

Fachkonferenz Teilgebiete



Datum: 12.03.2021
Dok.-Nr.: FKT_Bt1_010b_Vortrag 2

Vortrag 2 vom Freitag, 05. Februar 2021

Nr.	Vortrag	Referent*innen	Seite
2.	Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? – Eine Einführung	Dr. Volker Metz (Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE) Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) <i>- freier Vortrag ohne Präsentationsfolien</i>	113
a)	Wortprotokoll		131
b)	Textbeiträge		175

Die Seitenzahlen wurden in Anlehnung an das Gesamtdokument FKT_Bt1_010 nicht verändert.

Die Aufzeichnungen der Vorträge 1 bis 3 sowie 5 können auf dem [YouTube-Kanal der Fachkonferenz Teilgebiete](#) abgerufen werden.
Aufgrund technischer Probleme war bei Vortrag 4 leider keine Aufzeichnung in veröffentlichungsfähiger Qualität möglich.

Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus?



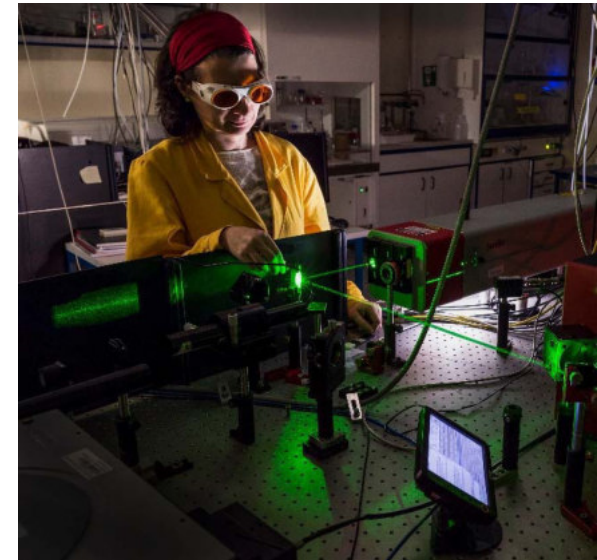
- Wovon hängt ab, ob und wie schnell Radionuklide austreten?
- Was müssen wir berücksichtigen, um valide Abschätzungen (zur Freisetzung, Ausbreitung, Rückhaltung von Radionukliden) zu erstellen?
- Reicht dafür das vorhandene Wissen?
- Welche Ungewissheiten bleiben vorerst?

Volker Metz, Marcus Altmaier und Horst Geckeis
Institut für Nukleare Entsorgung (INE) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Einführungsvortrag

Erster Beratungstermin der Fachkonferenz Teilgebiete, 5. Februar 2021

Was forschen Wissenschaftlerinnen & Wissenschaftler des INE?

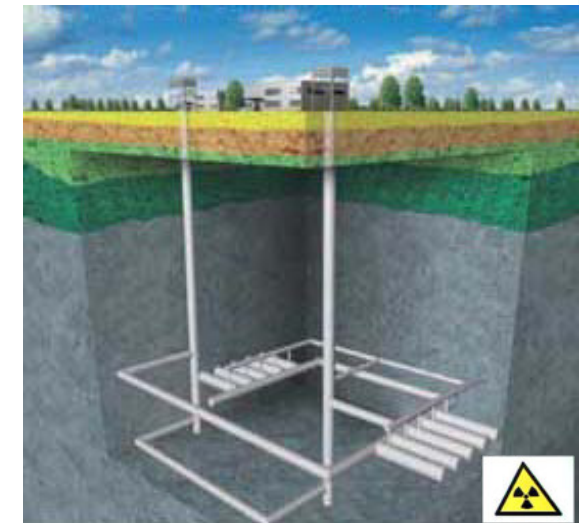
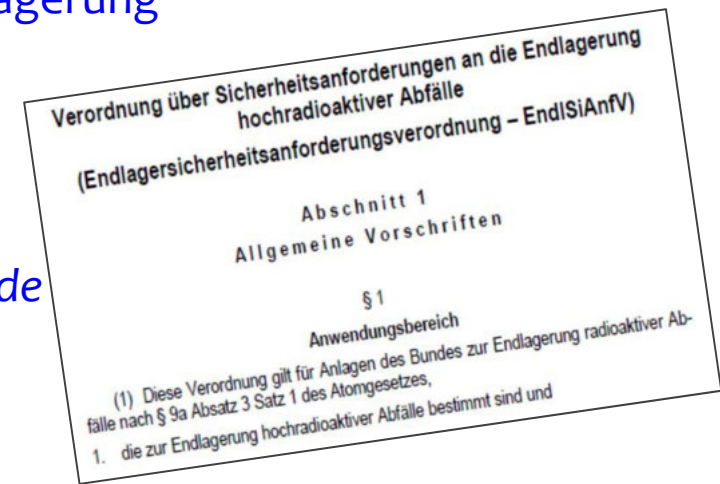
- Schwerpunkt der Arbeiten: Verhalten von Radionukliden und hochradioaktiven Abfällen unter Endlagerbedingungen
- Partner im Programm „Nukleare Sicherheitsforschung“ der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren: Forschungszentrum Jülich (IEK-6) und Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (IER)
- *Nationale* Zusammenarbeiten: Universitäten, andere Forschungseinrichtungen, Forschungsverbünde (z.B. BGE-TEC, GFZ, GRS, ÖkoInstitut, UFZ, ENTRIA / TRANSENS, DAEF)
Internationale Kooperationen (z.B. im europäischen EURAD-Programm, Forschungsbergwerken Äspö, Grimsel, Mt. Terri)
- Finanzierung: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Land Baden-Württemberg und Drittmittel



Verordnung über Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (EndlSiAnfV, Oktober 2020)

§§ 2 und 4

- Radioaktive Abfälle sind im Endlagersystem **sicher einzuschließen**, um die darin enthaltenen Radionuklide mindestens für 1 Millionen Jahre von der Biosphäre fernzuhalten
- Endlagersystem hat **sicheren Einschluss radioaktiver Abfälle passiv und wartungsfrei** durch ein robustes, gestaffeltes System verschiedener Barrieren zu gewährleisten → Ausbreitung von Radionukliden ist zu be- oder verhindern in einem „Mehrbarrierensystem“



Bildquelle: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, GRS-S-49

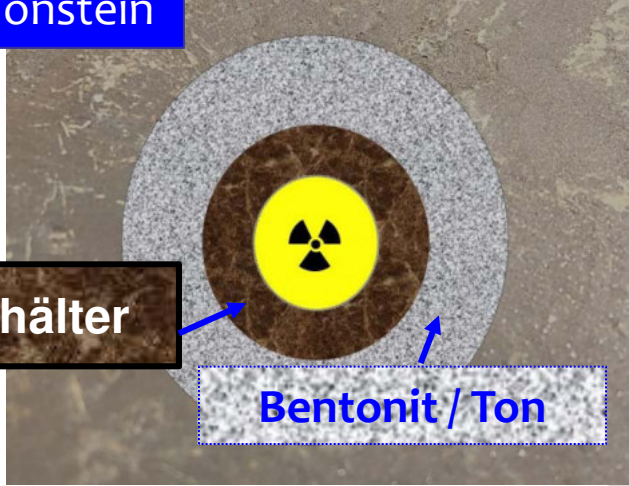
Verschiedene Gesteine - verschiedene Mehrbarrierensysteme

- Unterschiedliche „Mehrbarrierensysteme“ werden in für Endlagerkonzepte verschiedener Länder angestrebt
- Wasserzutritt zu radioaktiven Abfällen ist möglichst zu verhindern (z.B. durch korrosionsresistenten Behälter, „geo-technische Barriere“, Wirtsgestein)
- Im Fall eines potentiellen Wasserzutritts Radionuklidrückhaltung in mehreren Barrieren

Tonstein

Eisen-Behälter

Bentonit / Ton

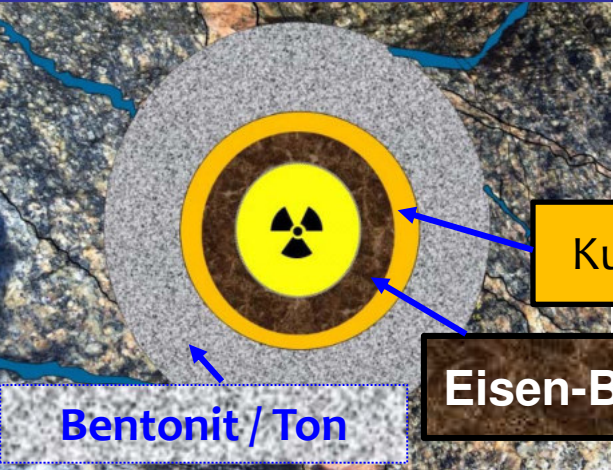


Kristallin mit Wasser in Klüften



Kupfer-Hülle

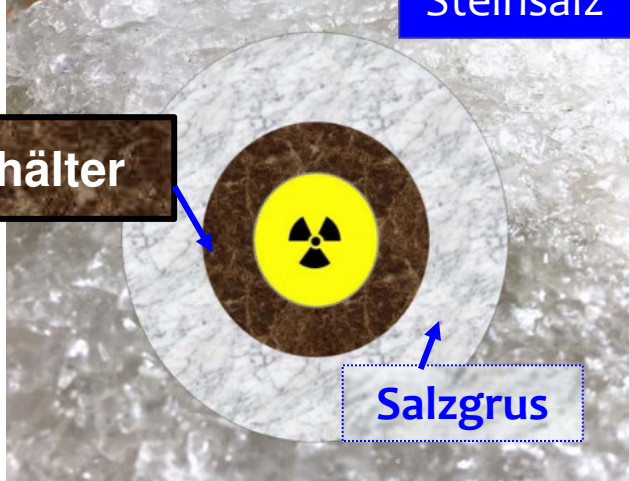
Eisen-Behälter



Bentonit / Ton

Eisen-Behälter

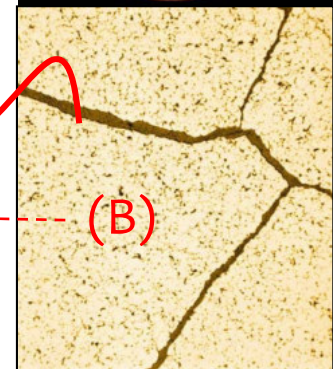
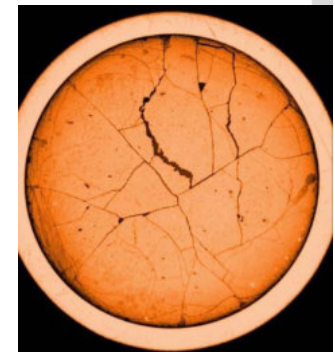
Steinsalz



Salzgrus

Wovon hängt ab, ob und wie schnell Radionuklide austreten?

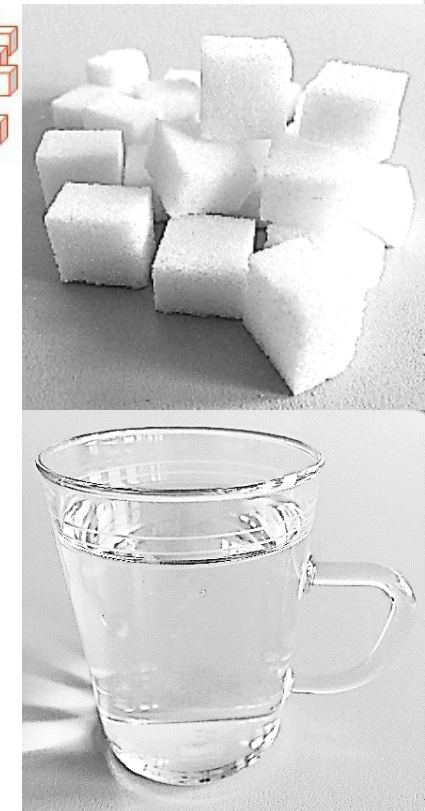
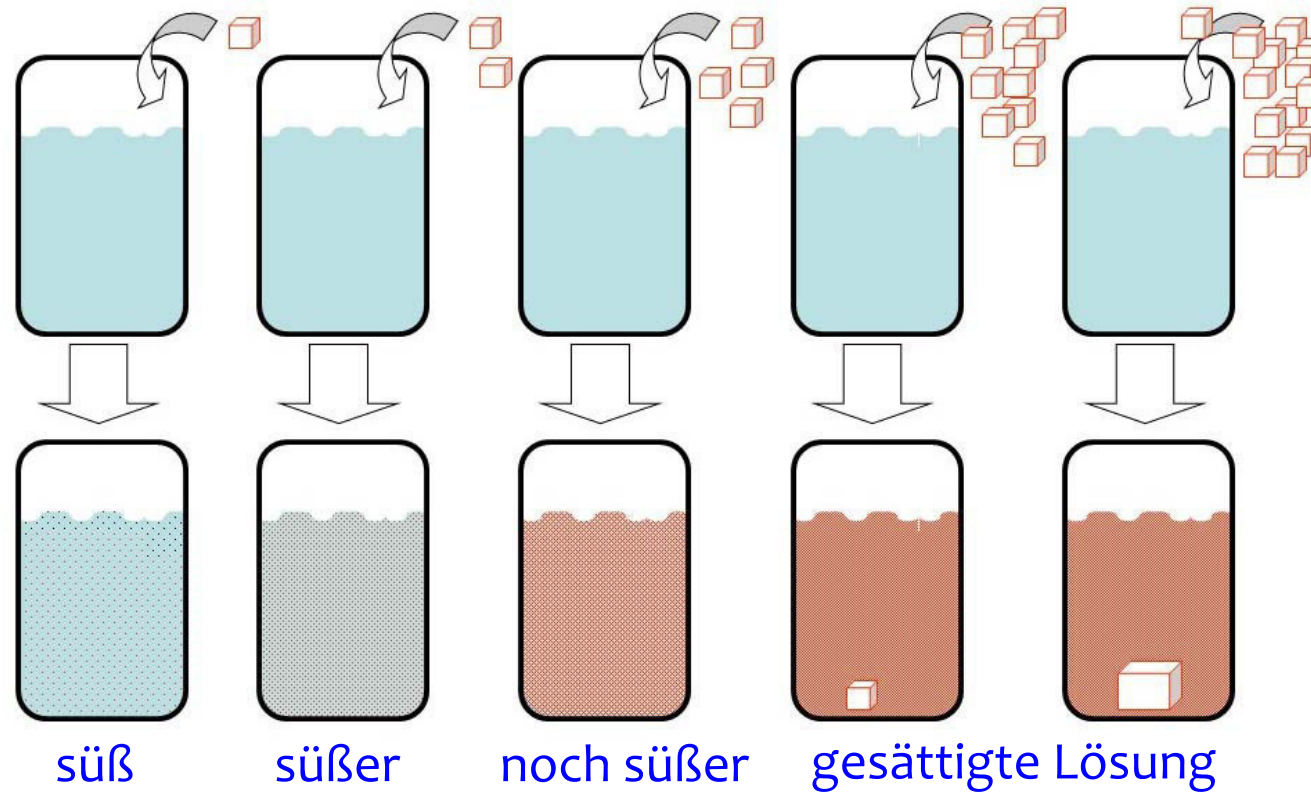
- Freisetzung von Radionukliden aus radioaktiven Abfällen erst nach Korrosion der Behälter → Behälterkorrosion ist abhängig vom Endlagerkonzept
- Experimente mit abgebranntem Kernbrennstoff aus Kernkraftwerken und verglasten Abfällen von Wiederaufarbeitungsanlagen unter simulierten Endlagerbedingungen (Kontakt mit Tiefenwässern ...)
- (A) innerhalb von Jahrzehnten Freisetzung bestimmter Radionuklide, wie z.B. ^{14}C Kohlenstoff, ^{36}Cl Chlor, ^{129}I Iod aus Rissen und Korngrenzen
- (B) sehr langsame Auflösung von Kernbrennstoff bzw. von Glas → sehr langsame Freisetzung von >90% des Radionuklidinventars → diese Radionuklide sind in Feststoffstruktur von Kernbrennstoff / Glas eingebunden



Wovon hängt ab, wieviel ein Stoff gelöst wird?

