



# **Errichtung und Betrieb des Endlagers Konrad, Phase 2 der ÜSiKo – Störfallplanungswerte**

24.10.2024



1. Einführung
2. Einzelschritte zur Berechnung
3. Stand von Wissenschaft und Technik
4. Anwendung des Regelwerks
5. Erläuterung der Berechnung im Einzelnen
6. Berechnungsergebnisse
7. Zusammenfassung und Einordnung



# Einführung

## Vorstellung des Auftragnehmers

---

### Gremienarbeit national

- Fachvereinigung Auslandsbergbau (FAB)
- Vereinigung Rohstoffe und Bergbau e.V.
- DIN Ausschuss NMP 062-07-46
- Strahlenschutzkommission (SSK)
- Entsorgungskommission (ESK)

### Gremienarbeit international

- Europäische Kommission
- IAEA
- OECD/NEA

### Betriebsstätten

- Aachen (Firmensitz)
- Andernach
- Bruchsal
- Hamburg

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo)

## Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“

- Feststellung, dass Änderungen im Stand von W & T, insbesondere bezüglich Berechnungsgrundlagen vorliegen, als „Delta“ ( $\Delta$ ) formuliert
  - $\Delta$  34: Änderungen in den Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition, insbesondere:
    - Erweiterung auf 6 Altersgruppen
    - Einbeziehung des Expositionspfades „Ingestion von Muttermilch“
  - $\Delta$  35: Geringfügige Anpassung der als Bewertungsmaßstab heranzuziehenden Störfallplanungswerte

Untersucht wird, ob sich die "Sicherheitsrelevanz" der Deltas bestätigt oder ausgeschlossen werden kann

Wenn die Sicherheitsrelevanz ausgeschlossen werden kann, dann ist das Delta geschlossen

Soweit kein Ausschluss der Sicherheitsrelevanz möglich ist, werden Maßnahmen zur Schließung des Deltas empfohlen

Aufgabe:

**Neuberechnung der Auswirkungen auf die Bevölkerung aufgrund geänderter Berechnungsgrundlagen (für Störfallplanungswerte)**

Berücksichtigung des Stands von Wissenschaft und Technik – aktuelles Regelwerk

## Ergebnis

Die Sicherheitsrelevanz von  $\Delta 34$  und  $\Delta 35$  kann (außer für Po-210) explizit durch die Berechnungsergebnisse ausgeschlossen werden.

Für Po-210 ergibt sich eine Empfehlung, mit der die Sicherheitsrelevanz von  $\Delta 34$  und  $\Delta 35$  im Ergebnis ausgeschlossen werden kann.

Auswahl der zu untersuchenden Störfallszenarien

Berechnung der potentiellen Freisetzung radioaktiver Stoffe

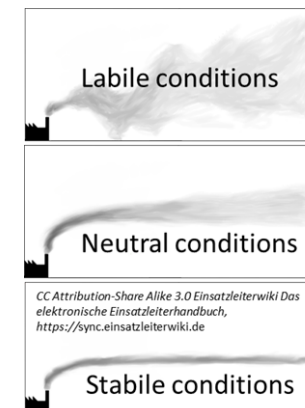
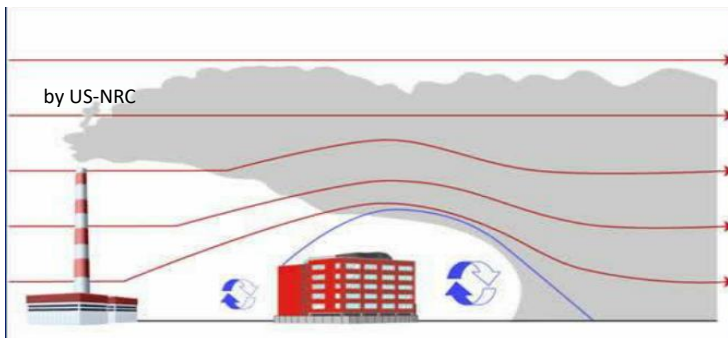
Quellterm

## **Nicht Teil der Betrachtungen hier**

wurde aus dem Unterlagen [GRS 90] zum Planfeststellungsbeschluss (PFB) übernommen

## Ausbreitungsberechnung

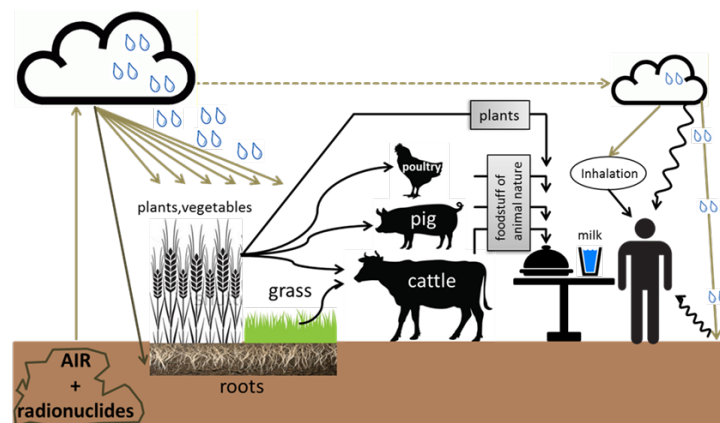
- Berechnung des advektiven und dispersiven Transports der freigesetzten Stoffe in der Atmosphäre
- Berechnung der Aktivitätskonzentration der radioaktiven Stoffe an Orten, an denen sich potentiell betroffene Personen aufhalten können oder Nutzpflanzen betroffen sein können
- Berechnung der nassen und trockenen Deposition an Orten, die für potentiell betroffene Personen oder Nutzpflanzen relevant sein können





## Dosisberechnung

- Ermittlung von repräsentativen Personen und deren Lebensgewohnheiten
- Ermittlung der zu berücksichtigenden Expositionspfade
- Erstellung und Parametrisierung eines radioökologischen Modells zur Ermittlung der Aktivitätsflüsse
- Ermittlung der jeweiligen Effektiv- und Organdosen für die einzelnen Expositionspfade

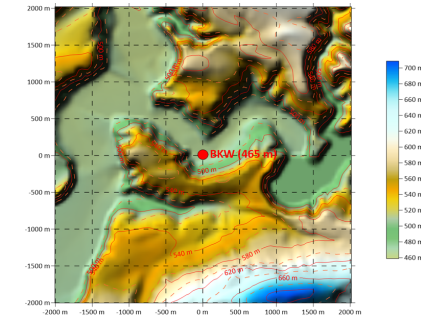
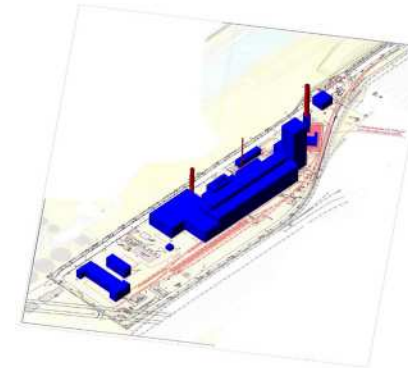


## Berechnung:

- Advektiver und dispersiver Transports der freigesetzten Stoffe in der Atmosphäre
- Nasse und trockene Dispersion

## Modell

- Lagrange'sches Partikelmodell
  - Vorgesaltetes diagnostisches Windfeldmodell
  - Berücksichtigung des Gebäudeeinflusses durch explizite Strömungshindernisse
  - Berücksichtigung des Geländeeinflusses durch Modellierung der Schichtdicke der Mischungsschicht am unteren Rand



## Umsetzung

- Atmosphärisches Radionuklid-Transportmodell

RICHTER, CORNELIA; THIELEN, SPIEKER, KARSTEN, GÜNTHER, ANNEGRET  
 ARTM – Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell mit der graphischen  
 Benutzeroberfläche GO-ARTM – Programmbeschreibung zu Version 3.0.0 (GO-  
 ARTM Version 2.0) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH,  
 Köln, im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Stand 05.11.2021

Stand von W & T bezüglich der betrieblichen Sicherheitsanalyse für kerntechnische Anlagen/Endlager im Betrieb

