

Strahlenschutz im tiefen Untergrund – NORM und seine Auswirkungen

Dr. Bernhard Kuczewski

*Dezernat IV/Da 43.1 Immissionsschutz-Energie,
Lärm-, Strahlenschutz*



Wasserwirtschaftliche und hydrogeologische Aspekte der Nutzung des tiefen Untergrunds
– Fortbildung im Umweltsektor, 28. Juni 2016, Rauschholzhausen

Inhalt

- Primordiale Radionuklide
 - Was ist das?
 - Wo kommen sie her?
 - Warum tun die das?
 - Wo kommen sie vor?
 - Wie verhalten sie sich?
- Strahlenschutz bei Arbeiten
- Rückstände oder keine Rückstände
 - Begriffe
 - Rechtlicher Rahmen
 - Überwachung
 - Entsorgung
- Zusammenfassung

Nukleosynthese

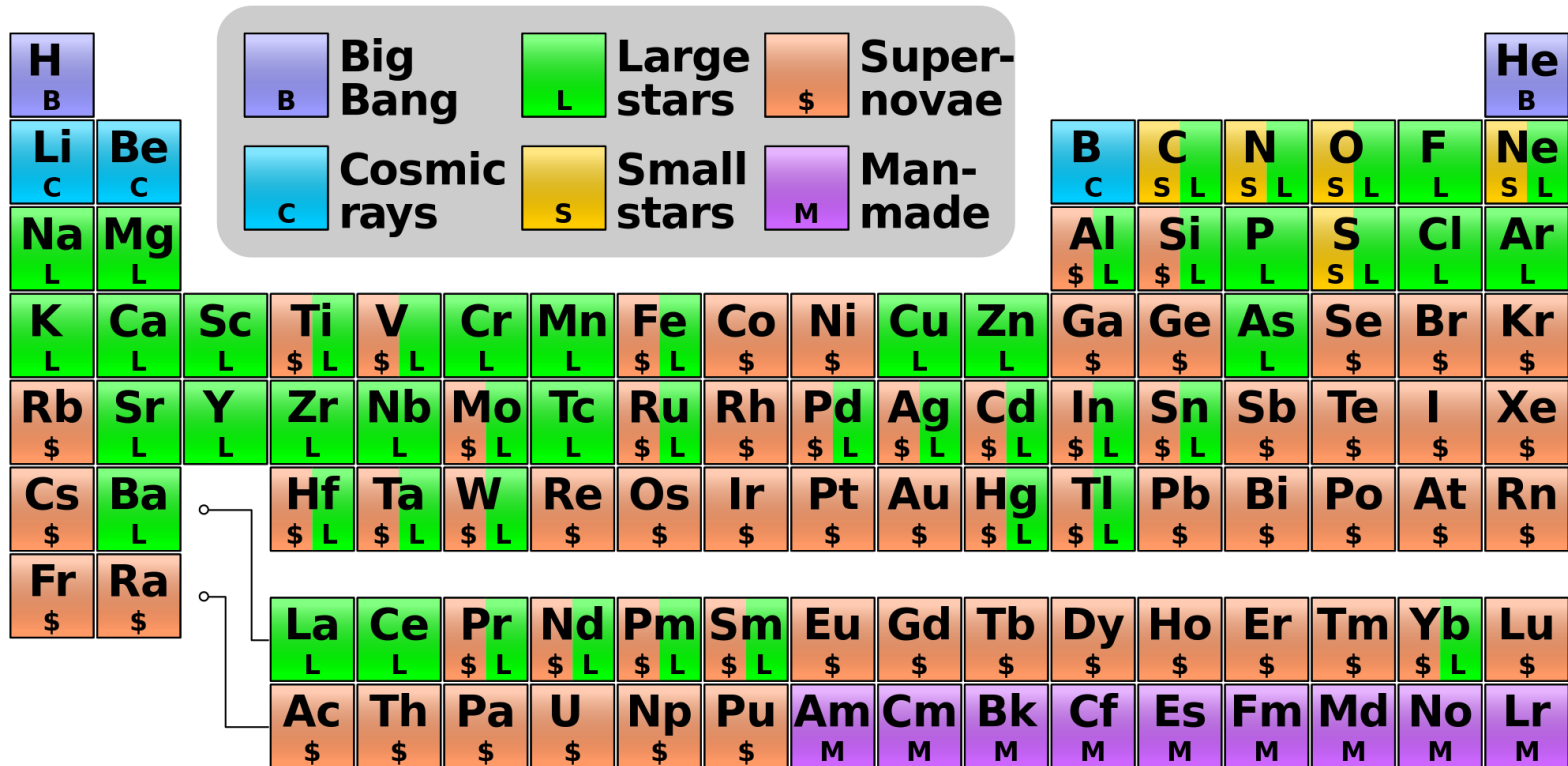
Die Elemente und ihre verschiedenen Nuklide wurden in verschiedenen Prozessen bei der Entstehung des Sonnensystems gebildet. Diese Prozesse werden als Element- oder Nukleosynthese bezeichnet.

