden	15,4	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Knochenoberfläche	210,5	112,4	130,0	197,6	299,9	97,0
Leber	101,1	58,4	48,4	46,9	34,3	14,7
Speiseröhre	15,4	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Magen	26,2	18,2	15,7	13,3	9,7	7,9
Dünndarm	17,4	15,6	13,1	12,0	8,8	7,2
Oberer Dickdarm	17,7	16,3	14,0	12,7	9,1	7,6
Unterer Dickdarm	20,1	18,5	16,1	14,2	10,3	8,6
Dickdarm	18,8	17,7	14,5	13,4	9,5	8,1
Milz	178,3	96,6	80,7	71,8	51,6	18,6
Muskel	15,4	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Nebennieren	15,5	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Nieren	164,3	90,7	76,4	75,9	60,2	22,3
Ovarien	15,5	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Pankreas	15,5	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Rotes Knochenmark	86,1	49,9	40,4	37,9	33,0	16,8
Schilddrüse	15,4	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Thymus	15,4	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Uterus	15,5	14,8	12,9	11,8	8,6	7,2
Effektiv	45,9	37,3	34,6	33,8	30,8	24,8

*) mit Muttermilchernährung

Tabelle 7: Potentielle Strahlenexposition durch Ableitungen aus dem Schacht Marie für die Altersgruppe ≤ 1 Jahr (mit Muttermilchernährung) expositionspfad-spezifisch in $\mu\text{Sv/a}$; prozentuale Anteile der Summendosen der Organe an den Grenzwerten

Expositionspfad	B-Sub.	G-Sub.	G-Bod.	Inhal.	Ext.+Inh.	Ingestion	Summe	Grenzwert	%-Anteil v. Grenzwert
Organe									
ET Luftwege	0	3,5E-05	8,8E-03	2,6E+00	2,6E+00	15,4	18,0	900	2,0
Lunge	0	3,0E-05	8,2E-03	3,5E+02	3,5E+02	15,4	364,4	900	40,5
Blase	0	2,6E-05	7,5E-03	2,8E-03	1,0E-02	15,5	15,5	900	1,7
Brust	0	3,4E-05	9,7E-03	2,8E-03	1,3E-02	15,4	15,5	900	1,7
Gehirn	0	3,6E-05	7,9E-03	2,8E-03	1,1E-02	15,4	15,4	900	1,7
Haut	1,38E-03	3,7E-05	8,7E-03	2,8E-03	1,3E-02	15,4	15,4	1800	0,8
Hoden	0	2,8E-05	9,1E-03	2,8E-03	1,2E-02	15,4	15,4	300	5,1
Knochenoberfläche	0	3,9E-05	9,6E-03	3,3E-02	4,3E-02	210,4	210,5	1800	11,5
Leber	0	2,7E-05	7,5E-03	1,8E-02	2,5E-02	101,1	101,1	900	11,2
Speiseröhre	0	2,5E-05	6,8E-03	2,8E-03	9,6E-03	15,4	15,4	900	1,7
Magen	0	2,7E-05	7,5E-03	4,5E-02	5,2E-02	26,2	26,2	900	2,3
Dünndarm	0	2,5E-05	7,0E-03	1,0E-01	1,1E-01	17,3	17,4	900	1,7
Oberer Dickdarm	0	2,6E-05	7,2E-03	6,0E-01	6,0E-01	17,1	17,7	900	1,9
Unterer Dickdarm	0	2,5E-05	7,1E-03	1,6E+00	1,7E+00	18,4	20,1	900	2,2
Dickdarm	0	2,6E-05	7,2E-03	1,1E+00	1,1E+00	17,8	18,8	900	2,0
Milz	0	2,8E-05	7,5E-03	3,1E-02	3,9E-02	178,3	178,3	900	19,8
Muskel	0	2,7E-05	7,5E-03	2,8E-03	1,0E-02	15,4	15,4	900	1,7
Nebennieren	0	2,6E-05	7,0E-03	2,8E-03	9,8E-03	15,4	15,5	900	1,7
Nieren	0	2,7E-05	7,6E-03	2,8E-02	3,6E-02	164,2	164,3	900	18,0
Ovarien	0	2,4E-05	7,1E-03	2,8E-03	9,9E-03	15,5	15,5	300	5,1
Pankreas	0	2,5E-05	6,8E-03	2,8E-03	9,6E-03	15,5	15,5	900	1,7
Rotes Knochenmark	0	2,8E-05	7,2E-03	1,4E-02	2,2E-02	86,1	86,1	300	28,5
Schilddrüse	0	3,5E-05	8,8E-03	2,8E-03	1,2E-02	15,4	15,4	900	1,7
Thymus	0	3,0E-05	7,9E-03	2,8E-03	1,1E-02	15,4	15,4	900	1,7
Uterus	0	2,4E-05	6,6E-03	2,8E-03	9,4E-03	15,4	15,5	300	5,1
Effektiv	1,4E-05	2,8E-05	8,0E-03	13,8	13,8	32,1	45,9	300	15,0

