

Natürliche Radionuklide in Anlagen der tiefen Geothermie

Detlev Degering und Matthias Köhler

Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V.

Keywords: Radioaktivität, tiefe Geothermie, Neustadt-Glewe, Strahlenschutz

Zusammenfassung

In Abhängigkeit von den geologischen Gegebenheiten werden in Fluiden hydrothermalen Geothermieanlagen Gehalte an natürlichen Radionukliden bis zu $100 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ beobachtet. Für die Anlage Neustadt-Glewe wurde die Herkunft dieser Nuklide, ihre Zusammensetzung in der Lösung sowie ihr Verbleib untersucht. Im Fluid treten vorrangig die Radiumisotope ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , das Bleisotop ^{210}Pb und das Kaliumisotop ^{40}K auf. Eine Hauptquelle des Radiums stellen α -Rückstoßprozesse an Grenzflächen im Aquifergestein dar. Ein Bruchteil der geförderten Radioaktivität lagert sich in Scales in Anlagenteilen ab. Die spezifischen Aktivitäten der Ablagerungen können Werte bis zu einigen $100 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ erreichen. Während des Betriebs der Anlage und für die Entsorgung der anfallenden Rückstände müssen die Bestimmungen des Strahlenschutzes berücksichtigt werden.

1. Einleitung

Natürliche Radionuklide sind in der Geosphäre allgegenwärtig. Radioaktive Zerfallsprozesse liefern einen nicht unerheblichen Beitrag zum terrestrischen Wärmestrom. So entspricht die mittlere Elementkonzentration der Erdkruste einer spezifischen Wärmeleistung von $0,6 \mu\text{W}\cdot\text{t}^{-1}$ (berechnet nach [1]). Weiterhin können Radionuklide an Fest/Flüssig-Grenzflächen freigesetzt werden und in die Medien und Komponenten von Anlagen der hydrothermalen tiefen Geothermie gelangen.

Ein Teil der wichtigsten natürlichen radioaktiven Nuklide tritt nicht unabhängig voneinander auf; die Nuklide ^{238}U , ^{235}U und ^{232}Th zerfallen über unterschiedlich lange Zerfallsreihen, die verschiedene Elemente durchlaufen. Gemäß deren chemischen Eigenschaften weicht das Verhalten der Glieder der Zerfallsreihen in der Umwelt voneinander ab. Zerfallsreihen, die sich über geologische Zeiträume in geschlossenen Systemen befinden, erreichen den Zustand des radioaktiven Gleichgewichtes, d.h. die Aktivitäten aller Glieder einer Reihe sind untereinander gleich. Wird ein geologisches System geöffnet (z.B. durch Austauschprozesse an Fest/Flüssig-Grenzflächen), so führt dies zu Differenzierungsprozessen zwischen den Nukliden einer Zerfallsreihe, was sich in einem Verlust des radioaktiven Gleichgewichtes äußert. Wird das System erneut geschlossen, beispielsweise durch Bildung von Ablagerungen, stellt sich das Gleichgewicht entsprechend der Halbwertszeiten der beteiligten Nuklide wieder ein.

Im Gegensatz dazu ist das Radionuklid ^{40}K im natürlichen Isotopengemisch des Kaliums immer enthalten. Die ^{40}K -Konzentrationen spiegeln damit den Kaliumgehalt der Wässer wider (einer Kaliumkonzentration von $1 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ entsprechen $31 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1} \text{ }^{40}\text{K}$).

Die Hauptaktivitäten natürlicher Radionuklide in den Fluiden der tiefen hydrothermalen Geothermie entstammen verschiedenen Isotopen des Radiums und dem ^{40}K (vgl. Punkt 3.1). Sie variieren deutlich zwischen den potentiell geeigneten Regionen Deutschlands (siehe Abb. 1). Offensichtlich besteht ein Zusammenhang zwischen einer erhöhten Salinität der Fluide (Norddeutsches Becken, Oberrheingraben) und größeren Radiumgehalten. Zur Bewertung der Daten seien die Radiumkon-

zentrationen in Trinkwässern herangezogen, die in Deutschland im Bereich $0,001 \dots 0,1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ liegen [2].

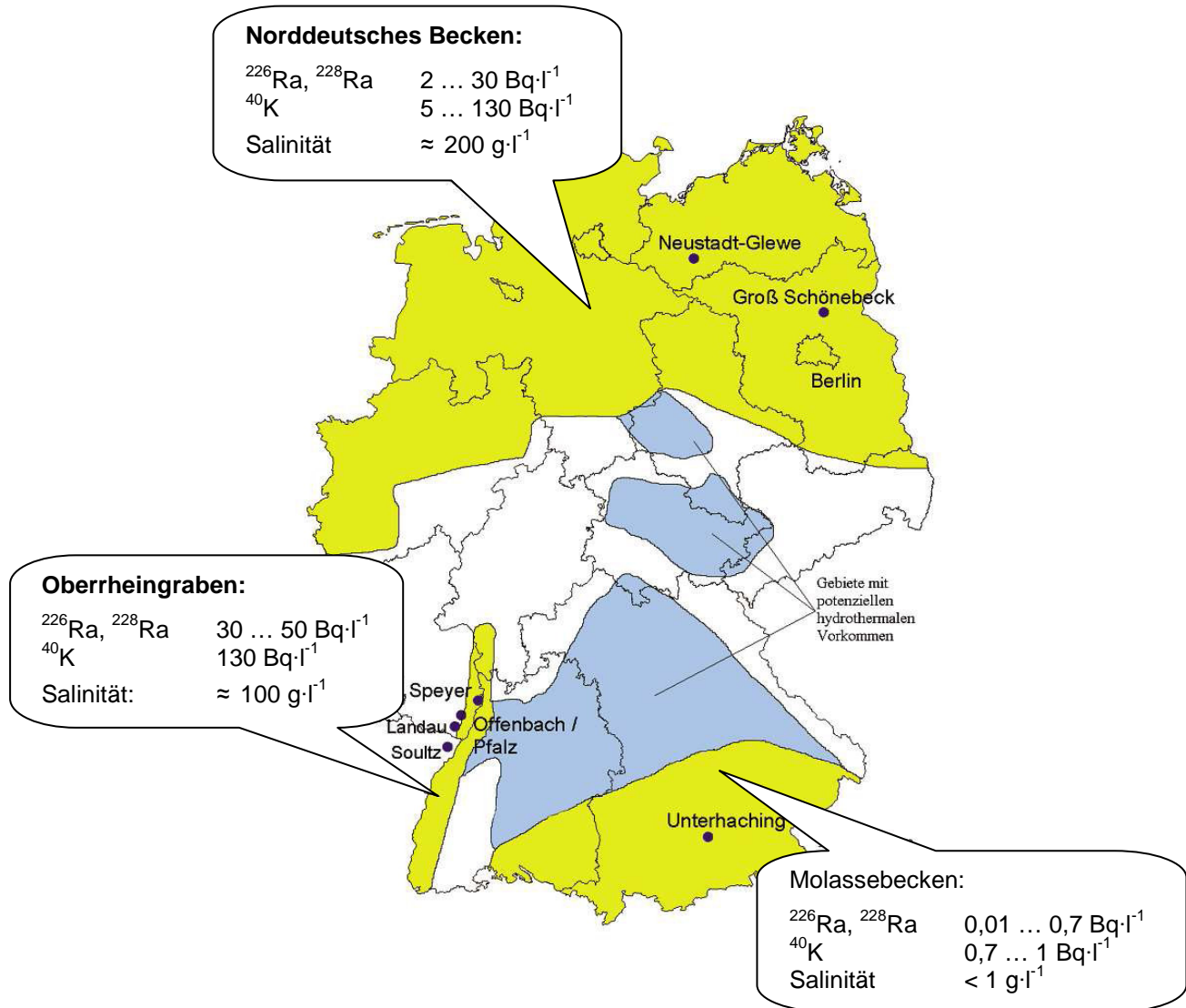


Abb. 1 Geeignete Regionen für die Tiefe Geothermie in Deutschland (nach [3]) und typische Bereiche der Fluidkonzentrationen natürlicher Radionuklide und der Salinität für die einzelnen Regionen.

2. Untersuchungsobjekt

In den Jahren 2004 bis 2008 wurden durch den VKTA Rossendorf e.V. im Rahmen eines vom BMU geförderten Verbundprojektes [4] Mobilisierungs- und Ablagerungsprozesse natürlicher Radionuklide in Anlagen der tiefen Geothermie untersucht. Der Schwerpunkt lag dabei auf einer Charakterisierung der Prozesse in der Geothermieanlage Neustadt-Glewe. Die Untersuchungen umfassten neben analytischen Arbeiten auch Modellrechnungen und Bilanzierungen der anfallenden Gesamtradioaktivitätsmengen.

Die Anlage in Neustadt-Glewe, die seit 1994 Heizwärme und seit 2003 auch Elektroenergie liefert, eignet sich wegen der längeren Betriebszeit besonders für die Untersuchung des Langzeitverhaltens beim Umgang mit Fluiden mit erhöhten Radionuklidgehalten. In Tabelle 1 sind für Neustadt-Glewe typische Parameter des genutzten Aquifers sowie des geförderten Fluids zusammengestellt. Die Salinität wird durch die Gehalte an Na ($70 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$), Ca ($9 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$) und Cl ($130 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$) maßgeblich bestimmt.

Aquifer	Gestein	Contorta-Sandstein des Rhäts
	Mineralogie	Quarzsandsteine mit eingelagerten organischen Partikeln, Feldspäte, Tonminerale
	Porosität	22%
	Permeabilität	500 mD
Fluid	Typus	Na-Ca-Cl
	Mineralisation	220 g l^{-1}
	Gasgehalt	10 - 20 Vol-%
	pH	5
	mittlere Dichte	$1,1 \text{ g cm}^{-3}$

Tabelle 1 Allgemeine Parameter des Aquifers und Fluids der Geothermieanlage Neustadt-Glewe (nach [5] und [6])

Das Fluid wird bei einer Temperatur von $97 \text{ }^\circ\text{C}$ mit $40 - 110 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ aus $2,3 \text{ km}$ Tiefe gefördert und in $1,8 \text{ km}$ Entfernung in der $2,3 \text{ km}$ tiefen Injektionsbohrung verpresst. Im Betriebszeitraum 1994 – 2008 passierten insgesamt $7,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Fluid die Anlage [7].

3. Radioaktivität – Ergebnisse und Diskussion

3.1. Fluide

Die Radionuklidzusammensetzung des Thermalwassers weist eine starke Differenzierung zwischen den Gliedern der Zerfallsreihen auf.

Die Analysenergebnisse bezogen auf den Zeitpunkt der Probennahme sind in Abb. 2 zusammengestellt. Auffallend ist die starke Elementabhängigkeit für die Glieder der einzelnen Zerfallsreihen. Die maximalen Aktivitätskonzentrationen treten mit $8 \dots 9 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ für die Isotope des Radiums ^{226}Ra (^{238}U -Zerfallsreihe), sowie ^{228}Ra und ^{224}Ra (^{232}Th -Zerfallsreihe) auf. Demgegenüber zeigen andere Radionuklide eine geringere Löslichkeit bis hin zu den Gehalten der Uranium- und Thoriumisotope, für die nur die Nachweisgrenzen als Obergrenzen der Gehalte angegeben werden können. Diese Nachweisgrenzen liegen um 3 bis 4 Größenordnungen unter den Radiumkonzentrationen. Damit befindet sich das Fluid in einem starken, durch Radium dominierten radioaktiven Ungleichgewicht. Bei den auftretenden Radiumisotopen handelt es sich um ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600 \text{ a}$), ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,8 \text{ a}$) und ^{224}Ra ($T_{1/2} = 3,63 \text{ d}$). Die Aktivitätsverhältnisse dieser Isotope betragen $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra} = 1,22 \pm 0,07$ bzw. $^{224}\text{Ra}/^{228}\text{Ra} = 0,86 \pm 0,05$. Sowohl die Ra-Konzentrationen als auch die Isotopenverhältnisse blieben über den Untersuchungszeitraum hinweg konstant und zeigten auch keine Abhängigkeit von Betriebsparametern wie der Förderrate.

Das Aktivitätsverhältnis $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ stellt eine Beziehung zwischen der ^{238}U - und der ^{232}Th -Zerfallsreihe her. Da davon auszugehen ist, dass die Radiumfreisetzung über Wechselwirkungen an den Fest/Flüssig-Grenzen im Aquifer erfolgt, bildet dieses Verhältnis das $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnis des Quellmaterials ab.

Das Verhältnis $^{224}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ beinhaltet zwei Nuklide einer Zerfallsreihe. Liegt im Quellmaterial ein radioaktives Gleichgewicht vor, dann muss auch für die freigesetzten Nuklide ein Aktivitätsverhältnis von 1 auftreten. Der beobachtete Wert < 1 ist auf die kürzere Halbwertszeit des ^{224}Ra gegenüber der von ^{228}Ra zurückzuführen. Bei Verwendung eines einfachen zylindersymmetrischen Strömungsmodells im Aquifer ergibt sich aus diesem Verhältnis, dass die letzte Wechselwirkung, die zu einer Ra-Freisetzung führte, in einem Umkreis von < 10 m um die Förderbohrung erfolgte.

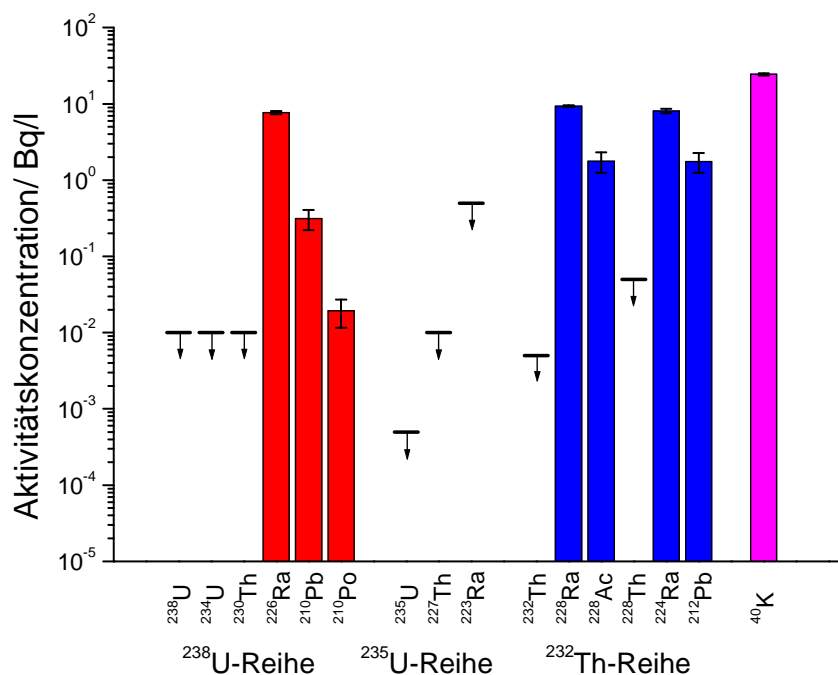


Abb. 2 Aktivitätskonzentrationen der analysierten Radionuklide im Fluid von Neustadt-Glewe zum Zeitpunkt der Entnahme am Sondenkopf der Förderbohrung. Nachweisgrenzen sind mit einem nach unten gerichteten Pfeil angegeben.

Aus den gefundenen Radionuklidgehalten kann eine Gesamtbilanz des Radioaktivitätsdurchsatzes der Anlage für den Betriebszeitraum 1994 – 2008 vorgenommen werden (Tabelle 2). Während insbesondere die Ra-Gesamtaktivitäten Werte um $6 \cdot 10^{10}$ Bq annehmen, spielen diese Radionuklide in Folge der geringen Stoffmengen praktisch keine eigenständige Rolle für die Chemie des Fluids. Im Gegensatz dazu spiegelt die ^{40}K Gesamtaktivität die Gesamtmasse von 6000 t Kalium wider, die die Anlage während 14 Jahren passiert hat.

Nuklid	Gesamtaktivität/ Bq	Gesamtmasse des Nuklids/ g
^{226}Ra	$5,7 \cdot 10^{10}$	1,6
^{210}Pb	$0,2 \cdot 10^{10}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$
^{228}Ra	$6,9 \cdot 10^{10}$	$6,9 \cdot 10^{-3}$
^{224}Ra	$6,0 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Nuklid	Gesamtaktivität/ Bq	Gesamtmasse Kalium/ g
^{40}K	$18,1 \cdot 10^{10}$	$5,7 \cdot 10^9$

Tabelle 2 Totale Aktivitäts- und Stoffmengen der einzelnen Nuklide, die im Zeitraum 1994 bis Ende 2008 die Anlage Neustadt-Glewe durchlaufen haben.

3.2. Quellen der Radionuklide

Als potentielle Quelle für die Radionuklidkonzentrationen im Fluid wurde Material des Aquifergesteins aus Bohrkernen von Förder- und Injektionsbohrung auf seine Radionuklidgehalte hin untersucht. Dabei wurde der Inhomogenität des Materials Rechnung getragen und der grobkörnige Sandstein bzw. die feinkörnigen tonig/kohligen Komponenten getrennt analysiert. Weiterhin wurden spezifische Oberflächen dieser Proben mittels N_2 -Gasadsorption (BET-Verfahren) bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

	spezifische Aktivität/ Bq kg ⁻¹			Verhältnis $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	spezifische Oberfläche/ m ² g ⁻¹
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K		
Sandstein	3 ... 16	4 ... 18	80 ... 160	0,9 ... 1,4	0,2 ... 0,4
tonig/ kohlige Komponenten	15 ... 170	11 ... 130	130 ... 1150	0,8 ... 1,7	0,7 ... 15

Tabelle 3 Radionuklidgehalte und spezifische Oberfläche der Komponenten des Aquifergesteins

Es zeigte sich eine positive Korrelation zwischen den Radionuklidgehalten und den spezifischen Oberflächen, die auf die mineralische Zusammensetzung der Komponenten zurückzuführen ist.

Die gefundenen spezifischen Aktivitäten liegen in dem Bereich, der durch die mittleren Elementgehalte der Erdkruste vorgegeben ist ($31 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ }^{238}\text{U}$, $42 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ }^{232}\text{Th}$ und $890 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ }^{40}\text{K}$, berechnet aus [8]). Die $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Komponenten; das mittlere Verhältnis liegt bei etwa 1,2 und führt zu dem im Fluid gefundenen $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ -Verhältnis.

Legt man die in Tabelle 2 aufgeführten geförderten Gesamtaktivitäten, die in Tabelle 3 angegebenen spezifischen Aktivitäten des Aquifergesteins sowie plausible Annahmen zur Zusammensetzung des Aquifergesteins zu Grunde, so kann man abschätzen, dass die geförderten Ra-Aktivitäten nur aus einer Schicht mit der charakteristischen Dicke in der Größenordnung von 10 nm an den Kornoberflächen der Aquifergesteins stammen. Der Freisetzungsmechanismus für die Radiumisotope an der Fest/Flüssig-Grenzfläche des Gesteins muss sich demzufolge auf dieser Tiefenskala abspielen.

Als möglichen Kandidaten für den Vorgang der Ra-Freisetzung wurden α -Rückstoßprozesse modellhaft untersucht. Im Aquifergestein erhalten die Radiumkerne bei ihrer Bildung innerhalb der Zerfallsreihen Rückstoßenergien von 70 ... 100 keV. Diese Energie ist ausreichend, um die Ra-Atome um ca. 40 nm innerhalb des Korns zu versetzen. An Fest/Flüssig-Grenzflächen können sie derart in das Fluid eintreten und dort stabil verbleiben. In der Abschätzung führt dieser Prozess zu Aktivitätskonzentrationen im Fluid von 10 ... 20 Bq·l⁻¹. Dieser Wert liegt dicht bei den beobachteten Werten für die Radiumisotope. Insbesondere führt dieses Modell zu einem Wert des ²²⁴Ra/²²⁸Ra-Aktivitätsverhältnis nahe 1, der so auch im Fluid gefunden wurde. α -Rückstoßprozesse im Aquifergestein von Neustadt-Glewe sind damit offenbar zu einem großen Anteil für die Radiumgehalte des Fluids verantwortlich.

3.3. Radioaktive Ablagerungen

Die Änderungen der thermodynamischen Parameter des Fluids beim Durchgang durch die Anlage sowie Wechselwirkungen mit dem Material der Anlagenkomponenten führen dazu, dass auf den Oberflächen der Bauteile Ablagerungen, sogenannte Scales, auftreten. In der Anlage Neustadt-Glewe wurden Scaletypen mit unterschiedlichem Habitus beobachtet (siehe Abb. 3).



Abb. 3 Typische Scales aus der Anlage Neustadt-Glewe: graue Beläge in einem Flansch der Förderbohrung (links) sowie rostig-plattige Ablagerungen im Zulauf eines Plattenwärmetauschers (rechts)

Zu den Hauptkomponenten der Scales gehören einerseits Baryt (BaSO₄), Coelestin (SrSO₄) sowie deren Mischkristalle, andererseits Galenit (PbS) und elementares Pb [9].

Unsere Untersuchungen belegen das Vorkommen folgender langlebiger Nuklide der natürlichen Zerfallsreihen in den Scales:

²³⁸U-Zerfallsreihe: ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb,

²³⁵U-Zerfallsreihe: -

²³²Th-Zerfallsreihe: ²²⁸Ra und ²²⁸Th.

Die Quelle dieser Radionuklide sind die entsprechenden Nuklide im Fluid. Statt des innerhalb von wenigen Wochen zerfallenden ²²⁴Ra tritt hier jedoch ²²⁸Th auf, das während der Betriebsdauer der Anlagenkomponente über den radioaktiven Zerfall aus ²²⁸Ra nachgebildet wurde.

Das Radium wird dabei aus Gründen der chemischen Analogie zu Barium und Strontium in deren Verbindungen substitutionell eingebaut. ^{210}Pb ist chemisch gesehen identisch zu inaktivem Blei und wird damit in die Pb-haltigen Phasen eingebaut.

Die spezifischen Aktivitäten der Ablagerungen schwanken im weiten Bereich von 3 Größenordnungen:

^{226}Ra : 0,1 ... 270 $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$

^{210}Pb : 0,1 ... 800 $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$

^{228}Ra : 0,1 ... 210 $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$

^{228}Th : 0,1 ... 190 $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$

Verglichen mit den Konzentrationen im Fluid erfolgt somit bei der Scalebildung eine Aufkonzentration der Aktivität um bis zu 4 Größenordnungen für die Ra-Isotope und um bis zu 6 Größenordnungen für ^{210}Pb .

Unabhängig von der spezifischen Aktivität zeigt sich eine klare Korrelation zwischen den Nukliden ^{226}Ra und ^{228}Ra (Abb. 4). Der Anstieg von 0,90 ergibt sich aus dem $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ -Aktivitätsverhältnis von 1,22 im Fluid und aus dem Zerfall des Nuklids ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,8$ a), der unmittelbar mit der Ablagerung einsetzt.

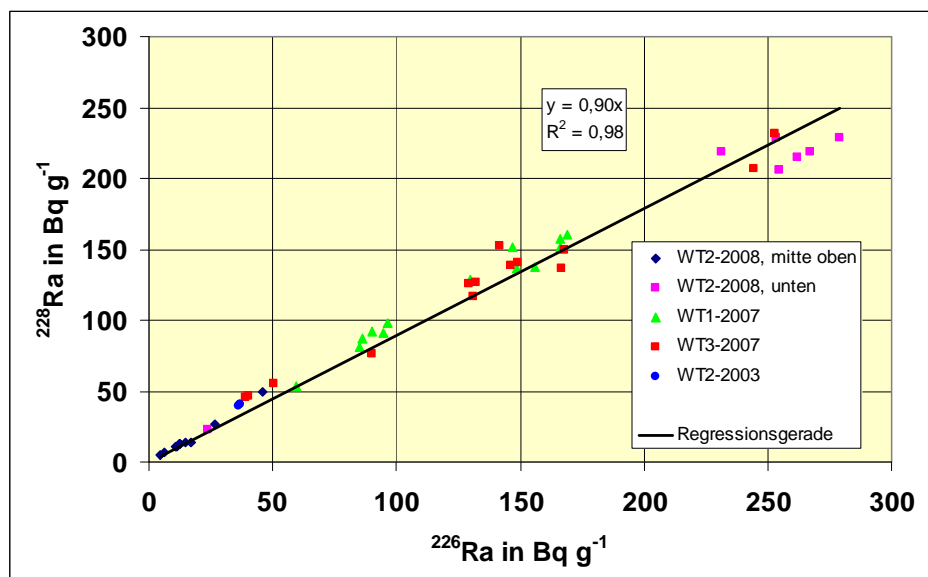


Abb. 4 Korrelation der spezifischen Aktivität von ^{226}Ra und ^{228}Ra aller Wärmetauscherscales aus Neustadt-Glewe

Im Gegensatz dazu kann aus der Darstellung von ^{210}Pb über ^{226}Ra keine Korrelation abgeleitet werden (Abb. 5). Dies deutet auf unterschiedliche Mechanismen der Scalebildung für diese Nuklide hin, da sie chemisch unterschiedlichen Elementen (Pb, Ra) zugeordnet werden.

Tendenziell wurde beobachtet, dass sich auf den Oberflächen von GFK-Rohren vorrangig radiumreiche Scales bildeten, während auf den Oberflächen metallischer Anlagenkomponenten das ^{210}Pb gegenüber den Ra-Isotopen überwog.

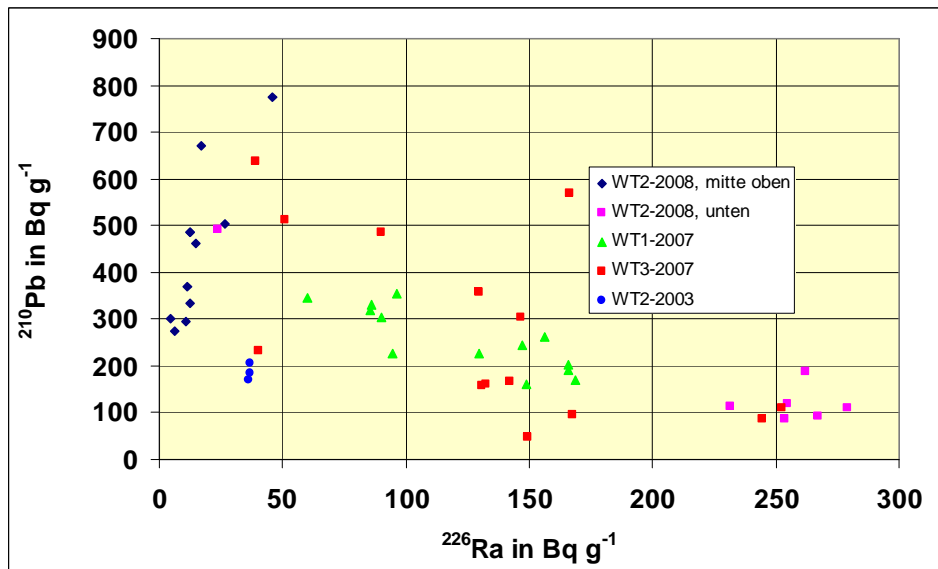


Abb. 5 Korrelation der spezifischen Aktivität von ^{226}Ra und ^{210}Pb aller Wärmetauscherscales aus Neustadt-Glewe

Für die Betriebsdauer der Anlage 1994 – 2008 wurde eine Gesamtmenge von 10^6 g dieser Ablagerung mit spezifischen Aktivitäten von 10^2 Bq·g $^{-1}$ abgeschätzt. Aus dieser Bilanz ergibt sich unter den Betriebsbedingungen der Anlage ein Ablagerungsfaktor der Aktivität von 10^{-3} .

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Ablagerungsfaktor von der Änderung der thermodynamischen Parameter des Fluids abhängig ist. Insbesondere ist beim Einsatz heißerer Wässer und damit stärkerer Abkühlung des Fluids in der Anlage mit einem Anwachsen dieses Faktors zu rechnen.

4. Geothermie und Strahlenschutz

Im Strahlenschutz werden die radioaktiven Ablagerungen als TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials) bezeichnet.

Der Umgang mit derartigen Materialien ist in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [10] geregelt. Obwohl in den dort explizit aufgeführten Arbeitsfeldern bzw. Rückstandsgruppen der Betrieb geothermischer Anlagen und die dabei anfallenden Rückstände nicht genannt sind, ist es gängige Praxis, die Regelungen der StrlSchV auch auf die tiefe Geothermie anzuwenden. Dies ist angebracht, da die spezifischen Aktivitäten in den Scales von einigen 100 Bq·g $^{-1}$ zu einer zusätzlichen Strahlenexposition der Beschäftigten in der Geothermieanlage und der Bevölkerung führen können.

Im aktuellen Strahlenschutz werden alle Wirkungen ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper zu einer effektiven Dosis zusammengefasst. Überschreitet diese 6 mSv im Kalenderjahr so muss eine Anzeige über die Durchführung der entsprechenden Arbeiten an die für den Strahlenschutz zuständige Behörde erfolgen. Für Einzelpersonen der Bevölkerung ist im Zusammenhang mit Arbeiten eine Begrenzung auf 1 mSv vorgesehen. Diese Regelungen orientieren sich an der natürlichen Strahlenexposition, die im Mittel in Deutschland $2,4$ mSv im Kalenderjahr beträgt [11].

Eine Abschätzung der Strahlenexposition für einen Arbeitsplatz oder einen Beseitigungsvorgang basiert auf Szenarien (Art der Arbeiten, Dauer usw.) sowie der Kenntnis der radiologischen Eigen-

schaften (spezifische Aktivität, Freisetzungswahrscheinlichkeiten usw.) der zu handhabenden Stoffe.

Normalbetrieb

Im Normalbetrieb einer geothermischen Anlage kann eine Strahlenexposition von Beschäftigten ausschließlich durch γ -Strahlung erfolgen, die durch radioaktive Ablagerungen an den Innenseiten von Anlageteilen hervorgerufen wird. Gegenüber der mittleren natürlichen Umgebungs-Äquivalentdosisleistung erhöhte Werte treten bevorzugt in der Nähe von Wärmetauschern auf. Zur Reduktion der Strahlenexposition kann in einzelnen Fällen eine Aufenthaltsbeschränkung ausgesprochen werden. Die zusätzliche Strahlenexposition beim Betrieb einer geothermischen Anlage für Einzelpersonen der Bevölkerung ist vernachlässigbar.

Arbeiten an geöffneten Anlageteilen

Bei allen Arbeiten an geöffneten Anlageteilen (Filterwechsel, Austausch von Rohrleitungen, Öffnen von Wärmetauschern) besteht zusätzlich zu der äußeren Strahlenexposition durch γ -Strahlung eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, radioaktive Stoffe in den Körper aufzunehmen und sich damit einer inneren Strahlenexposition auszusetzen. Durch einfache Regeln aus dem Arbeitsschutz, wie Ess- und Trinkverbot, Tragen von Schutzhandschuhen und ggf. eines Mundschutzes kann die innere Exposition reduziert werden.

Die Erfahrungen der Abschätzungen der Strahlenexposition in verschiedenen Anlagen zeigten, dass der 6-mSv-Grenzwert bei weitem nicht ausgeschöpft wird. Jedoch besteht auch hier ein allgemeines Minimierungsgebot.

Entsorgung von kontaminierten Materialien

Bei der Beseitigung kontaminierter Materialien müssen Aspekte des Strahlenschutz-, Abfall- und Transportrechtes beachtet werden:

- **Einordnung als sonstige überwachungsbedürftige Materialien**
Auf Grund der erhöhten spezifischen Aktivität der zu entsorgenden Materialien aus der Geothermie ist eine erhöhte Strahlenexposition zu vermuten, deshalb erfolgt entsprechend § 102 StrlSchV eine Einordnung als *sonstiges überwachungsbedürftiges Material*.
- **Entlassung aus der Überwachung nach StrlSchV**
Materialien können aus der Überwachung nach StrlSchV nach Antrag an die zuständige Behörde entlassen werden, wenn sichergestellt ist, dass eine effektive Dosis von $1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ für den konkreten Beseitigungsweg unterschritten wird (StrlSchV, Anlage XII, Teil D). In einem vereinfachten Verfahren ist eine Beseitigung möglich, wenn bei gemeinsamer Deponierung mit anderen Abfällen, bestimmte Aktivitätsmengen pro eingebrachter Masse nicht überschritten werden (StrlSchV, Anlage XII, Teil C). Die Entlassung aus der Überwachung ist an eine formelle Annahmeerklärung der Deponie gebunden. Mit der Entlassung aus der Überwachung sind die zu entsorgenden Materialien keine radioaktiven Stoffe im Sinne der StrlSchV mehr.
- **Abfallrechtlicher Entsorgungsnachweis**
Entsprechend der konkreten Annahmebedingungen der Deponie sind bestimmte Grenzwerte im Feststoff bzw. im Eluat einzuhalten.
- **Nachweis der Einhaltung des Transportrechtes (ADR/GGVSE)**
Es ist zu prüfen, ob die Materialien, obwohl aus der Überwachung nach StrlSchV entlassen, dennoch nach „Klasse 7, radioaktiver Stoff“ im Sinne der ADR/GGVSE [12], [13] transportiert

werden müssen. Eine derartige Einstufung schränkt die in Frage kommenden Deponien drastisch ein.

Aus der Anlage Neustadt-Glewe wurden in den vergangenen Jahren insgesamt 6 t sonstiger überwachungsbedürftiger Materialien auf eine Deponie verbracht. Da die Gesamtmasse bei der Berechnung zu Grunde gelegt wird, lag die spezifische Aktivität deutlich unter der der Scales. Damit konnte ein vereinfachtes Verfahren durch gemeinsame Deponierung mit anderen Materialien auf einer Deponie angewandt werden. Für ausgewählte Rückstände mit erhöhten spezifischen Aktivitäten musste im Einzelfall eine Dosisabschätzung durchgeführt werden.

Bei der Betriebskostenplanung ist der nicht unerhebliche gutachterliche Aufwand für die Begleitung des Entsorgungsvorganges zu berücksichtigen. Ebenfalls müssen längere Zeiträume für dessen Durchführung bis zur Verbringung auf die Deponie eingeplant werden.

Da die Bewertung der TENORM-Problematik sowie die Zuständigkeiten zwischen den Bundesländern variieren, empfiehlt sich eine enge Zusammenarbeit mit den jeweiligen Genehmigungs- und Überwachungsbehörden. Insbesondere muss eine Abgrenzung zu bergrechtlichen Verantwortlichkeiten getroffen werden.

Quellenangaben

- [1] Adamiec, G., Aitken, M., Dose-rate conversion factors: update; *Ancient TL* 16 (1998) 37-5
- [2] Flesch, K., Knappik, R., Köhler, M., Schulz, H., Zur Bestimmung der Gesamtrichtdosis in Trink- und Mineralwässern, *Strahlenschutzpraxis*, 3(2006), 34-41
- [3] Tiefe Geothermie in Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/41616/broschuere_tiefe_geothermie.pdf, September 2007.
- [4] Verbundvorhaben: Langfristige Betriebssicherheit geothermischer Anlagen – Teilprojekt: Mobilisierung und Ablagerungsprozesse natürlicher Radionuklide, Förderkennzeichen 0329937C, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- [5] Geowissenschaftliche Bewertungsgrundlagen zur Nutzung hydrogeothermaler Ressourcen in Norddeutschland, Geothermie-Report 97-1, Deutsches Geoforschungszentrum Potsdam STR97/15, November 1997.
- [6] Wolfgramm, M., Geologie, Mineralogie und Geochemie der Sandsteine des Rhätaquifers am Standort Neustadt-Glewe, Dokumentation, Geothermie Neubrandenburg GmbH, 28.01.2008.
- [7] Hielscher, M., Erdwärme Neustadt-Glewe, persönliche Mitteilung 2009.
- [8] Wedepohl, K. H., The composition of the continental crust; *Geochim. Cosmochim. Acta* 59 (1995) 1217-1232.
- [9] Verbundvorhaben: Langfristige Betriebssicherheit geothermischer Anlagen – Schlussbericht zum Teilprojekt der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Juni 2009.
- [10] Verordnung für die Umsetzung von EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz vom 20. Juli 2001 (Bundesgesetzblatt 2001, Teil I, Nr. 38 vom 26.7.2001, S. 1714ff) (kurz: StrlSchV)
- [11] Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly (UNSCEAR), 2000.

- [12] Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (kurz: ADR) vom 18. August 1969 (BGBl 1969 II, S. 1489), geändert durch die 15. ADR-Änderungsverordnung vom 15. Juni 2001 (BGBl 2001 II, S. 654), zuletzt geändert durch die Anlage zur 16. ADR-Änderungsverordnung vom 14. Dezember 2002 (BGBl 2002 II, S. 2922 Anlageband).
- [13] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße und mit Eisenbahnen (Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahnen, kurz: GGVSE) in der Fassung des Artikels 1 der GefÄndV2001 vom 11. Dezember 2001 (BGBl I, S. 3529, vom 17. Dezember 2001).

Detlev Degering
Matthias Köhler
Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V.
Postfach 510119
01314 Dresden

Detlev.Degering@vkta.de
Matthias.Köhler@vkta.de