In der **primordialen Nukleosynthese** wurden zuerst die Elemente Wasserstoff und Helium gebildet.

In der im Inneren der Sterne ablaufenden **stellaren Nukleosynthese** können dann Elemente bis zum Eisen gebildet werden. Eine weitere Fusion würde thermodynamisch keinen Sinn mehr machen.

Die schweren Elemente können nur durch Neutronen- oder Protoneneinfang gebildet werden. Dabei sind hohe Neutronen- (Protonen-) Flussdichten nötig, wie sie nur in **Supernovae** vorkommen. Die Prozesse sind als **r-, s- und p-Prozess** bekannt.

Nukleosynthese



Von Cmglee - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31761437>

Primordiale Radionuklide

Nicht alle entstandenen Radionuklide sind stabil. Die meisten sind instabil oder radioaktiv. Aber durch die sehr unterschiedlichen Halbwertszeiten sind manche der Radionuklide noch von der Elementsynthese her vorhanden.

Der Begriff primordial kommt aus dem lateinischen und bedeutet: ursprünglich, urweltlich oder auch uranfänglich

Gemeint sind Nuklide, die von Anbeginn der Welt an vorhanden waren und auf Grund der langen Halbwertszeit nur langsam zerfallen.

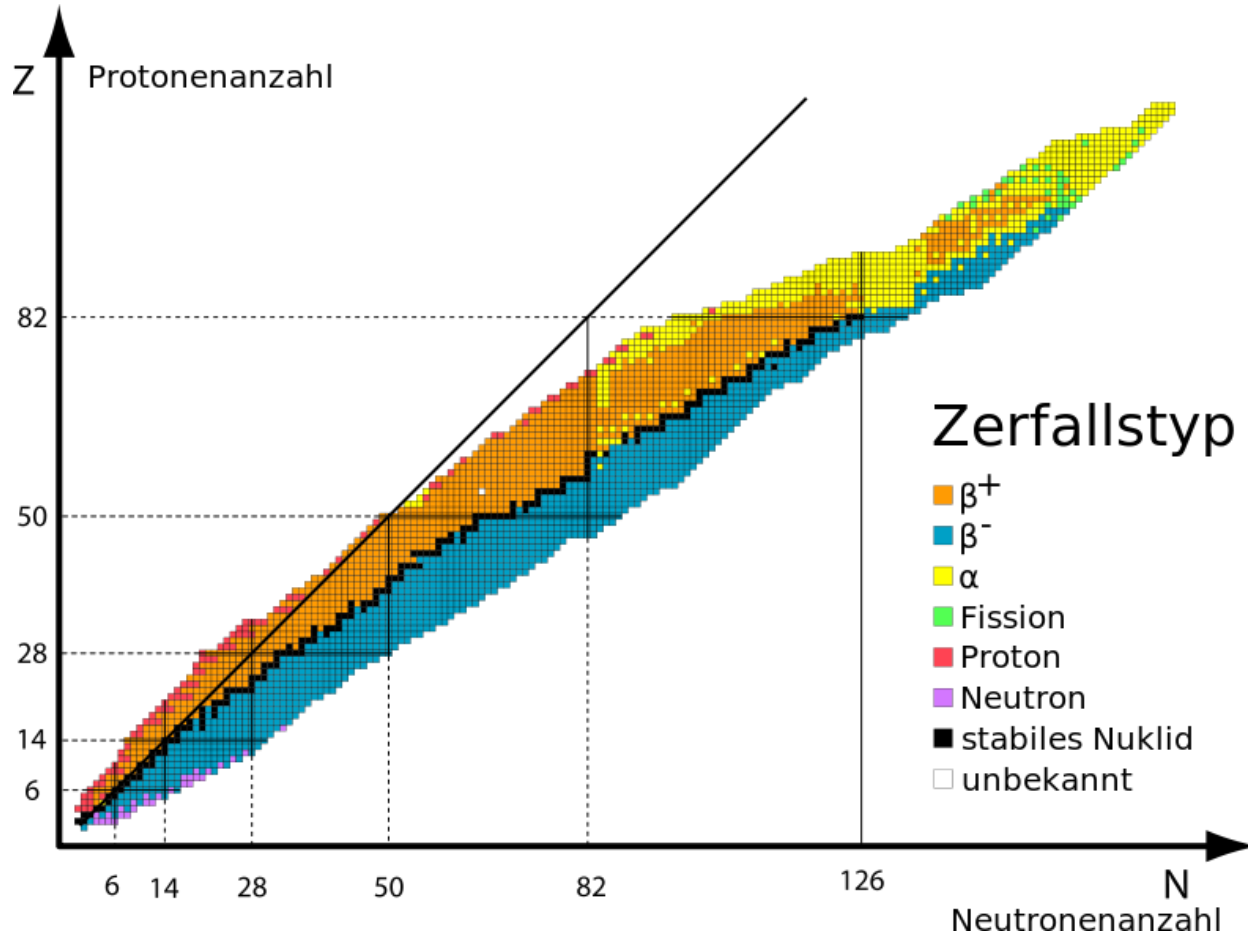
Primordiale Radionuklide

<p>Ca -48 0,187</p>
<p>$1,9 \cdot 10^{19}$ a</p>
<p>2β^-, β^- σ 1,09</p>

Nuklid	Anteil	T _{1/2}
Kalium - 40	0,0117 %	$1,2 \cdot 10^9$ a
Calcium - 48	0,187 %	$1,9 \cdot 10^{19}$ a
...		
Osmium - 186	1,59 %	$2,0 \cdot 10^{15}$ a
Platin - 190	0,012 %	$1,9 \cdot 10^{19}$ a
Bismut - 209	100 %	$1,9 \cdot 10^{19}$ a
Thorium - 232	100 %	$1,4 \cdot 10^{10}$ a
Uran - 235	0,72%	$7,0 \cdot 10^8$ a
Uran - 238	99,27 %	$4,5 \cdot 10^9$ a

Daten aus: Karlsruher Nuklidkarte 2012

Primordiale Radionuklide



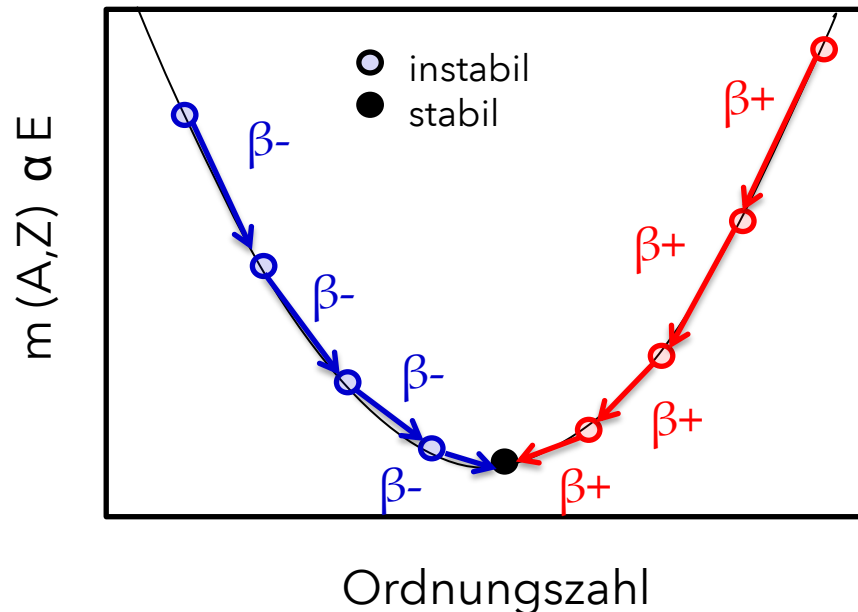
Von Isotopentabelle.svg:Table_isotopes_en.svg: derivative work: Matt (talk)Table_isotopes.svg: Napy1kenobi derivative work: Sjlegg (talk)derivative work: Matt (talk) - Isotopentabelle.svg (andere Darstellung), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10506144>

Kernphysik

Die Stabilität eines Atomkerns ist von der starken Wechselwirkung (Kernkraft) und der Coulombkraft abhängig:

Nach dem Tröpfchenmodell gibt es: Volumenterm, Oberflächenterm, Coulombterm, Assymetrieterm, Paarterm

Mit zunehmender Größe werden die Bindungskräfte immer weniger wirksam.



Natürliche Zerfallsketten

Viele der sehr langlebigen Radionuklide sind nahe an der Stabilitätslinie. Ein Zerfall führt oft zu stabilen Radionukliden.

Bekannt sind aber 4 natürliche Zerfallsketten:

Zerfallskette		Anfangsnuklid	Endnuklid
Uran-Actinium	$4n+3$	U-235	Pb-207
Uran-Radium	$4n+2$	U-238	Pb-206
Neptunium [†]	$4n+1$	Np-237	Tl-205
(Plutonium -) Thorium	$4n$	(Pu-244) / Th-232	Pb-208

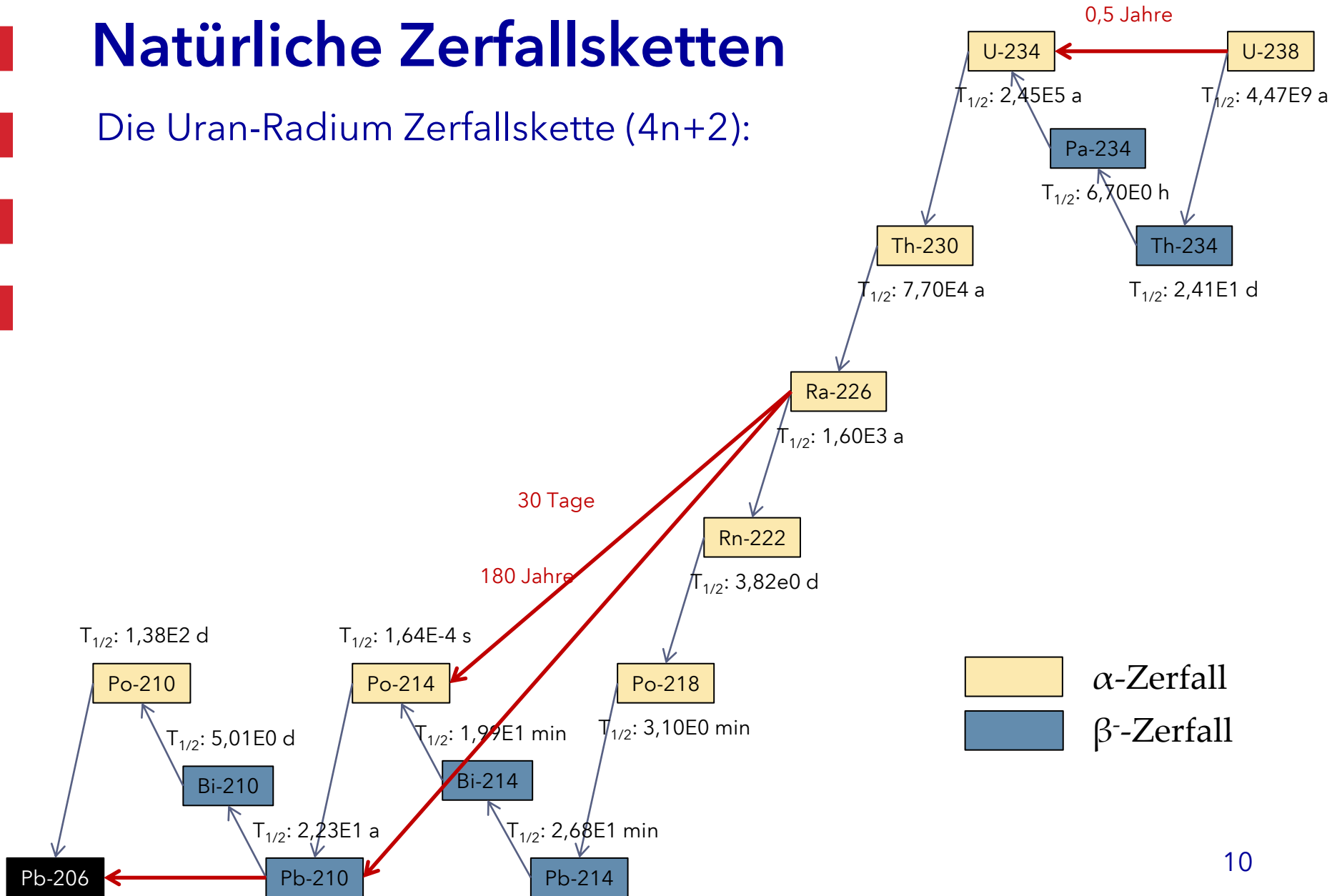
†(ausgestorben)

Dabei zerfallen die Radionuklide in zum Teil kurzlebige Radionuklide, die selber weiter zerfallen.

In vielen Fällen stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der einzelnen Nuklide einer Kette ein. Dann sind die Aktivitäten ähnlich groß.

Natürliche Zerfallsketten

Die Uran-Radium Zerfallskette ($4n+2$):



Chemie / Geochemie 1

Für die Bewertung einer Gefährdung ist zu berücksichtigen:

- *Radiologische Gefährdung (Strahlungsart, Energie, Halbwertszeit)*
- *Chemisches und Physiologischen Verhalten*
- *Mengen der Radionuklide*
- *Geochemisches Verhalten / Biogeochemische Verfügbarkeit*

Chemisches Verhalten:

Uran	Actinoid, VI-wertig, aber auch III, IV und V
Thorium	Actinoid, IV-wertig
Radium	2. Hauptgruppe: Ca, Mg
Radon	8. Hauptgruppe: Edelgas
Blei	4. Hauptgruppe: C, Si aber metallischer Charakter
Bismut	5. Hauptgruppe: N, P aber metallischer Charakter
Polonium	6. Hauptgruppe: O, S aber metallischer Charakter

Chemie / Geochemie 2

Auf Grund der unterschiedlichen chemischen Eigenschaften kann es zu einer Trennung / Separation kommen.

Chemisch verhalten sich die radioaktiven Nuklide wie ihre „stabilen Geschwister“, also gibt das Umweltverhalten Hinweise über den Verbleib. Bei besonders geringen Konzentrationen kann es zu verstärkten Oberflächeneffekten kommen (Sorption, Ionenaustausch)

Längerfristig „überlebensfähig“ sind nur Radionuklide mit entsprechend großer Halbwertszeit

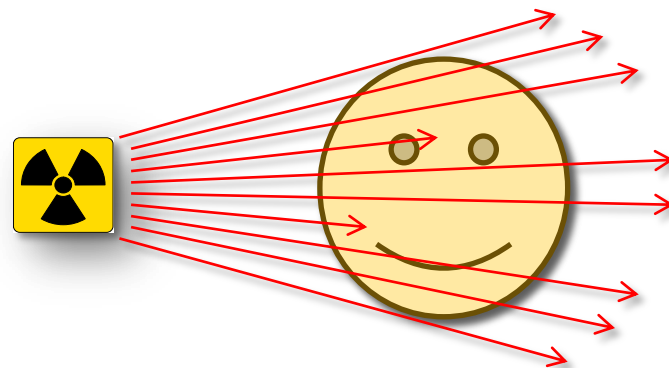
(Th-230 $7,7E4a$, Ra-226 $1,6E3a$, Pb-210 $22,3a$).

Dosimetrie

Es geht um die Überwachung die Energie in Form ionisierender Strahlung, der ein Mensch ausgesetzt ist:

Äquivalentdosis H: absorbierte gewichtete Energie / Masse

Einheit: 1 Sievert (Sv) = 1J/kg



Neben der Energie sind Strahlenarten (unterschiedliches Schädigungspotential) und Strahlenempfindlichkeit der verschiedenen Organe zu berücksichtigen.

Dosisgrenz- und Vergleichswertewerte

Grundprinzip: Die Strahlenbelastung so klein, wie mit sinnvollen Mitteln erreichbar, halten. (Minimierungsgebot)

Mittlere natürliche Strahlenbelastung in Deutschland: 2,1 mSv/a

Mittlere zivilisatorische Strahlenbelastung in Deutschland: 1,9 mSv/a

Grenzwert für berufl. strahlenexponierte Personen: 20 mSv/a

Aus gen. Umgang und aus Arbeiten mit nat. Strahlenquellen

Lebensdosis für berufl. strahlenexponierte Personen: 400 mSv

Personen der Normalbevölkerung, zusätzlich aus gen. Umgang: 1 mSv /a

Personen der Normalbevölkerung, zusätzlich aus nat. Belastungen: nicht festgelegt

Flug Frankfurt - New York und zurück 0,11 mSv

3 Wochen Aufenthalt auf 2000m 0,05 mSv

Röntgenaufnahme Arm oder Bein 0,01 mSv

CT Bauchraum 10 - 20 mSv

20 Zigaretten täglich, bis zu 10 mSv

Inkorporation und Dosisbelastung

Einfach ist eine Betrachtung der äußeren Bestrahlung, weitaus schwieriger ist die Beurteilung und Überwachung einer möglichen Inkorporation

- *Aufnahme durch Inhalation (gasförmig, als Partikel, an Staub gebunden)*
- *Aufnahme durch Inkorporation (Verletzungen, Aufnahme über die Haut)*
- *Aufnahme durch Ingestion (Aufnahme über die Nahrung)*

Für die Berechnung gibt es Ansätze in Anlage VII der Strahlenschutzverordnung:

- *Mittlere Verzehrsmengen für verschiedene Altersgruppen*
- *Mittlere Atemraten für verschiedene Altersgruppen*

Weiterhin kann die Richtlinie Physikalische Strahlenschutzkontrolle / Inkorporationskontrolle RIPHYKO (Teil 2) weiterhelfen.

Dosisgrenzen und Begriffe

	Tätigkeiten	Arbeiten
	Nach §§7, 11 & 16 StrlSchV	Natürliche radioaktive Materialien und Strahlung
Beispiel	Arzt, Kernkraftwerk, Werkstoffprüfer	Bergwerke, Wasserwerke, Fliegendes Personal
Schutzziel Mitarbeiter	20 mSv/a	20 mSv/a
Schutzziel Bevölkerung	1 mSv/a	1 mSv/a
„Reste“	Freigabe von Abfällen §29	Entlassung von Rückständen §98, Anordnung §102
Schutzziel	0,010 mSv/a (10 µSv/a)	1 mSv/a



Obwohl die Strahlung und ihre Wirkung die gleiche ist

Rückstände

Anlage XII StrlSchV:

Abschließende Liste mit Rückständen (Teil A):

- *Schlämme und Ablagerungen bei Erdöl und Erdgas*
- *Phosphogipse und Phosphorit*
- *Nebengestein, Schlämme, Sande, Schlacken und Stäube aus der Gewinnung und Aufbereitung von Bauxit, Columbit, Pyrochlor, Mikrolyth, Euxenit, Kupferschiefer-, Zinn-, Seltene-Erden- und Uranerzen*
- *Stäube und Schlämme aus der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Roheisen- und Nichteisenmetallurgie*
- *Formstücke, Bodenaushub, Bauschutt die Rückstände enthalten*

Ausnahme: Wenn die Nuklide der Zerfallsreihen U-238 sec und Th-232 sec unter 0,2 Bq/g bleiben, sind es keine Rückstände

Überwachung von Rückständen

Überwachungsbedürftigkeit der Rückstände (Anlage XII Teil B StrlSchV) beginnt bei 1 Bq/g.

Aber je nach Verwendung oder Entsorgung kann sich ein anderer (auch kleinerer) Wert ergeben.

Es ist zu Überwachen, dass bei den Arbeiten, der Verwertung und der Beseitigung das 1 mSv/a Kriterium eingehalten wird.

- Bilanzierungspflicht
- Pflicht zur Mitteilung zu Jahresbeginn an die Abfallbehörden über die erwartete Menge
- Pflicht zur Erstellung eines Verwertungs- und Entsorgungskonzeptes

Entlassung von Rückständen

Sind die Rückstände als überwachungsbedürftig klassifiziert, können sie entlassen werden, wenn:

- der Eigentümer dies beantragt **und**
- der Zweck der Entlassung oder Beseitigung klar ist und
- nach Einzelfallprüfung keine Bedenken gegen die Einhaltung des 1 mSv/a Kriteriums für Einzelpersonen der Bevölkerung bestehen.

Eine abfallrechtliche Verwertung oder Beseitigung ohne Entlassung ist ausgeschlossen!

Der Nachweis ist durch Anwendung der Grundsätze der Teile C (*Voraussetzungen für die Entlassung*) und D (*Expositionsabschätzung*) der Anlage XII StrSchV zu erbringen.

Es gibt Rückstände, die nach §99 StrlSchV in der Überwachung verbleiben!

§102 StrlSchV Sonstige Materialien

„Kann durch Arbeiten mit Materialien, die im Inland oder im Ausland angefallen und die **keine Rückstände** im Sinne der Anlage XII Teil A sind oder durch die **Ausübung von Arbeiten**, bei denen solche Materialien anfallen, die **Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung so erheblich erhöht werden, dass Strahlenschutzmaßnahmen notwendig sind**, trifft die zuständige Behörde die erforderlichen Anordnungen. Sie kann insbesondere anordnen, 1.dass bestimmte Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind, 2.dass die Materialien bei einer von ihr zu bestimmenden Stelle aufzubewahren oder zu verwahren sind, 3.dass und in welcher Weise die Materialien zu beseitigen sind oder 4.dass derjenige, der Materialien angenommen hat, die im Ausland angefallen und ins Inland verbracht worden sind, diese an den ursprünglichen Besitzer im Versandstaat zurückführt.“

Neue Strahlenschutzgesetzgebung

Es stehen rechtliche Veränderungen an:

Bisher: Atomgesetz und Strahlenschutzverordnung,
Strahlenschutzvorsorgegesetz

Neu ab 2018: Atomgesetz (angepasst), Strahlenschutzgesetz (neu)
und Strahlenschutzverordnung (neu)

Grundsätze bleiben ähnlich: z.B. Dosisgrenzwerte,
Rückstandskonzept

Manches ändert sich: bestehende, geplante und Notfallexposition,
Rechtfertigungsgrundsatz wird gestärkt, keine Unterscheidung zw.
Tätigkeiten und Arbeiten

Die Liste der Rückstände wird erweitert (Geothermie und
Grundwasseraufbereitung wird ziemlich sicher genannt werden)

Geothermiebohrungen 1

Die „Abfälle“ wie Bohrklein, Schlamm, Abwasser, Spüllösungen,... sind keine Rückstände im Sinne des §97 und der Anlage XII Teil A und können damit nicht so einfach geregelt werden.

Regelungen erfolgen nach dem §102 StrlSchV, wenn eine erheblich erhöhte Strahlenbelastung (1 mSv/a -Kriterium) für Einzelpersonen der Bevölkerung (*Anwohner, Verbraucher, Mitarbeiter der Entsorgungsbetriebe*) zu besorgen ist.

Die Einstufung der Abfälle kann sich pragmatisch an den Vorgaben der Anlage XII StrlSchV nach entsprechender Prüfung orientieren, wobei die Grenzen nicht so klar vom Gesetzgeber gezogen wurden. Sonst muss ein Einzelfallgutachten erstellt werden.

Geothermiebohrungen 2

Groß werden die Probleme erst wirklich beim Betrieb eines Geothermiekraftwerkes.

Mit Ra-226 Gehalten zwischen 0,001 Bq/l bei Grundwässern und bis zu 60 Bq/l bei Thermalwässern kann es selbst bei nur geringen Abscheideraten von $< 1\%$ durch die Durchsatzvolumina über die Zeitdauer zu erheblichen Belastungen der Scales in Filtern und an Oberflächen kommen.

- Druck- und Temperaturänderung
- Filterung von Partikeln und Schwebstoffen für Pumpen und Wärmetauschern
- pH-Wertänderung (durch Ansäuern eine Carbonatausfällung von Ra und anderen Schwermetallen verhindern)

Geothermiebohrungen 3

In einzelnen Anlagen in Deutschland sind schon Dosisleistungen von bis zu 40 $\mu\text{Sv/h}$ an den Anlageteilen gemessen worden. Problemnuklid ist Pb-210 (Niederenergetischer Betastrahler) das schwer zu messen ist.

Aus Strahlenschutzsicht ist daher der Umgang bei der Reinigung der Filter, Pumpen und Wärmetauscher besonders problematisch und bedarf klarer Strahlenschutzregelungen und Vorsorge für die Entsorgung der Reststoffe und Reinigungshilfsmittel.

Rechtsgrundlage ist derzeit der §102 StrlSchV

Messgeräte



Messgeräte



Foto und Spektrum: M. Haller HLNUG Da

Messgeräte

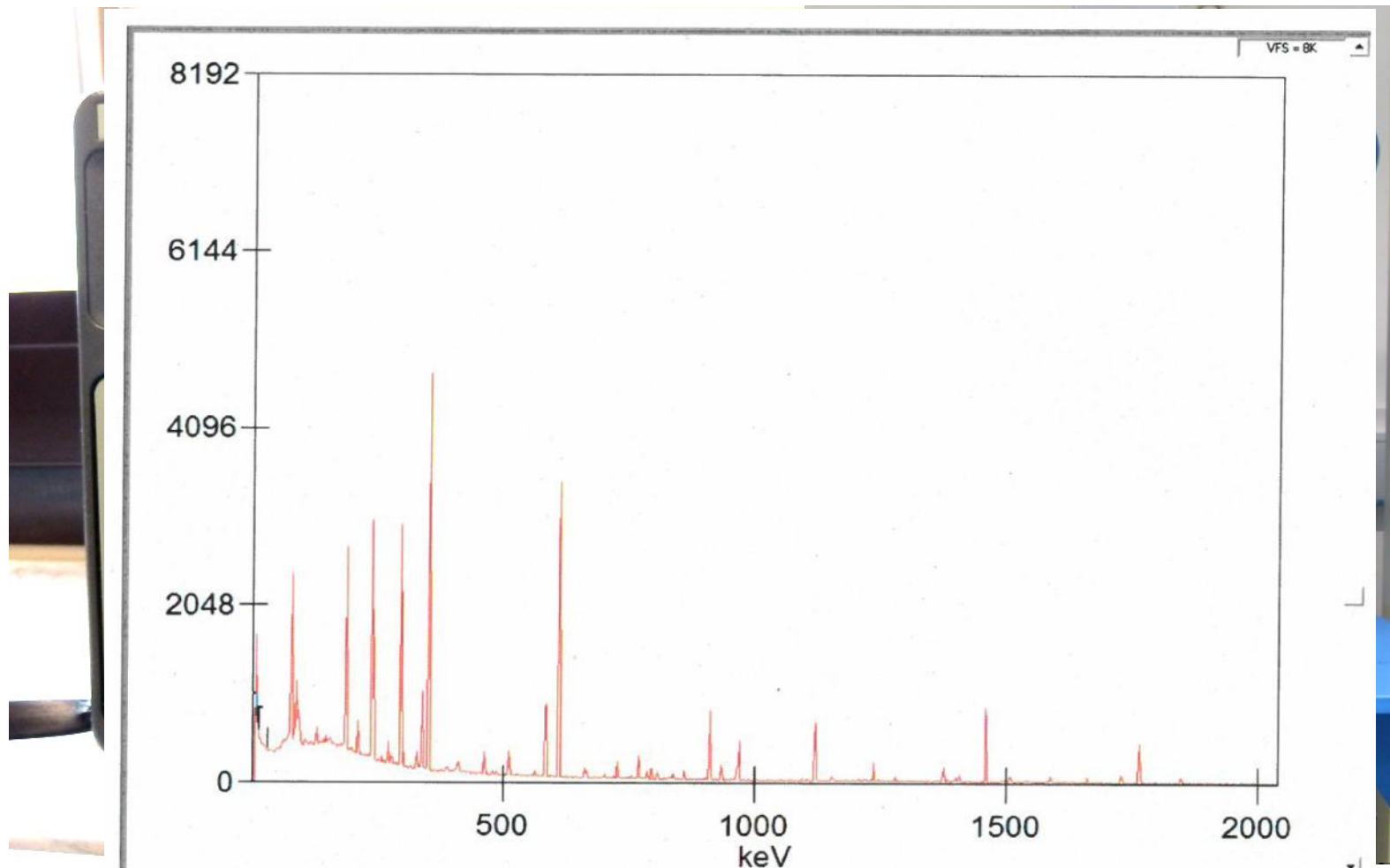


Abbildung 1: Gammaskopogramm, Schüttgut aus Sandfang

Foto und Spektrum: M. HARTMANN DA

Messtechnik

Dosisleistungsmessung: $\mu\text{Sv/h}$

Energetisch gewichtet; keine Nuklidinformation; Maß der Energie, die auf den Körper wirkt und schädigt

Aktivitätsmessung: Bq

Strahlungsartabhängig; teilweise nuklidspezifisch; bestimmt über die Messung von Impulsen durch Kalibrierfaktoren die Aktivität einer Probe; „Auflösung“ ist unterschiedlich

Nicht mit allen Messgeräten kann eine Bestimmung von allen Nukliden erfolgen

Schwierig ist z.B. Pb-210, $T_{1/2}$ 22,3 Jahre, β - und γ - Strahlung, Energie: 5-60 keV

Liegt unter der Einsatzschwelle vieler Messgeräte - nur mit hochauflösender Gammaspektroskopie wirklich quantifizierbar

Entsorgungsmöglichkeiten und Grenzen

Entsorgungsmöglichkeiten für NORM-Stoffe ist sehr begrenzt.

Radiologisch ist die Deponierung evtl. nach Immobilisierung z.B. in Schlacke eher unproblematisch. Viele Deponien verweigern die Annahme solcher Stoffe aus politischen Gründen trotzdem.

Eine staatliche Zuweisung aus Deponien ist in Hessen nicht vorgesehen (anders Baden Württemberg). Eine Entsorgung über die Landessammelstellen in das Endlager Schacht Konrad ist ein Kapazitäts- und Kostenproblem.

Anforderungen an eine Deponie: Abdichtung gegen den Grundwasserleiter und Aufbereitung des Sickerwassers.

Zusammenfassung

- Es gibt radioaktive Stoffe, die natürlich vorkommen
- Diese sind genauso schädlich wie künstliche radioaktive Stoffe
- Wichtig: Begrenzung der Dosis auf ein sinnvoll u. niedriges Maß
- Schutzziel bei Arbeiten mit nat. radioaktiven Stoffen 1 mSv/a
- Rückstände entstehen bei Arbeiten mit nat. radioaktiven Stoffen
- Ab bestimmten Gehalten der nat. radioaktiven Stoffe sind besondere Maßnahmen nach StrlSchV nötig
- Rückstände können nicht einfach klassisch entsorgt werden, wenn sie überwachungsbedürftig sind
- Die Entsorgung von Rückständen ist ein politisch schwieriger Akt

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?