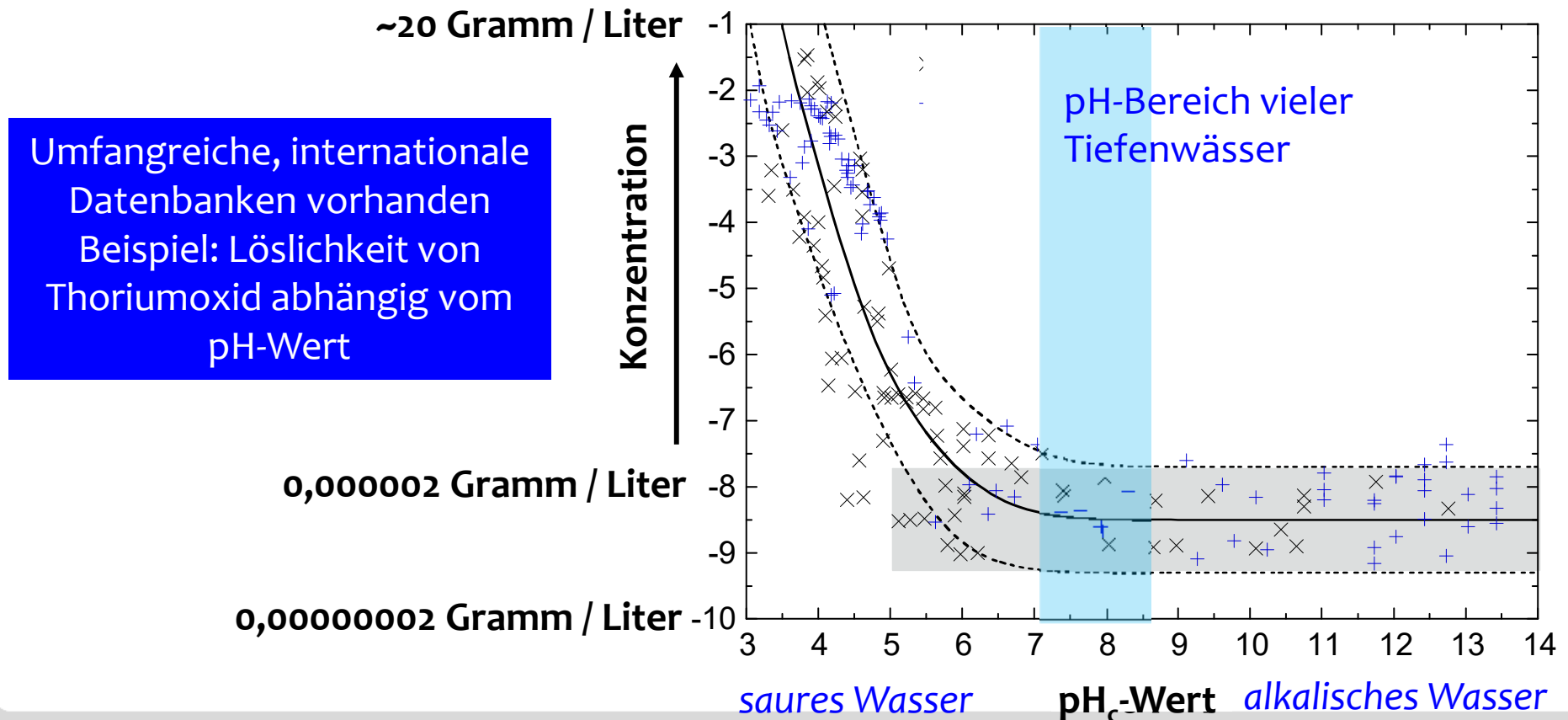
Löslichkeit / „Sättigungskonzentration“ eines Stoffes ist die maximale Konzentration des Stoffes in einer Lösung, z.B. in Wasser

- ~1970 Gramm Saccharose-Zucker in 1 Liter reinem Wasser
- ~350 Gramm Kochsalz in 1 Liter reinem Wasser
- ~0.0000001 Gramm Plutoniumoxid in 1 Liter reinem Wasser



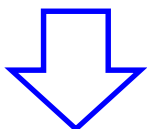
Wovon hängt ab, wieviel Radionuklide gelöst werden?

- Einige Radionuklide sind schwer löslich, wie z.B. ^{239}Pu oder ^{232}Th , andere sind leicht löslich, wie z.B. ^{36}Cl als Chlorid und ^{129}I als Iodid
- Löslichkeit wird erhöht bzw. verringert durch Zusammensetzung des Tiefenwassers: pH-Wert („Säurestärke“), Gehalt an Oxidantien, CO_2 , Salzen, Kolloiden u.a.



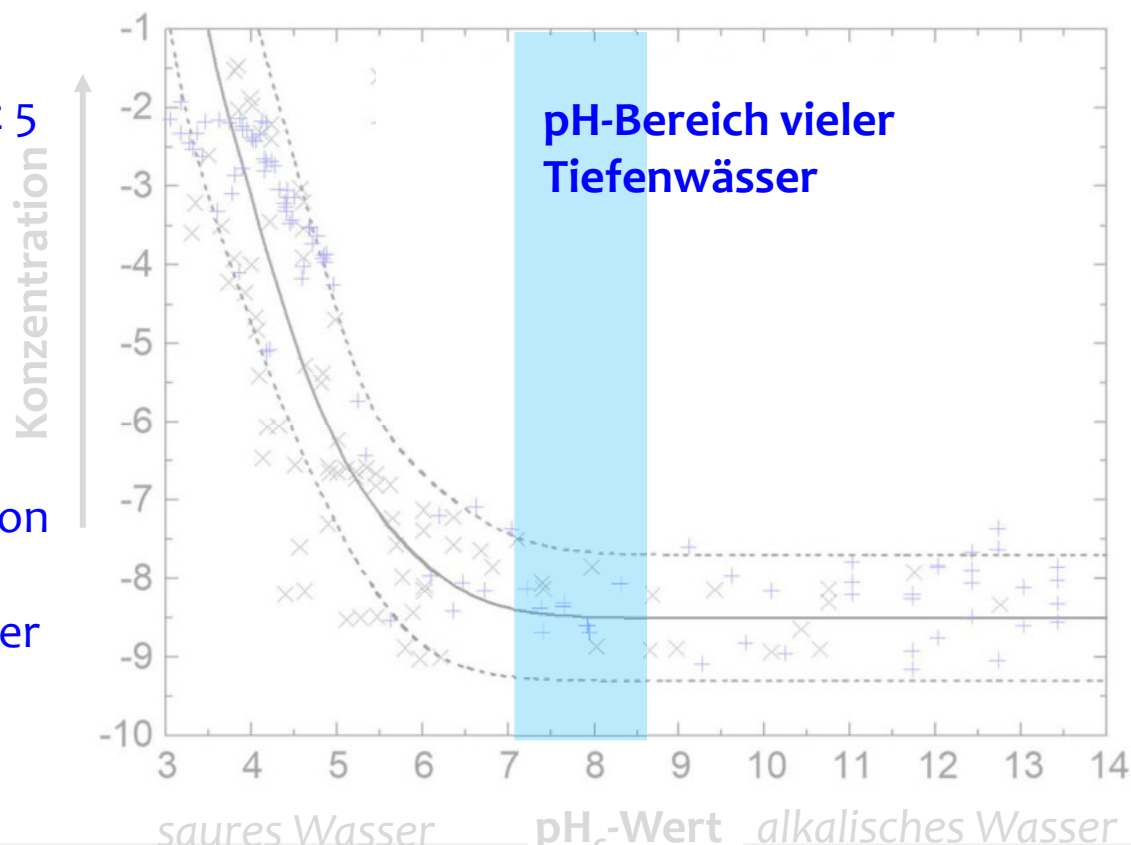
Wovon hängt ab, wieviel Radionuklide gelöst werden?

- Einige Radionuklide sind schwer löslich, wie z.B. ^{239}Pu Plutonium oder ^{232}Th Thorium, andere sind leicht löslich, wie z.B. ^{36}Cl Chlor als Chlorid und ^{129}I Iod als Iodid
- Löslichkeit wird erhöht bzw. verringert durch Zusammensetzung des Tiefenwassers: pH-Wert („Säurestärke“), Gehalt an Oxidantien, CO_2 , Salzen, Kolloiden u.a.



StandAG, Anlage 10 zu §24 Absatz 5 hydrochemischen Verhältnisse: „neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) ..., anoxisch-reduzierendes Milieu ...“

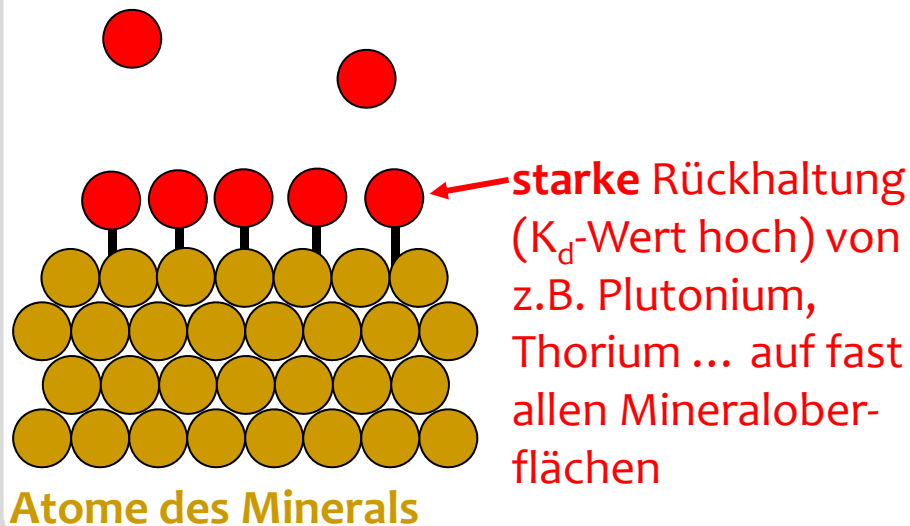
→ bei Tiefenwasser mit hohem Salzgehalt (z.B. aus Unterkreide-Ton in Norddeutschland) sind **gemessene pH-Werte** bezüglich der Salinität zu **korrigieren!**



- Einige Radionuklide, wie z.B. ^{239}Pu oder ^{232}Th , werden an vielen Mineraloberflächen stark zurückgehalten, andere werden nur schwach zurückgehalten, wie z.B. ^{36}Cl als Chlorid und ^{129}I als Iodid
- „Kd-Konzept“ als **vereinfachte Beschreibung** der Radionuklidrückhaltung → umfangreiche, internationale Datenbanken für Radionuklide und Vielzahl von Mineralen

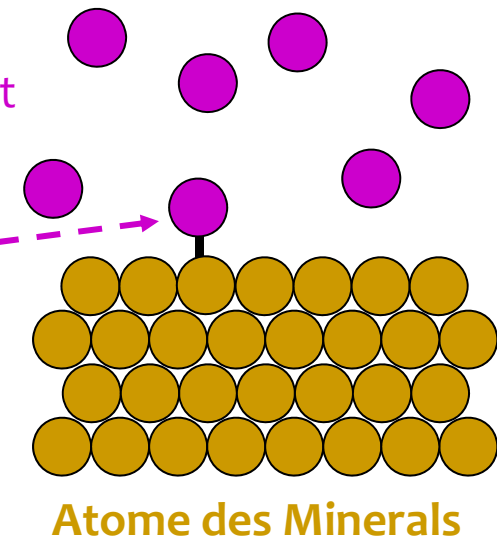
$$K_d = \frac{\text{Radionuklide am Mineral}}{\text{Radionuklide in Lösung}}$$

Plutonium, Thorium ... in Lösung

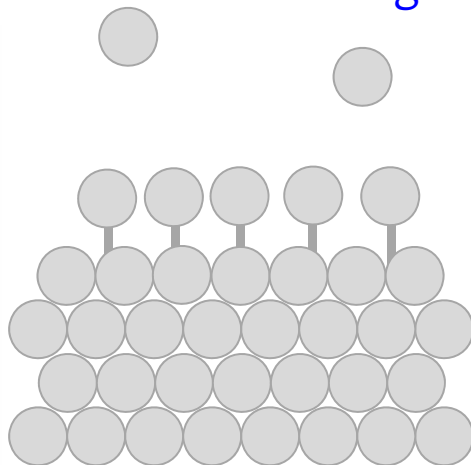
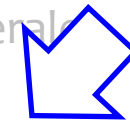


^{129}I als Iodid... in Lösung

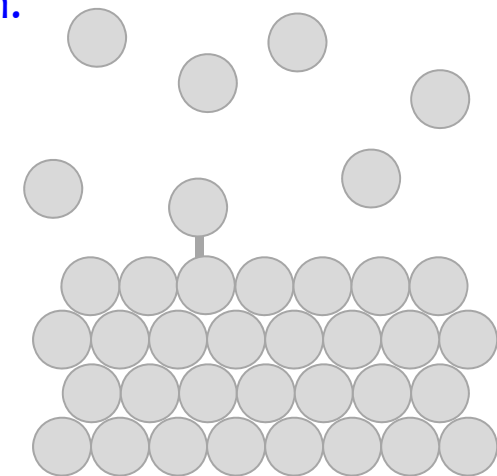
schwache Rückhaltung (K_d -Wert niedrig) von ^{129}I auf fast allen Mineraloberflächen



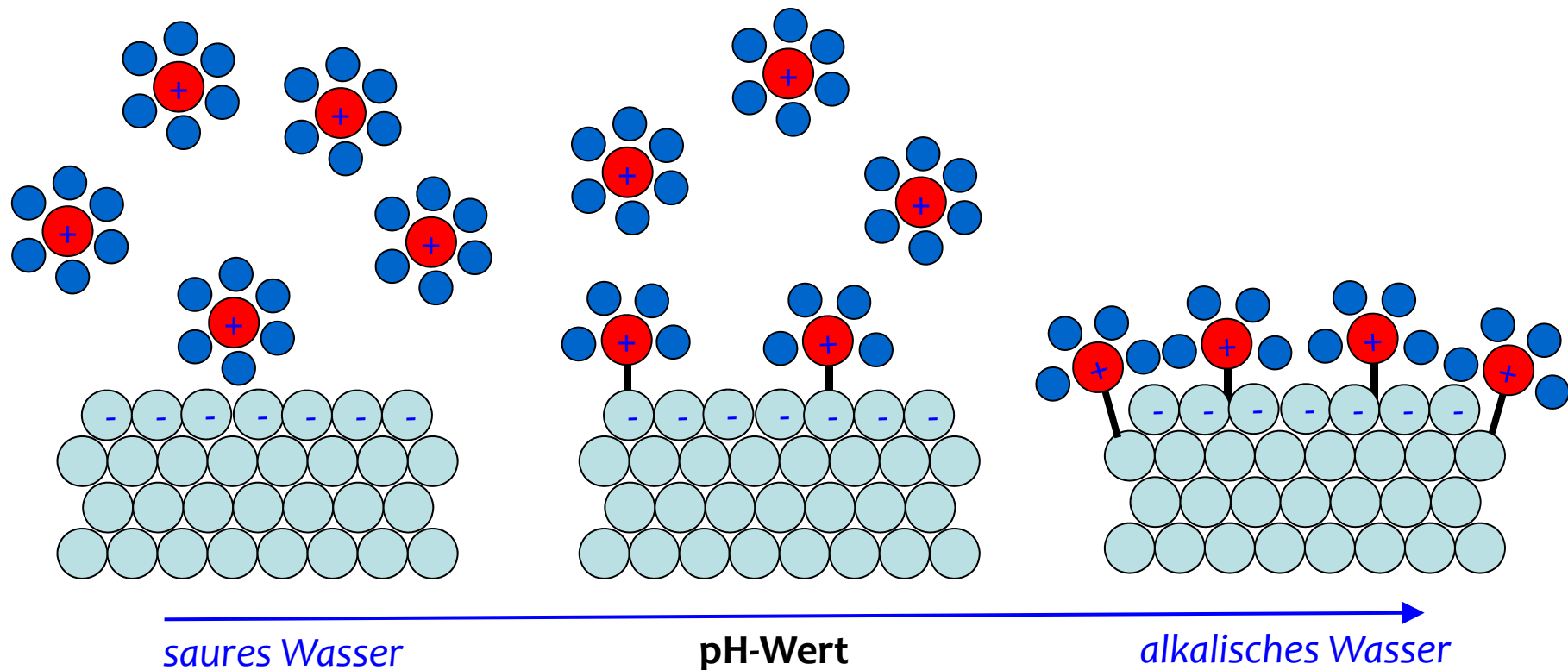
- Einige Radionuklide, wie z.B. ^{239}Pu oder ^{232}Th , werden an vielen Mineraloberflächen stark zurückgehalten, andere werden nur schwach zurückgehalten, wie z.B. ^{36}Cl als Chlorid und ^{129}I als Iodid
- „Kd-Konzept“ als **vereinfachte Beschreibung** der Radionuklidrückhaltung → umfangreiche, internationale Datenbanken für Radionuklide und Vielzahl von Mineralen
- StandAG, Anlage 9 zu §24 Absatz 5: Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich → da u.a. ^{36}Cl als Chlorid und ^{129}I als Iodid an Mineralen unter natürlichen Bedingungen nur schwach zurückgehalten werden → Kriterium kann eigentlich „nur bedingt günstig“ bewertet werden.