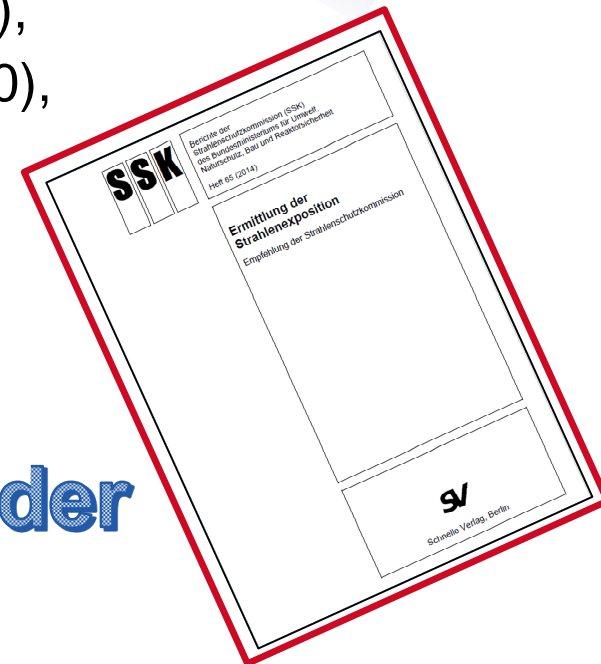
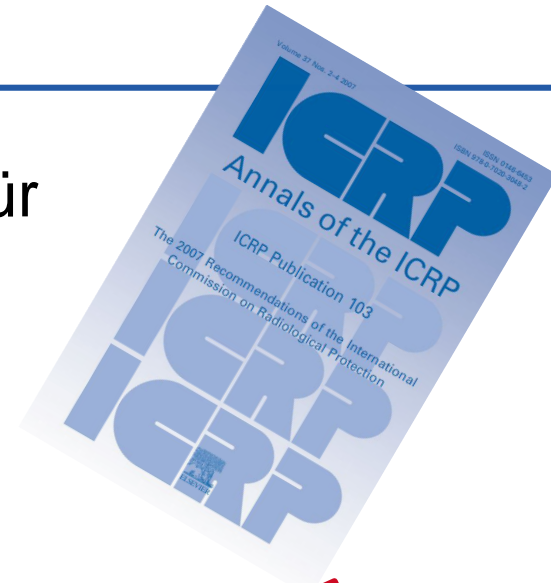
- Berechnung der Dosis als abdeckenden Punktschätzer

- Verwendung eines abdeckenden hypothetischen Quellterms (I0, Vorgabe),
- abdeckende, auch unmögliche Szenarien und Expositionspfade (S0),
- Verwendung generischer Mittelwerte für radioökologische Parameter (S1),
- Verwendung generischer 95 %-Quantile für Ernährungsgewohnheiten (S0),
- Annahme von Daueraufenthalt am ungünstigsten Aufpunkt (S0) und
- Anteil von 100 % an lokal angebauten Lebensmitteln (S0)

Sx: Situationskategorien

Ix: Informationskategorien

**hinreichende Sicherheit, dass Berechnung der  
Exposition abdeckend ist**



## Anwendung des derzeitigen Regelwerks zur Ausbreitungs- und Dosisberechnung und zur Bewertung der Ergebnisse

- Ausbreitungsberechnung
  - Lagrangesches Partikelmodell (ARTM) mit vorgeschaltetem Windfeldmodell für Ableitungen gemäß StrlSchV sowie AVV-Tätigkeiten (AVV-T)
  - Ablagerungs- und Ausbreitungsparameter gemäß TA-Luft (in AVV-T übernommen)
  - Verwendung standortspezifischer Wetterdaten gemäß Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen (SBG), Ermittlung eines repräsentativen Jahres gemäß AVV-T
- Dosisberechnung
  - Gemäß Kapitel 4 der SBG
    - Probabilistisches Vorgehen
- Bewertung
  - Gemäß § 104 StrlSchV
  - Berücksichtigung der weitergehenden Selbstbeschränkung des Betreibers



Verwendung der Messdaten vom Standort

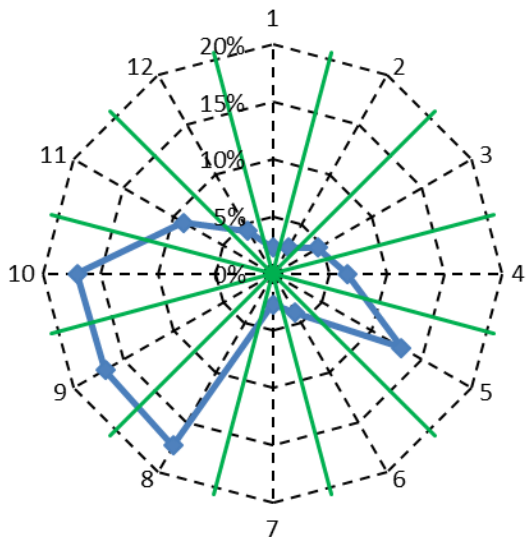
- Generell verfügbar: Daten von 1987 bis 2018
- Ausschluss einzelner Jahre mit größeren Datenlücken

Ergebnisse der Bewertung der einzelnen Jahre

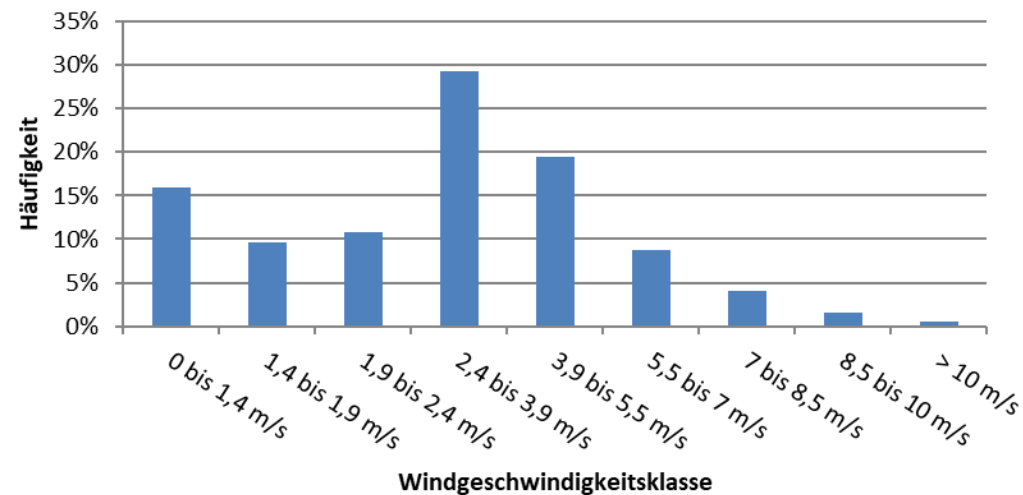
Rang in $\chi^2$ -Liste	Jahr	$\chi^2$	$TQ$	Rang in $TQ$ -Liste
<b>1</b>	<b>2001</b>	<b>5,96</b>	<b>7,71</b>	<b>3</b>
2	1995	6,56	7,36	5
3	2009	8,80	7,20	6
4	2002	10,52	6,66	8
5	2006	12,33	7,83	1
6	2007	12,49	6,61	10
...				