Tabelle 8: Potentielle Strahlenexposition durch Ableitungen aus dem Schacht Marie für alle Altersgruppen nuklidspezifisch in $\mu\text{Sv/a}$; effektive Dosis

Altersgruppe	≤ 1 a *)	> 1 bis ≤ 2 a	> 2 bis ≤ 7 a	> 7 bis ≤ 12 a	> 12 bis ≤ 17 a	> 17 a
Nuklide						
Co-60	2,58E-03	2,27E-03	2,01E-03	1,79E-03	1,59E-03	1,33E-03
Sr-90	8,20E-03	3,92E-03	3,57E-03	5,17E-03	6,90E-03	2,32E-03
Cs-137	6,16E-03	5,38E-03	4,97E-03	4,88E-03	4,71E-03	4,34E-03
Pb-210 direkt	1,86E+01	9,88E+00	8,71E+00	8,72E+00	8,81E+00	3,42E+00
Po-210 direkt	3,44E-01	8,43E-02	6,17E-02	4,33E-02	2,85E-02	2,06E-02
Po-210 aus Pb-210	1,45E+00	3,72E-01	2,62E-01	1,78E-01	1,10E-01	7,24E-02
Rn-222	1,27E+01	1,14E+01	1,16E+01	1,15E+01	1,16E+01	1,15E+01
H-3	3,21E+00	3,51E+00	3,46E+00	3,60E+00	3,26E+00	3,33E+00
C-14	9,63E+00	1,20E+01	1,05E+01	9,68E+00	7,00E+00	6,45E+00
Summe	45,9	37,3	34,6	33,7	30,8	24,8
<i>davon Beitrag der Folgeprodukte</i>	1,45	0,37	0,26	0,18	0,11	0,07

*) mit Muttermilchernährung

Tabelle 9: Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Schacht Bartensleben

Jahr	Jahresableitung in Bq	
	Tritium (HTO)	Nuklidgemisch (außer Tritium)
1991	3,0E06	2,5E05
1992	9,2E05	7,4E04
1993	keine Ableitung	keine Ableitung
1994	keine Ableitung	keine Ableitung
1995	2,0E05	9,1E03
1996	9,8E05	8,6E03
1997	9,3E04	2,5E04
1998	2,3E05	6,7E03
1999	2,7E05	1,3E04
2000	9,0E03	3,2E04
2001	n.n.	7,1E02
2002	n.n.	6,8E03
2003	6,3E04	1,2E02
2004	1,3E04	9,2E02

n.n. = nicht nachgewiesen

Tabelle 10: ERAM, Natürliche Radionuklide in Bodenproben, 1999 bis 2001 Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle

IM: Immissionsmessstelle, RM: Referenzmessstelle

		Jahr	1999	2000	2001
Messort	Messstelle	Nuklid	in Bq/kg TM		
IM	Betreiber	K-40	440	480	405
RM	Betreiber	K-40	525	535	530
IM	unabhängige	K-40	450	480	390
RM	unabhängige	K-40	480	425	670
IM	Betreiber	Pb-210	30,5	33,5	28
RM	Betreiber	Pb-210	43	39	44
IM	unabhängige	Pb-210	20,0	23,5	23,5
RM	unabhängige	Pb-210	26,5	23,5	29,5