Gemessene K_d Werte sind für spezifische geochemische Bedingungen bei Messung gültig !



- Mechanismus der Radionuklidrückhaltung ist abhängig von den geochemischen Bedingungen, z.B. pH-Wert
- Vertieftes Verständnis der Rückhaltemechanismen, z.B. „Oberflächenkomplexbildung“ erlaubt es, auch für veränderliche geochemischen Bedingungen die Rückhaltung zu quantifizieren → Entwicklung von Modellen für numerische Simulation



Radionuklidausbreitung abhängig vom Endlagerkonzept

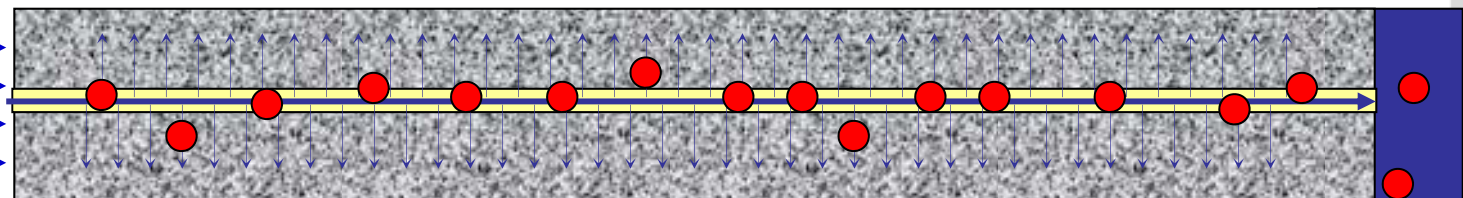
- innerhalb Einlagerungskammern nur sehr langsamer Stofftransport im Porenwasser durch chemische Konzentrationsunterschiede (*Diffusion*)
- in **kristallinen Gesteinen** („*advektiver*“) Strömungstransport durch Klüfte
- in **Tonstein / Tongestein** *diffusiver*, sehr langsamer Stofftransport
- ungestörtes **Steinsalz** quasi dicht; durch unkompaktiertes Verfüllmaterial *diffusiver* Transport



Steinsalz



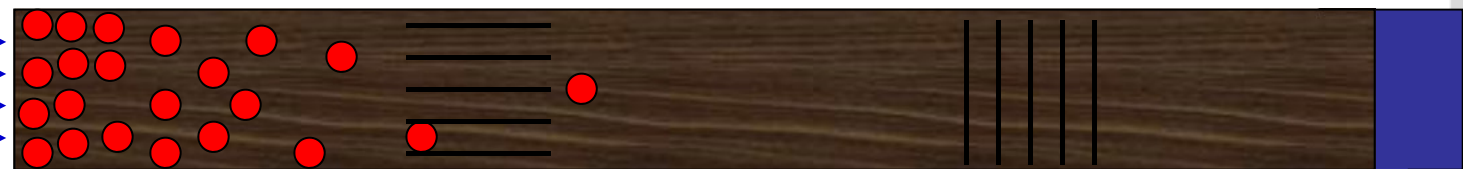
Kristallin



Strömungstransport und Rückhaltung von Radionukliden

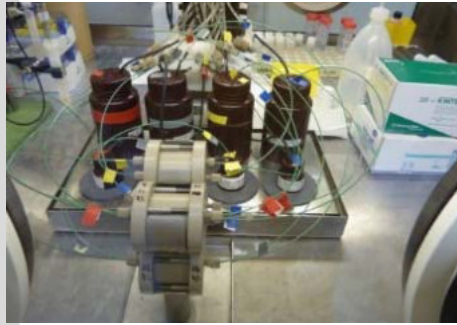


Tonstein



langsamer Transport und starke Rückhaltung vieler Radionuklide

Radionukliduntersuchungen in unterschiedlichen Skalen

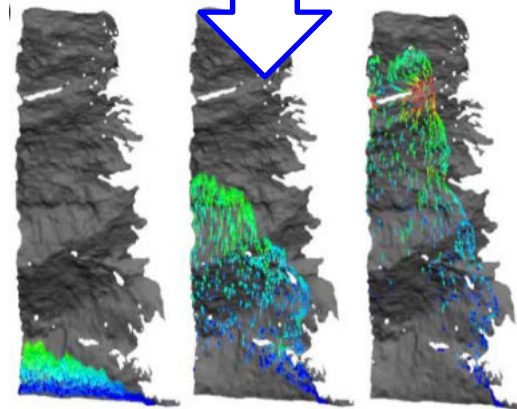
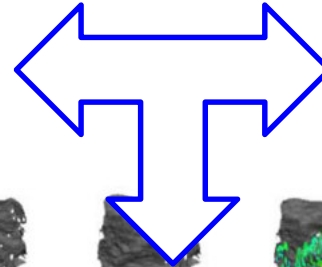


klein-skalige Experimente im Labor

„naturnahe“ groß-skalige Experimente in unterirdischen Felslaboren



Konsistente (widerspruchsfreie) Ergebnisse aus Labor und Forschungsbergwerk \Leftrightarrow Demonstration Übertragbarkeit des Wissensstand



Entwickeln und Überprüfen von Modellen zur Beschreibung der Radionuklidausbreitung

Ein Blick auf geologische Zeitskalen: Milliarden Jahre

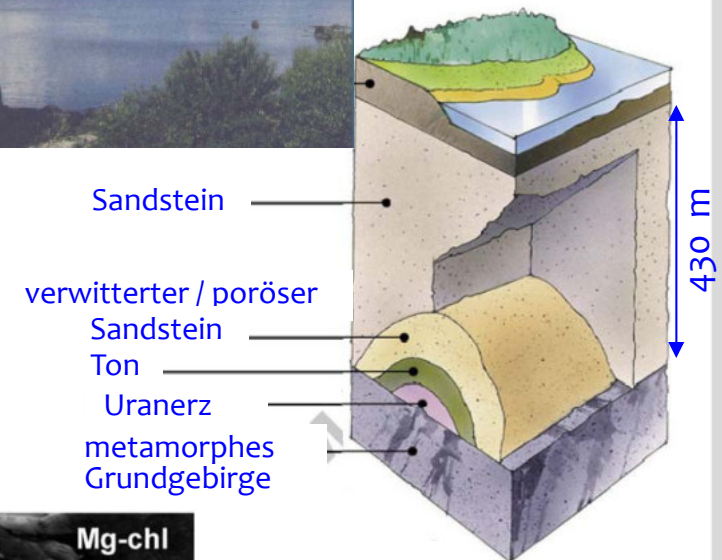
Naturbeobachtungen mittels „Natürlicher Analoga“

Cigar Lake Uranlagerstätte 1,3 Milliarden Jahre

- von porösem „Athabasca“-Sandstein überlagert und durch Tonschicht eingehüllt
- Uran-Radionuklide im Umkreis von wenigen Zehner Metern um Erzkörper zurückgehalten



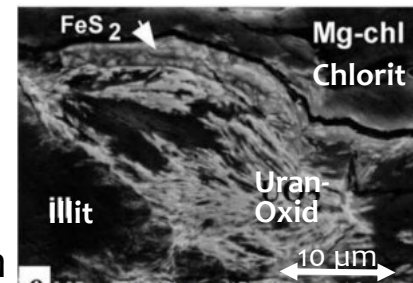
Cigar Lake
(Kanada)



Oklo Naturreaktor 1,9 ± 0.4 Milliarden Jahre

- entdeckt zwischen Sandstein und Tonschiefer
- Bildung von Radionukliden durch Kettenreaktionen
- Uran, Plutonium, Thorium weniger als 5 cm ins Nebengestein vorgedrungen
- ¹²⁹Iod und Spaltgase mobil

Uranoxid eingebettet in
Tonminerale Illit und Mg-Chlorit

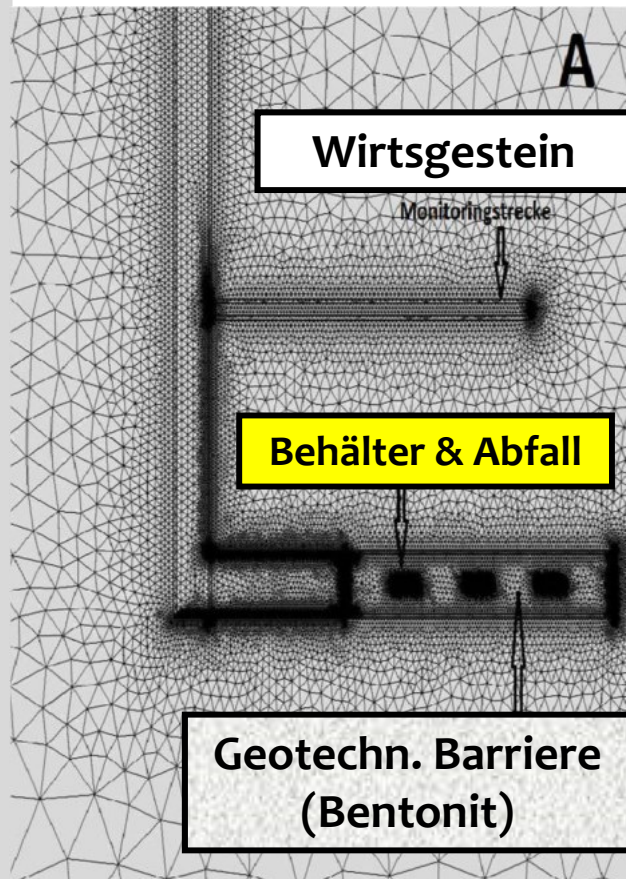


Oklo (Gabun)

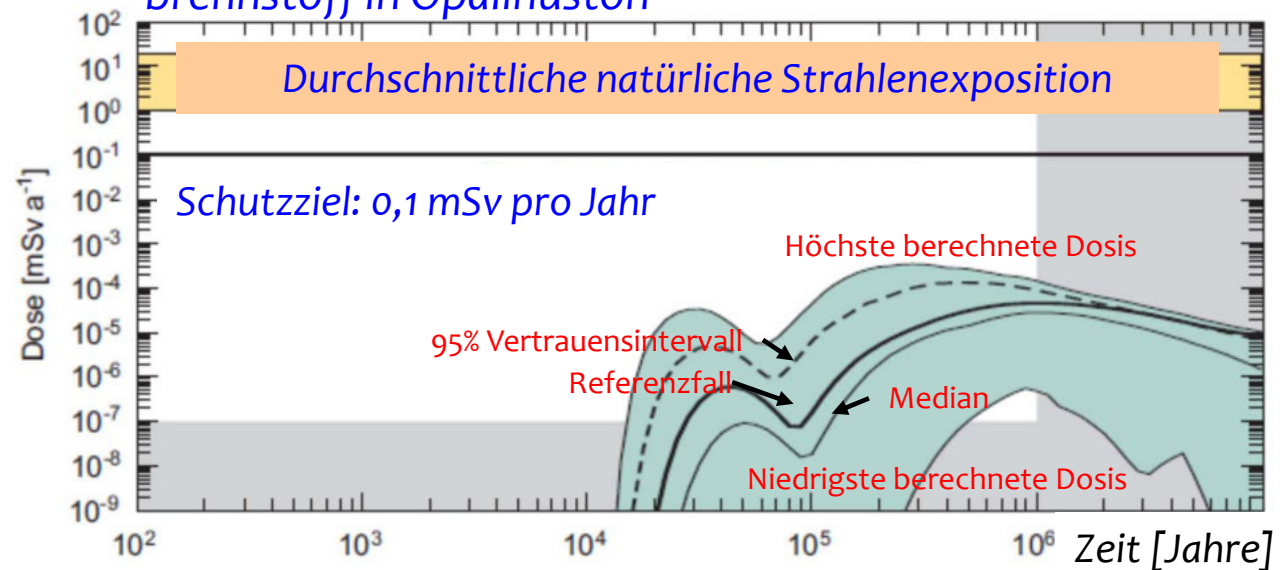
Bildquellen: J. Bruno & K. Spahiu (2014) *Appl. Geochemistry* 49, 178-183; Andreas Mittler; NAGRA

Simulationen zur Beschreibung der Ausbreitung von Radionukliden

- Es wird nicht(!) versucht die Zukunft eines Endlagersystems vorherzusagen. Ziel ist es, für Szenarien unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit, die Radionuklid- ausbreitung zu bewerten
- Integration der Kenntnisstände zur Freisetzung, Löslichkeit, Transport, Rückhaltung ...

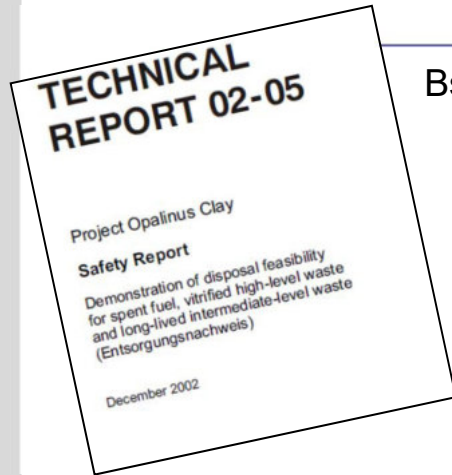


Beispiel: Probabilistische Analyse der Radionuklid- freisetzung für ein Endlager mit abgebranntem Kern- brennstoff in Opalinuston



Quellen: Opalinus Project, NAGRA Report, 2002, NTB 02-05; Beuth et al. (2018) ATW 63, 593

Resümee: Radionuklidausbreitung aus einem Endlager

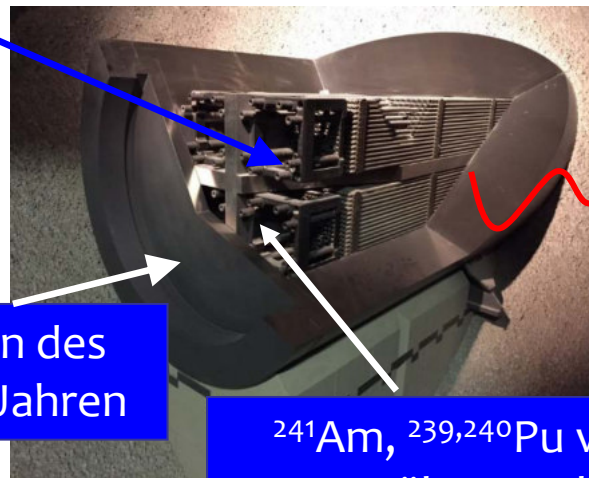


Bsp.: Sicherheitsbetrachtung Schweizer Konzept (NAGRA, NTB 02-05)

^{129}I , ^{14}C , ^{36}Cl können in geringen Konzentrationen in überlagernde Schichten gelangen; mögliche radiologische Exposition der Bevölkerung unterhalb 1/1000 der Schutzzielwerte.