Repräsentatives Jahr  
2001

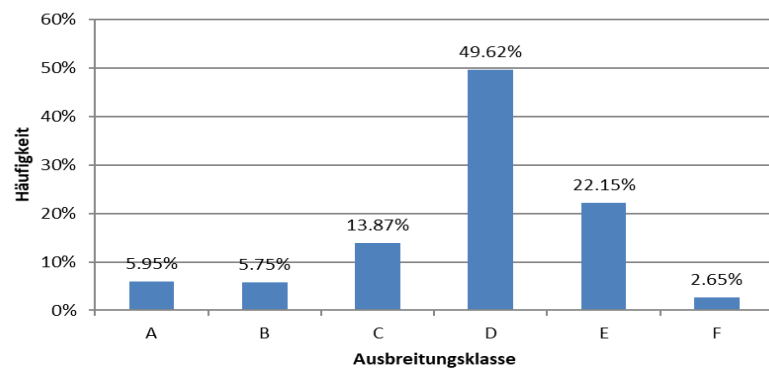
### Windrichtungshäufigkeit



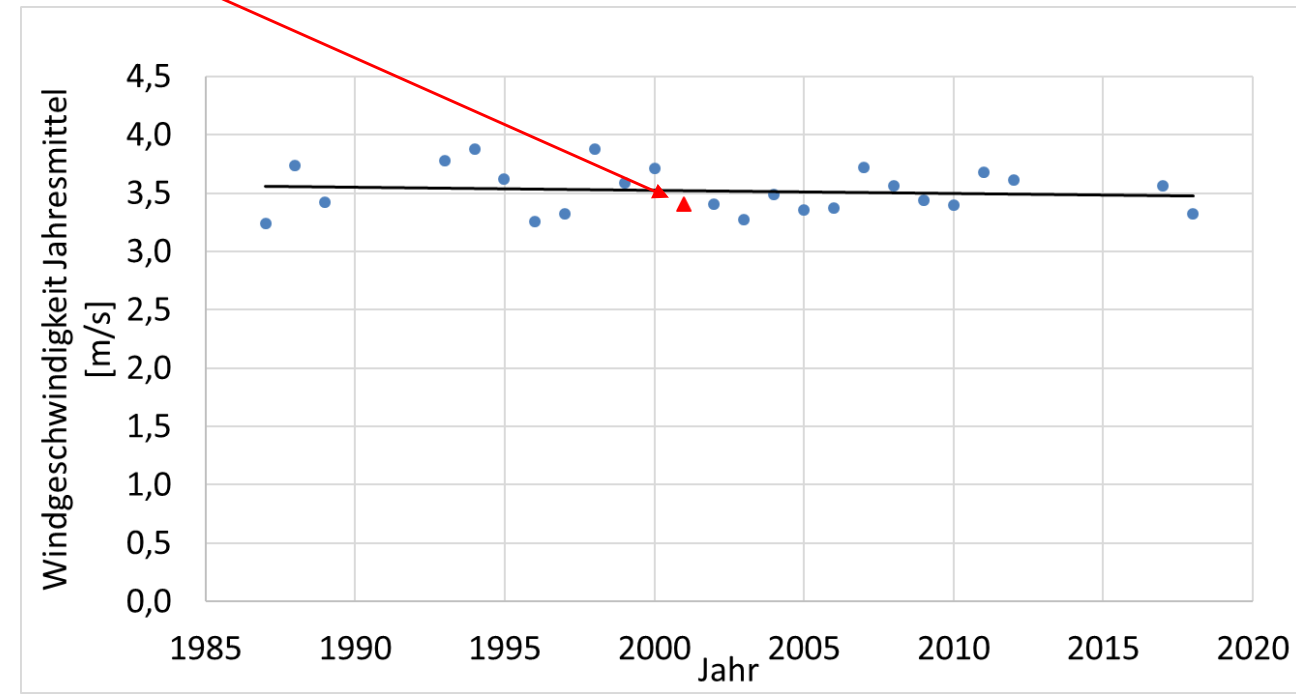
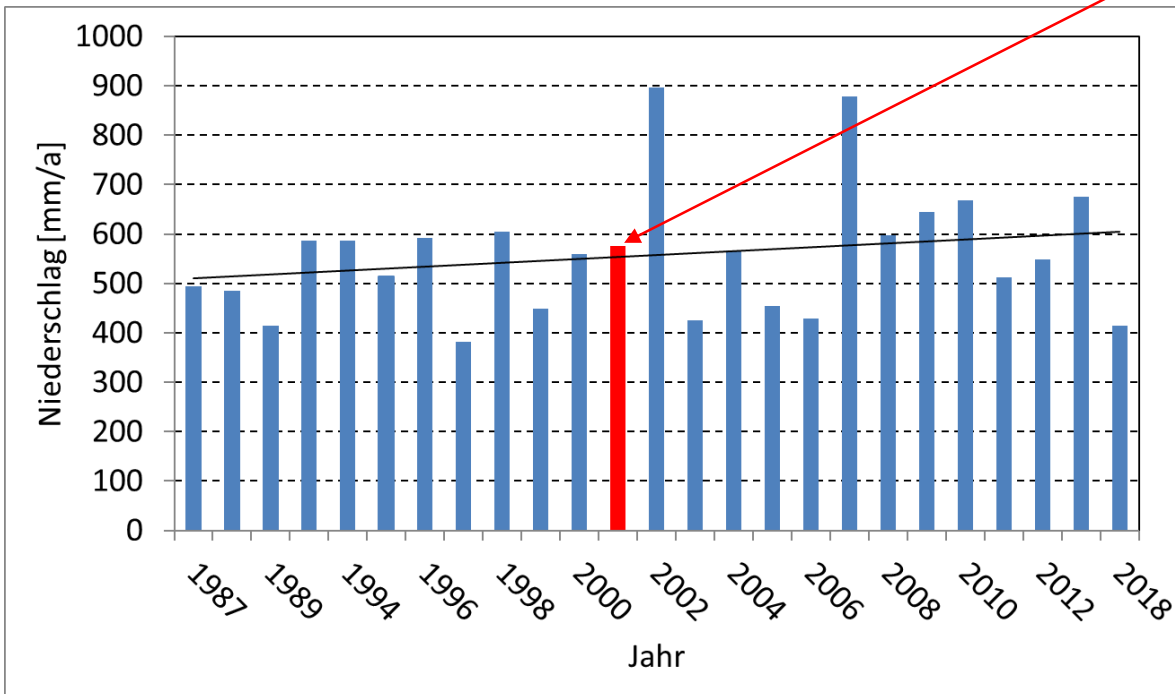
### Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen



### Häufigkeit der Ausbreitungsklassen

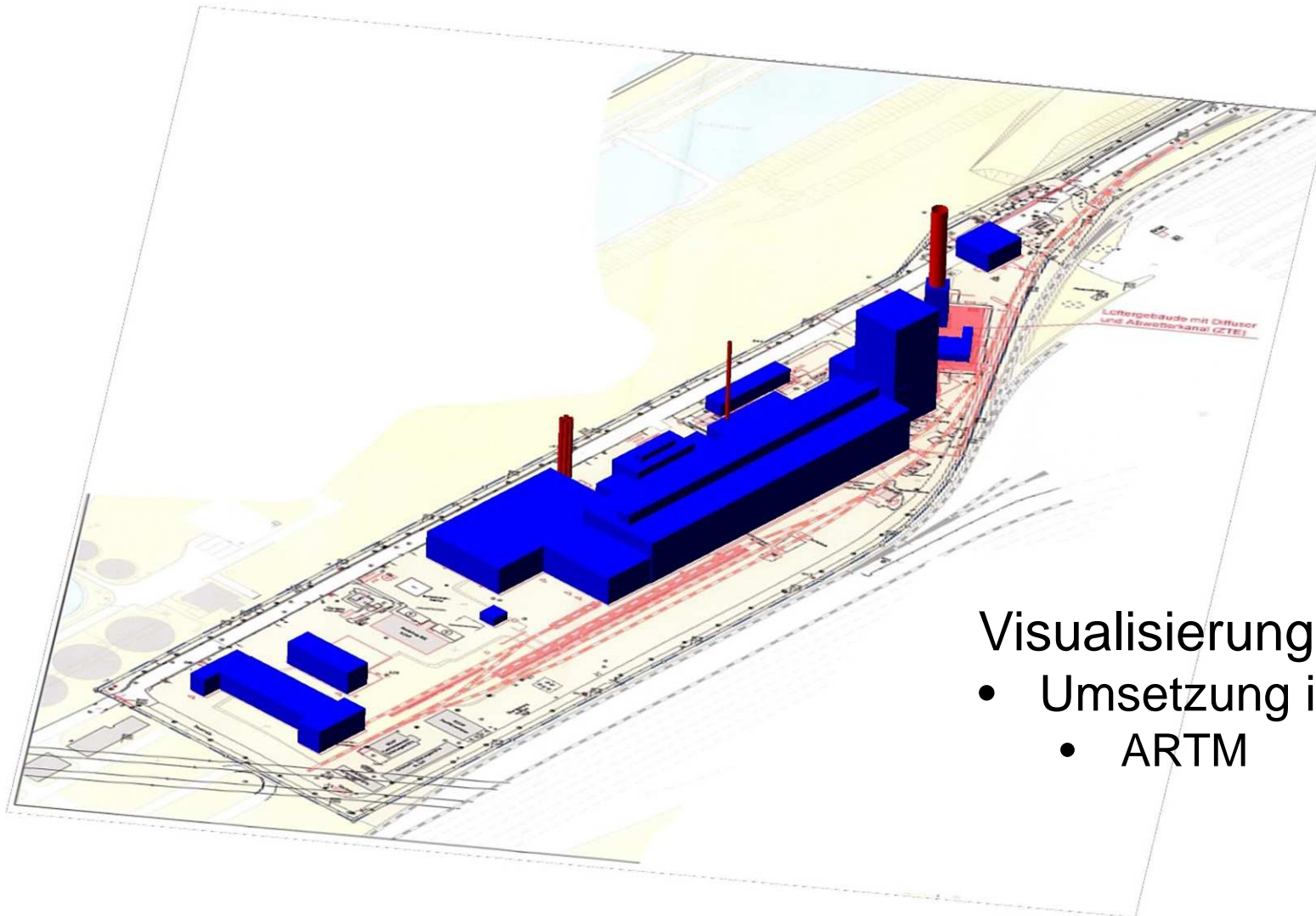


## Repräsentatives Jahr 2001



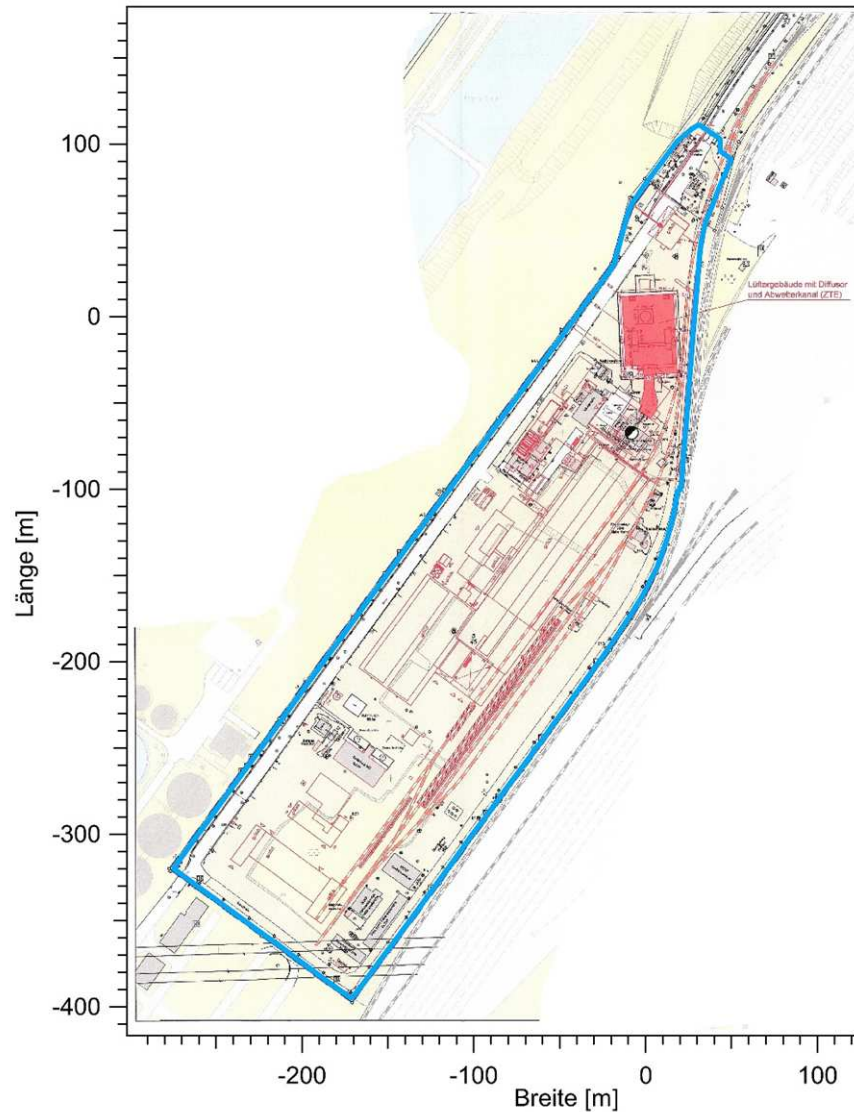
Trends der Jahresniederschlagsmenge und der mittleren Windgeschwindigkeit