Tabelle 11: ERAM, Natürliche Radionuklide im Bewuchs (Gras), 1999 bis 2001, Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle

		Jahr	1999	2000	2001
Messort	Messstelle	Nuklid	in Bq/kg TM		
IM	Betreiber	Be-7	91,5	126	126
RM	Betreiber	Be-7	141	140,5	155
IM	unabhängige	Be-7	127	90,5	115
RM	unabhängige	Be-7	133,5	113	145
IM	Betreiber	K-40	705	780	830
RM	Betreiber	K-40	1010	990	955
IM	unabhängige	K-40	365	560	1040
RM	unabhängige	K-40	835	830	695
IM	unabhängige	Pb-210	16,5	18,5	18,5
RM	unabhängige	Pb-210	17,8	14,7	21,0

Tabelle 12: ERAM, Anthropogene Radionuklide im Boden, 1999 bis 2001
Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle

		Jahr	1999	2000	2001
Messort	Messstelle	Nuklid	in Bq/kg TM		
IM	Betreiber	Sr-90	0,48 (1.Hj) NWG (2.Hj)	1,03	0,31
RM	Betreiber	Sr-90	0,66	0,67	0,51
IM	Betreiber	Cs-134	0,062 (1.Hj) NWG (2.Hj)	NWG	NWG
RM	Betreiber	Cs-134	0,099	NWG	NWG
IM	unabhängige	Cs-134	NWG	NWG	NWG
RM	unabhängige	Cs-134	NWG *) 0,18 **)	NWG	NWG
IM	Betreiber	Cs-137	6,25	6,95	6,25
RM	Betreiber	Cs-137	13,5	11,9	12,15
IM	unabhängige	Cs-137	4,3	4,2	5,9
RM	unabhängige	Cs-137	12,2	15,5	12,0

*) 1. Messzeitpunkt **) 2. Messzeitpunkt

Tabelle 13: ERAM, Anthropogene Radionuklide im Bewuchs (Gras), 1999 bis 2001, Messergebnisse des Betreibers und der unabhängigen Messstelle

		Jahr	1999	2000	2001
Messort	Messstelle	Nuklid	in Bq/kg TM		
IM	Betreiber	Cs-137	NWG (1.Hj) *) 0,19 (2.Hj) *)	NWG	NWG
RM	Betreiber	Cs-137	0,83	0,64	1,21
IM	unabhängige	Cs-137	3,7 (1.Hj) NWG (2.Hj)	NWG	NWG
RM	unabhängige	Cs-137	7,4 (1.Hj) NWG (2.Hj)	NWG	NWG

*) Hj: Halbjahr

Tabelle 14: ERAM, Berechnete Cs-137-Aktivitätskonzentration im Boden nach acht Jahren Zerfall

Ort/ Region	Mittelwert aus Messungen 1993 in Bq/kg TM	Berechnet nach acht Jahren Zerfall in Bq/kg TM
ERAM	6,1	5,1
Sachsen-Anhalt	16,2	13,5

Tabelle 15: ERAM, Messwerte von H-3 und C-14 im Bewuchs (Gras), 1999 bis 2001, Messergebnisse der unabhängigen Messstelle

		Jahr	1999	2000	2001
Messort	Messstelle	Nuklid	in Bq/kg TM		
IM	unabhängige	H-3	0,85	0,86	1,51
RM	unabhängige	H-3	1,17	1,35	0,70
IM	unabhängige	C-14	115	110	155
RM	unabhängige	C-14	110	125,5	145