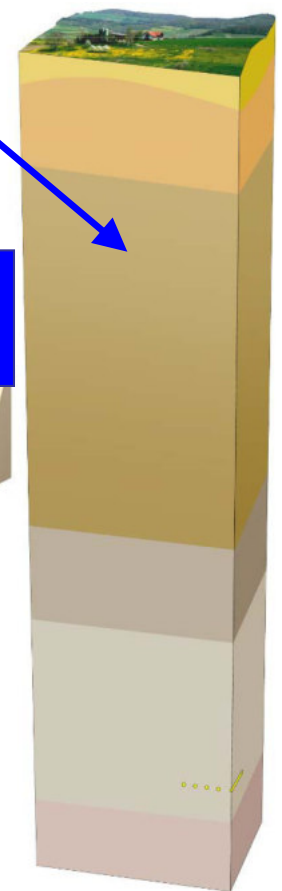
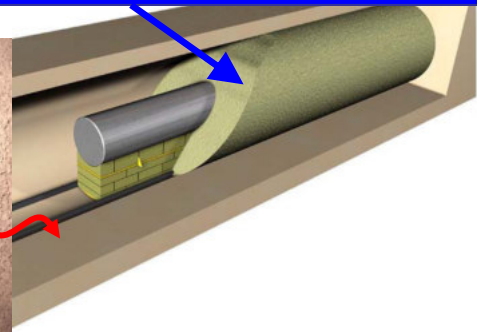
^{129}I , ^{135}Cs , ^{14}C können relativ rasch freigesetzt werden

^{135}Cs , ^{99}Tc werden im Bentonit festgehalten



Durchgängige Korrosion des Behälters nach ~10'000 Jahren

^{241}Am , $^{239,240}\text{Pu}$ verbleiben in Brennstäben und zerfallen dort



- Gestaffelte Barrieren schließen Abfälle ein bzw. halten Radionuklide durch eine Reihe physiko-chemischer Prozesse zurück bzw. behindern Ausbreitung
 - Begrenzung der maximalen Löslichkeit im Tiefenwasser
 - langsamer Lösungstransport
 - Rückhaltung durch Reaktionen mit Mineraloberflächen
- Umfangreiches Wissen zur Freisetzung, Ausbreitung und Rückhaltung von Radionukliden im Untergrund aus internationalen Forschungsprojekten vorhanden → Löslichkeits- / Sorptionsdatenbanken, Modellierungswerkzeuge
- Laborstudien, Experimente in unterirdischen Felslaboren sowie Naturbeobachtungen („Natürliche Analoga“) führen zu ergänzenden & widerspruchsfreien Befunden → weitere Studien zur Demonstration / zum Testen der Übertragbarkeit des Wissensstands auf komplexe, reale Endlagersysteme



- Verstärkt „realitätsnahe“ Beschreibung und Modellierung der Endlagerentwicklung und Radionuklidenausbreitung (Überprüfung von Annahmen in Sicherheitsuntersuchungen)
- Bewertung von Heterogenitäten z.B. in Wirtsgesteinen (Untersuchung auf unterschiedlichen Skalen)
- → Aussagen werden mit zunehmend konkreteren Informationen über einen möglichen Standort belastbarer
- Bis dahin: Inwieweit sind Erkenntnisse aus Projekten z.B. in CH, FIN, FR, SE auf deutsche Verhältnisse übertragbar? → essenziell für vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
- Bewertung von Ungewissheiten in Ausbreitungsrechnungen
- Eine wissenschaftliche Hypothese oder Theorie kann sich bewähren, indem sie kritischen Prüfversuchen standhält → Karl Raimund Popper (1935) *Logik der Forschung – Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*. J. Springer Verlag, Wien

Wortprotokoll Vortrag V2

Fachkonferenz Teilgebiete – Erster Beratungstermin	
Datum	05. Februar 2021
Uhrzeit	18:30 - 20:20
Titel	Vortrag 2
Dateiname	Vortrag 2 - Metz
Es gilt das gesprochene Wort.	

(Frank Claus) Gut, meine Damen und Herren, dann kann ich ja mal anfangen und kann sagen: Was machen wir denn heute? Ich freue mich, ohne dass ich Sie leider sehen kann, dass Sie Interesse an diesem Thema haben. Der erste inhaltliche Beitrag auf diesem Beratungstermin zur Fachkonferenz Teilgebiete. Wenn Sie mich fragen, wird es auch Zeit. Und wir haben heute zwei (... 00::02::43). Zum einen Volker Metz und zum anderen Herr Borkel.

Herr Metz, um ihn vorzustellen, Volker Metz arbeitet seit über 20 Jahren im Bereich der Endlagerforschung mit einem Spezialthema, und zwar ist er als Geochemiker und Mineraloge unterwegs. Er hat dann PhD gemacht, also wenn ich mal so flapsig sagen darf, so etwas ähnliches wie einen Dr. Und seit dem Jahr 2000 ist er in Karlsruhe am Karlsruher Institut für Technologie und Institut für Nukleare Entsorgung. Da ist er nicht nur, sondern da leitet er eine Art (... 00::03::19) und Endlagerkomponenten und ist auch stellvertretender Institutsleiter. Also sprich, da haben Sie schon eine Menge Verantwortung und ich denke auch eine Menge Erfahrung. Und sein Arbeitsthema ist eben genau das, also die Frage Endlagersysteme. Und wir kommen nachher drauf zurück. Und in seinem Vortrag wird Herr Metz auch etwas dazu berichten, was das Karlsruher Institut für Technologie denn so macht.

Dann haben wir Herrn Borkel von der Bundesgesellschaft für Endlagerung und Vornamen habe ich vorhin nicht richtig mitgekriegt. Würden Sie sich eben noch mal einschalten und Ihren Vornamen laut sagen?

(Christoph Borkel) Ich mache mal meinen Ton an. Ich bin nicht von der BGE und nicht von der Bundesgesellschaft für Endlagerung, sondern ich bin vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung. Christoph Borkel. Hallo! Alles gut.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Frank Claus) So, dann habe ich Sie auch noch in die falsche Tüte gesteckt.

(Christoph Borkel) In die ganz falsche.

(Frank Claus) Ja, also Sie sind nicht der (... 00::04::13) die Organisation, die am Standort sucht, sondern zu der Organisation, die beaufsichtigt, dass das alles richtig gemacht wird.

(Christoph Borkel) Genau. Ich selber bin in der Forschungsabteilung.

(Frank Claus) Okay. Danke, Herr Borkel. So, und wir haben eine mir leider nicht bekannte Anzahl an Teilnehmenden aus den verschiedenen Bereichen. Es geht heute ja in dieser Runde um das Thema Radionuklide im Untergrund. Also, wen man so schlicht sagen darf, um die Frage: Wenn im Endlager irgendwas undicht wird, warum auch immer, und Radionuklide freigesetzt werden, wie breiten die sich da eigentlich aus? Und das ist unter dem Titel einer Einführung. Also Sie kriegen heute kein Diplom, aber Sie kriegen einen Eindruck, was denn da passiert. Und es geht um so Fragen wie: Wovon hängt das eigentlich ab, wie schnell die Radionuklide sich ausbreiten? Kann man das eigentlich vernünftig prognostizieren? Wissen wir eigentlich genug, um eine wirklich gute Prognose zu machen? Oder andersherum: Was gibt es noch an Unsicherheiten? Das sind die Themen, mit denen wir zu tun haben.

Und wir haben vom Ablauf her – die Kollegen haben es zwar schon grob geschildert, aber ich möchte es noch einmal deutlich machen: Wir haben vom Ablauf her so, dass wir einen Input haben von ungefähr einer halben Stunde von dem Herrn Metz. Und ich denke, Herr Borkel, dass Sie darauf reagieren wollen (... 00::05:33). Herr Borkel?

(Christoph Borkel) Ja, am Ende habe ich Sie nicht mehr ganz verstanden.

(Frank Claus) Die Frage ist: Wie viel Zeit möchten Sie sozusagen nach Herrn Metz für Ihren Kommentar oder Ihre Äußerung verwenden?

(Christoph Borkel) Ach so, ich habe mir das gar nicht ausgesucht. Mir wurde gesagt, ich hätte ungefähr eine Viertelstunde. Darauf habe ich mich eingestellt.

(Frank Claus) Sehr gut. Danach gibt es natürlich eine Fragerunde. Also Beiträge und Fragen von den Teilnehmenden.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Und jetzt muss ich was zum Datenschutz sagen, weil das Problem ist: Wir sind ja vorher gefragt worden: Wird das eigentlich auch später noch öffentlich? Kann man sich das angucken? Und die Antwort ist: Jein. Also der Teil der Beiträge, sowohl von Herrn Metz als auch von Herr Borkel, den können Sie später sich angucken. Den zeichnen wir auf.

Die Diskussion, die dürfen wir deshalb nicht aufzeichnen, weil ja (... 00::06::37) verletzt werden können. Mit anderen Worten: Also das, was so an Diskussionsergebnissen, Fragestellungen, Antworten passiert, wird leider nicht dokumentiert.

Da es sich jetzt nicht so unmittelbar um Fragestellungen des Zwischenberichts Teilgebiete der BGE handelt, sondern nur mittelbar, da ist das hoffentlich für Sie alle verschmerzbar. Und falls Sie sagen, Sie brauchen das für Ihre persönlichen Notizen, dann würde ich sagen, müssen Sie sich leider selber Notizen machen oder selber versuchen, das zu dokumentieren, was dabei rauskommt.

In der Gesprächsrunde werden wir die Fragen bündeln, das heißt ich werde immer ein paar Fragen geben und dann versuchen, dass Herr Metz und Herr Borkel darauf antworten können.

So, das waren meine Vorbemerkungen zum Ablauf. Und Herr Metz, Sie haben die Dokumentation vorbereitet, die habe ich schon gesehen. Und insofern, wenn Sie dann startklar sind, wäre es gut, wenn Sie anfangen könnten.

(Volker Metz) Ja, also guten Abend von meiner Seite, Herr Claus. Können Sie meine Präsentation starten? Weil, ich habe nur Mikrofon und Kamera und sonst nichts.

(Frank Claus) Ja, warten Sie mal. Ich hoffe, dass ich das kann. Nein, ich kann es nicht, stelle ich gerade fest. Moment.

(Christoph Borkel) Herr Metz, wie sind Sie denn drin? Sind Sie über die App drin oder über den normalen Zoom-Client?

(Volker Metz) Ich bin über die App drin.

(Christoph Borkel) Über die App können wir nichts teilen. Sie müssten über den Zoom-Client reinkommen. Haben Sie den Link?

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Volker Metz) Ich habe den heute Mittag angefragt. Ich warte noch auf den --- Ich habe einen. Ich kann es mal probieren.

(Frank Claus) Dann würde ich jetzt hier in dieser Konferenz-App mich stumm schalten und es mal parallel versuchen.

(AG B) Ansonsten, Herr Metz, wenn Sie mir kurz Ihre E-Mail-Adresse geben --- Ich weiß, das ist jetzt datenschutzrechtlich nicht ganz so ---

(Volker Metz) Nein, das ist okay. Das ist sowieso die E-Mail-Adresse ---

(AG B) Dann schicke ich Ihnen fix den Link zu und dann würden wir uns dadurch treffen. Herr Borkel, Sie sind wahrscheinlich normal über die Zoom-App ganz normal drin? Über die native Zoom-App?

(Christoph Borkel) Ich habe gar keine Präsentation, ich rede einfach nur.

(AG B) Ach so, Sie reden nur. Dann ist das völlig in Ordnung.

(Volker Metz) Für Sie vom Technik: Ich habe am Dienstag noch was ausprobiert mit dem Zoom, und zwar über --- Wenn Sie die Nummer vor sich haben, die Verbindung, dann kann ich --- Also 9341055. Ist das die gleiche?

(AG B) Nein, das wird eine andere sein.

(Volker Metz) Das war die von Dienstag. Okay. Also, meine E-Mail-Adresse lautet: ---

(AG B) Ich gucke ganz kurz mal. Also ich habe eine 9800032. Das ist ---

(Volker Metz) Moment, jetzt habe ich ---

(AG B) Aber dann geben wir die Meeting-ID, dann können Sie die eingeben. Dann gebe ich Ihnen hier das Passwort jetzt schnell durch.

(Volker Metz) Ich brauche den Link, die URL.

(AG B) Dann schicke ich Ihnen den Link.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Volker Metz) Meine E-Mail haben Sie?

(AG B) Nee, habe ich nicht.

(Volker Metz) Also mein Name heißt --- Die E-Mail-Adresse ist: volker.metz – vier Buchstaben – @kit.edu. e wie Emil, d wie Dora und u wie Universität. .de.

(Frank Claus) So, ich habe jetzt, wie ich gesehen habe, meinen Bildschirm geteilt, ist das für Sie sichtbar?

(Sprecher*in) Ja, das ist sichtbar.

(Sprecher*in) Ja, sichtbar für uns.

(Sprecher*in) Ist sichtbar.

(Frank Claus) Wunderbar. Es müsste funktionieren. Ich hoffe, Sie können loslegen.

(Volker Metz) Ja, okay. Sie haben die Präsentation, die ich Ihnen geschickt habe?

(AG B) Wir haben noch eine Rückkopplung drin. Es kann sein, Herr Metz, dass Sie beides jetzt wahrscheinlich offen haben irgendwie. Da müssen wir mal gucken ---

(Volker Metz) Nein. Ich habe das andere gar nicht geöffnet.

(AG B) Herr Metz, ganz kurz noch mal: Ich habe volker.metz@kit ---

(Volker Metz) Punkt. e wie Emil, d wie Dora, u wie Udo.

(Frank Claus) Ich hoffe, (...00::11::21)

(AG B) Es geht sofort los. Geben Sie uns noch ein Minütchen. So, wir wollen es ja richtig machen. So, der Link ist raus.

(Volker Metz) Okay. Es dauernd anscheinend. Sie sitzen wahrscheinlich in Berlin?

(AG B) Ich sitze in Bonn.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Volker Metz) Oder in Bonn. Bei mir ist noch nichts bei mir angekommen.

(AG B) Sie können auch über die Zoom-App, wenn Sie sagen „Am Meeting teilnehmen“, können Sie auch ---

(Volker Metz) Einen Moment. Da muss ich Zoom erst mal starten, weil --- Ah ja.

(Sprecher*in) Aber die Präsentation ist jetzt sichtbar, oder?

(Volker Metz) Okay, einen Moment. Noch mal ---

(AG B) Genau. Und hier wieder ausloggen und dann sehen wir uns gleich über die Zoom-App wieder.

(Volker Metz) Ja.

(AG B) Und dann können Sie teilnehmen.

(Volker Metz) Ich bleibe einen Moment dran, weil bis Zoom gestartet ist --- Ich (... 00::12::34) Zoom jetzt den Link und speichere es bei mir auf der Festplatte. Und rufe jetzt gleich Zoom auf und gehe dann auch gleich aus Ihrer Oberfläche raus. Okay, jetzt wird gerade Zoom das Programm gestartet. Ich sehe jetzt auch --- Ich habe jetzt da einen Vorteil gegenüber Herrn Claus. Ich sehe mehrere ---

(AG B) Es sind ein paar drin. Deshalb ---

(Volker Metz) Ja, genau. Richtig.

(AG B) Deshalb sollte es gleich loslegen.

(Volker Metz) Ja. Ich verabschiede mich jetzt von hier, von Ihrem ---

(Frank Claus) Hoffen wir, dass er wieder hereinkommt.

(Volker Metz) Hallo, Herr Claus? Okay, genau. Ich kann jetzt sehen --- Nicht alle, aber ich sehe viele. Was ich jetzt schon gleich mache, weil, die anderen müssen noch warten. Ich teile jetzt meinen Bildschirm. Und Herr Claus, Sie können ja mir noch als stellvertretend für alle anderen sagen, ob Sie meine Präsentation sehen. Okay, ich habe Ihr Nicken gesehen. Prima. Das ist sehr gut. Ja, vielen Dank.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Also, guten Abend und danke für Ihre Geduld. Wir sind jetzt --- Zehn Minuten hat das jetzt ein bisschen gedauert mit der Technik. Thema von den jetzt nächsten 25 Minuten, die einfach einen Impuls --- Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? Und als Leitfragen – das ist auch das, was im Programm steht, das, mit dem wir uns beschäftigen, und was jetzt kommt. Einmal: Wovon hängt ab, ob und wie schnell Radionuklide aus den Abfällen austreten? Das war eine Impulsfrage. Dann: Was müssen wir berücksichtigen, um valide Abschätzungen zu erstellen? Und Abschätzungen dann zur Freisetzung, Ausbreitung, aber auch Rückhaltung von Radionukliden. Wichtige Frage ist: Reicht das vorhandene Wissen? Und: Welche Ungewissheiten bleiben vorerst?

Ja, mein Name ist Volker Metz. Ich habe zusammen heute hier am Institut für (... 00::14::51) auch die Präsentation erarbeitet mit meinen Kollegen Marcus Altmaier und Horst Geckeis. Und wir sind hier in Karlsruhe das Institut für Nukleare Entsorgung, INE.

Eine Minute, damit Sie wissen, mit wem haben Sie es eigentlich zu tun. Sie sehen jetzt neben der Präsentation vielleicht auch mein Gesicht. Hier ist INE. Wir arbeiten seit mehreren Jahrzehnten zu dem einen Thema. Schwerpunkt unserer Arbeiten ist genau das, was jetzt auch in dem Vortrag kommt, Verhalten von Radionukliden und hochradioaktiven Abfällen unter den Bedingungen eines Tiefenlagers, eines Endlagers.

Und das machen wir gemeinsam hier in Deutschland. Wir gehören zu der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Wir arbeiten in dieser Thematik zusammen mit dem Forschungszentrum in Jülich und im Helmholtz-Zentrum in Dresden-Rossendorf, mit denen arbeiten wir sehr eng zusammen. Nicht nur mit denen, sondern auch innerhalb von Deutschland mit Universitäten, anderen Forschungseinrichtungen, auch Forschungsverbänden.

Und darüber hinaus internationale Kooperationen. Sie sehen dort mehrere Flaggen, das sind aus den Ländern, mit denen wir enger zusammenarbeiten. Wichtig auch, finde ich, dass Ihnen klar ist, wer zahlt uns. Und dass haben Sie auch eine Ahnung: Wie ist das eigentlich mit unseren Interessen oder wer hat Interessen an uns? Hauptsächlich kommt das Geld vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, dann auch ein Teil von dem Land Baden-Württemberg – wir sind in Karlsruhe – und sogenannten Drittmitteln.

Ja, bei der Endlagerung. Das Ziel von allen Endlagersystemen ist, die Ausbreitung von Radionukliden zu verhindern oder zumindest zu behindern. Und im vergangenen Oktober hat das Bundesministerium für Umwelt --- Im Bundestag wurde eine Verordnung mit langem, sperrigem

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Namen „Verordnung über die Sicherheitsanforderung an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle“ – das ist ein langer Name – beschlossen. Und dort wird auch noch mal im § 2 und 4 darauf hingewiesen, dass die radioaktiven Abfälle in einem Endlagersystem sicher einzuschließen sind.

Also hier ist mal ein Schema von so einem Endlagersystem mit tiefem Untergrund, mehrere hundert Meter, vielleicht 500 m. Und dort unten sollen die Radionuklide, die Abfälle sicher eingeschlossen werden. Und die Radionuklide sollen über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre dort so festgehalten werden. Und von der Biosphäre ferngehalten werden, soweit das möglich ist.

Ich weiß nicht, ob Sie meinen Zeiger sehen. Wenn ich hier was zeige, dann hilft es Ihnen leichter, der Erklärung zu folgen. Außerdem steht noch in dieser Verordnung drin, es gibt einen sicheren Einschluss, der wird gewährleistet über mehrere Barrieren. Wir haben heute viel gehört über Wirtsgesteine, Kristallingestein, Tongestein und Salz. Aber es sind noch mehr. Es steht hier ein robustes und gestaffeltes System, also mehrere Barrieren. Die dienen dazu, die Radionuklide zurückzuhalten.

Ich wurde darum gebeten, weil manchen von Ihnen ist das Thema Radionuklide, ich sage mal, fremd oder --- Es ist besser, wenn ich erst mal erkläre, damit alle mitkommen: Was ist eigentlich ein Radionuklid? Was sind Radionuklide? Das sind instabile Atomkerne. Also Atomkerne, die aufgrund ihrer Instabilität zerfallen und beim Zerfallen starke Strahlung aussenden. Genau genommen, wenn man es richtig formuliert, sind das sogenannte ionisierende Strahlungen.

Ja, diese --- Ich höre noch was. Jemand hat das Mikro ausgeschaltet (?).

Wir haben Mehrbarrierensysteme. Und in Deutschland, ja auch in anderen Ländern (... 00::18::39) werden insbesondere Endlagersysteme betrachtet in Tonstein, Tonen oder in Steinsalz oder in Kristallingestein wie zum Beispiel Granitgneis. Und für die verschiedenen Gesteinsarten, Wirtsgesteine sind auch maßgeschneidert verschiedene Mehrbarrierensysteme zu berücksichtigen.

Die Aufgabe von diesem Mehrbarrierensystem ist zunächst mal wichtig, den Zutritt vom Wasser zu dem Abfall möglichst zu verhindern, möglichst weit hinauszuzögern. Das andere ist aber auch, falls nach späten Zeiten – wir reden hier von tausend, hunderttausenden von Jahren – doch die äußeren Barrieren durchdrungen sind, dann Wasser mit Radionukliden verunreinigt, kontaminiert wäre, dass die Barrieren noch die zweite Aufgabe haben, die Radionuklide dort im Endlagersystem möglichst zurückzuhalten.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Kurz noch mal dargestellt: Also, wir haben --- Sie wissen es, Tonstein, Steinsalz und Kristallin - was sind die Unterschiede bei dem Mehrbarrierensystem? Im Tonstein und im Steinsalz haben wir Mehrbarrierensysteme aus dem Gestein, dann einem Eisenbehälter --- Eisenbehälter, der besteht aus Stahl oder ein Gusseisen, Sphäroguss. Und dann zwischen dem Behälter und dem Gestein ist noch Platz. Dort soll noch eine weitere Barriere hinzugefügt werden, um möglichst --- Dass kein Platz ist im Wasser, dass so ein Abfall hinzukommt. Wir sagen dazu die geotechnische Barriere.

Häufig wird gerade Tonstein, sogar Kristallin wird verwendet, sogenannter Bentonit. Der ist ein sehr, sehr tonreiches Material. Und außerdem, will ich noch drauf hinweisen, das Innerste, der Abfall selber, ist auch eine Barriere. Das sind allein schon mehrere Barrieren.

Wenn wir jetzt schauen, beim Kristallin kommt noch eine weitere Barriere hinzu, weil --- Das ist auch hier dargestellt auf dem Schema. Und Sie sehen dort einen Bohrkern. Ich halte diesen Bohrkern in die Kamera. Und wie Sie in der Kamera sehen konnten --- Wie auf dem Foto hier gezeigt: Kristalline Gesteine wie Granite, wie Gneise, haben Klüfte, haben so Risse drin, und in den Rissen kann Wasser vordringen bis zum Endlagersystem.

Und damit das Wasser nicht bis zu dem Abfall kommt, ist dort vorgesehen – und es gibt zwei Länder, die da schon sehr weit fortgeschritten sind, Schweden und Finnland, die haben um den Eisenbehälter außen noch eine Kupferhülle. Kupfer deswegen, weil Kupfer sehr, sehr langsam korrodiert oder salopp gesagt sehr langsam rostet.

Ja, ich hatte schon drauf hingewiesen: Die innerste Barriere ist der Abfall selber. Der Abfall, das ist Kernbrennstoff oder die verglasten Abfälle aus der Wiederaufarbeitung.

Noch mal drauf hingewiesen: Dass diese Barriere in Kontakt mit Wasser kommt, ist ja nur für den Fall, dass Wasser die anderen Barrieren schon durchdrungen hat. Also zu späten Zeiten. Und der Wasserzutritt ist natürlich dann auch abhängig von den verschiedenen Endlagerkonzepten.

Über den Wasserkontakt und wie viele Radionuklide aus den Abfällen, aus dem Kernbrennstoff herauskommen oder aus den verglasten Abfällen aus der Wiederaufarbeitung, wissen wir eigentlich schon sehr, sehr gut Bescheid. Sie sehen unten rechts ein Foto von --- Das ist jetzt hier von uns aus dem Institut für Nukleare Entsorgung hier in Karlsruhe. Wir haben abgeschirmte Boxen. In anderen Instituten gibt es sogenannte heiße Zellen, wo Experimente gemacht werden mit abgebranntem Kernbrennstoff aus Kraftwerken oder mit verglasten Abfällen aus Wiederaufarbeitungsanlagen.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Und dort haben wir, haben auch die KollegInnen in anderen Instituten, simuliert, was passiert, wenn Kernbrennstoff mit einem Salzwasser zusammenkommt oder mit einem Tonwasser oder Granitwasser. Wie viel von den Radionukliden kann freigesetzt werden in welcher Zeit?

Ich zeige Ihnen mal ein Modell. Das hier ist, damit Sie einfach mal sehen --- Das ist jetzt nur ein Simulat, aber so groß sind die (... 00::22::41) im Brennstab.

(Sprecher*in) Ein Zirkoniumrohr.

(Volker Metz) Ja, jetzt ist noch jemand anderes im Mikrofon. Was man dort auch sieht auf dem Foto – und das ist ja hier vergrößert. Das ist so ein Durchschnitt von so einem Brennstab, den ich jetzt gerade in der Hand gehalten habe, diese Tablette. Hat etwa einzelne Durchmesser und man sieht in der Mitte, das ist der Kernbrennstoff. Während am Rand ist das Hüllrohr, das wurde auch schon gerade gesagt, bestehend aus einem Zirkon. Das ist ein Stoff, der möglichst die Radionuklide dort drin halten soll.

Was bei den Experimenten beobachtet wurde, ist, dass --- Es gibt einige Radionuklide, ich nenne jetzt nur mal drei Beispiele: Kohlenstoff-14, das ist Radiokarbon, kenne manche von Ihnen. Dann Chlor, Chlor-36 und Radiojod, die werden relativ schnell freigesetzt. Relativ schnell heißt innerhalb von Jahrzehnten, binnen Jahrhunderten. Und zwar diese Radionuklide befinden sich im Kernbrennstoff vor allem an Rissen, an Korngrenzen. Wenn dort Wasserkontakt ist, können die recht schnell freigesetzt werden.

Andererseits: 90 % vom Radionuklidinventar – und dazu gehört insbesondere Plutonium, Uran, Thorium, Ionium, diese Elemente – die befinden sich in der Struktur vom Uranoxid drin. Und die werden erst dann freigesetzt, wenn das Uran selber, das Uranoxid aufgelöst wird. Und deswegen werden diese erst extrem langsam freigesetzt.

Ja, jetzt für den Punkt: Wie viel kann maximal auch von so einem Radionuklid in Lösung gehen? Für Sie ein Gedankenexperiment – dass es einfach wichtig ist für den Zusammenhang: Was ist die maximale Konzentration von einem Stoff – Radionuklid, Plutonium –, die sich im Wasser überhaupt lösen kann? Und als Gedankenexperiment, ich halte es noch mal in die Kamera, also hier diese Tasse, wo Sie auf dem Foto sehen: Wenn ich jetzt hier einen Zuckerwürfel hineinwerfe --- Der Zuckerwürfel, der wird sich mit der Zeit auflösen. Und wenn ich noch mehr Zucker nehme, löst sich

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

auf. Und man kann in einem Liter reinen Wasser kann ich eins, fast zwei Kilogramm Zucker lösen. Im Salz ist es etwas weniger. Dort sind es nur noch 359 g, die ich in einem Liter lösen kann.

Bei Plutonium und bei vielen anderen Radioaktiven ist die Konzentration noch deutlich geringer. Also es sind dort 0,1 mg, die sich Plutoniumoxid in reinem Wasser lösen können. Das sind so diese Obergrenzen, die eingehalten werden können.

Die Frage: Wovon hängt eigentlich ab, wie viel davon gelöst werden kann? Und das ist insbesondere wichtig jetzt für den Vergleich von verschiedenen Wirtsgesteinen, verschiedenen Grundwässern. Wir müssen beachten, dass es schon – was Sie auch schon gesehen haben – dieses Plutonium, ähnlich auch Thorium, und das ist --- Ich zeige heute nur zwei Diagramme.

Das ist das erste für Thorium. Ähnliches Diagramm sieht auch sehr ähnlich aus wie Plutonium, Plutoniumoxid. Die lösen sich sehr, sehr schwer. Also das heißt eine nur sehr geringe Konzentration von Plutonium kann sich in Wasser, Grundwasser lösen.

Also hier als Beispiel Thorium. Das sind jetzt --- sind wir in einem Bereich von zwei Mikrogramm pro Liter.

(Sprecher*in) Sie müssen sich das Metall stark oxidiert vorstellen. Anderer chemischer Zustand.

(Volker Metz) Ich schlage vor: Lassen Sie mich --- Geben Sie mir noch 15 Minuten, dass ich einmal durch --- Und es ist ja so, dass wir --- Sonst ist es für die anderen Zuhörer --- Dann müssen die nicht so lange warten, bis sie drankommen. Die Fragen, Kommentare --- Herr Claus hat gesagt, er sammelt das und gerne möchte ich nachher drauf eingehen, aber es ist, glaube ich, günstig, wenn ich gerade mal weitermache.

Ich will nämlich darauf hinweisen, das hier, das ist eine sehr niedrige Konzentration. Und ich erkläre kurz das Diagramm. Hier auf dieser y-Achse nach oben, senkrecht, das ist die Konzentration. Wie viel kann maximal im Wasser gelöst werden?

Unten auf der Horizontalen, auf der x-Achse, dort sehen wir den pH-Wert. pH-Wert kennen Sie. Säure hat einen sehr niedrigen pH-Wert. Das sind Zahlen 3, 4, 5. Es gibt dann auch, zum Beispiel, wenn Sie Wasser und Zement zusammen haben, dann haben Sie alkalisches Wasser. Da ist der pH-Wert 10, 11, 12.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Und die meisten Tiefenwässer, die wir finden, die haben so einen pH-Wert 7, 8, 8,5. Und das sehen wir auch. Das ist ein Bereich, wo die Löslichkeit, die Maximalkonzentration von Radionukliden recht gering ist. Und dort habe ich im blauen Kasten auch drauf hingewiesen: Diese Konzentration für die Radionuklide kennt man sehr, sehr gut. Da gibt es internationale umfangreiche, auch öffentlich zugängliche Datenbanken, wo das alles aufgelistet ist.

Ein Beispiel ist, was einen Einfluss hat auf die Löslichkeit, das ist der pH-Wert, die Säurestärke, aber es ist auch zum Beispiel Oxidanzien, Sauerstoff oder wie viel Karbonat, CO_2 , drin ist, aber auch wie hoch ist der Salzgehalt und anderes mehr.

Das ist auch deswegen, weil es diese Abhängigkeiten gibt und die sind auch wichtig für die Tiefenwässer, für die Wirtsgesteine. Ist es auch im Standortauswahlgesetz mit aufgenommen worden. Dort genau genommen können Sie nachschauen Anlage 10 zu § 24. Und dort wurde darauf hingewiesen: Wir suchen möglichst Wirtsgesteine, deren Formationswasser, deren Grundwasser, Porenwasser, einen pH-Wert reich hat so zwischen sieben und acht, weil dort die Löslichkeiten sehr, sehr niedrig sind. Das ist eigentlich, was wir wollen. Wir möchten möglichst geringe Konzentrationen von Radionukliden in Grundwasser haben.

Ein Hinweis hierbei: Wir vergleichen ja verschiedene Grundwässer. Und es gibt Grundwässer mit höherem und niedrigem Salzgehalt. Zum Beispiel Tone aus Norddeutschland, auch aus Münsterland und sogenannte Unterkreidetone, die haben einen erhöhten Salzgehalt. Und dort die pH-Werte, die einfach nur gemessen werden, müssen korrigiert werden gegen die Salinität. Sonst kriegt man falsche Werte raus, kriegt man zu niedrige Werte raus. Das ist ein Kenntnis, die weiß man aus der Ozeanografie, aus Chemie zu Salzwässern seit den 1980er Jahren, das ist auch in Lehrbüchern enthalten: pH-Werte in Lösung mit Salz, erhöhten Salzgehalt, die müssen korrigiert werden. Man darf die nicht einfach ablesen, sonst kommt es zu falschen Schlussfolgerungen. Müssen korrigiert werden.

Ja, jetzt ist diese Lösung, in die Radionuklide hineingegangen sind, in den --- Dort, wo der Abfall ist, die Behälter sind, auch dieses Verfüllmaterial drum herum --- Dort sind ja viele andere Feststoffe. Also wir haben das Metall vom Behälter, wir haben das Gestein, wir haben dieses Verfüllmaterial zwischen dem Behälter und dem Gestein.

Und die Radionuklide, die in die Lösung hereinkommen, die werden --- Viele von denen werden sehr stark an diesem Mineral, an den Oberflächen zurückgehalten.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Diese Löslichkeiten, diese Sättigungs(... 00::29::28), was ich gerade eben gezeigt habe, das sind maximale Obergrenzen. In der Realität, in der Natur, wenn man sieht Radionuklide, wie die vorkommen, die Konzentrationen, die sind deutlich niedriger als diese Löslichkeiten. Warum? Weil die Radionuklide, die meisten von ihnen werden an den Mineraloberflächen stark zurückgehalten.

Sie sehen hier so ein Bild. Auf der linken Seite, Beispiel auch wieder Plutonium und Thorium. Da sehen Sie in Lösung sind sie zwei Kreise, zwei Atome, während die meisten Kreise von dem Thorium oder Plutonium sind dort an dem braunen Atom des Minerals festgehalten. Dort habe ich eine starke Rückhaltung.

Es gibt auch andere Radionuklide und da ist wieder das Chlor als Chlorid zum Beispiel, oder Jod als Jodid, die werden nur sehr schwach zurückgehalten.

Um das quantitativ in Zahlen zu beschreiben, hat man ein vereinfachtes Konzept entwickelt, das sogenannte Kd-Konzept. Und damit --- Das Kd-Konzept einfach erklärt: Das ist ein erprobtes Verhältnis, wie viel Menge Radionuklid hängt am Mineral und wie viel befinden sich noch in Lösung. Und je höher dieser Wert ist, je mehr sich im Mineral befindet, desto größer ist dieser Kd-Wert.

Das ist auch hier links starke Rückhaltung beim Plutonium, Kd-Wert hoch, während hier Jod als Jodid zum Beispiel (... 00::30::48) fast einen niedrigen Kd-Wert, nur wenig Zurückhaltung.

Das ist nur ein vereinfachtes Konzept, ist aber auch übernommen worden auch wieder ins Standortauswahlgesetz. Auch wieder in Anlage 9, § 24. Das ist ein Kriterium für die Bewertung von dem Gestein, dieses Rückhaltevermögen des Gesteins für die Rückhaltung von Radionukliden.

Und wenn man sich das anschaut, ist so, dass gerade das Chlor, das Jod ist in die gleiche Gruppe genommen worden wie Plutonium, wie Thorium, wie Uran.

Und eigentlich ist der Wunsch, dass es --- und zwar ist es in die Gruppe mit aufgenommen worden für die Wertungsgruppe "günstig", aber da generell Jod und Chlor sehr schwach, egal in welchem Mineral, zurückgehalten werden, würde eigentlich hierbei nur rauskommen, dass es bedingt günstig wäre.

Noch ein anderer Hinweis: Das Kd-Konzept ist ---

(Sprecher*in) Das Jod will die BGE doch ---

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Volker Metz) Dieses Konzept, Kd-Werte, ist ein sehr vereinfachtes Konzept. Und es gilt auch nur für die spezifischen chemischen Bedingungen, für die es gemessen worden ist.

Wenn ich jetzt aber eine Änderung von meinem kristallinen Wirtsgestein, meinem Formwasser habe, dann müsste ich einen anderen Wert messen. Das weiß man auch, man versteht das und es ist auch hier noch mal schematisch dargestellt.

Wir haben gutes Verständnis für die molekularen Rückhalte Mechanismen. Also wie funktioniert das eigentlich, also nicht nur Zahlenwerte, die für bestimmte Bedingungen gelten, sondern es gibt ein Verständnis und uns ist aufgetragen: Wenn der pH-Wert sich ändert, zum Beispiel eher sauer zu dann eher 7, 8, 9, wenn er größer wird, sehen wir – das ist dargestellt symbolisch –, der Mechanismus, wie die Radioaktivität zurückgehalten wird (?), ändert sich und man hat dafür ein Verständnis und kann das auch --- und sind auch in der Lage, das in Modellierung, numerische Situation (?) mit aufzunehmen.

Jetzt, das, was ich erzählt habe --- Sie haben dort Kreise gesehen, Symbole von Atomen. Und das ist auch wichtig, dass wir ein Verständnis haben für die molekularen Prozesse. Andererseits sind Endlager und Endlagersysteme im Bergwerk Hunderte von Metern. Deswegen müssen wir auch betrachten, wie sind eigentlich die Bedingungen im Gestein. Die sind ja je nach Endlagersystem sehr unterschiedlich.

Und ein erster Hinweis noch mal: Mehrbarrierensysteme zwischen dem Gestein und die Behälter habe ich dort ein (?) Material festgepackt und durch dieses Material zwischen den Gesteinsbehältern können die Radionuklide nur sehr langsam durch einen langsamen Stofftransport wandern. Und zwar deswegen, da ist keine Strömung vom Wasser, sondern dort in dem Material, in den Einlagerungskammern ist es nur, weil ich an der Quelle, am Abfall habe ich eine hohe Konzentration, weiter weg habe ich eine niedrige Konzentration. Und durch diesen Konzentrationsunterschied werden Radionuklide transportiert. Das ist sehr, sehr langsam. Also, dass da überhaupt transportiert wird.

Im Gestein selber, und hier kann ich auch noch mal als kleines Experiment mitbringen --- Wenn ich hier das Kristallingestein habe, das ist dieses Foto von diesem Bohrkern, von dieser Spitze und da ist diese Kluft. Wenn ich auf die Kluft einen Wassertropfen draufgebe oder hier auf das Granit Wassertropfen, dann ist der Wassertropfen sofort weg, weil bei mir ist er auf den Schreibtisch jetzt

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

getropft. Das ist ein schneller Strömungstransport durch Klüfte. Also man nennt das affektiven Transport.

Ich habe jetzt hier den Bohrkern aus Tonstein. Gebe ich hier einen Wassertropfen drauf – ich halte es mal ein bisschen näher an die Kamera –, sehen Sie, da versickert nichts. Also man sieht richtig – ich kann es sehen, Sie nicht – diese Oberflächenspannung, der Tropfen bleibt da liegen. Und wenn wir heute Abend um 8:00 Uhr dann fertig sind, ist der Tropfen immer noch da. Weil, dieser Tropfentransport durch Tonstein ist sehr langsam im Vergleich zu dem fossilen Transport.

Steinsalz an sich --- Dass Steinsalz im Gebirge vorkommt, das ist quasi dicht. Allerdings müssen wir betrachten: Ein Bergwerk wird reingebaut in das Steinsalz und dort habe ich die Materialien. Solange die nicht kompakt hier sind, kann dort auch wie in Ton diffusiver, langsamer Transport auftreten.

Noch ein kleiner Hinweis, ist auch hier dargestellt auf dem Schema: Wir haben den schnellen Transport durch die Kluft im Kristallingestein, langsamen Transport durch Ton. Ich habe aber auch Rückhaltung an diesen Klufflächen und insbesondere im Tonstein hier auf den ersten Mikrometern, Millimetern bei den meisten Material zurückgehalten. Und das ist auch das, was wir in unseren Laborexperimenten gesehen haben.

Ich hatte betont: Laborexperimente. Also auf kleinen Skalen wie diese Bohrkern. Wichtig ist aber auch, dass wir das prüfen. Wir bauen ein Endlager nicht im Mikromaßstab, sondern es hat schon nachher eine Ausdehnung von flächenmäßig --- Wenn ich die ganzen Tunnels aneinanderlege, bin im Kilometerbereich. Und insofern werden auch die Experimente, die wir hier bei uns im Institut machen, aber auch an anderen Instituten verglichen mit Experimenten in sogenannten Felslaboren. Also unterirdischen Laboren in nahezu 1:1-Größenmaßstab wie in einem Endlager, auch in der Tiefe, mehreren hundert Metern unter der Erdoberfläche. Und dort, das ist das Ziel von Untersuchungen und bei vielen sind wir schon so weit, dass wir von Labor Kleinstskalen Experimenten (?) nukleare Skala wird untersucht und hier, wie groß sind die Experimente, dass wir dort widerspruchsfreie, konsistente Ergebnisse haben. Und damit haben wir dann die Möglichkeit, Modelle zur Radionuklid-Ausbreitung im Untergrund zu entwickeln und auch mit den Modellen zu überprüfen, verknüpfen zwischen dem, was ich im Labor habe, und dem, was ich im Untertage-Felslabor habe.

Und diese Experimente hier in den Felslabors, dienen auch zur Demonstration die Übertragbarkeit von unserem Wissen auf ein Endlagersystem. Das war jetzt die Skala im Kilometerbereich.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Jetzt gibt es noch die Skala Zeit, weil, die Experimente auch in den Felslabors sind Experimente von Jahren. Also es gibt einige, die über 30 Jahre, aber das ist --- Wir möchten Aussagen treffen für eine Million Jahre. Und daher ist es wichtig, dass wir uns auch mit der Zeit beschäftigen, mit geologischen Zeitskalen. Und da hilft, wenn wir in die Natur schauen – wir nennen es natürlich Analoga. Also Plätze, Orte in der Natur, wo Radionuklide in großer Konzentration abgelagert sind.

Die zwei, die prominentesten davon, sind nicht die einzigen, aber am bekanntesten, sind --- Der eine ist in Kanada, das ist eine Uranlagerstätte, mehr als eine Milliarden Jahre alt, Cigar Lake. Sie sehen dort ein Foto. Von dort aus --- Das ist in Saskatchewan. Dort ist das Uran --- Es befindet sich in einem Sandstein. Sandstein an sich ist sehr porös. Also das Wasser kann sehr gut durchlösen. Aber der Uran selber ist eingehüllt – und das ist auf dem Schema rechts zu sehen – in einer Tonschicht. Und diese Tonschicht hat verhindert, dass das Uran in dieser eine Milliarde Jahren, dass es weiter transportiert werden konnte. Also dieses Uran ist über diese lange Zeit hinweg gerade wenige Zehnermeter um den Erdkörper weitergewandert.

Ein anderes Beispiel – und das ist wahrscheinlich sogar noch interessanter. Es ist in Gabun, in Westafrika. Dort hat man auch eine Uranerzmine. Man hat dort festgestellt --- Das Uran ist zwei Milliarden Jahre alt, auch wieder in altem Sandstein und zwischen Tonschiefern. Und dort hat man nicht nur Uran gefunden, sondern auch solche Radionuklide, die durch Kernspaltung entstanden sind und auch durch Kettenreaktion entstanden sind. Also die Spaltprodukte wie selbst auch Plutonium und Thorium wurde gefunden. Also das Plutonium, was durch die Kettenreaktion entstanden ist.

Und auch wieder interessant: Zwei Milliarden Jahre alt, wie weit sind eigentlich diese Radionuklide von der Quelle, wo diese Nuklide gebildet wurden, weggewandert? Und in dem Fall sind sie sogar nur fünf Zentimeter weit – Uran, Plutonium, Thorium – ins Nebengestein eingewandert. Und das passt sehr gut zu dem, was wir in unseren Laborexperimenten, aber auch in den Felslaboren entdeckt haben.

Uran, Plutonium, die haben diese starke Rückhaltung. Die werden festgehalten durch Tonmineral. Und hier ist ein ---- Dieses graue, dunkle Bild. Das ist eine mikroskopische Aufnahme, Elektronenmikroskop. Man sieht dort das Uranoxid, wie das --- Da steht Illit und Chlorid. Das sind Tonminerale. Wie die das Uran in dem Fall festgehalten haben auf einem Bereich von wenigen Zentimetern über eine Zeit von zwei Milliarden Jahre.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Jod, das hatten wir auch gesehen in den Experimenten, wird nicht zurückgehalten, ganz schwach, extrem schwach. Auch Spaltgase, das wäre Xenon und Krypton. Die waren mobil und sind weit gewandert.

Und damit, mit diesen Kenntnisständen, die wir haben aus den Experimenten mit abgebranntem Kernbrennstoff in diesen heißen Zellen oder verglasten Abfällen zur Freisetzung von Radionukliden --- Von einem Element werden schnell freigesetzt, während Uran, Thorium, Plutonium die Freisetzung sehr langsam ist.

Dann diese Löslichkeit. Also das mit dem --- Was ich vorhin gezeigt habe. Diese Maximalkonzentration, wie sich Radionuklide im Grundwasser lösen können.

Dann der Transport unterschiedlich vom Gestein. Und die Rückhaltung an den Oberflächen, was dort drüber (... 00::40::26) wird. Diese ganzen Kenntnisstände kann man zum Beispiel --- wird gemacht wird integriert in Modellrechnungen, also in numerischen Simulationen von Computersimulation.

Uns ist wichtig darauf hinzuweisen: Diese Simulationen dienen nicht zu Prognosen. Also dienen nicht dazu, die Zukunft eines Endlagersystems vorherzusagen. Nein, stattdessen ist es für verschiedene Szenarien, wo man schaut, Klimawechsel, die Korrosionsgeschwindigkeit, Szenarien mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten, Eintrittswahrscheinlichkeiten, die Ausbreitung von Radionukliden abzuschätzen und daraus zu bewerten.

Das ist das zweite Diagramm. Und zwar hier ist aufgetragen das Ergebnis von solchen numerischen Simulationen, von so Modellierungen, und zwar das ist in dem Fall aus der Schweiz. Die Schweiz plant ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Tonstein, in Opalinuston. Und dort haben die sehr viele von solchen Simulationen durchgeführt und haben geschaut: Wie ist die höchste Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre über einen Zeitraum, dort steht 10^6 , das ist eine Million Jahre. 10^5 sind 100 000 Jahre. Und dann einfach immer wieder geschaut: Wie viel kann maximal freigesetzt werden?

Ich erkläre noch: Auf der y-Achse, also die senkrecht nach oben geht, das ist die Dosis pro Jahr. Und zwar hier der natürliche Strahlenexposition der Schweiz wie auch in Deutschland, der liegt im Bereich von zwei Millisievert pro Jahr. Das Schutzziel in der Schweiz ist 0,1 Millisievert pro Jahr. Und wenn wir sehen bei diesen vielen Rechnungen, die durchgeführt worden sind und Grün sind

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

nur diese Bandbreiten von Rechnungen, sieht man, dass für den Referenzfall, dass selbst nach einer Million Jahre, wo die höchste Strahlenexposition abgeschätzt wurde, dass man vom Faktor tausendfach unter dem Schutzziel ist.

Und hier Grün, das sind die Bereiche, die --- Dort sind es 85 % Vertrauensintervall für Rechnungen und hier ist sogar für sehr unwahrscheinliche Szenarien, ist die höchst berechnete Dosis, die Exposition. Die liegt immer noch auch um Faktor um mehrere hundert unter dem Schutzziel von 0,1 Millisievert pro Jahr.

Ich bin jetzt fast am Ende. Noch mal zusammenfassend ist es so als Resümee: Wenn ich wegschaue von solchen Rechnungen, aber den Kenntnisstand, den wir haben zur Radionuklid-Ausbreitung und Verhalten in so einem Endlagersystem, da ist es zum einen die Korrosion von diesen Behältern, einschließlich von so einem Lochfraß von Rosten. Es wird erwartet, bis so ein Behälter durchgerostet ist, wenn die anderen Barrieren, das Gestein und auch der Bentonit – hier so grün, hellgrün dargestellt --- Wenn das Wasser dort durchgedrungen ist, bis der Behälter durchgerostet ist und Wasser hier hinzukommt, sind etwa 10 000 Jahre. Selbst in dem Fall, dass Wasser in Kontakt kommt mit Brennstäben --- Hier sieht man so Brennelemente in dem Modell. Americium, hier steht Am-241, Plutonium, hier steht Pu, die verbleiben in den Brennstäben. Deren Freisetzung ist so langsam, dass diese Radionuklide, dazu gehört auch Uran und Thorium, Plutonium, verbleiben dort vor Ort und zerfallen im Behälter.

Andere, das hatte ich vorhin auch drauf hingewiesen, das sehen wir in unseren Experimenten, in diesen abgeschirmten Boxen, heißen Zellen --- Man sieht das Element wie Radiokarbon C14 --- Hier steht I-129, steht für Jod, oder Cäsium, die können aus den Brennelementen herausgelöst werden, und zwar relativ schnell.

Das C-135, was schnell herausgelöst werden, bleibt aber ähnlich wie T-197 in diesem Verfüllmaterial Bentonit wird das festgehalten. Nichtsdestotrotz es gibt da noch die Elemente das Radiokarbon C-14, Chlor-36 und Jod-129. Die können, weil die so schlecht zurückgehalten werden, durch Überlagerungsschichten gelangen und können bis in die Biosphäre transportiert werden.

Allerdings ist deren Konzentration, die Menge, die in die Biosphäre ankommen kann, ist so gering, dass man --- Hier ist auch so ein Bericht von der Schweiz. Da sieht man immer noch, dass man ein Tausendstel unter dem Schutzziel bleiben wird. Trotz dieser Freisetzung.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Noch mal kurz zusammenfassen, dann komme ich ans Ende. Also wichtig: Wir haben nicht nur das Gestein, sondern wir haben gestaffelte Barrieren, die die Aufgabe haben, die Radionuklide zurückzuhalten.

Es gibt verschiedene physiko-chemische Prozesse, die die Radionuklide zurückhalten bzw. deren Ausbreitung behindern. Einmal ist es die Löslichkeit. Und da kennt man sich sehr gut aus. Was ist die maximale Löslichkeit von Radionukliden in verschiedenen Wassern, die Abhängigkeit? Wir haben einen langsamen Lösungstransport und diese Mineraloberflächen, diese Rückhaltung. Und dafür gibt es auch Standortauswahlgesetz diese Kd-Werte.

Es ist ein umfangreiches Wissen vorhanden zu diesen Faktoren Freisetzung, Ausbreitung, Rückhaltung aus internationalen Forschungsprojekten. Und dort gibt es Sorptionsdatenbanken zu diesem Rückhalten von diesen Kd-Werten, Rückhaltung, Löslichkeitsdaten, aber auch diese Modellierung ist sehr weit fortgeschritten.

Und der andere Punkt ist noch, dass all diese Daten, die man hat, die experimentellen Daten, auch die Ergebnisse, dass man die abgleicht durch Experimente im Labor, aber auch in diesen Felslabors und dass man schaut Natur: Haben wir dort widerspruchsfreie Befunde? Und dass wir immer weitergehen.

Und zukünftige Studien – also die Wissenschaft hört nicht auf – dienen eigentlich zu Demonstrationen von diesem Wissen, inwieweit man zeigen kann für ein Endlagersystem und die Übertragbarkeit von unserem Wissensstand aus Labor auf komplexe reale Endlagersysteme.

Wie geht es weiter mit Forschen? Das ist ja auch eine der Leitfragen. Wo gibt es noch Forschungsbedarf? Wo geht es weiter? Mit unserem Forschen gehen wir mehr und mehr auf realitätsnahe Beschreibung, weil, was Sie gesehen haben, dieses letzte Diagramm aus der Schweiz, dort stecken viele sogenannte konservative Annahmen drin. Dass man sagt: Ja, ich weiß nicht genau, wie viel jetzt das Element zurückgehalten wird. Deswegen nehme ich eins mit gar nicht zurückhaltend, zum Beispiel. Das ist eine sogenannte konservative Annahme. Und das versucht man durch realistische Werte auszugleichen, zu verbessern.

Dann die Wirtsgesteine sind heterogen. Hier sieht man immer noch den Wassertropfen drauf, aber auch diesen Ton, der auf den ersten Blick sehr homogen aussieht, aber auch hier in dem Tonstein

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

habe ich Heterogenitäten drin und wir schauen uns an, inwieweit die einen Einfluss haben, letztendlich Einfluss auf Bandbreiten.

Wir haben im Augenblick in Deutschland für die Untersuchungen nur Referenzdaten verwendet. Viel, viel wichtiger ist es, dass wir konkrete Daten, Informationen haben über die möglichen Standorte in Deutschland, die dort in Betracht gezogen werden. Dann kann man auch viel besser die Aussagen machen, inwieweit dort im Vorlauf Sicherheitsuntersuchung (?) die radioaktive Zurückhaltung ist.

Deswegen ist auch eine Frage: Im Augenblick kommen die Daten, die verwendet werden, aus dem Ton, zum Beispiel aus der Schweiz oder FR steht für Frankreich oder Kristallingestein Finnland, Schweden, inwieweit ist das auf die deutschen Verhältnisse übertragbar? Das ist insbesondere wichtig jetzt für die nächste Phase, die wir haben im Standortauswahlprozess mit den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen.

Wichtig auch die Fragestellung Ungewissheiten. Wie gehen wir damit um? Und eine wichtige Triebkraft für unsere Wissenschaft: All das, was wir herausgefunden haben, alle unsere Erkenntnisse --- Wir wollen das ständig überprüfen. Also wir machen kritische Prüfversuche und gucken auch mit anderen Methoden, um zu gucken: Passt das denn auch? Stimmt es auch, wenn ich zum Beispiel Bedingungen ändere oder dergleichen? Also das ist wichtig, dass man es immer wieder kritische Fragen --- Sind wir mit dem, was wir bisher herausgefunden haben, hat das einen Stand? Kann es sich bewähren?

Ja, Ihnen danke für die Aufmerksamkeit. Sind wir durch die Verzögerung am Anfang etwas später auch. Danke auch der AG-Vorbereitung für die Gelegenheit, das Thema hier vorzustellen. Und Herr Claus, danke, wir hatten uns am Anfang vorbereitet. Christoph Borkel, du wirst gleich ein Co-Referat halten. Für Ihr Interesse und für die finanzielle Unterstützung von der Helmholtz-Gemeinschaft, in uns zu investieren. Vielen Dank!

(Frank Claus) Herr Metz, vielen Dank! Ich hoffe, dass Sie hören mich jetzt hören können.

(Volker Metz) Ja, ich kann Sie hören!

(Claus Frank) Ich habe mit verschiedenen Geräten versucht zu arbeiten und mit einem geht es. Geht so, nicht? Ein bisschen Hall. Das kann ich jetzt nicht ändern. Vielleicht erst noch mal: Vielen Dank für ihren Beitrag. Ich fand das sehr anschaulich. Ich war überrascht über die Rückhaltefähigkeit von

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

dem Untergrund, Ich hatte mir das persönlich anders vorgestellt, wenn da was undicht wird, dann ist das auch ganz schnell in der Biosphäre. Da haben Sie an einigen Stellen deutlich gemacht, dass das recht lange dauert. Ich habe das so verstanden, das Problem ist in erster Linie Wasser ist und in zweiter Linie Gase und in dritter Linie Klüfte, die eine Rolle spielen, je nach Gesteinsart, sozusagen bei den kristallinen Gesteinen. Und das, was sich am ehesten ausbreitet, das ist eher Kohlenstoff, das entsprechende Chlor- und Jodisotop, was da nach draußen geht. Das waren für mich die wesentlichen Informationen aus Ihrem Beitrag.

Okay, Herr Dr. Borkel, an Sie gerichtet die Frage: Was ist denn Ihre Aufgabe jetzt beim BASE? Sie haben gesagt, Sie sind in der Forschungsabteilung, das heißt, Sie denken wahrscheinlich auch darüber nach, werten Forschungsergebnisse eher aus, stellen wahrscheinlich nicht selber die Forschung an.

Worin besteht Ihre Aufgabe? Oder forschen Sie vielleicht doch selber? Und worin besteht Ihre Aufgabe und dann vielleicht in Ergänzung zu dem, was Herr Metz gesagt hat.

(Christoph Borkel) Also, mein Hintergrund ist, ich bin Mineraloge, auch mit Schwerpunkt Umweltgeochemie, ganz genauso wie Volker Metz von dem Hintergrund, den er dargestellt hat. Ich beschäftige mich selbst aus wissenschaftlicher Sicht mit Endlagerung seit 2018, meiner Diplomarbeit am Institut für nukleare Entsorgung, war das.

Ich bin jetzt seit vier Jahren beim BASE in der Abteilung, im Fachgebiet FA 2 Forschung. Derzeit habe ich auch die Vertretung der Fachgebietsleitung inne.

Was machen wir? Ich bin nicht in der Abteilung Standortauswahlverfahren. Wir beschäftigen uns tatsächlich ein bisschen grundsätzlich mit der Forschung, auch wenn wir natürlich im Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung immer den Fokus aufgabenbezogene Forschung haben. Als Abteilung sind wir zuständig für Forschung, nicht nur für das Standortauswahlverfahren Endlagerung, sondern auch für die ganzen anderen Fachaufgaben, die das BASE insgesamt nicht hat.

Dass wir selber keine Forschung betreiben, ist nicht ganz richtig. Bisher ist unser Schwerpunkt darauf, forschen zu lassen, aber wir haben auch durchaus Ambitionen, selbst zu forschen.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Ja, warum bin ich hier? Ich wurde von der Vorbereitungsgruppe gebeten für diese Konferenz ein Co-Referat zum Vortrag zu Volker Metz zu halten. Das tue ich sehr gerne. Ich möchte dabei darauf hinweisen, was ich in dieser Veranstaltung, in diesem Thema hier sehe, und zwar --- Wir sind bei der Fachkonferenz zum Zwischenbericht Teilgebiete, wo es eigentlich darum geht, dass Teilgebiete ausgewiesen wurden, noch jetzt die Bevölkerung diskutiert und Stellung nimmt, und die BGE das berücksichtigt.

In dieser Session reden wir aber jetzt eigentlich über ganz andere Themen, die der Kern der Endlagers sind, aber eher ein Randthema bei dieser Konferenz. Und in meinem Verständnis geht es hier darum Wissen zu vermitteln, also so ein bisschen Grundlage zu schaffen und ein Verständnis dafür: Worüber reden wir eigentlich, wenn wir über ein Endlager reden? Weil, die wenigsten haben eine Vorstellung, was ist eigentlich vielleicht ein Radionuklid? Jeder weiß, das ist gefährlich. Aber wie sieht das aus? Was macht das? Wie verhält sich das im Untergrund? Warum muss das so tief unter die Erde?

Und das will ich hier auch versuchen. Ich werde also jetzt hier nicht Stellung beziehen aus Sicht des BASE, wie die BGE das gerade macht, ob das gut oder schlecht ist oder so, sondern einfach versuchen, Wissen und Denkweisen, wie wir über die Endlagerung aus wissenschaftlicher Sicht versuchen nachzudenken, zu vermitteln.

Ich hoffe, damit treffe ich --- schaffe ich es ein bisschen, Ihre Erwartungen zu treffen hier von der Veranstaltung. Im Vorfeld hat Volker Metz ja auch die Fragen schon rekapituliert, die uns die Vorbereitungsgruppe mit auf den Weg gegeben hat:

Wovon hängt ab, ob und wie schnell Radionuklide austreten? Was muss man berücksichtigen, um valide Prognosen zu erstellen? Reicht dafür das vorhandene Wissen? Und Welche Unsicherheiten bleiben?

Das ist natürlich schon sehr weitreichend (Lärm aus dem Hintergrund) und eröffnet Raum über sehr viele Bereiche, die man allgemein unter dem Begriff Langzeitsicherheitsanalyse beschreibt und diskutiert.

(Frank Claus) Lassen Sie mich gerade mal dazwischen Herr Borkel. Also, meine Damen und Herren, da gibt es immer zwischendurch so ein paar Rufe in den Raum. Das ist bei den 175 Personen, die hier im Raum sind, bestimmt nicht angenehm.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Ich verspreche Ihnen, nach dem Vortrag von Herrn Borkel können zu Wort melden können. Und dann können Sie das in aller Form und aller Ruhe tun. Aber jetzt ist Herr Borkel dran.

(Christoph Borkel) Danke! Dieser Begriff „Langzeitsicherheitsanalyse“ ist der, unter dem ich diese Fragen auch hauptsächlich einordne, und da möchte ich noch ein bisschen Stellung dazu nehmen und auf das, was Volker Metz gesagt hat, eingehen. Und zwar hat er in seinem Vortrag bereits auf eine Reihe von Einflussfaktoren --- ist er eingegangen und welche die Mobilität von Radionukliden im Endlager beeinflussen.

Am Beispiel von Sorption, also Radionuklide, die ganz grob gesagt an Mineraloberflächen kleben bleiben und vielleicht auch irgendwann auch wieder losgelöst und weitertransportiert werden, da hat er gezeigt, dass es nicht nur darum geht zu wissen, was das Ergebnis von Prozessen ist, sondern dass man auch verstehen muss, warum das genau passiert.

Es reicht bei der Komplexität eines Endlagers nämlich häufig nicht aus, einfach nur zu wissen, wie es sich verhält, sondern man muss verstehen, warum das so abläuft, was passiert. Man muss also die Mechanismen verstehen, die dem Ganzen zugrunde liegen. Nur so lassen sich am Ende Einschätzungen und Bewertungen erarbeiten, auf die wir dann vertrauen können.

Ein Beispiel dafür wäre vielleicht, wenn wir uns einmal vorstellen, wir würden zum Feuer machen immer nur feuchtes Holz zur Fügung haben. Dann würden wir jedes Mal sehen, es qualmt dann wie verrückt und würden ableiten, dass Feuer einfach riesige Rauchschwaden produziert. Und das geht gar nicht anders, einfach weil wir es nicht anders kennen.

Und jetzt hätten wir die Möglichkeit, das herauszufinden, indem wir ganz viele Feuer machen, immer Holz von unterschiedlichsten Quellen holen, und – ich weiß nicht, was alles – variieren, wenn man Feuer einmal auf dem Berg macht, einmal im Tal. Oder wir könnten uns aber auch fragen: Warum entsteht da eigentlich Rauch? Und dann gezielt untersuchen, wie es zu der Rauchentstehung kommt. Übertragen auf ein Endlager will ich damit sagen: Wenn wir den Prozess verstehen, haben wir einigermaßen Gewissheit, dass unsere Einschätzungen, die wir treffen, zutreffend sind. Dabei muss man natürlich ein bisschen vorsichtig sein mit der Behauptung, wirklich alles zu verstehen und alles verstanden zu haben, denn es kann natürlich auch immer noch andere Mechanismen geben, die man bisher noch nicht entdeckt hat. Um bei dem Beispiel wieder zu bleiben: Es kann auch andere Gründe geben, die zur Bildung von Rauch führen außer dem Feuchtigkeitsgehalt des Holzes.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Also viele Grundsatzüberlegungen zur Sicherheit eines Endlagers sind bereits von der Endlagerkommission 2014-2016 diskutiert worden. Da kam man insbesondere auf die geologischen Eigenschaften des Untergrundes, die sich positiv darauf auswirken, wenn man die radioaktiven Stoffe im Untergrund über lange Zeiträume isolieren möchte. Solche Einflussgrößen, welche die Austragung von radioaktiven Stoffen und ihre Geschwindigkeit beeinflussen, die wurden dann auch im StandAG schon festgeschrieben, soweit es ging.

Bei anderen Eigenschaften und Einflussgrößen des Endlagersystems oder der Geologie am Standort ist es eine Frage der jeweiligen Entwicklung und Verkettung der verschiedenen Prozesse, ob ein Ereignis dann wirklich dazu führt, dass radioaktive Stoffe mal vielleicht beschleunigt ausgetragen werden oder mal zurückgehalten werden.

Mit Entwicklung meine ich jetzt zum Beispiel die Auswirkung von einer Eiszeit, um nur ein Beispiel zu nennen. Die genaue Analyse des Verhaltens der radioaktiven Stoffe bei unterschiedlichen Entwicklungen ist eine Aufgabe der Langzeitsicherheitsanalyse. Und die ist wiederum Bestandteil der vorläufigen Sicherheitsuntersuchung, die auch schon im Standortauswahlgesetz festgehalten wurde, dass sie durchgeführt werden müssen, weil man eben nicht alles übergeordnet festlegen kann, was sich positiv oder negativ auf ein Endlager die Sicherheit auswirken wird.

Wir haben das Ziel, die Abfälle nachsorgefrei zu entsorgen. Das bedeutet: Wir müssen über einen möglichst großen Zeitraum sicherstellen, dass die Abfälle keine Gefahr darstellen und möglichst lange dortbleiben, wo sie eingelagert wurden. Und hier ist auch die größte Herausforderung verborgen, die ich sehe. Wir können nämlich nicht einfach mit ingenieurtechnischen Methoden wie beim Hochbau nachweisen, dass es so sein wird. Natürlich gelten auch im Endlager die Naturgesetze. Aber In großen Zeiträumen müssen wir mit einer Vielzahl von unterschiedlichen möglichen Ereignissen rechnen, die wir nicht ausreichend vorsagen können, und deshalb auch die verschiedenen Barrieren und die Abfälle, dadurch beeinträchtigt werden können, und das muss im Detail analysiert und betrachtet werden.