## Visualisierung der Gebäude am Standort

- Umsetzung im Ausbreitungsmodell
  - ARTM



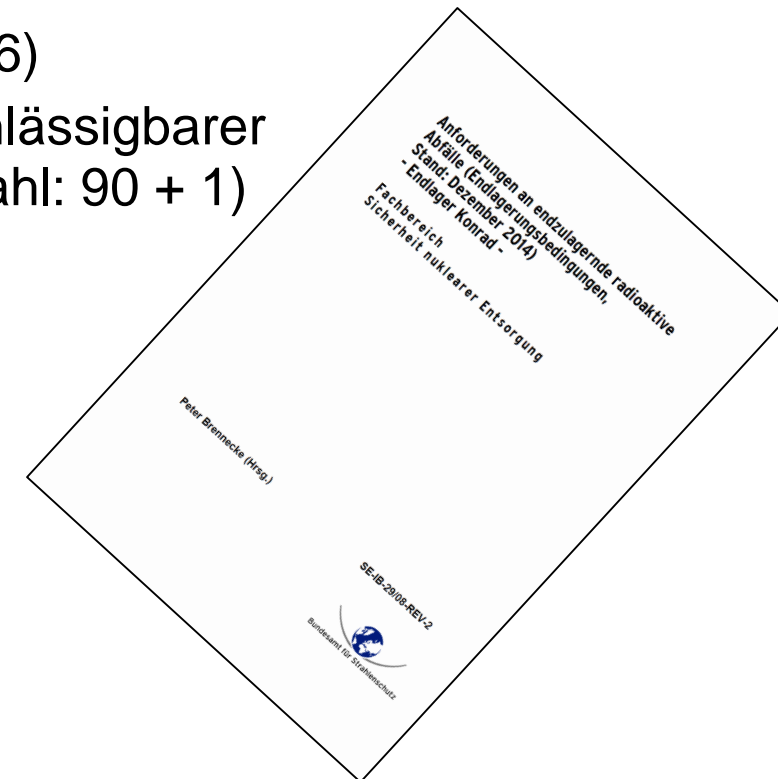
## Visualisierung des Zaunverlaufs am Standort

- Umsetzung im Dosismodell
  - BSSBG
- Dosisberechnung für Personen der Bevölkerung
  - Außerhalb des Zauns

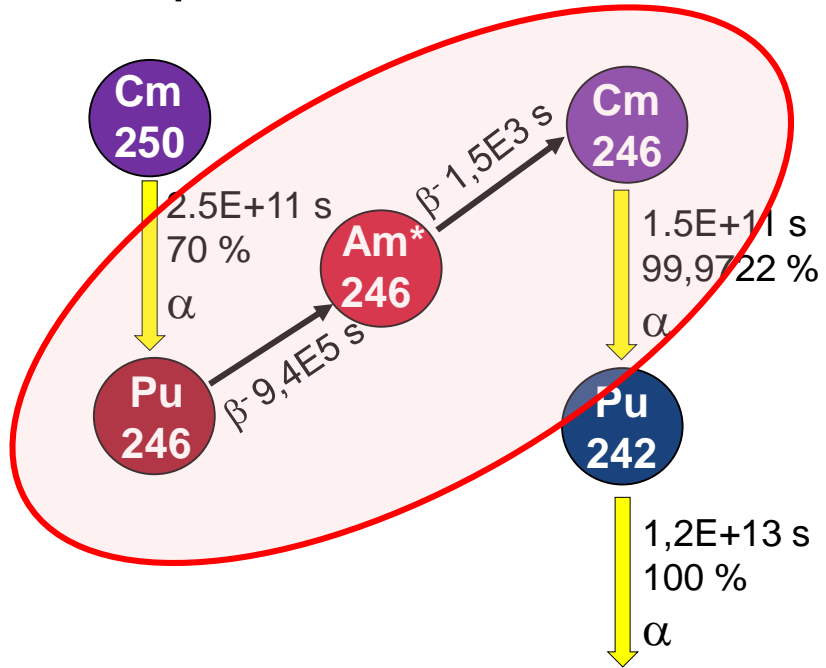
[BFS 17] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ

Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 2014) -  
Endlager Konrad - Stand: 18.12.2014, EU 117

- Auswahl der Primärnuklide (Mutternuklide)
  - Alle Nuklide der Tabelle 3 (Anzahl: 30) und Tabelle 4 (Anzahl: 66)
  - Radionuklide, die zusätzlich in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können, aus Tabelle 10 (Anzahl: 90 + 1)
- Auswahl der Tochternuklide
  - Einstellung eines Aktivitätsverteilung mit 30 Jahren Aufbauzeit
    - Mutternuklide mit HWZ > Tochternuklide
    - Mutternuklide mit HWZ > 10 Jahre
  - Sonst: erweiterten Umwandlungsreihe
    - Langlebigeres Mutternuklid
  - Abbruch bei Aktivitäten <  $1E-05 \cdot$  Aktivität Mutternuklid
- Insgesamt 186 Mutternuklide und 62 weitere Tochternuklide

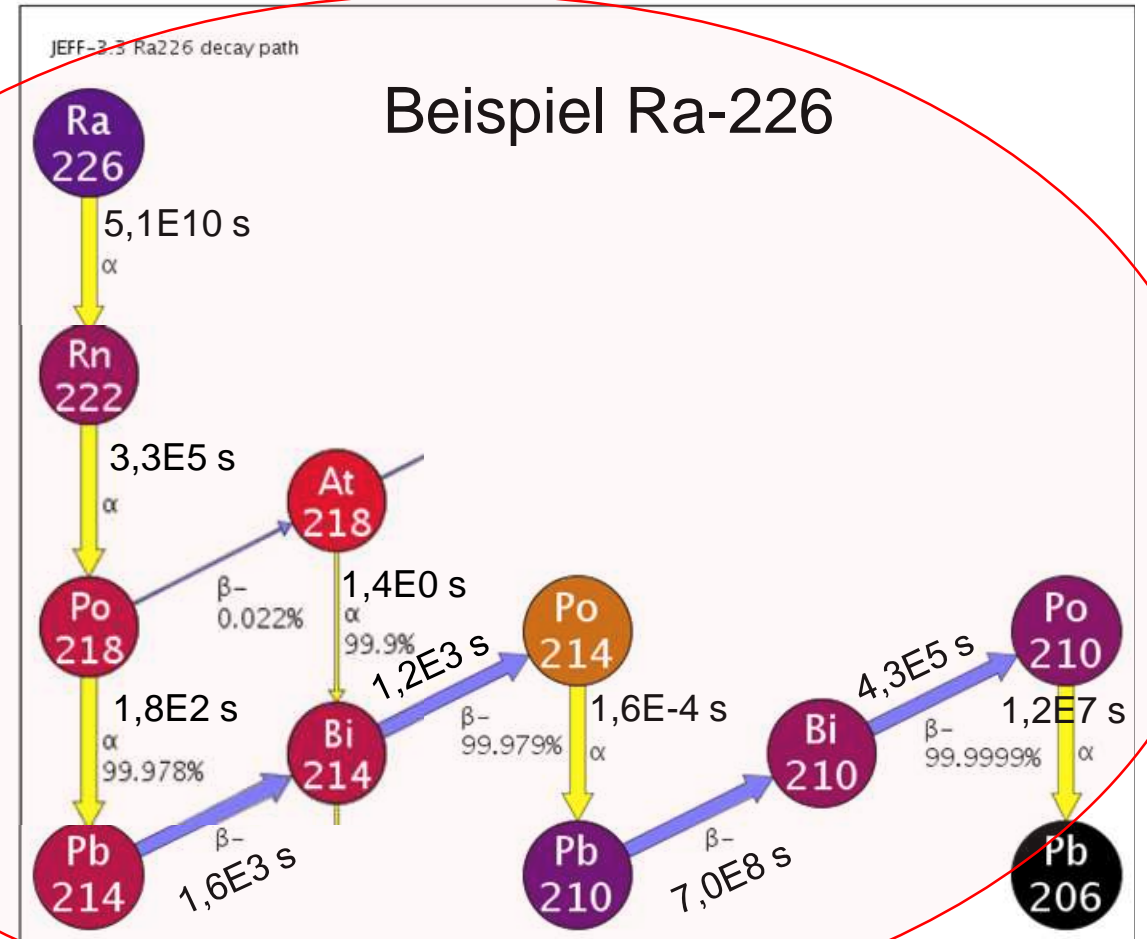


## Beispiel Pu-246



<https://www.oecd-nea.org/janisweb/>

## Beispiel Ra-226



Dosiskoeffizienten für:

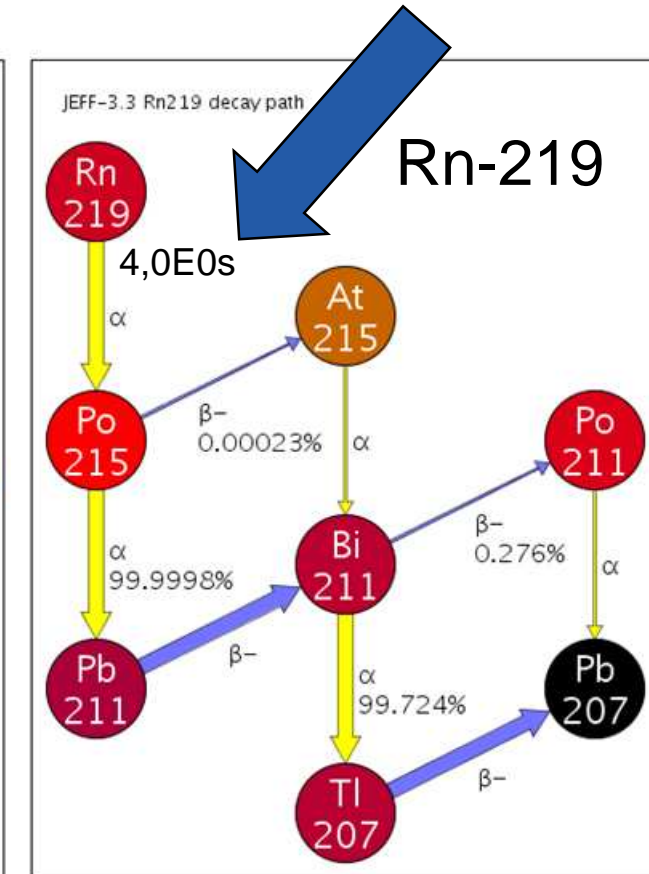
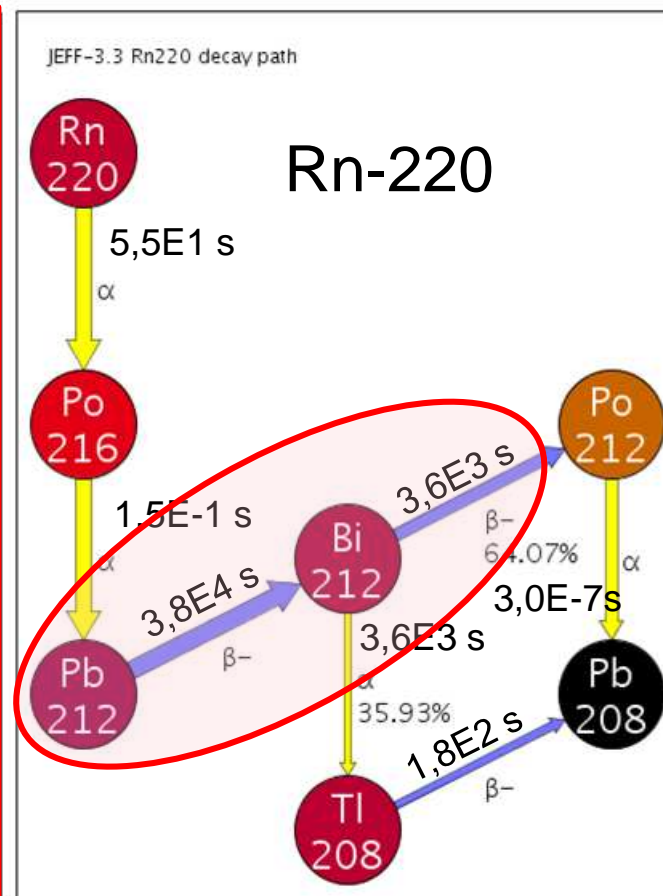
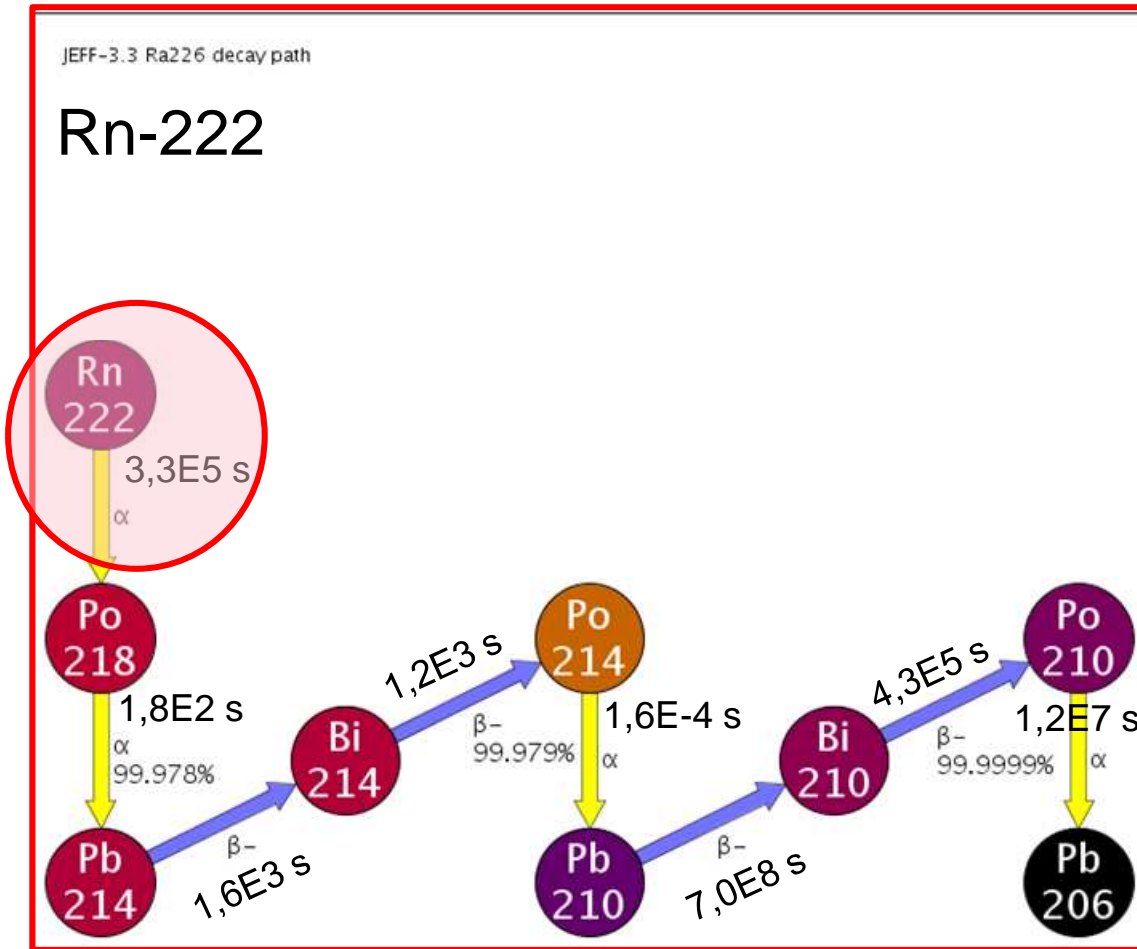
- Inhalation,
- Ingestion,
- $\gamma$ -Submersion,
- Bodenstrahlung und
- $\beta$ -Submersion

[BMU01] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND  
REAKTORSICHERHEIT

Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition  
vom 23. Juli 2001 Bundesanzeiger. Nr. 160 a/b vom 28. August 2001

Nicht aus Bundesanzeiger:

- Ar-37 Nicht relevant, (Elektroneneinfang, Elektronenemission bei 2,4 keV, kein Gamma-Übergang, nur sehr niederenergetische Röntgenlinie bei 2,6 keV), HZW 35 Tage
- Nb-92 Für alle Pfade Analogie zu Nb-94
- Bi-208 Analogie zu Bi-207 für innere Exposition und Al-26 für äußere Exposition
- Po-208 Inh. /Ing. Analogie zu Po-210



## Besonderheiten des Rn-222

- **Freisetzung als Gas**

- Freisetzung Tochternuklide als an Schwebstoffe gebundene Aktivität
- Kein signifikanter Zerfall während des Transports in der Atmosphäre
- Nachbildung relevanter Mengen Tochternuklide während des Transports in der Atmosphäre

## Umsetzung für Dosisberechnung

- Anwendung der Berechnungsgrundlage Bergbau

$$H_{Rn, j} = g_{EEC, j} \cdot C_{Rn} \cdot F \cdot t_{Exp}$$

$H_{Rn, j}$  effektive Dosis durch Radon/RFP für die Referenzperson  $j$  in [Sv],

$g_{EEC, j}$  Dosiskonversionskoeffizient in [(Sv/h)/(Bq/m<sup>3</sup>)],

$C_{Rn}$  Rn-222-Konzentration in [Bq/m<sup>3</sup>],

$F$  Gleichgewichtsfaktor, dimensionslos,

$t_{Exp}$  Expositionszeit in [h]

$$g_{EEC, j} = 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ (Sv/h)/(Bq}_{Rn-222}\text{/m}^3\text{)}$$

$$F = 0,4$$



Organ gemäß StrISchV (in Klammern Bezeichnung aus [BMU 01])	Planungswert gemäß StrISchV [mSv]
effektiv	50 => <b>20</b> Selbstbeschränkung Betreiber
Schilddrüse	150
Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel	500
Augenlinse, Keimdrüsen (Hoden und Ovarien), Gebärmutter (Uterus), <b>Rotes Knochenmark</b>	50
Knochenoberfläche	300
Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre u. a.*	150



## Ausbreitungsberechnung

- Computerprogramm ARTM
  - Frei verfügbare Software GRS/BfS
  - Lagrange-Partikelmodell
  - Vorgesaltetes diagnostisches Windfeldmodell
  - Entspricht Vorgaben der AVV-T

## Dosismodell

- BSSBG
  - Umsetzung des **Kapitels 4 der SBG**
  - Anpassung der Parametrisierung an AVV-T
  - Prä- und Postprozessoren für probabilistische Berechnung
  - In zahlreichen Genehmigungsverfahren eingesetzt



Methodik zur probabilistischen Berechnung (Anlehnung an SBG und SEWD-Berechnungsgrundlage)

- Stundenwerte der meteorologischen Daten des repräsentativen Jahres
  - Freisetzungsdauer 1 h
  - Ausbreitungsdauer 24 h
- Ermittlung der Ausbreitungsparameter als räumliche Verteilung (Gitter)
  - Bodennahe Konzentration
  - Trockene Deposition
  - Nasse Deposition

Nr.	$x_{\min}$ [m]	$y_{\min}$ [m]	Gitterweite [m]	Anzahl in x und y
1	-400	-400	8	100
2	-800	-800	16	100
3	-1600	-1600	32	100
4	-1664	-1664	64	52
5	-2816	-2816	128	44

## Methodik zur probabilistischen Berechnung (Anlehnung an SBG und SEWD-Berechnungsgrundlage)

- Dosisberechnung mit Einheitsaktivität für:
  - Jeden zeitlichen Schritt (8737)
  - Alle Gitterpunkte (5 Gitter mit insgesamt ca. 35.000 Punkten)
  - 6 Altersgruppen
  - Effektivdosis
- Auswahl von Referenznucliden
  - Cs-137 für Beta-Strahler
  - Am-241 für Alpha-Strahler
  - Physikalische Sonderformen: Edelgase, H-3 (als Wasser), C-14 (als CO<sub>2</sub>) und Halogene separat

3-36  
Stand 10/14

RS-Handbuch

**Bekanntmachung zur Ermittlung der „Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Strahlendosis infolge von Störmaßnahmen oder sonstigen Einwirkungen Dritter (SEWD) auf kerntechnische Anlagen und Einrichtungen“ (SEWD-Berechnungsgrundlage)**  
vom 28. Oktober 2014 (GMBL 2014, Nr. 64, S. 1315)

– Bek. d. BMUB v. 28.10.2014 – RS 16 – 13151-0/21 –  
Genehmigungen oder Tätigkeiten nach den §§ 6, 7 und 9 des Atomgesetzes (AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 28. August 2013 (BGBl. I S. 3313) geändert worden ist, dürfen unter anderem nur erteilt werden, wenn der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gewährleistet ist.

Die SEWD-Berechnungsgrundlage gilt in den entsprechenden Genehmigungs-, Planfeststellungs- und Aufsichtsverfahren für die Ermittlung der Strahlendosis und die Ermittlung der Strahlendosis infolge von radioaktiven Stoffen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen nach einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Atmosphäre als Folge der Prüfung der Einhaltung des Schutzziels der Verhinderung der Freisetzung einer erheblichen Menge radioaktiver Stoffe bei SEWD.

Die für den Vollzug des Atomgesetzes zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden der Länder und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sind am 4. Juli 2014 im Länderausschuss für Atomenergie – Hauptausschuss – übereinkommen, die SEWD-Berechnungsgrundlage nach Maßgabe der Ziffer 1 dieser Berechnungsgrundlage anzuwenden.

Die SEWD-Berechnungsgrundlage, die ab dem Tag ihrer Bekanntmachung gültig ist, gebe ich hiermit bekannt. Der Wortlaut der SEWD-Berechnungsgrundlage wird im Folgenden wiedergegeben.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Anwendungsbereich</b>
<b>2</b>	<b>Begriffsbestimmungen</b>
<b>3</b>	<b>Schutzziel und Bewertungsgrundlage</b>
<b>4</b>	<b>Berechnungsverfahren</b>
4.1	Quellterm
4.1.1	Effektive Quellhöhe
4.1.2	Besonderheit bei kurzer Freisetzungsdauer
4.2	Ausbreitungsrechnungen
4.2.1	Grundsätzliche Vorgehensweise
4.2.2	Rechengebiet und Aufpunkte
4.2.3	Randbedingungen und Parameter
4.2.3.1	Bodenrauigkeit
4.2.3.2	Berücksichtigung von Gebäudeerhöhen
4.2.3.3	Berücksichtigung von Geländeerhöhen
4.2.3.4	Meteorologische Daten
4.2.3.5	Eigenschaften von Schwebstoffen und Gasen
4.2.3.6	Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit
4.2.3.7	Radioaktiver Zerfall
4.3	Berechnung der Strahlendosis
4.3.1	Berechnung der Strahlendosis durch Inhalation
4.3.2	Berechnung der Strahlendosis durch Gammastrahlung
4.3.3	Berechnung der Strahlendosis durch Gammastrahlung durch Gammastrahlung
4.4	Radiologische Konsequenzanalyse
4.4.1	Anwendung deterministischer Verfahren
4.4.2	Anwendung probabilistischer Verfahren
Literatur	
A	Daten und Rechenverfahren zur Ausbreitung und Strahlendosisberechnung und physikalische Eigenschaften der AED-Klassen

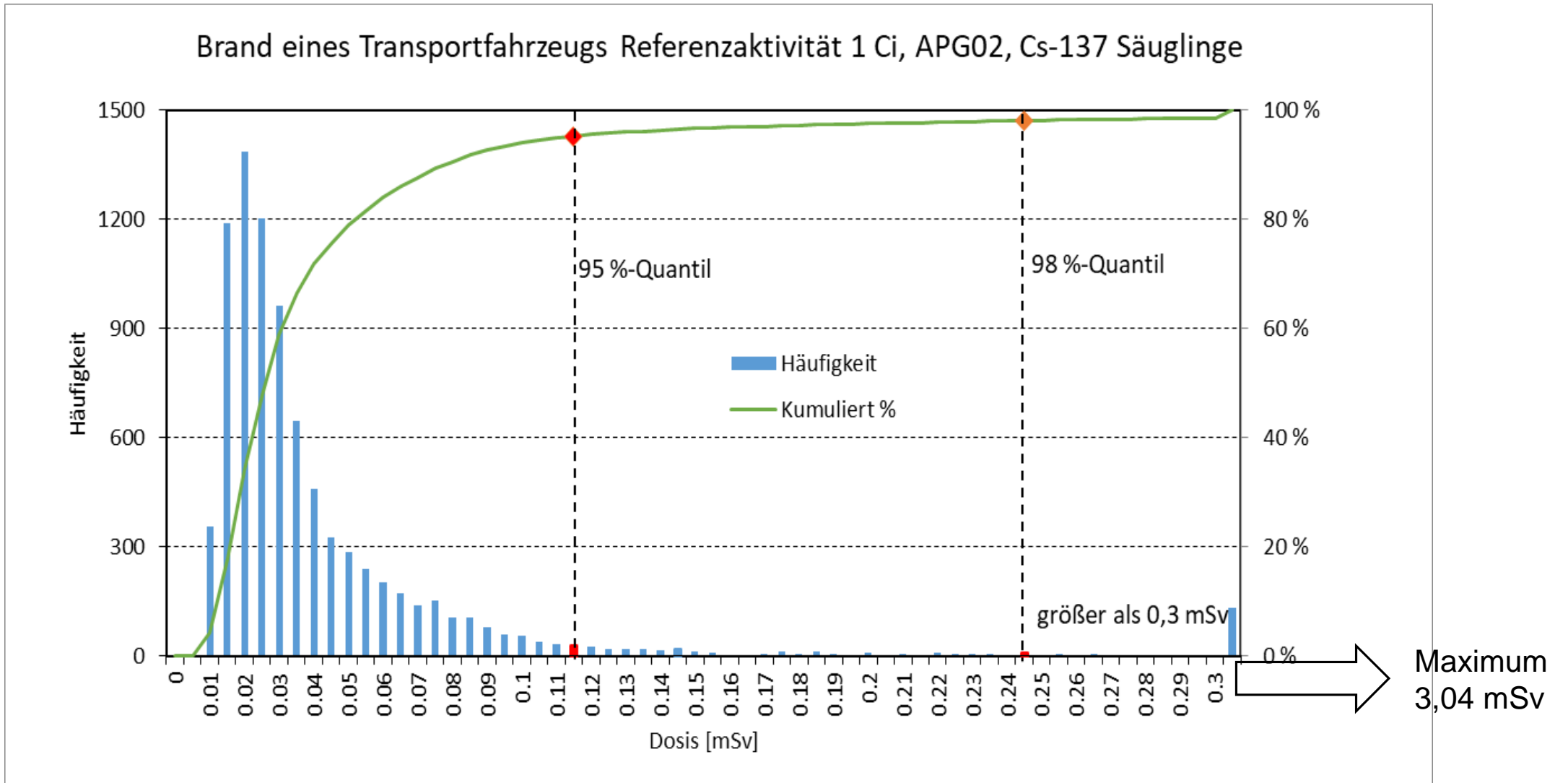
Seite 1 von 13

Methodik zur probabilistischen Berechnung (Anlehnung an SBG und SEWD-Berechnungsgrundlage)