9 Unterlagen

- /ATG 02/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – (AtG))
Bekanntmachung der Neufassung des Atomgesetzes vom Juli 1985, zuletzt geändert am 12. August 2005 (BGBl. I S.2365, ber. S. 2976)
- /AVV 05/ Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV:
Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen
Stand 13.5.2005
- /BANZ 01/ Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition vom 23. Juli 2001
(BAntz Nr. 160a und 160b vom 28.08.2001)
- /BFS 05/ Bundesamt für Strahlenschutz
Vorgaben für die Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition in der Umgebung von Schacht Marie im bestimmungsgemäßen Betrieb des ERAM nach Errichtung eines neuen Abwetterbauwerks
Salzgitter, den 5.7.2005
- /BMU 90-04/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
der Berichtsjahre 1990 bis 2004
- /BMU 91/ Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 1991
- /BMU 99/ Der Bundesminister für Umwelt und Reaktorsicherheit
Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau: Teil Radon)
20.07.1999
- /BMU 00/ Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 2000
- /BS 04/ Brenk Systemplanung GmbH
Programmbeschreibung zum AVV-Programm BSAVVL
Dosisberechnungen gemäß AVV zum § 47 StrlSchV (neu)
(gemäß Entwurf des BfS vom 10. Januar 2001) - Luftpfad -
Aachen, Februar 2002
Version 2.2 von März 2004
- /DBE 90-04/ DBE
Jahresberichte Emissionsüberwachung der Jahre 1990 bis 2004
- /DBE 99/ DBE
Jahresbericht Immissionsüberwachung 1999
Stand: 28.02.2000

- /DBE 00/ DBE
Jahresbericht Immissionsüberwachung 2000
Stand: 14.03.01
- /DBE 01/ DBE
Jahresbericht Immissionsüberwachung 2001
Stand: 12.03.02
- /ERAM 86/ Dauerbetriebsgenehmigung des ERAM (DBG)
vom 22.04.1986 einschließlich genehmigter Änderungen
- /EUR 96/ EURATOM des Rates
Richtlinie 96/29/EURATOM DES RATES (Grundnormen) zur Festlegung der
grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Arbeitskräfte und der
Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen
vom 13. Mai 1996
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 159/1
- /GRS 04/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)
ERAM, Potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung der Schachanlage
Marie während des Offenhaltungsbetriebs unter Berücksichtigung der aktuel-
len Landnutzung
Köln, 24.11.2004
- /GRS 05/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)
Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition in der Umgebung von Schacht
Marie im bestimmungsgemäßen Betrieb des ERAM nach Errichtung eines
neuen Abwetterbauwerks
Köln, 24.08.2005
- /ICRP 81/ International Commission on Radiological Protection
Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers
ICRP Publication 32
Pergamon Press Oxford New York Frankfurt 1981
- /KfK 92/ Kernforschungszentrum Karlsruhe
Tritium, Bericht KfK 5055
Karlsruhe, Juli 1992
- /LUSA 94/ Schreiben des Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
2.4.1.-40321 Herrn Gragert ,
20.09.1994
- /LUSA 00/ Landesamt für Umweltschutz des Landes Sachsen-Anhalt
Abteilung Umweltplanung, Umweltanalytik
Jahresbericht der unabhängigen Messstelle Umgebungsüberwachung des
Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben 1999
Halle, 03.02.2000

- /LUSA 01/ Landesamt für Umweltschutz des Landes Sachsen-Anhalt
Abteilung Umweltplanung, Umweltanalytik
Jahresbericht der unabhängigen Messstelle Umgebungsüberwachung des
Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben 2000
Halle, 24.01.2001
- /LUSA 02/ Landesamt für Gesundheits-, Umwelt- und Verbraucherschutz
des Landes Sachsen-Anhalt, Dezernat 53
Jahresbericht der unabhängigen Messstelle Umgebungsüberwachung des
Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben 2001
Halle, 11.02.2002
- /REI 05/ Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anla-
gen (REI) vom 07.12.2005, GMBI 2006 Nr.14/17 S. 254 ff
- /SSK 92/ Veröffentlichung der Strahlenschutzkommission, Band 17
Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der Strah-
lenexposition bei Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum
Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV, 1992
- /STR 89/ Verordnung über den Schutz durch ionisierende Strahlen
Fassung vom 30. Juni 1989, zuletzt geändert am 18. Aug. 1997
- /STR 01/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen
(Strahlenschutzverordnung StrlSchV)
vom 20. Juli 2001 (BGBl I 2001, S. 1714), berichtigt BGBl I 2002, S. 1459
zuletzt geändert am 1. September 2005 (BGBl I 2005, S. 2618)
- /VDI 85/ Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
Richtlinie VDI 3782, Blatt 3, Juni 1985
Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre,
Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung