

an **SW**

über SW 2.4
SW 2

zurück an SW 2.4 Mehnert

Sicherheits- und Performance-Indikatoren für Endlager radioaktiver Abfälle in der Nachbetriebsphase, Wahl der Referenzwerte und deren Monitoring

hier: Vers. 4.0 zum Arbeitsauftrag vom 05.07.2005

Die vorliegende Version baut auf den Versionen 1.0, 2.0 und 3.0 auf. Diese vorhergehenden Versionen wurden trotz Bemühungen meinerseits weder fachlich noch in anderer Hinsicht diskutiert oder im Rücklauf mit Anmerkungen versehen. Lediglich beim Personalgespräch am 12.10.2005 wurden mündlich einige wenige Punkte verklausuliert vorgebracht. Soweit diese von mir nachvollziehbar waren, wurden sie in der Version 2.0 berücksichtigt. Eine spätere Äußerung mit dem Inhalt „Sie wissen ja, sie haben sich mit diesem Vermerk Feinde gemacht“ wurde nicht berücksichtigt. Es wurden keine Zwischenversionen (z. B. 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1) erstellt. Die Versionen wurden jeweils auf Grund von neu erschienener Literatur und weiterer Aufarbeitung von Altbeständen meinerseits erstellt.

Indikatoren

Die Indikatoren werden im Folgenden aufgelistet und eindeutig mit **ind[*lmp*]** bezeichnet. Dabei sind *l*, *p* einstellige und *m* zweistellige nicht negative ganze Zahlen. Zu jedem **ind[*lmp*]** wird eine Datei **ind*lmp*.nb** in MATHEMATICA entwickelt, die die Definition und den Berechnungsalgorithmus enthält. Für *l*=2 gibt es lediglich eine Datei **ind2*mp*.nb**, die die Informationen aller Indikatoren mit *l*=2 enthält. Die Dateien **ind*lmp*.nb** können mit dem MATHREADER oder nach Umwandlung in PDF mit dem Acrobat-Reader dargestellt und ausgedruckt werden. Bei hohen Layoutanforderungen ist ein Export in LATEX empfehlenswert. Weiterhin können mit dem in der nb-Datei abgelegten Algorithmus bei Zurverfügungstellung der Eingangsdaten die numerischen Berechnungen des Indikators durchgeführt werden.

Die sinnvollste Datenhaltung der Eingangsdaten wäre die Verwendung eines beliebigen relationalen Datenbanksystems nach SQL-Standard (am BfS: ORACLE). Leider ist die z. Z. am BfS nutzbare MATHEMATICA-Version 4.2 - im Gegensatz zur aktuellen Version 5.2 - nicht SQL-datenbankfähig. Eine zwischenzeitlich vorgesehene Bedarfsanforderung wurde wieder storniert. Auf Grund auch dieser Unsicherheit wurde bisher noch keine große Arbeit in die Erstellung von nb-Indikatordateien investiert. Z. Z. stehen nur einige nb-Dateien exemplarisch zur Verfügung (Anlage 3 bis 7).

Die Frage der Sicherheits-/Performance-Indikatoren wurde sehr intensiv bereits in lit[1] diskutiert. Darin werden aus der Literatur folgende 32 Indikatoren entnommen:

1. Effective dose rate [Sv/y]	ind[1010]
2. Collective dose rate [person-Sv/y]	ind[1020]
3. Dose rate to animals and plants [Gy/y]	ind[1030]
4. Individual risk [1/y]	ind[1040]
5. Societal risk [1/y]	ind[1050]
6. Radiotoxicity concentration in groundwater [Sv/ m ³]	ind[1060]
7. Radiotoxicity concentration in biosphere water [Sv/ m³]	ind[1070]
8. Concentration in soil [Sv/kg]	ind[1080]
9. Concentration in air [Sv/ m ³]	ind[1090]
10. Radiotoxicity release [Sv/y]	ind[1100]
11. Radiotoxicity flux from geosphere [Sv/y]	ind[1110]
12. Time-integrated radiotoxicity flux from geosphere [Sv]	ind[1120]
13. Radiotoxicity outside geosphere [Sv]	ind[1130]
14. Relative activity concentration in biosphere water [-]	ind[1140]
15. Relative activity flux from geosphere [-]	ind[1150]
16. (Relative) activity flux through compartment boundaries [Bq/y or 1/y]	ind[1160]
17. Radionuclide distribution in the disposal system [-]	ind[1170]
18. Compartment / barrier effectiveness [-]	ind[1180]
19. Activity in compartments [Bq]	ind[1190]
20. Activity flux from compartments [Bq/y]	ind[1200]
21. Time-integrated activity flux from compartments [Bq]	ind[1210]
22. Activity outside compartments [Bq]	ind[1220]
23. Radiotoxicity in compartments [Sv]	ind[1230]
24. Radiotoxicity flux from compartments [Sv/y]	ind[1240]
25. Time-integrated radiotoxicity flux from compartments [Sv]	ind[1250]
26. Radiotoxicity outside compartments [Sv]	ind[1260]
27. Activity concentration in compartment water [Bq/ m³]	ind[1270]
28. Radiotoxicity concentration in compartment water [Sv/ m³]	ind[1280]
29. Transport time through compartments [y]	ind[1290]
30. Proportion of not totally isolated waste [-]	ind[1300]
31. Time-integrated flux from geosphere / initial inventory [-]	ind[1310]
32. Concentration in biosphere water / waste package water [-]	ind[1320]

Aus den o. g. 32 werden in lit[1] die 21 markierten Indikatoren ausgewählt. Aus nicht nachvollziehbaren Gründen werden Kollektivdosis sowie alle risikobasierten Indikatoren in o. g. Literatur nicht weiter betrachtet. Weiterhin wird die Energiedosis nicht weiter herangezogen, somit wird lediglich der Schutz des Menschen mit Indikatoren belegt, der Schutz der Biosphäre wird nicht betrachtet.

Zur Berechnung der Radtoxizität werden die Aktivitäten mit den Ingestionsdosiskoeffizienten der Expositionsklasse > 17a gewichtet, eine konservative Abschätzung durch Verwendung des höchsten Dosiskoeffizienten oder ein nach Lebenslinie gewichteter Mittelwert über alle Expositionsklasse wird nicht gemacht. Eine Wichtung mit den Dosiskonversionsfaktoren wird mit dem Hinweis, dass diese im Gegensatz zu den Ingestionsdosiskoeffizienten abhängig von den Lebens- und Ernährungsgewohnheiten sind, nicht durchgeführt.

Bei der exemplarischen Berechnung auf der Grundlage von vorliegenden Langzeitsicherheitsstudien werden zur Berechnung der Dosis Anthroposphärendosiskonversionsfaktoren für Erwachsene nach einem einfachen Modell verwendet (die jährliche Freisetzung aus dem Endlager wird mit 100.000 m³ Wasser verdünnt und ein Erwachsener trinkt davon 500 l/a). Die Entwicklungen im Bereich Referenzanthroposphäre und -biosphäre werden nicht erwähnt.

Die Verwendung allein des Erwachsenen bei den Abschätzungen wird in lit[41] wie folgt gerechtfertigt:

...Another assumption that could be nonconservative is that the RMEI is an adult. Since doses per unit activity intake of radionuclides often are substantially higher in infants and children than in adults (ICRP 1996), annual doses to younger age groups from ingestion and inhalation could be higher than annual doses to adults even when the lower annual consumption of water and foods and breathing rates at younger ages (EPA 1997a; EPA 1997b) are taken into account. However, since exposures in the groundwater scenario and in the volcanic ash scenario following deposition onto the ground surface are assumed to be chronic, annual doses averaged over a lifetime in a population of all ages differ little from annual doses to an adult. Inhalation doses to infants and children during a volcanic event of short duration could be higher than doses to adults. However, as discussed later, doses during a volcanic event are expected to be insignificant compared with annual doses following deposition of volcanic ash onto the ground surface. Therefore, an assumption that the RMEI is an adult should not result in substantial underestimates of average annual doses in a population of all ages...

Diese Argumentation steht im Widerspruch zu Rechnungen auf der Grundlage von konkreten Anthroposphärenmodellen u. a. in lit[39], lit[68], lit[94] und der Ergebnisdarstellung in letztgenannter Literatur S. 55.

Bei der hilfswisen Heranziehung der Regelungen nach § 47 StrlSchV Abs. 1 Pkt. 1 bis 4 auch für die Nachbetriebsphase von Endlagern sind zumindest folgende Indikatoren zu berücksichtigen:

- | | | |
|----|-------------------------------------|-----------|
| 1. | effektive Dosis > 17 a | ind[2011] |
| 2. | effektive Dosis 12-17 a | ind[2012] |
| 3. | effektive Dosis 7-12 a | ind[2013] |
| 4. | effektive Dosis 2-7 a | ind[2014] |
| 5. | effektive Dosis 1-2 a | ind[2015] |
| 6. | effektive Dosis < 1 a Muttermilch | ind[2016] |
| 7. | effektive Dosis < 1 a Fertignahrung | ind[2017] |
| 8. | Organdosis Keimdrüsen Hoden > 17 a | ind[2081] |
| 9. | Organdosis Keimdrüsen Hoden 12-17 a | ind[2082] |

10.	Organdosis Keimdrüsen Hoden 7-12 a	ind[2083]
11.	Organdosis Keimdrüsen Hoden 2-7 a	ind[2084]
12.	Organdosis Keimdrüsen Hoden 1-2 a	ind[2085]
13.	Organdosis Keimdrüsen Hoden < 1 a Muttermilch	ind[2086]
14.	Organdosis Keimdrüsen Hoden < 1 a Fertignahrung	ind[2087]
15.	Organdosis Keimdrüsen Ovarien > 17 a	ind[2211]
16.	Organdosis Keimdrüsen Ovarien 12-17 a	ind[2212]
17.	Organdosis Keimdrüsen Ovarien 7-12 a	ind[2213]
18.	Organdosis Keimdrüsen Ovarien 2-7 a	ind[2214]
19.	Organdosis Keimdrüsen Ovarien 1-2 a	ind[2215]
20.	Organdosis Keimdrüsen Ovarien < 1 a Muttermilch	ind[2216]
21.	Organdosis Keimdrüsen Ovarien < 1 a Fertignahrung	ind[2217]
22.	Organdosis Gebärmutter > 17 a	ind[2261]
23.	Organdosis Gebärmutter 12-17 a	ind[2262]
24.	Organdosis Gebärmutter 7-12 a	ind[2263]
25.	Organdosis Gebärmutter 2-7 a	ind[2264]
26.	Organdosis Gebärmutter 1-2 a	ind[2265]
27.	Organdosis Gebärmutter < 1 a Muttermilch	ind[2266]
28.	Organdosis Gebärmutter < 1 a Fertignahrung	ind[2267]
29.	Organdosis Knochenmark rot > 17 a	ind[2231]
30.	Organdosis Knochenmark rot 12-17 a	ind[2232]
31.	Organdosis Knochenmark rot 7-12 a	ind[2233]
32.	Organdosis Knochenmark rot 2-7 a	ind[2234]
33.	Organdosis Knochenmark rot 1-2 a	ind[2235]
34.	Organdosis Knochenmark rot < 1 a Muttermilch	ind[2236]
35.	Organdosis Knochenmark rot < 1 a Fertignahrung	ind[2237]
36.	Organdosis Dickdarm > 17 a	ind[2161]
37.	Organdosis Dickdarm 12-17 a	ind[2162]
38.	Organdosis Dickdarm 7-12 a	ind[2163]
39.	Organdosis Dickdarm 2-7 a	ind[2164]
40.	Organdosis Dickdarm 1-2 a	ind[2165]
41.	Organdosis Dickdarm < 1 a Muttermilch	ind[2166]
42.	Organdosis Dickdarm < 1 a Fertignahrung	ind[2167]
43.	Organdosis Lunge > 17 a	ind[2031]
44.	Organdosis Lunge 12-17 a	ind[2032]
45.	Organdosis Lunge 7-12 a	ind[2033]
46.	Organdosis Lunge 2-7 a	ind[2034]
47.	Organdosis Lunge 1-2 a	ind[2035]
48.	Organdosis Lunge < 1 a Muttermilch	ind[2036]
49.	Organdosis Lunge < 1 a Fertignahrung	ind[2037]
50.	Organdosis Magen > 17 a	ind[2121]
51.	Organdosis Magen 12-17 a	ind[2122]
52.	Organdosis Magen 7-12 a	ind[2123]
53.	Organdosis Magen 2-7 a	ind[2124]
54.	Organdosis Magen 1-2 a	ind[2125]

55.	Organdosis Magen < 1 a Muttermilch	ind[2126]
56.	Organdosis Magen < 1 a Fertignahrung	ind[2127]
57.	Organdosis Blase > 17 a	ind[2041]
58.	Organdosis Blase 12-17 a	ind[2042]
59.	Organdosis Blase 7-12 a	ind[2043]
60.	Organdosis Blase 2-7 a	ind[2044]
61.	Organdosis Blase 1-2 a	ind[2045]
62.	Organdosis Blase < 1 a Muttermilch	ind[2046]
63.	Organdosis Blase < 1 a Fertignahrung	ind[2047]
64.	Organdosis Brust > 17 a	ind[2051]
65.	Organdosis Brust 12-17 a	ind[2052]
66.	Organdosis Brust 7-12 a	ind[2053]
67.	Organdosis Brust 2-7 a	ind[2054]
68.	Organdosis Brust 1-2 a	ind[2055]
69.	Organdosis Brust < 1 a Muttermilch	ind[2056]
70.	Organdosis Brust < 1 a Fertignahrung	ind[2057]
71.	Organdosis Leber > 17 a	ind[2101]
72.	Organdosis Leber 12-17 a	ind[2102]
73.	Organdosis Leber 7-12 a	ind[2103]
74.	Organdosis Leber 2-7 a	ind[2104]
75.	Organdosis Leber 1-2 a	ind[2105]
76.	Organdosis Leber < 1 a Muttermilch	ind[2106]
77.	Organdosis Leber < 1 a Fertignahrung	ind[2107]
78.	Organdosis Speiseröhre > 17 a	ind[2111]
79.	Organdosis Speiseröhre 12-17 a	ind[2112]
80.	Organdosis Speiseröhre 7-12 a	ind[2113]
81.	Organdosis Speiseröhre 2-7 a	ind[2114]
82.	Organdosis Speiseröhre 1-2 a	ind[2115]
83.	Organdosis Speiseröhre < 1 a Muttermilch	ind[2116]
84.	Organdosis Speiseröhre < 1 a Fertignahrung	ind[2117]
85.	Organdosis Schilddrüse > 17 a	ind[2241]
86.	Organdosis Schilddrüse 12-17 a	ind[2242]
87.	Organdosis Schilddrüse 7-12 a	ind[2243]
88.	Organdosis Schilddrüse 2-7 a	ind[2244]
89.	Organdosis Schilddrüse 1-2 a	ind[2245]
90.	Organdosis Schilddrüse < 1 a Muttermilch	ind[2246]
91.	Organdosis Schilddrüse < 1 a Fertignahrung	ind[2247]
92.	Organdosis Knochenoberfläche > 17 a	ind[2091]
93.	Organdosis Knochenoberfläche 12-17 a	ind[2092]
94.	Organdosis Knochenoberfläche 7-12 a	ind[2093]
95.	Organdosis Knochenoberfläche 2-7 a	ind[2094]
96.	Organdosis Knochenoberfläche 1-2 a	ind[2095]
97.	Organdosis Knochenoberfläche < 1 a Muttermilch	ind[2096]
98.	Organdosis Knochenoberfläche < 1 a Fertignahrung	ind[2097]

99.	Organdosis Haut > 17 a	ind[2071]
100.	Organdosis Haut 12-17 a	ind[2072]
101.	Organdosis Haut 7-12 a	ind[2073]
102.	Organdosis Haut 2-7 a	ind[2074]
103.	Organdosis Haut 1-2 a	ind[2075]
104.	Organdosis Haut < 1 a Muttermilch	ind[2076]
105.	Organdosis Haut < 1 a Fertignahrung	ind[2077]
106.	Gehirn > 17 a	ind[2061]
107.	Gehirn 12-17 a	ind[2062]
108.	Gehirn 7-12 a	ind[2063]
109.	Gehirn 2-7 a	ind[2064]
110.	Gehirn 1-2 a	ind[2065]
111.	Gehirn < 1 a Muttermilch	ind[2066]
112.	Gehirn < 1 a Fertignahrung	ind[2067]
113.	Dünndarm > 17 a	ind[2131]
114.	Dünndarm 12-17 a	ind[2132]
115.	Dünndarm 7-12 a	ind[2133]
116.	Dünndarm 2-7 a	ind[2134]
117.	Dünndarm 1-2 a	ind[2135]
118.	Dünndarm < 1 a Muttermilch	ind[2136]
119.	Dünndarm < 1 a Fertignahrung	ind[2137]
120.	Milz > 17 a	ind[2171]
121.	Milz 12-17 a	ind[2172]
122.	Milz 7-12 a	ind[2173]
123.	Milz 2-7 a	ind[2174]
124.	Milz 1-2 a	ind[2175]
125.	Milz < 1 a Muttermilch	ind[2176]
126.	Milz < 1 a Fertignahrung	ind[2177]
127.	Muskel > 17 a	ind[2181]
128.	Muskel 12-17 a	ind[2182]
129.	Muskel 7-12 a	ind[2183]
130.	Muskel 2-7 a	ind[2184]
131.	Muskel 1-2 a	ind[2185]
132.	Muskel < 1 a Muttermilch	ind[2186]
133.	Muskel < 1 a Fertignahrung	ind[2187]
134.	Nebennieren > 17 a	ind[2191]
135.	Nebennieren 12-17 a	ind[2192]
136.	Nebennieren 7-12 a	ind[2193]
137.	Nebennieren 2-7 a	ind[2194]
138.	Nebennieren 1-2 a	ind[2195]
139.	Nebennieren < 1 a Muttermilch	ind[2196]
140.	Nebennieren < 1 a Fertignahrung	ind[2197]
141.	Nieren > 17 a	ind[2201]
142.	Nieren 12-17 a	ind[2202]
143.	Nieren 7-12 a	ind[2203]

144.	Nieren 2-7 a	ind[2204]
145.	Nieren 1-2 a	ind[2205]
146.	Nieren < 1 a Muttermilch	ind[2206]
147.	Nieren < 1 a Fertignahrung	ind[2207]
148.	Pankreas > 17 a	ind[2221]
149.	Pankreas 12-17 a	ind[2222]
150.	Pankreas 7-12 a	ind[2223]
151.	Pankreas 2-7 a	ind[2224]
152.	Pankreas 1-2 a	ind[2225]
153.	Pankreas < 1 a Muttermilch	ind[2226]
154.	Pankreas < 1 a Fertignahrung	ind[2227]
155.	Thymus > 17 a	ind[2251]
156.	Thymus 12-17 a	ind[2252]
157.	Thymus 7-12 a	ind[2253]
158.	Thymus 2-7 a	ind[2254]
159.	Thymus 1-2 a	ind[2255]
160.	Thymus < 1 a Muttermilch	ind[2256]
161.	Thymus < 1 a Fertignahrung	ind[2257]

Weitere Organdosen, die nicht explizit Gegenstand der Grenzwertregelungen des § 47 StrlSchV sind, können Grundlage für folgende Indikatoren sein:

1.	obere Luftwege > 17 a	ind[2021]
2.	obere Luftwege 12-17 a	ind[2022]
3.	obere Luftwege 7-12 a	ind[2023]
4.	obere Luftwege 2-7 a	ind[2024]
5.	obere Luftwege 1-2 a	ind[2025]
6.	obere Luftwege < 1 a Muttermilch	ind[2026]
7.	obere Luftwege < 1 a Fertignahrung	ind[2027]
8.	oberer Dickdarm > 17 a	ind[2141]
9.	oberer Dickdarm 12-17 a	ind[2142]
10.	oberer Dickdarm 7-12 a	ind[2143]
11.	oberer Dickdarm 2-7 a	ind[2144]
12.	oberer Dickdarm 1-2 a	ind[2145]
13.	oberer Dickdarm < 1 a Muttermilch	ind[2146]
14.	oberer Dickdarm < 1 a Fertignahrung	ind[2147]
15.	unterer Dickdarm > 17 a	ind[2151]
16.	unterer Dickdarm 12-17 a	ind[2152]
17.	unterer Dickdarm 7-12 a	ind[2153]
18.	unterer Dickdarm 2-7 a	ind[2154]
19.	unterer Dickdarm 1-2 a	ind[2155]
20.	unterer Dickdarm < 1 a Muttermilch	ind[2156]
21.	unterer Dickdarm < 1 a Fertignahrung	ind[2157]

Die Bezeichnung ergibt sich aus der letzten Ziffer (p) für die Expositionsklasse

> 17 a	1
12-17 a	2
7-12 a	3
2-7 a	4
1-2 a	5
< 1 a Muttermilch	6
< 1 a Fertignahrung	7

und für die zweite und dritte Ziffer (m) die Dosisart (nach § 47 StrlSchV Abs. 1 begrenzte Dosisarten fett)

effektive Dosis	01	Abs. 1 Nr. 1
Organdosis obere Luftwege	02	
Organdosis Lunge	03	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Blase	04	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Brust	05	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Gehirn	06	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis Haut	07	Abs. 1 Nr. 4
Organdosis Hoden	08	Abs. 1 Nr. 2
Organdosis Knochenoberfläche	09	Abs. 1 Nr. 4
Organdosis Leber	10	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Speiseröhre	11	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Magen	12	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Dünndarm	13	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis oberer Dickdarm	14	
Organdosis unterer Dickdarm	15	
Organdosis Dickdarm	16	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Milz	17	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis Muskel	18	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis Nebennieren	19	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis Nieren	20	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis Ovarien	21	Abs. 1 Nr. 2
Organdosis Pankreas	22	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis rotes Knochenmark	23	Abs. 1 Nr. 2
Organdosis Schilddrüse	24	Abs. 1 Nr. 3
Organdosis Thymus	25	Abs. 1 Nr. 3 Anl. VI
Organdosis Uterus	26	Abs. 1 Nr. 2

Zur Berechnung der Indikatoren effektive Dosis wurden für den Planentwurf ERAM Dosiskonversionsfaktoren lit[39] aus den Dosiskoeffizienten der ICRP auf der Grundlage von Anthroposphärenmodellen in Anlehnung an die AVV lit[40] abgeschätzt. Dies kann auf der Grundlage der Arbeiten lit[68], lit[69], lit[70], lit[71], lit[72], lit[73], lit[94] seit ca. 1996 nicht als Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich Endlagerung anerkannt werden, da Unsicherheitsbetrachtungen (Probabilistik im Anthroposphärenmodell) und Betrachtungen unterschiedlicher Klimaentwicklungen nicht berücksichtigt sind. Zur Berechnung der Organdososen können unter Beachtung dieser Defizite hilfsweise Dosiskonversionsfaktoren aus lit[39] entnommen werden.

Bei der Expositionsklasse < 1 a Muttermilch sind neuere Erkenntnisse zu berücksichtigen, die gegenüber lit[39] aus dem Jahr 2002 Änderungen unbedingt notwendig machen lit[74]. In dem Vermerk „Berechnung der kritischen Paare“ vom 03.01.2006 ist der Versuch gemacht worden, dieses zu berücksichtigen [Anlage 1]. Diese Unterlage ist bis heute noch nicht fachlich diskutiert worden.

Im Planfeststellungsverfahren Konrad wurde zum Vergleich von Chemo- und Radiotoxizität ein

Toxizitätsindex [a] **ind[3010]**

verwendet lit[2]. Im Planfeststellungsbeschluss lit[3] ist der Sachverhalt aufgegriffen, es fehlt aber unter A II.2 „Erläuternde Unterlagen“ die entsprechende Unterlage EU 251. Bei der Ermittlung wird nur die Ingestionsbelastung über das Trinkwasser betrachtet. Die Trinkwasseraufnahme ist mit 500 l/a angenommen. Verwendet wurden die Dosisfaktoren gemäß ICRP. Es wurden „zulässige Jahresdosisgrenzwerte von 0,01 – 0,06 mSv/a angesetzt, derartige Dosen resultieren aus der Ingestion natürlicher Wässer“. Für die Chemotoxizität wurden entsprechende Werte aus "Trinkwasserverordnung" und aus "Eignungskriterien von Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung" entnommen.

Ältere Literatur wurde in lit[1] offensichtlich nicht ausgewertet. So fehlen z. B. der

1. Geotoxic Hazard Index [GHI].lit[4] **ind[4010]**

und weitere in SMITH 1980 lit[5] aufgeführten Indizes:

- | | |
|---|------------------|
| 2. Simple Indices (Volumen, Konzentration etc.) | ind[4020] |
| 3. Lethal Dose (LD) | ind[4030] |
| 4. Maximum Permissible Concentration (MPC) | ind[4040] |
| 5. Drinking Water Standard (DWS) | ind[4050] |
| 6. Maximum Permissible Intake (MPI) | ind[4060] |
| 7. Relative Hazard | ind[4070] |
| 8. Hazard Index (HI) | ind[4080] |
| 9. Modified Hazard Index | ind[4090] |
| 10. Number of Lethal Doses | ind[4100] |
| 11. Relative Toxicity Index (RTI) | ind[4110] |
| 12. Potential Hazard Index (PHI) | ind[4120] |
| 13. Smith`s Modified Hazard Index | ind[4130] |
| 14. Hazard Available Index (HA) | ind[4140] |
| 15. Environmental Radiation Dose Commitment (ERDC) | ind[4150] |
| 16. Cumulative Exposure Index (CUEX) | ind[4160] |
| 17. Radionuclide Importance Index (RII) | ind[4170] |
| 18. Radiological Environmental Concern Index (RECI) | ind[4180] |
| 19. Isolation Time (Ti) | ind[4190] |
| 20. Somatic Dose Index (ID) | ind[4200] |
| 21. Specific Risk Factor | ind[4210] |

22. Index of Hazard for Radioactive Waste (HIWM)	ind[4220]
23. Risk-Perception Quantification Methodology	ind[4230]
24. Environmental Quality Index (EQI)	ind[4240]
25. Chemical Hazard Ranking System	ind[4250]
26. Environmental Stress Importance Index	ind[4260]
27. Biological Indices of Pollution (drei Varianten)	ind[4270]
28. Index of Risk for Inhalation Hazard	ind[4280]
29. ICRP Index of Harm	ind[4290]
30. Index of Harm	ind[4300]

Weder in lit[1] noch in lit[42] wurde der

Biosphere Toxic Index [BTI] [mSv/t SM] **ind[5010]**

nach lit[6], lit[7], lit[8], lit[9] einbezogen. In lit[7] wird mit Hilfe dieses Indikators hergeleitet, dass auf der Grundlage der Planung von 1987 für das Abfallinventar Schacht Konrad die notwendige Isolationszeit 10^7 a beträgt. Bei Verzicht auf Einlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen und Abfällen aus der MOX-Brennstoffherstellung reduziert sich diese auf 3×10^4 a.

Der Indikator BTI wird in lit[75] in folgender Weise aufgegriffen:

...."Toxicity" approach: Independent of a disposition design and a geological location, Kirchner 1985passim proposes a toxicity index by the necessary isolation periods and retention factors may be calculated solely from waste properties.....

In CHAPMAN 2003 lit[10] sind drei Toxizitätsindices angeführt, die auf lit[42] zurückgehen:

1. Hazard Index-ALI	ind[6010]
2. Hazard Index-MPBBs	ind[6020]
3. Hazard Index-MPCw	ind[6030]

Speziell zum Vergleich von Radio- und Chemotoxizität werden in PIEPER 2002 lit[11], lit[38] folgende 6 Indikatoren hergeleitet:

1. Toxizitätsindikator-tb-ub [a]	ind[7010]
2. Toxizitätsindikator-tb-LD [1]	ind[7020]
3. Toxizitätsindikator-GW-Tw [m^3 Wasser]	ind[7030]
4. Toxizitätsindikator-GW-Luft [m^3 Luft]	ind[7040]
5. Toxizitätsindikator-aH [m^3 Boden]	ind[7050]
6. Toxizitätsindikator-nH [m^3 Erdkruste]	ind[7060]

Mit diesen Indikatoren soll eine quantitative Aussage darüber gemacht werden können, welche theoretisch mögliche toxikologische und ggf. ökologische Auswirkung von einem Abfall ausgehen kann. Diese Größen werden nur durch die Schadstoffgehalte im Abfall quantifiziert. Damit erlauben sie einen standortunabhängigen Vergleich verschiedener Abfälle.

Im Anhang des Teilprojektberichts 2 lit[38] zu dieser Studie wird der BTI erwähnt, aber bei der weiteren Auswertung mit folgender Argumentation nicht weiter benutzt lit[43]:

...[Kirchner 1985] führt einen TI zur Ermittlung des Gefährdungspotentials endgelagerter radioaktiver Abfälle ein, der Transportfaktoren (und verschiedene Pfade berücksichtigt). Kirchner weist jedoch darauf hin, dass die Töchter der betrachteten Radionuklide für eine sinnvolle Berechnung berücksichtigt werden müssen (siehe auch [Smith et al.]. Auf eine eingehende Diskussion dieses umfassenden Ansatzes wird hier verzichtet, da Kirchners TI Aspekte beinhaltet, die für die TI im Rahmen dieses Projektes ausdrücklich ausgeschlossen wurden.....

Auf ähnlicher Basis wie lit[1] kommen KEMAKTA 2004 lit[12] zu einer Liste von Indikatoren. Eine Zusammenfassung ist im Synthesebericht lit[33] zu finden. Leider können diese beiden im INTERNET veröffentlichten PDF-Dokumente – im Gegensatz zum sonst üblichen internationalen Standard – nicht mit copy-and-paste (CAP) ausgewertet werden:

1. Individuelles Risiko	ind[8010]
2. Individualdosis	ind[8020]
3. Kollektivdosis	ind[8030]
4. Dosisleistung von Fauna/Flora	ind[8040]
5. Durchfluss der freigesetzten Toxizität	ind[8050]
6. Toxizitätsfreisetzungsraten	ind[8060]
7. Radionuklidfreisetzungsraten	ind[8070]
8. Radionukliddurchfluss	ind[8080]
9. Schadstoffkonzentration	ind[8090]
10. Isolationsfaktor	ind[8100]
11. Isolationszeit	ind[8110]
12. Freisetzungsdauer	ind[8120]
13. Radionuklidtransportzeit	ind[8130]
14. Verdünnung	ind[8140]
15. Toxizität	ind[8150]
16. Quellterm (Gesamtaktivität)	ind[8160]

Schwerpunkt der Studie ist die Bewertung der Indikatoren nach unterschiedlichen Kriterien wie

- Zeitbereich der Anwendung,
- räumliche Anwendbarkeit,
- Eignung zum Nachweis der Schutzziele,
- Unsicherheiten,
- Relevanz für verschiedene geologische Barrieren und geologische Medien,
- Relevanz für verschiedene Abfallarten,
- Anwendbarkeit auf spezielle Fälle,
- Eignung für verschiedene Zwecke wie Planung, Standortwahl, Optimierung, Vergleiche,
- Vermittelbarkeit und Verständlichkeit für die Öffentlichkeit

Hierbei sind die Bewertungen bezüglich der Kriterien „Unsicherheiten“, „Eignung für Vergleiche“ und „Vermittelbarkeit/Verständlichkeit für die Öffentlichkeit“ neu und für die weitere Verwendung in der Endlagerdiskussion sehr nützlich.

In der hier gesichteten Literatur ergeben sich somit ca. 300 Indikatoren. Dabei sind einige identisch, gleich oder ähnlich. Das Vorstehende ist als eine Sammlung zu verstehen, Mehrfachnennungen sind also die Regel. In einem weiteren Arbeitsschritt sind die Indikatoren zu vergleichen, identische zu identifizieren und ähnliche in Ähnlichkeitsklassen zu sortieren. Es ist aber nicht zu erwarten, dass lediglich eine einstellige Anzahl von Indikatoren übrig bleibt.

Die Indikatoren sind in der Literatur teilweise in ingenieurmäßiger Form dargestellt, wie z. B. mit Einsetzen von Konstanten mit Wert und Einheit. Diese ist in wissenschaftliche Nomenklatur durch Benennung von Konstanten umzuwandeln. Auch ist die Nennung der Einheit auf Nennung der Dimension umzustellen. Die Verwendung der konkreten Konstanten und der Einheiten sollte dem Schritt der numerischen Berechnung vorbehalten bleiben.

Zwischenergebnis:

Neben der Dosisrate wurden weitere Indikatoren für das Verhalten von Endlagern nach der Betriebsphase entwickelt, um die Beurteilungsbasis zu verbreitern. Dies ist insofern notwendig als die Dosisrate nicht mit einer entsprechenden Verlässlichkeit über die Laufzeit eines Endlagers prognostiziert werden kann. Sowohl geologische und hydrogeologische Gegebenheiten als auch die Anthropos- und Biosphäre werden sich in einer Weise ändern, was selbst mit großen Fehlerbandbreiten auf wissenschaftlicher Ebene nicht prognostizierbar ist und sein wird. Der schwächste Punkt ist da eindeutig das menschliche Verhalten lit[36]:

...One critical gap in our understanding is with respect to future human behavior. Since there is no scientific basis for predicting human behavior, we recommend that policy decisions be made to specify default (or reference) scenarios to be used to incorporate assumed future human behavior into compliance assessment calculations..

In diesem Bereich gibt es nur wenige Versuche der wissenschaftlichen Prognose und diese bewegen sich in einem Zeitrahmen, der für das Problem Endlager irrelevant ist lit[13]. Hier ist durch die Aufgabe des Paradigmas „vollständiger Abschluss“ wesentliches in der grundsätzlichen Betrachtungsweise verändert worden. Bezüglich Anthropos- und Biosphäre sollten aber wenigstens die aufgestellten Prognosen für Klimaänderungen berücksichtigt finden lit[14], lit[69]. U. a. in lit[68], lit[94] ist dieses bereits konkret umgesetzt.

Es geht auch um die Schaffung einer breiteren Vertrauensbasis in der Öffentlichkeit, um eine fundierte gesellschaftliche Entscheidung herbeiführen zu können. Um dieses zu erreichen, sollten bei einem konkreten Projekt alle verfügbaren Indikatormodelle angewendet werden. Lediglich Doppelungen sollten vermieden werden, indem identische Indikatoren identifiziert und als Synonyme gekennzeichnet werden. Nur durch einen solchen „pluralistischen“ Ansatz ist die Beurteilung des komplexen Problems „Endlager in der Nachbetriebsphase“ - das sich mit den exakten Naturwissenschaften Physik und Chemie, mit der beschreibenden

Wissenschaft Geologie und mit weiteren Wissenschaften wie der Soziologie nicht eindeutig abbilden lässt - in Approximation durchführbar. Ein „singularistischer“ Ansatz ist wenig hilfreich lit[76].

....Da wir es bei einem radioaktiven Endlager mit Unsicherheiten verschiedenen Typs über lange Zeitperioden zu tun haben (die wir einzuschätzen haben und die glaubwürdig zu kommunizieren sind), ist es ratsam, den Sicherheitsnachweis als «bewegliches Ziel» mit verschiedenen Ansätzen anzuvisieren....:

Auf Grund der o. g. erkenntnistheoretischen Rahmenbedingung ist die Aufzählung der Indikatormodelle nie als abschließend zu betrachten. Jedes weitere sinnvolle Indikatormodell kann neue Aspekte aufzeigen, die mit den bisherigen nicht vollständig abgedeckt werden konnten. Konsequenterweise ist für ein Endlagerprojekt ein möglichst umfassender Satz von Eingangsdaten zu erarbeiten, so dass jeder beliebige Indikator abgeschätzt und auf Nachfrage auch weitere sinnvolle Indikatorvorstellungen numerisch bedient werden können. Ein Sicherheitsnachweis/-beweis im rein wissenschaftlichen Sinne ist unmöglich und ein Versuch hätte Ähnlichkeit mit den sog. Gottesbeweisen, die bei der Entwicklung der mathematischen Logik und der Erkenntnistheorie eine wesentliche Rolle spielten lit[15], lit[37]. In lit[77] wird diese Problematik in folgender Weise formuliert:

.... The system characteristics of radioactive waste lead to the fact that longterm safety of waste disposal intrinsically cannot be mathematically demonstrated. The hypothesis is investigated that a "convincing set of arguments" (NEA 1999b, [G182:11]) can only be given in an extensive stepwise process and consists of technical elements (barriers), scientific methods (e.g. uncertainty analyses) and comprehensive procedural aspects....

Im Zusammenhang mit Sondermülldeponien ist Ähnliches erarbeitet worden lit[90]:

*...But apparently, this is not much different in the scientific community. It so happens that officials in the Netherlands laugh about the ridiculous idea of co-disposal, whereas their UK counterparts consider waste separation equally ridiculous...
..The only solution to the problem of lack of stability and disagreements in science would seem to be openness about these issues. I have seen very clear and frank admittance of uncertainties in the Kaliwaal case and in the Canadian low-level radioactive waste process. Such admittance is somewhat tricky in the sense that the great discursive power of science is abandoned, in return for uncertainty. However, the increasing scientific literacy of the population in combination with the fact that science can really not pretend to be able to predict every consequence of a project for an extensive period of time (such pretence is false), necessitate it...*

Bei Nichtberücksichtigung dieser Gegebenheiten kann es im öffentlichen Verwaltungsverfahren leicht zu Verwerfungen kommen, die das gesamte Verfahren gefährden können. Entsprechende Erfahrungen sind bereits an vielen Stellen gemacht worden lit[95]

...For one thing, we have learned - contrary to expert assertions - that people are not necessarily irrational in their assessments of risk. Citizens, we discover, do not ignore the technical facts, rather they tend to combine and process them with a different form of logic, especially in the face of risk and uncertainty. Confronted with uncertainties that science cannot answer, lay people turn to more normative forms of rationality - what can be called "socio-cultural rationality" (Plough/Krimsky 1987; Fischer 2000)....

und gut dokumentiert im Fall Deep River, Ontario, Kanada lit[96]. Als wichtig stellt sich hier die Psychologie und Soziologie der Ambiguitätstoleranz heraus lit[91].

Weiterhin sollte man auf eine erkenntnistheoretische Diskussion vorbereitet sein. Dazu ist es notwendig, die zur Anwendung kommenden Wissenschaftszweige darzustellen und zu bewerten. Dabei hat die Sozialwissenschaft eine besondere Bedeutung, wenn man Folgendes bedenkt lit[50]

...Die Sozialwissenschaft verfolgt demgegenüber eher ein theoretisches Erkenntnisinteresse, versucht empirisch gestützte Aussagen über Kausalzusammenhänge zu machen und befaßt sich weniger mit der Sollstruktur offizieller Regeln als mit den davon oft abweichenden tatsächlichen sozialen Vorgängen...

Aufschlussreich sind also die sozialen Vorgänge in den jeweiligen scientific communities über die letzten Jahrzehnte, die wichtig sind für die Einschätzung der Stabilität der Strukturen in entsprechenden Wissenschaftszweig lit[85]:

...These assumptions make understandable how the technical system and their safety/risk analyses are erected and how they are assessed from diverse viewpoints. With respect to science a convergent approach was chosen by Kuhn 1962 passim in analysing the influence on scientific knowledge when he coined the term "paradigma". In this context, its sociological sense is pertinent, viz., it is "the entire constellation of beliefs, values, techniques, and so on shared by the members of a given community". These considerations have a bearing on how to evaluate the uncertainty notion as well as expert and value judgments, paramount aspects in the issue under study as will be shown...

Es stellen sich Fragen wie: Welche Paradigmenwechsel gab es, welche deuten sich für die Zukunft an etc.? Zu den Naturwissenschaften gibt es dazu recht ausführliche Arbeiten lit[51], lit[52], lit[53]. Im Bereich der Geowissenschaften ist das nicht so offensichtlich lit[54]. In einer Schwedischen Veröffentlichung ist das bereits angesprochen lit[101].

Wegen der besonderen Stellung der Problematik Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Wissenschaft und in der Gesellschaft sind die entsprechenden Unterlagen öffentlich sowohl für die scientific communities als auch für alle Mitglieder der Gesellschaft zu präsentieren. Dafür steht das INTERNET als dynamisches Werkzeug zur Verfügung und wird international in diesem Sinne genutzt. So sind z. B. die schwedischen Diskussionen und die Auseinandersetzungen zu Yucca Mountain vollständig in zahlreichen PDF-Dokumenten in mit CAP auswertbarer Form hinterlegt. Zu betonen ist, dass nicht nur die Endergebnisse öffentlich bereitgestellt werden sollten lit[78]:

...The validity of assumptions used, such as models and parameter values, should be supported, for example through the citing of references to scientific literature, special investigations and research results, laboratory experiments on different scales, field experiments and studies of natural phenomena (natural analogues). Scientific background material and expert assessments should be documented in a traceable manner by thoroughly referring to scientific literature and other material...

Alle in diesem Vermerk verwendeten Unterlagen von außerhalb der Bundesrepublik Deutschland konnten - mit nur wenigen Ausnahmen bei älteren Arbeiten - aus dem INTERNET als PDF-Dokument entnommen werden. In Deutschland ist dies in der Regel nicht möglich und wird z. B. mit dem Hinweis auf laufende Verwaltungsverfahren abgelehnt. Eine ältere soziologische Studie kommt dazu zu folgender Erkenntnis lit[56]:

...In die gleiche Richtung wie das Verlangen nach Bürgerbeteiligung zielt auch die Forderung, die Barriere der Geheimhaltung in der öffentlichen Verwaltung zu senken. Die in jeder staatlichen Zentralverwaltung geltenden Geheimhaltungsnormen werden gewöhnlich mit der Behauptung

gerechtfertigt, man müsse administrative Vorgänge und Aktenmaterial im öffentlichen Interesse oder zum Schutz der Privatsphäre geheimhalten. Tatsächlich gehen die Geheimhaltungsnormen und -praktiken der Verwaltung jedoch oft über das in diesem Sinne Notwendige hinaus. Die hier vor allem wirksamen Kräfte sind organisatorische Schutzbedürfnisse, da Geheimhaltung vor Kritik und vor Zuweisung von Schuld bei Fehlern schützt. Daß sich die Verwaltung derart gegen eine kritische Beurteilung ihres Tuns durch die Öffentlichkeit schützen will, wird als Verletzung der Norm demokratischer Kontrolle über die Verwaltung empfunden. Diese Norm rechtfertigt nicht nur Bestrebungen politischer Dezentralisierung und Partizipation an Verwaltungsentscheidungen, sondern auch das öffentliche Informationsbedürfnis über die Tätigkeit der Verwaltung. Dabei wird nicht etwa nur an eine Beziehung zwischen Verwaltung und Presse gedacht, sondern auch an das Verlangen einzelner Bürger, Einsicht in Akten nehmen zu dürfen, um sich selber ein Urteil über bestimmte Vorgänge zu bilden...

Notwendig ist die Identifizierung der wirklich unabdingbaren Geheimhaltungsregelungen nach bundesdeutschem Recht. Nur so ist eine wissenschaftliche und gesellschaftliche Bearbeitung der Endlagerproblematik möglich. Es ist z. B. vollkommen unverständlich, warum die Studie PRÖHL/GERING lit[39] bisher nicht im INTERNET zur Verfügung gestellt wird. Wäre dies geschehen, hätte der schwerwiegende Fehler, dass wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse - die bereits 1996 veröffentlicht wurden lit[69] - nicht berücksichtigt werden, vermieden werden können. Weiterhin ist zwar die Studie PIEPER lit[11] in Papierform veröffentlicht worden, die Teilstudien (z. B. lit[38]), auf die in der veröffentlichten Studie verwiesen wird, sind jedoch als „nur für den Dienstgebrauch“ deklariert. Selbst intern werden z. B. die Unterlagen zum Inventar des ERAM bisher – innerhalb von 5 Monaten - nicht in geeigneter Form zur Verfügung gestellt, so dass der angeblich konservative Ansatz immer noch nicht nachvollziehbar ist.

Wurde bisher im Bereich Endlagerung ein Zugriff auf Akten u. A. mit den Argumenten verwehrt, es handle sich hierbei nicht um Umweltakten und die Nachfrage sei zu unbestimmt lit[79], so hat sich am 01.01.2006 durch Inkrafttreten des IFG, das 40 Jahre nach der entsprechenden Regelungen in den USA (Freedom of Information Act) Behördenakten grundsätzlich als öffentlich deklariert, die Rechtslage wesentlich verändert. Beide Ablehnungsgründe sind obsolet geworden. Jedoch ist mit einer langen Umsetzung in der Realität zu rechnen, da z. B. selbst den Veröffentlichungsverpflichtungen nach § 11 IFG trotz viermonatiger Vorbereitungszeit zum 01.01.2006 z. B. im Geschäftsbereich des BMU nicht nachgekommen wurde.

Dieses ist nicht allein ein deutsches oder preußisches Problem, wie die Literatur zu Sonderabfalldeponien zeigt lit[92]:

...Having had to study local council archives quite often, I have experienced that researcher never gets access to file storage rooms and needs to ask for certain documents in order to be able to see them. Files are checked for confidential material and this is generally removed before the researcher gets to study the documents. Making photocopies tends to be extremely expensive at local council offices (up to Englische Pfund 2 at time of research). Such hurdles are often crossed by the personal kindness of administrators, but one does not get the impression of a warm welcome initially. In Canada and the Netherlands on the other hand, access is often given to file rooms directly, photocopying tends to be free of charge and is sometimes done for a researcher.....

Aber im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle, wo eine robuste Lösung im Sinne von lit[93]

..According to Rip 1987, a system is "socially robust" if most arguments, evidence, social alignments, interests, and cultural values lead to a consistent option....

notwendig ist und die Gesellschaft als dritte Barriere bezeichnet wird lit[102], ist der frühzeitige freie Zugang zu den Arbeitsunterlagen unabdingbare Voraussetzung. Dazu kommt auch der AkEnd lit[97]

..Alle Informationen müssen von Beginn an allen zugänglich sein. Kein Informationsbedürfnis ist illegitim...

und spielte im Forschungsprojekt, das dem Beteiligungsverfahren des AkEnd zu Grunde liegt, eine wesentliche Rolle lit[98].

Der Anregung, die modernen Geheimhaltungsstrategien bei der Datensicherheit in der Informationstechnologie auch systemangepasst im Endlagerbereich anzuwenden, sollte nachgegangen werden lit[107].

Es sollte vermieden werden, den Eindruck zu erwecken, dass Indikatoren eindeutig numerisch prognostiziert werden können. Dies ist immer wieder zu beobachten, bedingt ist dieses durch die Sozialisation im Bereich der Naturwissenschaften lit[44] und noch stärker im Bereich des Ingenieurwesens. Dieses Kommunikationsproblem ist in diesem Bereich und selbst unter Experten immer wieder anzutreffen lit[99]

...Während in der Wirtschaft Geld das Kommunikationsmedium ist und der Code als Haben- oder Nicht-Haben von Eigentum beschreibbar ist, ist im Falle der Wissenschaft und damit in dem für Experten relevanten Teilsystem das Kommunikationsmedium die "Wahrheit" und der Code "wahr/unwahr" - ein Code, der insofern unglücklich formuliert ist, als es bei der Wissenschaft heute bestenfalls um die Plausibilität und empirische Tragfähigkeit von Aussagen geht und nicht um Wahrheit als absolute Größe...

lit[100]

...Die Experten aus Ingenieur- und Naturwissenschaften auf der einen und Sozialwissenschaften auf der anderen Seite haben sich jedoch auch daran zu gewöhnen, dass ihre Sprachen selbst nur eingeschränkt kompatibel sind, sich weder bei der einen noch bei der anderen Seite "von selbst" in ihrer Plausibilität erschließen und gerade auch im interdisziplinären Dialog sowie in konkreten Fachdebatten an vielen Punkten "übersetzt" werden müssen....

Zusammen mit den Rechenergebnissen sind erkenntnistheoretische Unsicherheiten und die Randbedingungen der verwendeten Modellvorstellungen nach den informationstheoretischen Regeln einer objektorientierten Sprache – im Gegensatz zu Prozeduralsprachen - zu benennen, auch wenn diese bei der Herleitung schon erwähnt wurden. Bei Eingangsparametern ist klar zu stellen, welche sich einem konservativen Ansatz weshalb widersetzen und welche in welchem Maß konservativ angesetzt werden. Umfassende Ansätze dazu sind im Zusammenhang mit dem Verfahren zu Yucca Mountain bereits gemacht worden lit[46]. Diese gehen auf die kritische Äußerung im Peer Review der IAEA/NEA zurück lit[55]:

...In the TSPASR a hybrid conservative/probabilistic methodology is used, which causes assumptions and reality to be mixed in a confusing way. In the future it may be appropriate to present: (i) a probabilistic analysis based on a realistic or credible representation; and (ii) a set of complementary analyses with different conservatisms, in order to place the best available knowledge in perspective. These ancillary analyses could be given a probabilistic weight as well. This should satisfy the regulatory requirements whilst providing a better basis for dialogue and decision-making...

Beim Einsatz der Probabilistik sollte vermittelt werden, dass es sich dabei um „subjektive Probabilistik“ und nicht um „objektive Probabilistik“ im Sinne von DE

FINETTI handelt lit[45], d. h. eine Endlagerentwicklung ist ein einmaliger Prozess und nicht eine Verteilung vieler realer Entwicklungen. Anders wird die Betrachtungsweise erst, wenn Ansätze einer dezentralen Endlagerstrategie in die Diskussion gebracht werden lit[103]:

...Es wird daher vorgeschlagen, mit den bereits jetzt verfügbaren Technologien temporär dezentrale, mengenbeschränkte und eingeschränkt zugängliche Lager zu errichten, deren Überwachung und sicherheitstechnische Weiterentwicklung auf Dauer zu institutionalisieren sind...

...Eine Ein-für-allemal-Lösung für das Problem langlebiger hochaktiver Abfälle (abgebrannte Brennelemente etc) gibt es zurzeit nicht. Dies ist ebenfalls Stand der Technik und man sollte sich ehrlich dazu bekennen. Man wird sich daher mit der ungewohnten Option anfreunden müssen, das atomare Müllproblem den persistenten Problemen der Menschheit zuzurechnen - Problemen, die nicht im Hier und Jetzt oder in überschaubarer und insofern diskontierbarer Zukunft lösbar sind, Problemen, mit denen wir und auch unsere Nachfahren in beständiger Auseinandersetzung über derzeit nicht absehbare Zeiträume leben müssen...

...Die Räumung eines unbrauchbar gewordenen Lagers wäre machbarer, wenn beispielsweise jedes Bundesland mit einem Lager zur Dezentralisation der Schadstoffe beitragen würde...

...Der hier propagierte Ansatz hat jedoch inhärente Vorteile. Dazu gehören die Risikoverteilung ebenso wie die Risikostreuung durch eine relativ hohe Zahl an Standorten mit begrenzten Einlagerungsmengen ("Not all eggs in one Basket")...

Auch vor einer solchen Diskussion kann sich rational nicht verweigert werden. Dies wird durch Umfrageergebnisse deutlich lit[106]:

..Geht es um die Frage, ob ein zentrales oder mehrere dezentrale Endlager eingerichtet werden sollten, dann sprechen sich 45,5 Prozent der Befragten für ein zentrales Endlager aus. 33,7 Prozent bevorzugen mehrere kleine Endlager und ein Fünftel der Befragten hat dazu keine dezidierte Meinung...

...Davon, dass die Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle gewährleistet sein muss, gehen 81,7 bzw. 82,2 Prozent der Befragten aus...

Eine Reihe von Indikatoren benutzen als Eingangsparameter Größen, die bei den bisher üblichen Sicherheitsnachweisen angefallen sind. Der Zusatzaufwand zur Abschätzung dieser Indikatoren hält sich somit in Grenzen. Daneben gibt es insbesondere bei den Toxizitätsindikatoren Eingangsgrößen, deren Bereitstellung einen Zusatzaufwand bedeutet.

Die Indikatoren sollten auch dahingehend bewertet werden, ob mit ihnen ein Vergleich von chemo- und radiotoxischer Wirkung möglich ist. Weiterhin sollten risikobasierte Indikatoren stärker in den Mittelpunkt gerückt werden, um Vergleiche mit anderen Risiken zu ermöglichen. Nur so kann eine produktive Risikokommunikation stattfinden lit[16].

Verstärkt sollten auch Indikatoren betrachtet werden, die es näherungsweise erlauben, Aussagen über die Konsequenzen von disruptiven Ereignissen wie Vulkanausbruch, Schichtdurchschlag und Eiszeiten zu machen. Hier kann wegen Mangels an konkreten Freisetzungspfaden nur von einer Gesamtfreisetzung in die Anthropos- und Biosphäre ausgegangen werden. Im Wesentlichen sind dazu alle Quellthermindikatoren und viele Toxizitätsindikatoren geeignet, so auch der o. g. Indikator BTI.

Vom theoretischen Ansatz her sollten die Indikatoren unter anderem danach klassifiziert werden, welche Bereiche sie berücksichtigen:

- nur Geosphäre,

- nur Anthropos-/Biosphäre,
- sowohl Geosphäre als auch Anthropos-/Biosphäre.

Der Schutz der Natur, gesetzlich verankert u. a. in dem für Endlager radioaktiver Abfälle einschlägigen UVPG (Anlage 1, Vorhaben Nr. 11.2), ist auf einer möglichst wissenschaftlichen Ebene durch Indikatoren zu erfassen. Dies geschieht in Deutschland bisher nicht, obwohl das AtG – in Abweichung zum BImSchG - auf Wissenschaft und Technik verpflichtet. Die Energiedosis wäre ein sinnvoller Anfang. Zu prüfen ist, ob die Verfahrensweise des US Department of Energy lit[17] zwischenzeitlich angewendet werden kann. Ansonsten sind die Entwicklungen bei ICRP lit[18] und des FASSET-Programms (z. B. lit[80], lit[81]) intensiv zu verfolgen und entsprechend der Verpflichtung des AtG auf Wissenschaft und Technik zeitnah umzusetzen.

Gänzlich unbetrachtet blieb bisher das Problem des Schutzes der Umwelt im Nahbereich von Endlagern in tiefen geologischen Schichten. Untersuchungen dazu gab es bisher nur im Rahmen der Versenkung in der Tiefsee lit[19], lit[34], lit[35]. Es gibt Schätzungen, dass die lithoautotrophen Organismen eine Biomasse von 10^{11} t darstellen. Möglicherweise sind durch sie auch Öl- und Erdgaslagerstätten entstanden. Man kann also selbst bei der Endlagerung in tiefen geologischen Schichten von einem belebten Nahbereich ausgehen. lit[32]

Referenzwerte

Prinzipiell sind zu jedem Indikator sinnvolle Referenzwerte zu entwickeln. Dabei ist genau darauf zu achten, mit welcher Methodik der Indikator abgeschätzt wird:

- Welche Anthropos-/Biosphärenmodelle werden verwendet,
- welche konservativen/probabilistischen Ansätze werden gemacht,
- wie werden Referenzpersonen/kritische Gruppen definiert,
- welche statistischen Schätzer werden verwendet?

Die unterschiedlichen nationalen Setzungen zu diesen Punkten führen dazu, dass entsprechende Referenzwerte in der Regel international nicht vergleichbar sind und sich selbst bei gleicher Schutzwirkung numerisch um Größenordnungen unterscheiden können.

Für die Genehmigung von Endlagern sind national Referenz-/Grenzwerte im Wesentlichen für den Indikator effektive Dosis entwickelt worden. In der Regel wird davon ausgegangen, dass hier vereinfachend die Expositionsklasse „Erwachsene“ allein betrachtet werden kann lit[41]. Finnland, Spanien und die Schweiz haben den Referenzwert auf 0,1 mSv/a, die USA für Yucca Mountain/Nevada und Schweden auf 0,15 mSv/a festgelegt. Der o. g. Referenzwert für Yucca Mountain gilt lediglich für die ersten 10.000 Jahre, für den Zeitraum bis 1 Mio. Jahre wird ein Referenzwert von 3,5 mSv/a vorgeschlagen lit[47]. Dieser wird begründet mit der natürlichen Strahlung im mit Nevada vergleichbaren Nachbarstaat Colorado. Nochmals sei betont, dass die Zahlenwerte nicht das Wesentliche sind, sondern die Definition der Expositionsgruppe. Im Falle Yucca Mountain genannt „Reasonably Maximally Exposed Individual (RMEI) lit[82]:

....The standard described above applies for a period of 10,000 years after disposal, and is to be measured against exposures to the RMEI at a location outside the controlled area (in the “accessible environment”)....

... calculation. NRC has further defined the RMEI as an adult (10 CFR 63.312(e)) and specified that the average concentration of radionuclides in well water ingested by the RMEI be based on a water demand of 3,000 acre-feet per year (10 CFR 63.312(c))....

..... The characteristics of the RMEI are defined from consideration of current population distribution and groundwater usage, and average food consumption patterns for the population downgradient from Yucca Mountain in Amargosa Valley, Nevada. Our RMEI is a theoretical individual representative of a future population group or community termed “ruralresidential” (see Chapter 8 of the 2001 BID for a description of this concept, Docket No. OAR-2005-0083-0050). We assume that the rural-residential RMEI is exposed through the same general pathways as a subsistence farmer. However, this RMEI would not be a fulltime farmer. Rather, the RMEI might do personal gardening and earn income from other sources of work in the area. Under our standard, the RMEI will have food and water intake rates, diet, and physiology similar to those of individuals living in Amargosa Valley, Nevada. We assume that all of the drinking water and some of the food (based upon surveys) consumed by the RMEI is from the local area.....

Für die nationalen Begründungen des Referenzwertes effektive Dosis wird in lit[20] fälschlicherweise vereinfachend die mittlere natürliche Hintergrundstrahlung und ihre Bandbreite genannt, die größer als die oben angegebenen Werte ist. In Schweden z. B. ist entgegen der o. g. Begründung der Ausgangspunkt ein Morbiditätsrisiko von $10^{-6}/a$ für ein repräsentatives Individuum in einer Gruppe, die am stärksten exponiert ist:

lit[21]:

4 § Optimisation must be performed and the best available technique shall be taken into consideration in the final management of spent nuclear fuel and nuclear waste.

The collective dose, as a result of the expected outflow of radioactive substances during a period of 1,000 years after closure of a repository for spent nuclear fuel or nuclear waste shall be estimated as

the sum, over 10,000 years, of the annual collective dose. The estimate shall be reported in accordance with 10 -12 §§.

5 § A repository for spent nuclear fuel or nuclear waste shall be designed so that the annual risk of harmful effects after closure does not exceed 10^{-6} for a representative individual in the group exposed to the greatest risk.

lit[22]:

In the case of periods up to 1,000 years after closure, in accordance with the regulations of SSIFS 1998:1, the dose and risk calculated for current conditions in the biosphere constitute the basis for the assessment of repository safety and its protective capabilities.

Furthermore, in the case of longer periods, the assessment can be made using dose as one of several safety indicators. This should be taken into account in connection with the calculations as well as the presentation of analysis results. Examples of such supplementary safety indicators are the concentrations of radioactive substances from the repository which can build up in soils and near-surface groundwater or the calculated flow of radioactive substances to the biosphere.

lit[23]:

SSI stipulates an annual risk of 10^{-6} for individuals exposed to radiation from the repository. For a hypothetical situation with exposure that occurs with certainty (probability = 1), this corresponds to an annual radiation dose of 0.015 milliSieverts (mSv) from the repository. This can be compared with the natural background radiation, which is several mSv/y in Sweden.

The risk limit applies to a representative individual in the group that is exposed to the greatest risk. As an indication of the size of such a group, SSI mentions the population in an area where it is theoretically possible to site ten different deep repositories. Such an area is difficult to delimit in a risk calculation. As an alternative, SSI states that it "can be acceptable to carry out the calculations for an individual judged to be highly burdened, instead of an individual who is representative for the whole group's burden".

The risk limit for such an individual is set at 10^{-5} , which corresponds to a radiation dose of 0.15 mSv/y. The exposure models in SR 97 have not been adapted to the details of SSI's regulations, since the latter did not enter into force until towards the end of the assessment. However, the models are already designed in most cases to calculate doses to a small and highly exposed group which, for example, lives solely on contaminated food. The calculation result in SR 97 should therefore in most cases be compared with the risk criterion 10^{-5} /y, equivalent to a dose limit of 0.15 mSv/y for an exposure that occurs with certainty, see further section 9.10.4.

lit[24]:

In calculations of EDFs [ecosystem-specific dose conversion factors], it is assumed for the typical ecosystems peatland, agriculture and well that releases of radionuclides to the biosphere are dispersed within a local area of roughly the same size as the subareas that were used to subdivide the biosphere on the three sites (250 x 250 metres). It is assumed that residents produce all their food and get all their drinking water within this area.

For at least these three typical ecosystems, the calculations thus include the most exposed individuals within a large region. The acceptance criterion which the calculation results should be compared with when these EDFs are used is thus a risk of 10^{-5} , i.e. a risk for the most exposed individuals in a population. Expressed in dose, this risk is equivalent to $1.5 \cdot 10^{-4}$ Sv/y for an exposure that is certain to occur.

For the typical ecosystems coast, lake and running water, large populations may be exposed in some cases, which makes it more reasonable to compare with a risk of 10^{-6} , which is equivalent to a dose of $1.5 \cdot 10^{-5}$ Sv/y for an exposure that is certain to occur.

In Deutschland wurde in den Sicherheitskriterien 1983 lit[48] auf die Regelung in § 47 StrlSchV (ehemals § 45) verwiesen. Beim Plan Schacht Konrad lit[49] wurden 21 Organdosen und die effektive Äquivalentdosis für die beiden damals nach AVV geltenden Altersklassen Erwachsener und Kleinkind berechnet und mit den Grenzwerten verglichen. Bei der hilfswisen Anwendung der z. Z. gültigen Regelungen des § 47 StrlSchV in Verbindung mit der entsprechenden Berechnungsverordnung lit[40] nebst Fortschreibung sind insgesamt 23 Dosisarten in 7 Expositionsklassen (161 Kombinationen) mit 4 unterschiedlichen Referenzwerten zu vergleichen. Die Dimensionalität dieser Betrachtung lässt sich von 161 auf 1 reduzieren, in dem man die effektive Dosis für die Expositionsklasse >17a als Indikator für alle 161 Referenzwertüberschreitungen mit einem konservativ

transformierten Referenzwert vergleicht [Anlage 2: unterdrückter Vorschlag Ideenmanagement: Referenzwerttransformation vom 21.11.2005. Die Ablehnung verstößt gegen die DV-Ideenmanagement, da die Ausschlussgründe nach 1.2 (3) nicht vorliegen, die Maßgabe nach 3.1(1) besteht und der Vorschlag zu einer berechenbaren Einsparung führen würde. Allein eine Prämierung ist nach 4.4 ausgeschlossen.]. Auch andere Transformationen auf Dimensionalitäten zwischen 1 und 161 sind möglich, wobei die zu erreichende Dimensionalität nicht beliebig ist, sondern die Struktur des Problems gewisse Einschränkungen mit sich bringt. Grundsätzlich führt die Reduktion der Dimensionalität einerseits zu einer Abnahme des Rechenaufwandes insbesondere bei vorliegenden aber mangelhaft dokumentierten Rechnungen andererseits zu einer Erhöhung der Konservativität.

Sollen unterschiedliche Endlageroptionen – Standorte und technische Ausführung – miteinander verglichen werden, so eignen sich abdeckende, konservative Abschätzungen nicht. Es besteht hier die Gefahr, dass bei unterschiedlichem Maß an Konservativität es zu einer falschen Schlussfolgerung kommt lit[25]. Für solche Vergleiche, die im Rahmen einer UVP als Alternativenprüfung gefordert werden (§ 6 Abs. 2 Punkt 5 UVPG – nicht nur technische Verfahrensalternativen wie nach § 3 Abs. 2 Punkt 1 AtVfV) und in anderen UVP-pflichtigen Planfeststellungsverfahren wie Verkehrslinienverfahren durchgeführt werden, sind realistische Abschätzungen auf probabilistischer Ebene notwendig. Hierzu ist eine saubere mathematische Methodik anzuwenden, die im Bereich der Anthroposphärenmodellierung entwickelt und angewendet wurde lit[83], lit[69], lit[104], lit[94]. Darin werden jedoch entgegen der angewendeten Methodik die Dosiskoeffizienten deterministisch gemäß ICRP angesetzt, obwohl sie von probabilistischer Natur sind.

Hinzu kommt das Problem, dass beim komplexen System Endlager Nichtlinearitäten auftreten, so dass nicht mehr entscheidbar ist, welche Annahmen konservativ sind lit[26].

Bisher noch nicht diskutiert wurden unterschiedliche Referenz-/Grenzwerte für unterschiedliche radioaktive Abfälle entsprechend dem Strahlenschutzprinzip der Rechtfertigung (lit[27], § 4 StrlSchV). Abfälle aus der Medizin, Abfälle aus der Stromproduktion bei fehlendem und Abfälle aus der Stromproduktion bei entwickeltem, aber nicht angewendetem Effizienzsteigerungsportfolio bieten signifikant unterschiedliche Rechtfertigungen.

Bei den Abfällen der Stromproduktion sind in Deutschland auf der Grundlage breiter politischer und gesellschaftlicher Entscheidungen folgende Kategorien zu berücksichtigen:

Kategorie 1: Kernenergie als akzeptierte Energieform im Mix in der BRD von 1961 bis 1986

Kategorie 2: Kernenergie als Energieform im Mix in der DDR von 1966 bis 1990

Kategorie 3: Kernenergie als Übergangsenergie im Mix der BRD nach der Reaktorkatastrophe Tschernobyl 1986 bis 1998 bei gleichzeitiger Entwicklung von Alternativen (Parteiprogramme CDU/CSU, Parteitag SPD, Gesetzesentwurf Die Grünen)

Kategorie 4: Beseitigung des Zwanges, Atomstrom zu nutzen, durch Energierechtsnovelle 1998; Deklarierungspflicht seit 01.12.2005

Kategorie 5: Atomkompromiss über das Auslaufen der Stromproduktion aus Kernenergie unter Berücksichtigung der betriebswirtschaftlichen Vorteile

für den Kernkraftwerke betreibenden Teil der Elektrizitätswirtschaft unter Verzicht auf den Sofortausstieg trotz zur Verfügung stehender Alternativen sowohl auf Angebots- als auch auf Nachfrageseite von 2000 bis 2021

Kategorie 6: eventuelle Kernenergienutzung nach 2021 oder außerhalb der im Atomkompromiss vereinbarten Restlaufzeiten vor 2021

Zu betonen ist zu Kategorie 6, dass spätestens beim Eintritt in eine solche Entwicklung entsprechend den Grundlagen des Strahlenschutzes neu über das Gesamtsystem zu entscheiden ist lit[84]:

...First, the radiation-induced health detriment specifically should be considered as one element in the decision process; second, the role of radiation protection specialists should not be that of choosing between a range of viable options, but that of advising about the viability of an option involving the use of radiation; and third, judgments should not be made once and forever because options considered viable in a given context at a given time may not continue to be so with changing conditions or the passage of time...

Davon ausgehend sind die ethischen Grundlagen des Strahlenschutzes im Allgemeinen und bei der Endlagerung im Besonderen immer wieder ins Bewusstsein zu rufen. Bezeichnend ist z. B., dass in der bisherigen ethischen Diskussion in diesem Zusammenhang die soziologischen Ansätze z. B. von Ulrich Beck lit[59] keine lit[57] oder nur undifferenzierte Erwähnung lit[58] finden.

Besonderes Augenmerk ist auf die Verfahrensrichtigkeit lit[87] zu lenken, insbesondere die Rollenaufteilung bei der Aufstellung von Kriterien, der Berücksichtigung der Kriterien in der Planung und der Kontrolle der Einhaltung der Kriterien. In Deutschland besteht in dieser Hinsicht erheblicher Nachbesserungsbedarf lit[88]. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang die „Sozialisation der Institutionen“ zu berücksichtigen lit[89]:

...The role of the international organisations (Figure 12-3, page 210) playing a part in the management of ionising radiation reflects the multiple function many state authorities have in the nuclear field:

- They were established as technical bodies, intrinsically having difficulties integrating non-technical aspects.*
- On the one hand, they were founded as (technical) promoting instruments of nuclear technology (and by that, after Hypothesis 1, flawed with political implications).*
- On the other hand, they act as advisory instruments regarding surveillance (radiation protection, reactor accidents, emergency) and the institutional oversight by the national bodies.*
- Thereby, they do not virtually assert control (with the moderately successful exception of safeguard measures by IAEA), but give assistance and make recommendations albeit called "guidelines"...*

Zwischenergebnis

Risikobasierte Ansätze sind vorhanden, müssen aber stärker herausgearbeitet werden, um Risikokommunikation in diesem Bereich zu ermöglichen. Damit können Referenzwerte aus ganz anderen Bereichen der menschlichen Erfahrungswelt herangezogen werden.

Weiterhin ist anzustreben, die gesamte Systematik des Strahlenschutzes mit Rechtfertigung, Minimierung und Dosisbegrenzung in diesem Bereich sinnvoll zu etablieren. Damit wird auch klar, dass die Setzung von Referenzwerten gerade in diesem Bereich der Endlagerung keine wissenschaftliche, sondern eine gesellschaftliche Aufgabe ist. Siehe auch lit[105]:

..Alle Forschungsgemeinden müssen sich im Klaren sein, dass letztlich nicht sie, sondern Nicht-Experten entscheiden werden. Zu diesem Prozess können Technikfolgenabschätzung und Sozialwissenschaften wesentlich beitragen...

...International herrscht Übereinstimmung, dass die "sichere" Lagerung der Abfälle das Ziel des gesamten Unterfangens ist. Jedoch ist "Sicherheit" keine wissenschaftliche Größe. "Wie sicher ist sicher genug?" ist seit den 1970er-Jahren eine heiß debattierte Frage, die sich nur gesellschaftlich lösen lässt...

Dieses ist im Bereich der Grenzwertsetzungen für chemotoxische Stoffe mit genotoxischer Wirkung seit langem dadurch berücksichtigt, dass für diese Stoffe nicht die wissenschaftliche „Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe“, sondern der paritätisch besetzte „Ausschuss für Gefahrstoffe“ zuständig war.

Monitoring

Auch wenn ein Endlager als passives System ohne Eingriffsmöglichkeit angesehen wird, wird man gerade in der Öffentlichkeit nicht umhin können, für einige Jahrhunderte ein Monitoring zu planen, das geeignet ist, neben den Non-Proliferationsanforderungen auch die reale Entwicklung vor dem Hintergrund des prognostizierten Verhaltens zu prüfen lit[29]:

...These controls must be sufficiently robust to adress non-proliferation and security concerns, in a manner that enhances public confidence - and they must be adequate to ensure stability well into future. The IAEA is currently developing site-specific safeguards requirements and long term surveillance and monitoring approaches...

lit[86]:

..Design of a substantive monitoring program is needed both to assuage public fears regarding 'out of sight, out of mind' and to ensure that our descendants will have the proper data to decide whether and when to seal the repository"...

Dies ist schon deshalb berechtigt, da die bisherige Menschheits-, Technik- und Wissenschaftsgeschichte vom Trial-and-Error-Prinzip geprägt ist und viele aufgestellte Prognosen nicht eingetroffen sind. Hier ist nochmals zu betonen: Bei der im Zusammenhang mit einer zentralen Endlagerstrategie verwendeten Probabilistik handelt es sich um „subjektive Probabilistik“ und nicht um „objektive Probabilistik“ im Sinne von DE FINETTI lit[45], d. h. eine Endlagerentwicklung ist ein einmaliger Prozess und nicht eine Verteilung vieler realer Entwicklungen.

Bei einem solchen Monitoring (u. a. lit[60], lit[28], lit[61], lit[62], lit[63], lit[64], lit[65], lit[66]) treten mindestens folgende Schwierigkeiten auf:

- Direkte Messungen sind nur eingeschränkt möglich, da kein Zugang mehr möglich ist und Messsysteme nur eine begrenzte Lebensdauer haben.
- Ein Monitoring müsste über Zeiträume durchgeführt werden, die institutionelle Zeiträume wesentlich überschreiten.
- Bei Nichteinhaltung der Prognosen stehen wegen der gewollten Unzugänglichkeit nur sehr eingeschränkte Gegenmaßnahmen zur Verfügung.

U. U. wird in nicht allzu ferner Zukunft auch Fernüberwachung durch die Untersuchung der Neutrinostrahlung möglich sein lit[31]. Gemeint ist ein Zeitraum in der Größenordnung von 50 Jahren - 30 Jahre bis zur Verfügungstellung eines Endlagers und ca. 20 Jahren Betriebszeit bis zur Schließung. Neutrinostrahlung entsteht z. B. im ERAM nach erster Inventarsichtung beim radioaktiven Zerfall von Cl-36 (beta+), Ca-41 (ec), Ni-59 (beta+), Mo-93 (ec). Weiterhin wird der Begriff Neutrino auch als Sammelbegriff für Neutrino und Antineutrino benutzt lit[67]:

....More precisely, the „neutrino“ emitted in beta- decay is the anti-neutrino (with the neutrino being emitted in beta+ decay). The neutrino has zero charge and almost zero mass.....

Als Neutrinostrahler in diesem erweiterten Sinne, die durch Neutrinospektroskopie detektiert werden könnten, gehören nach erster Sichtung des ERAM-Inventars folgende Nuklide: C-14, Cl-36, Co-60, Ni-63, Se-79, Rb-87, Sr-90, Zr-93, Nb-94, Tc-99, Pd-107, Sn-126, I-129, Cs-135, Cs-137, Sm-151, U-240, Np-240, Ra-228, Ac-228, Pb-212, Bi-212, Tl-208, Th-234, Pa-234, Pb-214, Bi-214, Tl-210, Pb-210, Bi-210, Pb-209, Tl-206, Pu-241, U-237, Pa-233, Ra-225, Bi-213, Tl-209, Pb-209, Pu-243, Np-239, Th-231, Ac-227, Fr-223, Bi-215, Pb-211, Tl-207.

Die Schwierigkeit liegt nicht auf der Seite der Neutrinoquellen im Endlager, sondern auf der Seite der Detektion. Der geringe Wirkungsquerschnitt der entsprechenden Schwachen Wechselwirkungen ermöglicht einerseits die Fernüberwachung, führt aber bei der Detektion naturgemäß zu Problemen. In lit[30] werden Arbeiten geschildert, die das bisherige Paradigma dazu in Frage stellen. U. U. ist darauf aufbauend ein selektiver Neutrinodetektor konstruierbar.

Zwischenergebnis

Es sollte darüber nachgedacht werden, welche messbaren relevanten Indikatoren in relativ kurzer Zeit Ergebnisse liefern können, die eine Aussage über Einhaltung der Prognosen oder Abweichungen davon erbringen können.

Mehnert

Literatur

lit[1]= Becker, D.-A., et al., Testing of safety and performance indicators (SPIN). 2003: European Commission.

lit[2]= Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Plausibilitätsbetrachtung zur Chemotoxizität radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Vol. EU 251. 1990.

lit[3]= Niedersächsisches Umweltministerium, Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vom 22. Mai 2002. 2002.

lit[4]= Smith, C.F., J.J. Cohen, and T.E. McKone, A Hazard Index for Underground Toxic Material. 1980. UCRL-52889. S. 3-10

lit[5]= Smith, C.F., J.J. Cohen, and T.E. McKone, A Hazard Index for Underground Toxic Material. 1980. UCRL-52889.S. A-3 bis A-45

lit[6]= Kirchner, G., Ein neuer Toxizitätsindex zur Ermittlung des Gefährdungspotentials endgelagerter radioaktiver Abfälle. 1985: Bremen, Germany.

lit[7]= Kirchner, G., A New Hazard Index for the Determination of Risk Potentials of Disposed Radioactive Wastes. Journal of Environmental Radioactivity, 1990. 11: p. 71-95.

lit[8]= Kirchner, G., Isolationszeiträume für die Endlagerung radioaktiver Abfälle., in Die Endlagerung radioaktiver Abfälle, IPPNW (International Physicians for the Prevention of Nuclear War/Internationale Ärzte für die Verhinderung des Atomkriegs; Deutsche Sektion), Editor. 1995, S. Hirzel: Leipzig. p. 85-97.

lit[9]= Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU), Umweltgutachten 2000 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen - Schritte ins nächste Jahrtausend, in Deutscher Bundestag Drucksache 14/3363. 2000. Randnummer 1324.

lit[10]= Chapman, N. and C. McCombie, Principles and Standards for the Disposal of Long-lived Radioactive Wastes. Waste Management Series. Vol. 3. 2003: Elsevier. S. 113

lit[11]= Pieper, et al., Vergleich Untertagedeponie - Endlager; Vergleichende Untersuchungen zu Gefährdungspotential, Deponiesicherheit und regulatorischen Anforderungen bei der Endlagerung radioaktiver und chemotoxischer Abfälle. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz. Vol. BMU-2002-599. 2002. S. 24

lit[12]= Kemakta Konsult AB, et al., Sicherheitsindikatoren zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle. 2004.

lit[13]= Inglehart, R., Modernisierung und Postmodernisierung - Kultureller, wirtschaftlicher und politischer Wandel in 43 Gesellschaften. 1998

lit[14]= Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS) and A. Becker, Beitrag zur Erstellung einer Referenzbiosphäre zur Berechnung der in der Nachbetriebsphase eines Endlagers für radioaktive Stoffe hervorgerufenen potentiellen Strahlenexposition unter Berücksichtigung des Einflusses des Klimas. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz. Vol. BMU - 2003 - 623. 2003: BMU.

lit[15]= Löw, R., Die neuen Gottesbeweise. 1994.

lit[16]= ad hoc-Kommission "Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland", Abschlussbericht der Risikokommission. 2003.

lit[17]= U.S. Department of Energy (DOE), A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota. Vol. DOE-STD-1153-2002. 2002.

lit[18]= International Commission on Radiological Protection (ICRP), The Concept and Use of Reference Animals and Plants for the purposes of Environmental Protection - ICRP PUBLICATION XX - Draft for discussion. Vol. XX Draft. 2005.

lit[19]= Chapman, N. and C. McCombie, Principles and Standards for the Disposal of Long-lived Radioactive Wastes. Waste Management Series. Vol. 3. 2003: Elsevier. S. 109

lit[20]= Becker, D.-A., et al., Testing of safety and performance indicators (SPIN). 2003: European Commission.p. 36

lit[21]= Swedish Radiation Protection Institute (SSI), The Swedish Radiation Protection Institute's Regulations on the Protection of Human Health and the Environment in connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste. Vol. SSI FS 1998:1. 1998.

lit[22]= Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI), The Swedish Nuclear Power Inspectorate's Regulations concerning Safety in connection with the Disposal of Nuclear Material and Nuclear Waste. Vol. SKIFS 2002:1. 2002.

lit[23]= Deep repository for spent nuclear fuel SR 97 - Post-closure safety - Main Report. Technical Report. Vol. TR-99-06. 1999: SKB. p 23/24

lit[24]= Deep repository for spent nuclear fuel SR 97 - Post-closure safety - Main Report. Technical Report. Vol. TR-99-06. 1999: SKB. p 286

lit[25]= Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Positionsbestimmung des BfS zu Grundsatzfragen des Strahlenschutzes („Leitlinien Strahlenschutz“). 2005.

lit[26]= Niemeyer, D.M., et al., Probabilistic Safety Assessment for the Morsleben Repository, in DisTec 2004 - International Conference on Radioactive Waste Disposal. 2004: Berlin, Germany.

- lit[27]= Persson, L., Ethical Issues in Radiation Protection - an International Workshop. SSI Rapport. Vol. 2000:08. 2000.
- lit[28]= Kessler, J., Performance Confirmation for the Candidate Yucca Mountain High-Level Nuclear Waste Repository. 2001: EPRI.
- lit[29]= ElBaradei, M., Geological Repositories: The last Nuclear Frontier, in Geological Repositories: Political and Technical Progress. 2005: Stockholm, Sweden. p. 14.
- lit[30]= Durranti, M., From Tyres to Neutrinos. New Scientist, 2004. 17(April): p. 36-39.
- lit[31]= Araki, T., S. Enomoto, and et al., Experimental investigation of geologically produced antineutrinos with KamLAND. nature, 2005. 436: p. 499-503.
- lit[32]= Vreeland, R., Sleeping Beauty. New Scientist, 2000: p. 12
- lit[33]= Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle - Wirtsgesteine im Vergleich - Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz. 2005. S. 51
- lit[34]= Pentreath, R.J. and D.S. Woodhead, Towards the Development of Criteria for the Protection of Marine Fauna in Relation to the Disposal of Radioactive Wastes into the Sea. Radiation Protection in Nuclear Energy, 1988. 2: p. 213-243.
- lit[35]= IAEA, Assessing the Impact of Deep Sea Disposal of Low Level Radioactive Waste on Living Marine Resources. Technical Report. Vol. 288. 1988.
- lit[36]= Committee on Technical Bases for Yucca Mountain Standards, et al., Technical Bases for Yucca Mountain Standards. 1995: National Academy Press. S. 68/69
- lit[37]= Ricken, F., Klassische Gottesbeweise in der Sicht der gegenwärtigen Logik und Wissenschaftstheorie. 1991.
- lit[38]= Colenco, et al., Vergleich UTD / Endlager: Zwischenbericht betreffend Teilprojekt 2: Maßstäbe Gefährdungspotential. 2001.
- lit[39]= GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, G. Pröhl, and F. Gering, Dosiskonversionsfaktoren zur Berechnung der Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase von Endlagern nach dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung in Anlehnung an die Vorgehensweise im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens des geplanten Endlagers Konrad. 2002.
- lit[40]= Bundesrepublik Deutschland (BRD), Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen. 1990.

lit[41]= S. Cohen & Associates, Assumptions, Conservatisms, and Uncertainties in Yucca Mountain Performance Assessments. 2005. S. 9-9

lit[42]= Liljenzin, J.-O. and J. Rydberg, Risks from Nuclear Waste. Vol. 96:70. 1996: Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI).

lit[43]= Colenco, et al., Vergleich UTD / Endlager: Zwischenbericht betreffend Teilprojekt 2: Maßstäbe Gefährdungspotential. 2001. S. 110

lit[44]= Kuhn, T.S., Die Funktion des Messens in der Entwicklung der physikalischen Wissenschaft, in Thomas S. Kuhn - Die Entstehung des Neuen - Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte. 1977. p. 254-307.

lit[45]= De Finetti, B., Theory of Probability - A critical introductory treatment. 1990.

lit[46]= S. Cohen & Associates, Assumptions, Conservatisms, and Uncertainties in Yucca Mountain Performance Assessments. 2005.

lit[47]= U. S. Environmental Protection Agency (EPA), Part II Environmental Protection Agency 40 CFR Part 197: Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, Nevada; Proposed Rule. 2005.

lit[48]= Bundesministerium des Innern (BMI), Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk vom 20.4.1983. GMBI., 1983: p. 220.

lit[49]= Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Plan Endlager für radioaktive Abfälle Schachanlage Konrad Salzgitter 9/86 in der Fassung 4/90. 1990. S. 3.9-48 bis S. 3.9-61

lit[50]= Mayntz, R., Soziologie der öffentlichen Verwaltung. 4. durchgesehene Auflage ed. 1997. S. 2

lit[51]= Kuhn, T. S., Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. 1976 (1962).

lit[52]= Krüger, L., ed. Thomas S. Kuhn - Die Entstehung des Neuen - Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte. 1977.

lit[53]= Collins, H., Gravity`s Shadow - The Search for Gravitational Waves. 2004.

lit[54]= Bernal, J.D., Sozialgeschichte der Wissenschaften - Science in History. 1978: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH. S. 740

lit[55]= An International Peer Review of the Yucca Mountain Project - Total System Performance Assessment for the Site Recommendation (TSPA-SR). 2002: OECD/NEA/IAEA. S. 54/55

lit[56]= Mayntz, R., Soziologie der öffentlichen Verwaltung. 4. durchgesehene Auflage ed. 1997. S. 80

lit[57]= Balthes, B.e., et al., Ethische Aspekte der Endlagerung (Tagungsbericht). Vol. BMU - 2003 - 620. 2003: BMU.

lit[58]= Gerhardt, V., Das Risiko des Lebens, in EUROSAFE. 2004, GRS/IRSN: Berlin, Germany.

lit[59]= Beck, U., Risikogesellschaft - Auf dem Weg in eine andere Moderne. 1986, Frankfurt a/M: Suhrkamp.

lit[60]= Chapman, N. and C. McCombie, Principles and Standards for the Disposal of Long-lived Radioactive Wastes. Waste Management Series. Vol. 3. 2003: Elsevier. S. 169-173

lit[61]= IAEA, Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste. Vol. TECDOC-1208. 2001.

lit[62]= National Association of Local Information Commissions (ANCLI), White Paper on Local Governance of Nuclear Sites. 2005.

lit[63]= IAEA, Geological Disposal of Radioactive Waste - DRAFT SAFETY REQUIREMENTS No. WS-R-4: Supersedes Safety Series No. 99. Vol. DS154. 2005.

lit[64]= Phased Deep Disposal – Monitoring. 2004.

lit[65]= Monitoring during the stepwise implementation of the Swedish deep repository for spent fuel. 2004.

lit[66]= European Commission, Thematic Network on the Role of Monitoring in a Phased Approach to Geological Disposal of Radioactive Waste. Final report to the European Commission - Contract FIKW-CT-2001-20130. 2004.

lit[67]= Magill, J. and J. Galy, Radioactivity, Radionuclides, Radiation - Including the Universal Nuclide Chart on CD-ROM. 2005, p. 65

lit[68]= Pröhl, G., M. Baier, and H. Koch-Steindl, Biosphärenmodelle zur Abschätzung von potentiellen Strahlenexpositionen in der Nachbetriebsphase von Endlagern für radioaktive Abfälle - nicht abgenommener Abschlussbericht. 2002.

lit[69]= Pröhl, G. and H. Müller, Radiation exposure from radionuclides in ground water: an uncertainty analysis for selected exposure scenarios. Radiat Environ Biophys, 1996. 35: p. 205-218.

lit[70]= Pröhl, G., et al., Biosphere Models for Safety Assessment of Radioactive Waste Disposal. GSF-Bericht. Vol. 06/04. 2004.

lit[71]= Olyslaegers, G., et al., A comparative radiological assessment of five European biosphere systems in the context of potential contamination of well water from the hypothetical disposal of radioactive waste. J. Radiol. Prot., 2005. 25: p. 375–391.

lit[72]= Pröhl, G., et al., Development and comparison of five site-specific biosphere models for safety assessment of radioactive waste disposal. J. Radiol. Prot., 2005. 25: p. 343–373.

lit[73]= Pröhl, G. and U. Müller, The variability of the potential radiation exposure to man arising from radionuclides released to the ground water. GSF-Report. Vol. 25/94. 1994, Neuherberg: GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit.

lit[74]= Änderungen im Muttermilchpfad in den Entwürfen der AVV zu § 47 StrlSchV (Stand 11.11.2002 und Stand 21.01.2005). 2005.

lit[75]= Flüeler, T., Decision Making for Complex Socio-Technical Systems. 2005. S. 59

lit[76]= Flüeler, T., Radioaktive Abfälle in der Schweiz - Muster der Entscheidungsfindung in komplexen soziotechnischen Systemen. 2002. S. 73

lit[77]= Flüeler, T., Decision Making for Complex Socio-Technical Systems. 2005. S. x

lit[78]= Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI), The Swedish Nuclear Power Inspectorate's Regulations concerning Safety in connection with the Disposal of Nuclear Material and Nuclear Waste. Vol. SKIFS 2002:1. 2002. S. 14

lit[79]= Ablehnungsschreiben des BfS mit Aktenzeichen Z 5-01003/2 Frau Distler vom 02.11.2005

lit[80]= Gomez-Ros, J.M., G. Pröhl, and V. Taranenko, Estimation of internal and external exposures of terrestrial reference organisms to natural radionuclides in the environment. J. Radiol. Prot., 2004. 24: p. A79-A88.

lit[81]= Taranenko, V., G. Pröhl, and J.M. Gomez-Ros, Absorbed dose rate conversion coefficients for reference terrestrial biota for external photon and internal exposures. J. Radiol. Prot., 2004. 24: p. A35-A62.

lit[82]= U. S. Environmental Protection Agency (EPA), Part II Environmental Protection Agency 40 CFR Part 197: Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, Nevada; Proposed Rule. 2005. S. 49019

lit[83]= Gardener, R.H., B. Rojder, and U. Bergstrom, PRISM - a systematic method for determining the effect of parameter uncertainties on model predictions. Vol. Tech. NW-83/555. 1983, Nyköping: Studsvik Energiteknik.

lit[84]= Silini, G., Ethical Issues in Radiation Protection - The 1992 Sievert Lecture. Health Phys., 1992. 63: p. 139-148. S. 143

lit[85]= Flüeler, T., Decision Making for Complex Socio-Technical Systems. 2005. S. 9

lit[86]= Flüeler, T., Decision Making for Complex Socio-Technical Systems. 2005. S. 234

lit[87]= Shrader-Frechette, K., Ethical Issues in Radiation Protection - an International Workshop, in SSI Rapport, L. Persson, Editor. 2000. p. 39-48.

lit[88]= International Expert Group Gorleben (IEG), et al., Repository Project Gorleben - Evaluation of the Present Situation. 2001. S. 45

lit[89]= Flüeler, T., Decision Making for Complex Socio-Technical Systems. 2005. S. 192

lit[90]= Huitema, D., Hazardous Decisions - Hazardous Waste Siting in the UK, The Netherlands and Canada - Institutions and Discourses. Environment & Policy. 2002: Springer. S. 477

lit[91]= de Haan, G., Tschernobyl oder der Umgang mit Risiken in Lernprozessen. 2006.

lit[92]= Huitema, D., Hazardous Decisions - Hazardous Waste Siting in the UK, The Netherlands and Canada - Institutions and Discourses. Environment & Policy. 2002: Springer. S. 466

lit[93]= Flüeler, T., Decision Making for Complex Socio-Technical Systems. 2005. S. 244

lit[94]= Pröhl, G., F. Gering, and H. Koch-Steindl, Normierte Rechnungen zur Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse. 2000.

lit[95]= Fischer, F., Integrating Deliberation and Analysis in Radioactive Waste Policy - Lessons from Participatory Assessment in the USA and Canada, in Wohin mit dem radioaktiven Abfall? - Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung, P. Hocke and A. Grunwald, Editors. 2006, edition sigma. p. 149.

lit[96]= Huitema, D., Hazardous Decisions - Hazardous Waste Siting in the UK, The Netherlands and Canada - Institutions and Discourses. Environment & Policy. 2002: Springer. S. 357 ff

lit[97]= Ipsen, D., Bürgerbeteiligung und Regionalentwicklung am Standort für ein atomares Endlager, in Wohin mit dem radioaktiven Abfall? - Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung, P. Hocke and A. Grunwald, Editors. 2006, edition sigma. p. 110

lit[98]= Wissenschaftliches Zentrum Mensch Umwelt Technik, Entwicklung eines Beteiligungsmodells im Sanierungsprozeß einer Rüstungsalast - Forschungsbericht. 1992: Gesamthochschule Kassel.

lit[99]= Hocke, P., Expertenkommunikation im Konfliktfeld der nuklearen Entsorgung - Zum Wandel von Expertenhandeln in öffentlichkeitssoziologischer Perspektive, in Wohin mit dem radioaktiven Abfall? - Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung, P. Hocke and A. Grunwald, Editors. 2006, edition sigma. p. 164

lit[100]= Hocke, P., Konzeptionelle Anmerkungen und Vorschläge für eine sozialwissenschaftliche problemorientierte Endlagerforschung in Deutschland - Nachwort, in Wohin mit dem radioaktiven Abfall? - Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung, P. Hocke and A. Grunwald, Editors. 2006, edition sigma. p. 244

lit[101]= Sundqvist, G., The Bedrock of Opinion. Science, Technology and Society in the Siting of High-Level Nuclear Waste. 2002. S. 145, 167

lit[102]= Sundqvist, G., The Bedrock of Opinion. Science, Technology and Society in the Siting of High-Level Nuclear Waste. 2002. S. 226

lit[103]= Kromp, W. and R. Lahodynsky, Die Suche nach dem Endlager - "Make Things Small", in Wohin mit dem radioaktiven Abfall? - Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung, P. Hocke and A. Grunwald, Editors. 2006, edition sigma. p. 63-81.

lit[104]= Krajewski, P., APPLICATION OF MONTE CARLO ANALYSIS FOR ASSESSING RADIATION DOSES AND RISKS TO HUMANS (Exercise example). 2001.

lit[105]= Flüeler, T., Von der Fachöffentlichkeit zum öffentlichen Diskurs - Schweizer Erfahrungen und Ansätze zu einem erweiterten Entscheidungsmodell, in Wohin mit dem radioaktiven Abfall? - Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung, P. Hocke and A. Grunwald, Editors. 2006, edition sigma. p. 220/221.

lit[106]= Stolle, M., Die Einstellung zur Endlagerung und die politische Partizipation der Bevölkerung - Ergebnisse zweier repräsentativer Bevölkerungsumfragen, in Wohin mit dem radioaktiven Abfall? - Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung, P. Hocke and A. Grunwald, Editors. 2006, edition sigma. p. 197/199

lit[107]= Beyer, F., Security Policies am Beispiel des Endlagers Morsleben. 2005.

effektive Dosen und Organdosen ind[2mp] entsprechend § 47 StrSchV und darüber hinaus für weitere Organe

In[1]:= ind[2mp] = Sum[a[i]*dKonvF[i, m, p], {i, imin, imax}]

Out[1]=
$$\sum_{i=imin}^{imax} a[i] dKonvF[i, m, p]$$

a[i]: Aktivitätskonzentration der Nuklidsorte i

dKonvF[i, m, p]: Dosiskonversionsfaktor nach PRÖHL / GERING

m: Dosisart (effekt. Dosis bzw. Organart)

p: Expositionsklasse (Altersklasse, für < 1a zusätzlich mit Ernährungsart Fertignahrung oder Muttermilch)

Biosphere Toxic Index [BTI]**Definition**

Für einen Zeitpunkt $t_1 > t_0$ ist die Toxizität $\text{tox}[i, t_1, t_0]$ eines Abfallnuklids i zu berechnen als

$$\text{tox}[i, t_1, t_0] = \text{Integrate}[n[i, t] * a[i, p] * d[i, p] + \text{Sum}[m[j, t] * a[j, p] * d[j, p], \{j, j \neq i\}], \{t, t_0, t_1\}]$$

Syntax::com :

Warning: comma encountered with no adjacent expression; the expression will be treated as Null.

Sum::itform : Argument (ExpandAll[#1, t, Trig → False, Modulus → 0] &)[{j, Null, j ≠ i}] at position 2 does not have the correct form for an iterator.

$$\int_{t_0}^{t_1} \left(a[i, p] d[i, p] n[i, t] + \sum_{j \neq i} m[j, t] a[j, p] d[j, p] \right) dt$$

(*Die Toxizität des gesamten Abfalls*)

$$\text{ind}[5010] = \text{toxT}[t_1, t_0] = \text{Sum}[\text{tox}[i, t_1, t_0], \{i\}]$$

General::spell1 : Possible spelling error: new symbol name "toxT" is similar to existing symbol "tox".

$$\text{Sum}[\text{tox}[i, t_1, t_0], \{i\}]$$

t: Zeit ab Einlagerung zum Zeitpunkt $t = 0$

t_0 : Freisetzungszeitpunkt nach der Einlagerung, Beginn des Schädigungszeitraums in der Biosphäre

t_1 : Ende des Schädigungszeitraums

i: Index für alle Nuklide, die zum Zeitpunkt t_0 vorhanden sind

j: Index für alle Nuklide, die aus Nuklid i entstehen

$n[i, t]$: Zahl der zum Zeitpunkt t noch vorhandenen Atome des Nuklids i

$m[j, t]$: Zahl der durch Zerfall aus i entstandenen Atome des Nuklids j , $m[j, t_0] = 0$

$a[i, p]$, $a[j, p]$: Transportfaktor; Bruchteil der in der Umwelt befindlichen

Nuklidsorte i , j , der jährlich über Nahrungsketten oder Inhalation zu

Strahlenbelastung des Menschen führt; für Submersion, Konzentration in der Atmosphäre

$d[i, p]$, $d[j, p]$: Radiotoxizität der jeweiligen Nuklide, Dosisfaktoren für

Inhalation, Ingestion und Submersion

p: Index, der den dominierenden menschlichen Belastungspfad (Ingestion, Inhalation oder Submersion) des betrachteten Nuklids charakterisiert

Geotoxic Hazard Index [GHI]

$$\text{gHI}[i] = \text{toxInd}[i] * \text{persF}[i] * \text{availF}[i] * \text{buildCoF}[i]$$

$$\text{availF}[i] \text{ buildCoF}[i] \text{ persF}[i] \text{ toxInd}[i]$$

$$\text{ind}[4010] = \text{Sum}[\text{gHI}[i], \{i\}]$$

$$\text{Sum}[\text{gHI}[i], \{i\}]$$

i: Index für Materialsorte (Nuklid, Substanz)

toxInd [i] : Toxizitätsindex , dieser ist eine Funktion der Menge Q und der Toxizität

(*Radiotox*)

$$\text{toxInd} = \text{quant} / \text{mPC}$$

$$\frac{\text{quant}}{\text{mPC}}$$

(*Chemotox*)

$$\text{toxInd} = \text{quant} / \text{dWS}$$

$$\frac{\text{quant}}{\text{dWS}}$$

quant: Menge in Aktivität bzw. Masse

mPC: maximum permissible concentration for radionuclides in public drinking-water supplies

dWS: drinking-water standard or maximum permissible concentration of stable toxic materials in public drinking-water supplies

(*persF: persistence factor*)

$$\text{persF} = (1 - \text{Exp}[-r\text{Tp} * \text{Log}[2] / \text{tHalf}]) / (r\text{Tp} * \text{dCon})$$

$$\frac{1 - 2^{-\frac{r\text{Tp}}{\text{tHalf}}}}{\text{dCon} r\text{Tp}}$$

rTp : reference time period, taken 300 years in this work

tHalf: half-life

dCon: corresponding decay constant

(*availability factor availF[i]*)

$$\text{availFref}[i] = (\text{ingRate}[i] / \text{crustAbund}[i]) / (\text{ingRate}[\text{Ra226}] / \text{crustAbund}[\text{Ra226}])$$

$$\frac{\text{crustAbund}[\text{Ra226}] \text{ingRate}[i]}{\text{crustAbund}[i] \text{ingRate}[\text{Ra226}]}$$

$$\text{availF}[i] = m * \text{availFref}[i]$$

$$\frac{m \text{ crustAbund}[\text{Ra226}] \text{ingRate}[i]}{\text{crustAbund}[i] \text{ingRate}[\text{Ra226}]}$$

m: modification of availability, considering its chemical and physical form and conditions of burial relative that of its naturally occurring analog. As a first approximation, it can be assumed that m = 1.0. As new generic or site-specific information is obtained through data acquisition, modeling, or other means, this value may be revised to incorporate the new knowledge.

(*buildCoF buildup correction factor*)

$$\text{buildCoF} = \text{toxIndmax} / \text{toxIndinitial}$$

buildCoF applies to materials that decay or transform into progeny more toxic than the parent material

(*Eine andere Formulierung allein für Radionuklide*)

```
chanTox [ i, t] = 1 + Sum[quant[l, t] * toxCoe [l] * availFr [l, t], {l}] / toxInd0[i] *
  toxCoe [l] * availFr [l, t] * Exp[-dCon [i] * t]
```

General::spell11 : Possible spelling error: new symbol name "availFr" is similar to existing symbol "availF".

$$1 + \frac{e^{-t dCon[i]} \text{availFr}[l, t] \text{Sum}[\text{quant}[l, t] \text{toxCoe}[l] \text{availFr}[l, t], \{l\}] \text{toxCoe}[l]}{\text{toxInd0}[i]}$$

```
Clear [chanTox ]
```

```
gHI[i] = toxInd0[i] * (Integrate [Exp (-dCon[i] * t), {t, 0, rTp}] / rTp) *
  (Integrate [chanTox [ i, t] * Exp (-dCon[i] * t), {t, 0, rTp}] /
  Integrate [Exp (-dCon[i] * t), {t, 0, rTp}]) *
  (Integrate [chanTox [ i, t] * availFr [i, t] * Exp (-dCon[i] * t), {t, 0, rTp}] /
  sRefAvail * Integrate [chanTox [ i, t] * Exp (-dCon[i] * t), {t, 0, rTp}])
```

$$\frac{\text{Exp}^3 dCon[i]^3 \left(\int_0^{rTp} t \text{chanTox}[i, t] dt \right)^2 \left(\int_0^{rTp} t \text{availFr}[i, t] \text{chanTox}[i, t] dt \right) \text{toxInd0}[i]}{rTp \text{sRefAvail}}$$

Toxizitätsindex
verwendet für Schacht Konrad in EU 251

$$\text{ind}[3010] = \text{Sum}[a[i] / g[i], \{i\}]$$

$$\text{Sum}\left[\frac{a[i]}{g[i]}, \{i\}\right]$$

a[i]: Aktivität bzw. Masse des Nuklids bzw. Elements i im Endlager
g[i]: Jahresgrenzwert des Nuklids bzw. Elements i bei Aufnahme vom 0.5 m³
Trinkwasser in Bq/a bzw. g/a

nur Ingestionsbelastung über das Trinkwasser,
Trinkwasseraufnahme 500 l/a,
Dosisfaktoren gemäß ICRP,
Jahresdosisgrenzwerte 0.01 - 0.06 mSv/a , derartige Dosen resultieren aus der
Ingestion natürlicher Wässer,
für Chemotoxizität entsprechende Werte aus "Trinkwasserverordnung",
"Eignungskriterien von Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung"

Anzahl unbedenklicher Jahrespersonendosen

(*chemotoxisch*)

ind[7010] = Sum[m[j] / (rdr[j] * 365 d * 60 kg), {j}]

Sum[$\frac{m[j]}{rdr[j] \cdot 365 \text{ d} \cdot 60 \text{ kg}}$, {j}]

m[j] : Masse (mg) der Substanz j

rdr[j] : Referenzdosisraten der Substanz j, die eine lebenslängliche Einnahme erlauben, ohne nachhaltige Wirkung zu verursachen in mg/ (d * kg Körpergewicht)

(*radiotoxisch*)

ind[7010] = Sum[a[j] * dfIng[j], {j}] / dGrenz

$\frac{\text{Sum}[a[j] \cdot \text{dfIng}[j], \{j\}]}{\text{dGrenz}}$

a[j]: Aktivität des Radionuklids j in Bq

dfIng[j]: Dosisfaktor für die Ingestion des Nuklids j in Sv/Bq

dGrenz: Grenzwert der effektiven Dosis 0.3 mSv