- Auswahl des Gitters mit den ungünstigsten Aufpunkten
- Ermittlung der jeweiligen Maxima für jeden Zeitschritt
  - Höchsten Dosis durch Inhalation (+ Beta/Gamma-Submersion)
  - Höchste Dosis durch Bodenstrahlung
  - Höchste Dosis durch Verzehr von kontaminierten Lebensmitteln (Ingestion)
- Ermittlung von Quantilwerten aus der zeitlichen Abfolge
  - Anpassung des Quantils zur Berücksichtigung zusätzlicher Unsicherheiten

**95 % → 98 %**

# Erläuterung der Berechnung Vorgehen Probabilistik Beispiel



Methodik zur probabilistischen Berechnung (Anlehnung an SBG und SEWD-Berechnungsgrundlage)

- Ermittlung der für das 98 % Quantil relevanten:
  - Wettersituation
  - Aufpunkte

➔ Durch Summation der Ergebnisse verschiedener Expositionspfade keine räumliche Zuordnung der berechneten Gesamtdosis mehr möglich
- Berechnung der:
  - Effektiv- und Organdosis (26) für
    - 6 Altersgruppen
    - Alle zu betrachtenden primären Nuklide (186)
    - Alle dabei relevanten Tochternuklide (62 nicht als primäre betrachtet)
- Separate Berechnung für Nuklide mit hoher Ausschöpfung der Planungswerte ( $\geq 80$  %)

**95 %** Quantil

[GRS 90] GESELLSCHAFT FÜR REAKTORSICHERHEIT MBH  
Systemanalyse Konrad Teil 3 - Ermittlung der potentiellen Strahlenexpositionen in der Umgebung der Anlage bei Störfällen unter Berücksichtigung der Berechnungsverfahren der AVV zu § 45 StrlSchV und Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten für 96 Einzelnuclide Hauptband (GRS – A – 1668/I) sowie Ergänzungsband I (GRS – A – 1668/II) und Ergänzungsband II (GRS – A – 1668/II)  
Mai 1990, EU 371

- Ereignisse Untertage, Freisetzung über Diffusor
  - Brand eines Transportfahrzeugs in einer Transportstrecke (thermischer Lastfall),
  - Absturz einer Transporteinheit in der Einlagerungskammer (mechanischer Lastfall Absturzhöhe 5 m),
- Ereignisse Übertage, Freisetzung über Fortluftkamin
  - Absturz einer Transporteinheit in der Pufferhalle (mechanischer Lastfall Absturzhöhe 3 m) und
  - Absturz einer Transporteinheit in der Umladehalle (mechanischer Lastfall Absturzhöhe 3 m)

## Behälter und Stoffklassen im Endlager Konrad

- Abfallbehälterklassen (ABK)
  - ABK I
    - Behälter, die Grundanforderungen erfüllen und geringen mech./therm. Störfallschutz bieten
  - ABK II
    - Behälter, die erhöhten mech./therm. Störfallschutz bieten
- Abfallproduktgruppen (APG) in ABK I
  - APG 01: z. B. Bitumen- und Kunststoffprodukte,
  - APG 02: z. B. Feststoffe,
  - APG 03: z. B. metallische Feststoffe,
  - APG 04: z. B. Presslinge,
  - APG 05: z. B. zementierte/betonierte Abfälle,
  - APG 06: z. B. Konzentrate
- ABK I/APG Kombination bzw. ABK II zur Ermittlung der Freisetzung bei Störfällen verwendet



### Freisetzung der Nuklide in physikalischen Formen (alle Szenarien)

- Edelgase
  - Ar-39
  - Kr-81, Kr-85
- Wasser
  - H-3
- CO<sub>2</sub>
  - C-14
- Halogene
  - Iod
  - Cl-36
- Schwebstoffe
  - Aufteilung auf Partikelgrößenklassen

[BMU 21] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT  
 Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-  
 Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)  
 Vom 18. August 2021 GMBI 2021 Nr. 48-54, S. 1050

Inhalation

Partikelgrößenklassen [GRS 90]	Partikelgrößenklasse [BMU 21]
0 – 5 µm	50 % 0 – 2,5 µm, 50 % 2,5 – 10 µm
5 – 10 µm	2,5 – 10 µm
10 – 20 µm	10 µm – 50 µm
20 – 30 µm	10 µm – 50 µm
30 – 40 µm	10 µm – 50 µm
40 – 50 µm	10 µm – 50 µm
50 – 60 µm	> 50 µm

## Schwebstoffe

- Rückhaltung beim Transport zum Freisetzungsort

- Kamin
- Diffusor

	Partikelgrößenklasse entsprechend [BMU 21]			
	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm
<b>Sedimentationsgeschwindigkeit [m/s]</b>	0	0	0,04	0,15
<b>Rückhaltefaktoren</b>				
<b>Umladehalle</b>	0	0	0,974	0,985
<b>Pufferhalle</b>	0	0	0,923	1,00
<b>Transportweg Schacht (100 s)</b>	0	0	0,633	0,983

	Partikelgrößenklasse entsprechend [BMU 21]			
	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm
<b>Rückhaltefaktoren</b>				
<b>APG01/02/03/04; Absturz aus 5 m, mechanisch</b>	0	0	0,062	0,1
<b>APG05/06; Absturz aus 5 m, mechanisch</b>	0	0	0,079	0,1

Freisetzungsfaktoren und Quellterm (bezogen auf 1 Ci Aktivität im Abfallgebinde)  
für das Szenario **Brand eines Transportfahrzeugs in einer Transportstrecke**

$$1 \text{ Ci} = 3,7\text{E}+10 \text{ Bq}$$

ABK / APG	Freisetzungsfaktor				Quellterm [Bq]			
	Halogene*	H-3	C-14	Aerosole**	Halogene*	H-3	C-14	Aerosole**
I / APG01	1	1	1	0,5	3,7E+10	3,7E+10	3,7E+10	1,9E+10
I / APG02	1	1	1	0,01	3,7E+10	3,7E+10	3,7E+10	3,7E+08
I / APG03	1	1	1	0,004	3,7E+10	3,7E+10	3,7E+10	1,5E+08
I / APG04	1	1	1	0,0016	3,7E+10	3,7E+10	3,7E+10	5,9E+07
I / APG05	1	0,5	0,0005	0,0005	3,7E+10	1,9E+10	1,9E+07	1,9E+07
I / APG06	1	1	0,0005	0,0005	3,7E+10	3,7E+10	1,9E+07	1,9E+07
II	0,04	0,004	0,006	0,00002	1,5E+09	1,5E+08	2,2E+08	7,4E+05

\* Edelgase analog

\*\* an Schwebstoffe gebundene Radionuklide, davon 50 % 0 – 2,5 µm, 50 % 2,5 – 10 µm

Freisetzungsfaktoren mit Berücksichtigung der Rückhaltung in der Anlage und Quellterm (bezogen auf 1 Ci Aktivität im Abfallgebinde) für den **Absturz einer Transporteinheit in der Einlagerungskammer**

APG	Freisetzungsfaktoren				Quellterm [Bq]			
	Aerodynamische Partikeldurchmesser				Aerodynamische Partikeldurchmesser			
	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm
<b>01 und 02</b>	2,94E-04	1,48E-03	1,14E-03	4,28E-06	1,1E+07	5,5E+07	4,2E+07	1,6E+05
<b>05 und 06</b>	8,25E-07	5,63E-06	3,57E-05	5,83E-07	3,1E+04	2,1E+05	1,3E+06	2,2E+04

Freisetzungsfaktoren mit Berücksichtigung der Rückhaltung in der Anlage und Quellterm (bezogen auf 1 Ci Aktivität im Abfallgebinde) für den **Absturz einer Transporteinheit in der Umladehalle**

APG	Freisetzungsfaktor				Quellterm [Bq]			
	Aerodynamische Partikeldurchmesser				Aerodynamische Partikeldurchmesser			
	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm
<b>01 und 02</b>	7,00E-05	3,20E-04	3,39E-05	2,99E-06	2,6E+06	1,2E+07	1,3E+06	1,1E+05
<b>05 und 06</b>	2,88E-07	2,09E-06	1,16E-06	2,58E-07	1,1E+04	7,7E+04	4,3E+04	9,6E+03

Freisetzungsfaktoren mit Berücksichtigung der Rückhaltung in der Anlage und Quellterm (bezogen auf 1 Ci Aktivität im Abfallgebinde) für den **Absturz einer Transporteinheit in der Pufferhalle**

APG	Freisetzungsfaktor				Quellterm [Bq]			
	Aerodynamische Partikeldurchmesser				Aerodynamische Partikeldurchmesser			
	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm	0 - 2,5 µm	2,5 – 10 µm	10 – 50 µm	> 50 µm
<b>01 und 02</b>	7,00E-05	3,20E-04	1,01E-04	0	2,6E+06	1,2E+07	3,7E+06	0
<b>05 und 06</b>	2,88E-07	2,09E-06	3,47E-06	0	1,1E+04	7,7E+04	1,3E+05	0

Ergebnisse der Dosisberechnung für Szenarien

- Brand eines Transportfahrzeugs in einer Transportstrecke (thermischer Lastfall)
  - APG02
  - Alle anderen APG
- Absturz einer Transporteinheit in der Einlagerungskammer (mechanischer Lastfall  
Absturzhöhe 5 m)
  - APG02
- Alle anderen Szenarien mit geringerer Dosis

**Ergebnisse für Nuklide mit höchsten Dosiswerten werden  
im Folgenden präsentiert**



Szenario Brand eines Transportfahrzeugs in einer Transportstrecke, ABK II u. a.

Nuklid	Maximum Effektiv [mSv]	Altersgruppe	Ausschöpfung	Organ (mit Planungswert [mSv])	Dosis [mSv]	Ausschöpfung
Cm-242	1,2E+01	> 17 a	61 %	Lunge (150)	2,8E+01	18 %
Tc-99	1,1E+01	0 - 1 a	56 %	Magen (150)	5,2E+01	34 %
Fe-55	1,1E+01	0 - 1 a	54 %	Rotes Knochenmark (50)	3,7E+01	74 %
Mo-93	7,8E+00	0 - 1 a	39 %	Rotes Knochenmark (50)	4,5E+01	91 %
Cl-36	6,6E+00	1 - 2 a	33 %	Hoden (50)	5,9E+00	12 %
Zr-95	5,3E+00	0 - 1 a	27 %	Rotes Knochenmark (50)	4,9E+00	10 %
Th-227	4,8E+00	0 - 1 a	24 %	Lunge (150)	1,7E+01	11 %
Te-125m	4,6E+00	0 - 1 a	23 %	Rotes Knochenmark (50)	1,7E+01	33 %

### Szenario Brand eines Transportfahrzeugs in einer Transportstrecke, APG 02

Nuklid	Maximum Effektiv [mSv]	Altersgruppe	Ausschöpfung	Organ (mit Planungswert [mSv])	Dosis [mSv]	Ausschöpfung
Cm-242	1,2E+01	> 17 a	61 %	Lunge (150)	2,8E+01	18 %
Tc-99	8,6E+00	0 - 1 a	43 %	Magen (150)	4,0E+01	26 %
Fe-55	7,8E+00	0 - 1 a	39 %	Rotes Knochenmark (50)	2,7E+01	53 %
Cl-36	7,0E+00	1 - 2 a	35 %	Hoden (50)	6,3E+00	13 %
Mo-93	5,3E+00	0 - 1 a	27 %	Rotes Knochenmark (50)	3,1E+01	62 %
Th-227	5,0E+00	0 - 1 a	25 %	Lunge (150)	1,8E+01	12 %
Pu-241	4,3E+00	> 17 a	22 %	Knochenoberfläche (300)	1,9E+02	63 %
H-3	4,3E+00	0 - 1 a	21 %	Hoden (50)	3,9E+00	7,8 %

### Szenario Absturz einer Transporteinheit in der Einlagerungskammer APG05

Nuklid	Maximum Effektiv [mSv]	Altersgruppe	Ausschöpfung	Organ (mit Planungswert [mSv])	Dosis [mSv]	Ausschöpfung
Zr-95	1,3E+01	0 - 1 a	63 %	Rotes Knochenmark (50)	3,4E+00	6,7 %
Hg-203	1,2E+01	0 - 1 a	62 %	Nieren (150)	2,5E+01	17 %
Te-125m	1,2E+01	0 - 1 a	58 %	Rotes Knochenmark (50)	1,2E+01	24 %
Tc-99	1,1E+01	0 - 1 a	54 %	Magen (150)	4,0E+01	26 %
Fe-55	1,0E+01	0 - 1 a	52 %	Rotes Knochenmark (50)	2,7E+01	53 %
Ru-106	9,7E+00	0 - 1 a	49 %	Unterer Dickdarm (150)	1,4E+01	9,4 %
Fe-59	8,7E+00	0 - 1 a	44 %	Rotes Knochenmark (50)	2,7E+00	5,4 %



# Berechnungsergebnisse Dosiswerte Po-210

Nuklid	Maximum Effektiv [mSv]	Altersgruppe	Ausschöpfung	Organ (mit Planungswert [mSv])	Dosis [mSv]	Ausschöpfung
Szenario Brand eines Transportfahrzeugs in einer Transportstrecke, ABK II u. a.						
Po-210	3,4E+01	0 - 1 a	166 %	Rotes Knochenmark (50)	1,0E+02	207 %
Szenario Brand eines Transportfahrzeugs in einer Transportstrecke, APG 02						
Po-210	2,3E+01	0 - 1 a	117 %	Rotes Knochenmark (50)	7,3E+01	146 %
Szenario Absturz einer Transporteinheit in der Einlagerungskammer APG05						
Po-210	3,3E+01	0 - 1 a	164 %	Rotes Knochenmark (50)	7,3E+01	146 %

Ausbreitungs- und Dosisberechnungen für Auslegungstörfälle im Betrieb des Endlagers Konrad unter Verwendung eines im Jahre 2022 dem Stand von W&T entsprechenden Vorgehens

- potentielle Freisetzung von Radionukliden direkt aus [GRS 90] übernommen
- Berechnung des Quellterms mit aktuellen Sedimentationsparametern entsprechend [BMU 21]
- Planungswert für die Effektivdosis
  - (20 mSv als interner Planungswert)
  - Planungswerte für die Organdosen
- für die betrachteten Störfallszenarien für alle Radionuklide und Umwandlungsreihen (außer für Po-210) eingehalten, Für Po-210 ist Abklingzeit zu berücksichtigen (Handlungsempfehlung)
- Umwandlungsketten, die Po-210 enthalten nicht betroffen
  - Th-230 bzw. Ra-226
    - Aktivitätsgrenzwerte der Annahmebedingungen geringer als für Po-210

für Po-210:

- Einlagerung von Gebinden, bei denen Po-210 die Aktivitätsgrenzwerte der Annahmebedingungen überschreitet, kann ausgeschlossen werden
  - Auftreten für Po-210 als Mutternuklid unwahrscheinlich
    - Keine Anwendungsbereiche
  - Kurze Halbwertszeit für Po-210: 138 Tage
    - Abklinglagerung möglich
    - Ggf. bis Freigabe
- Empfohlene Vorgehensweise
  - Abfrage bei Anlieferungspflichten, ob Gebinde mit Po-210-Aktivität > 45 % Annahmekriterium vorhanden sind
    - Wenn ja (unwahrscheinlich), dann Abklinglagerung (ca. 0,5 Jahre)

für Po-210:

- Überschreitung der Planungswerte (maximal ca. Faktor 2) in zwei Szenarien
  - Für Effektivdosis und Dosis für Rotes Knochenmark
- Ursache:
  - Berücksichtigung der Altersgruppe 0-1-Jährigen im verwendeten Regelwerk
    - Hohe Transferfaktoren in die Muttermilch
    - Dosisfaktoren der Altersgruppe größer als für 1-2-Jährige im Regelwerk PFB
    - Höhere Verzehrmenen als im vorherigen Regelwerk
- Einordnung:
  - „abstrakter“ Fortschritt im Stand von W+T führt zu Überschreitungen bei Berechnungen
  - Keine bisher nicht berücksichtigte „Gefahr“ durch aktualisiertes Regelwerk abgewendet

Zusammenfassung der Ergebnisse Phase 2 der ÜsiKo – Störfallplanungswerte

- Die Sicherheitsrelevanz von  $\Delta$  34 und  $\Delta$  35 kann (außer für Po-210) explizit durch die Berechnungsergebnisse ausgeschlossen werden
- Für Po-210 besteht ebenfalls keine Sicherheitsrelevanz, soweit eine ausreichende Abklingzeit eingehalten wird (Empfehlung)
  - soweit - tatsächlich Gebinde mit Po-210-Aktivität > 45% vorhanden sein sollten
- Ein Vorkommen von Po-210 in den Abfallgebinden ist sehr unwahrscheinlich.

$\Delta$  34 und  $\Delta$  35 sind damit **vollständig bearbeitet**

Es besteht **kein weiterer** Anpassungs- oder Überprüfungsbedarf





**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**