Mit Ereignissen meine ich Prozesse wie zum Beispiel das Rosten von Behältern, das hat Volker Metz angesprochen, tektonische Spannungen und Bewegungen, also Erdbeben, Eindringen von Schmelzwasser ins Endlager nach Eiszeiten durch Klüfte vielleicht, Bildung von Gasen im Endlager und so weiter.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Und diese gilt es wirklich genau zu verstehen, damit sie und man die Wechselwirkung analysieren und sagen kann, wie sich unterschiedliche Szenarien auf die Austragung von radioaktiven Stoffen und dann auch auf die Sicherheit des Endlagers auswirken würden. Und genau das macht die Langzeitsicherheitsanalyse. Also, um es mit den Worten von Volker Metz vielleicht noch mal zu sagen: Dabei wird nicht versucht die Zukunft vorherzusagen, sondern was gemacht ist, man geht systematisch daran, methodisch sich alle möglichen Entwicklungen anzuschauen und versucht dann zu bewerten „was wäre, wenn“. Und das mit einer Vielzahl von Fällen, ohne dass man festlegt, das ist die reale Entwicklung. Es ist wichtig, diesen Unterschied zu verstehen, wenn man nachvollziehen möchte vielleicht, warum es überhaupt Möglichkeiten im Gesetz sind, Bewertungszeiten von einer Millionen Jahre festschreiben. Man macht keine Wetterprognose für morgen dabei, sondern man macht eine systematische Analyse und schaut, was wäre eigentlich, wenn. Und in diesem Verfahren versucht man dann, den bestgeeigneten Standort zu finden. Also, Teil dieser Analyse ---

(Frank Claus) Wir müssen ein bisschen auf die Uhr schauen, deshalb die Frage: Wie lange möchten Sie noch sprechen, Herr Borkel?

(Christoph Borkel) So 3-5 Minuten vielleicht.

(Frank Claus) Drei Minuten wäre besser.

(Christoph Borkel) Mhm, drei, okay. Teil dieser Analyse sind die vielen Einzelprozesse der Reaktionen, Phänomene, auf die schon eingegangen worden ist. Am Ende der Analyse muss gezeigt werden, dass das Endlager mindestens bestimmte festgelegte Parameter erfüllt. Und diese Werte für die Prüfung, die sind auch festgelegt in der Endlagersicherheitsanforderungsverordnung. Die beziehen sich dann auf die Austragung der radioaktiven Stoffe aus dem Endlagerbereich. Und, um es jetzt nicht zu kompliziert zu machen – und auf die mögliche Exposition des Menschen, also was für eine Dosis könnten die Menschen im ungünstigen Fall abbekommen?

An dem Beispiel vom pH-Wert, wo Volker Metz darauf eingegangen ist, das wollte ich noch ganz kurz etwas dazu sagen. Und zwar: Herr Metz hat gezeigt, dass ein pH-Wert, wo man normalerweise in der Schule im Chemieunterricht schon lernt, wie er zu betrachten ist, ist, dass der bei den hohen Salzgehalten nicht mehr ganz so einfach zu betrachten ist. Er ist nicht mehr einfach zu berechnen, wie man es im Chemieunterricht gelernt hat.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Das macht das Ganze schon ein bisschen komplexer, weil wir in einem realen System sind und nicht in einem Labor, wo man alles schön sauber haben kann. Und Volker Metz hat in einem ganz wichtigen Punkt noch angesprochen: Heterogenitäten im Endlager. Also, wir haben also vielleicht einen pH-Wert an einer Stelle im Endlager, aber das Porenwasser, vielleicht zehn Zentimeter weiter, da hat es einen anderen pH-Wert. Und wie Volker Metz auch gezeigt, hat am Beispiel, das beeinflusst dann der pH-Wert die Löslichkeit der Radionuklide. Also kann es vielleicht bei einem pH-Wert das Hundertfache an Radionukliden in Lösung gehen als bei einem anderen pH-Wert.

Deshalb ist es mitunter auch nötig, dass man nicht nur globale Analysen macht, dass man teilweise dann auch ins Detail geht und analysiert, was passiert genau an der Grenzfläche von einem Material zum anderen, weil chemische Prozesse zwischen Atomen und zwischen Molekülen stattfinden und das muss man dann auch teilweise wirklich berücksichtigen.

Um den Schluss drunter zu ziehen, also was steht für mich unterm Strich? Unter dem Ganzen bedeutet das, dass das alles viel zu kompliziert ist und die Entwicklungen sind zu ungewiss, sodass wir eigentlich vor einer unlösbaren Aufgabe stehen.

Ich denke jetzt nicht – Volker Metz hat es auch eindrücklich gezeigt -, dass wir eine Vielzahl von Prozessen zu berücksichtigen haben, mitunter sind die auch nicht ganz einfach zu verstehen, aber es wird doch immer wieder Forschungsbedarf gegeben, weil zum Beispiel bieten auch heutige Methoden wie Künstliche Intelligenz vielleicht schon Anwendungsmöglichkeiten, die man bisher noch nicht hatte. Es wird immer einen Fortschritt und bessere Beschreibungsmöglichkeiten geben.

Gleichzeitig haben wir aber auch heute schon gute Kenntnisse erlangt und moderne Methoden entwickelt, um solche Bewertungen vorzunehmen, mit den Prozessen und auch mit der Komplexität umgehen zu können, die durch die Vielzahl der ganzen Wechselwirkungen zustande kommen.

Und dabei verhält sich aber so, wie er auch gesagt hat, also wir brauchen möglichst genaue Kenntnisse des jeweiligen Standorts, um die entsprechenden Analysen auch vornehmen zu können. Genau darauf ist das Standortauswahlverfahren auch ausgerichtet.

Die ersten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen, die jetzt anstehen, die werden noch nicht so detailliert sein können, einfach, weil es nicht so viele Kenntnisse gibt zu den Standorten, aber mit fortschreitender Erkundung im Lauf des Standortauswahlverfahrens, das ist ja schon vorgesehen, wird dieser Kenntnisstand immer weiter zunehmen. Und die Analysen und die

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Bewertungsgrundlagen für die Sicherheit des Endlagers werden mit der Zeit auch immer besser werden, sodass man am Ende systematisch eine Grundlage hat, auf der man Bewertungen vornehmen können wird. Danke!

(Frank Claus) Danke Ihnen, Herr Borkel, das klingt für mich ein bisschen so, als würden Sie das Unvorhersehbare mit einplanen wollen. Und sozusagen, um gegen alle Risiken bestmöglich sich abzusichern, soweit man das mit unserem menschlichen Verstand auf die Reihe kriegen kann mit dem Blick in die Zukunft. Meine Damen und Herren, jetzt sind Sie dran mit Ihren Wortmeldungen, also Fragen oder Anmerkungen. Wenn Sie das über das Konferenztool bitte tun.

(Sprecher*in) Können Sie erklären, wie das geht?

(Frank Claus) Ja, wenn Sie oben links in dieses klassische Hauptmenü gehen, da können Sie eine Wortmeldung eingeben oder ein Stichwort zu Ihrem Beitrag. (Tippgeräusche). Und dann sehe ich mit etwas Glück eine Redeliste und würde immer einige Beiträge nacheinander bündeln, damit mehrere Leute zu Wort kommen. Ich darf Sie bitten, wenn Sie dann dran sind, Video und Ton einzuschalten und sich kurz zu fassen, damit möglichst viele Leute auch wirklich zu Wort kommen.

So, ich muss auf die Rednerliste gucken und eine Person habe ich schon, das ist Daniel Lübbert ---

(Daniel Lübbert) Ja.

(Frank Claus) --- der sich zu Wort gemeldet hat. Herr Lübbert, fangen wir mit Ihnen doch mal an. Wenn Sie bitte, wie gesagt, Ton und Bild einschalten, damit wir Sie sehen und hören können.

(Daniel Lübbert) Ja, das mach ich. Guten Abend, Herr Claus! Guten Abend, meine Damen und Herren. Ich heiße Daniel Lübbert. Ich war Mitglied der Vorbereitungsgruppe und habe mir das Format hier ein wenig mitausgedacht. Deswegen wollte ich Sie sozusagen noch mal alle nachträglich begrüßen und vielleicht ein paar Fragen beantworten oder Dinge sagen.

Also, erst mal: Christoph Borkel hat ja am Anfang so ein bisschen implizit gefragt, warum überhaupt dieses Thema? Das ist aus meiner Sicht so, es geht um den Zwischenbericht Teilgebiete. Teilgebiete sind nach StandAG Gebiete, die günstige Voraussetzungen für die sichere Endlagerung erwarten lassen. Und die Frage ist: Worauf gründet sich diese Erwartung, woran kann man das eigentlich festmachen, ob die Sicherheit gegeben sein wird? Und ich glaube, das war das Thema dieses Vortrags, daher steht der für mich voll im Zentrum der Fachkonferenz.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Vielen Dank deswegen an die beiden Vortragenden, Herr Metz und Herr Borkel. Ich glaube, das hat gut funktioniert. Die Idee eines Co-Referates war eben auch, ein Thema von zwei verschiedenen Personen darstellen zu lassen, um so die Pluralität von Sichtweisen abzubilden. Das war in gewisser Weise ein Experiment, aber ich würde sagen, auch das ist gut gelungen.

Ziel der Veranstaltung war auch abzubilden, wo Forschung in Deutschland zu diesen Themen stattfindet und wir wissen jetzt mindestens in Karlsruhe und in Berlin findet solche Forschung aktiv statt. Das Ziel war auch, Personen --- also Wissenschaft wird von Personen vorangetrieben. Das Ziel war auch, Personen eben auf die Bühne zu bringen, idealerweise solche, die zu dem Zeitpunkt, wo die Endlagerentscheidung fallen wird, nämlich in zehn Jahren, noch nicht im Ruhestand sind.

Und ich würde sagen, auch das ist uns gelungen. Deswegen freue ich mich, dass wir hier junge Gesichter auf die Bühne gebracht haben. Um jetzt noch eine Frage zu stellen, würde ich eine an Herrn Metz richten wollen.

Sie haben vieles dargestellt, unter anderem Laborexperimente, also experimentelles Arbeiten, Sie haben es sogar vor der Kamera vorgeführt, und Sie haben andererseits auf Simulationen und Computerberechnungen verwiesen. Jetzt würde mich interessieren: Arbeiten Sie gleichermaßen im Labor und am Computer oder wie ist da die Schwerpunktsetzung in Karlsruhe an Ihrem Institut und bei Ihnen persönlich?

(Frank Claus) Danke. Bevor Sie antworten, ich habe gesagt, meine Damen und Herren, wir sammeln, und auf meiner Redeliste sind inzwischen mehrere Personen. Der Nächste wäre nach diesem Kommentar aus der Arbeitsgruppe Vorbereitung und der Frage von Ihnen, Herr Lübbert, die Frage von Herrn Neumann als Vertreter gesellschaftlicher Organisationen. Und bei Ihnen geht es um die Frage Ton und Schweiz, aber sagen Sie es besser selber.

(Werner Neumann) Vielleicht kann man das noch mal trennen. Vielen Dank, dass ich durchkomme.

Das eine war, wenn man jetzt den Vortrag sieht und sieht, der Ton in der Schweiz ist schon da untersucht worden, der hält auch so gut zurück, warum denn eigentlich noch die anderen Formationen zu untersuchen? Sind die vielleicht besser, sind die vielleicht schlechter? Warum reicht das nicht? Dann würde ich nachher noch mal auf die Frage der Dosisfaktoren separat gerne noch mal zurückkommen.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Frank Claus) Ja, ob es „nachher“ noch gibt, kann ich Ihnen nicht garantieren. (Störgeräusch).

(Werner Neumann) In der Modulierung haben Sie ja nicht nur die Durchlässigkeit durch die entsprechenden Formationen, sondern Sie müssen hinterher auch rechnen, bis die Radioaktivität in die Menschen gelangen, mit wie viel verschiedenen Radionukliden und mit welchen rechnen Sie denn in der Modellierung? Und welche Transfer-Faktoren nehmen Sie an?

(Frank Claus) Mhm, okay. Jetzt nehmen wir noch eine Frage dazu. Und da habe ich Herrn Johannes Raff, der sich um mikrobielle Aktivitäten im Untergrund kümmert.

(Johannes Raff) Ja, schönen guten Tag, ich hoffe, Sie sehen und hören mich alle. Ich bin, wie schon gesagt wurde, Johannes Raff vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf. Und meine Anmerkung ist, neben dem, dass das ein sehr schöner und anschaulicher Vortrag war. Dass man natürlich schon auch berücksichtigen muss, inwieweit eine mikrobielle Aktivität im Untergrund auch noch eine Rolle spielen kann.

Das soll nicht heißen, dass es unbedingt eine Rolle spielt, aber die Biologie kann in einem sehr engen Prozessfenster sehr, sehr effektiv sein, das sehen und merken wir gerade sehr schmerzlich mit der ganzen Pandemie und dem ganzen Thema. Deswegen muss man aus meiner Sicht auch die Biologie berücksichtigen und schauen, ob es eine Rolle spielt oder nicht, weil mikrobielle Aktivität letztendlich die ganzen Radionuklide --- oder einige Radionuklide auch von unlöslicher in lösliche Form überführen können und einige wenige sogar gasförmige Spezies überführen können. Und deswegen muss man da schon auch ein Augenmerk drauf richten.

(Frank Claus) Ja, danke für den Hinweis. Dann gehen wir erstmal in die Beantwortungsrunde. Das hat sich Vieles an Sie gerichtet, Herr Metz. Fangen wir an mit dem letzten Thema, vielleicht was uns noch vor Augen ist: mikrobielle Aktivitäten, Veränderung der Löslichkeit von Substanzen im Untergrund - inwieweit haben Sie das auf dem Schirm?

(Volker Metz) Ja, wir betrachten das auch, wo auch drauf hingewiesen wurde. Es gibt diese Experimente in den Untertagelabors. Und in denen die Mikroben zum Teil auch schon vorkommen. Da schaut man sich an, was man im Laborsystem hat, und auch Untertage - wie passt das zusammen? Weil im Untertage, in diesem Felslabor, in diesen unterirdischen Laboratorien, da ist nicht nur das reine System wie bei uns im Institut, sondern dort gibt es Mikroben. Das ist der erste Blick, dass man das abgleicht. Johannes Raff, der --- also, Johannes Raff und wir von Karlsruhe,

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

wir arbeiten gemeinsam in diesem Helmholtz-Projekt New Save, in dem Programm. Und das ist ein Aspekt, der auch mit hinein geht. Es wurde auf die Löslichkeit und die verschiedenen Einflussfaktoren hingewiesen. Zum Beispiel der pH-Wert und was ich aufgezählt habe.

Mikrobielle Aktivitäten werden auch mitbetrachtet. Es wird geschaut, die mikrobiellen Faktoren können sowohl ungünstige Auswirkungen haben, aber auch dazu führen, dass möglicherweise sogar Radionuklide an Festphase gebunden werden. Wenn wir jetzt an mikrobielle Aktivitäten denken, an Lebewesen, Werner Neumann, Sie haben gefragt, wie sieht es aus mit den Dosiskombinationsfaktoren, den Transferfaktoren. Ich muss Ihnen sagen, aus dem Stand kann ich darauf nicht antworten. Für mich war es so, mit dem, wo ich Kompetenz habe, womit ich mich beschäftige, ist inwieweit die Radionuklide im Untergrund sich ausbreiten oder zurückgehalten werden.

Diese Aspekte, was in der Biosphäre geschieht, ist am dem Institut, wo Johannes Raff arbeitet, das ist im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, dort geht es um die Geologie und die Prozesse in der Biosphäre, dort geht es um die Biosphäre. Man kann diese Antworten --- die müsste ich eher weitergeben an die Kollegen in Dresden-Rossendorf.

Und Daniel Lübbert, Sie hatten eigentlich als Frage gestellt – vielen Dank – Sie hatten auch als AG Vorbereitung das mitinitiiert, Sie hatten gefragt, bei uns im Institut in Karlsruhe und ich persönlich - inwieweit wir nur Modellrechnungen machen oder Experimente im Labor oder Experimente im Untertagelabor?

Also, wir sind von Karlsruhe - wir machen alle drei Sachen. Es ist auch wichtig, dass wir interdisziplinär zusammenarbeiten, dass die Kollegen, die die Modellrechnungen machen - die arbeiten im selben Team. Und wir haben im Moment ein Projekt, wo --- auch gemeinsam mit Dresden-Rossendorf zusammen und auch mit dem Geoforschungszentrum in Potsdam und Umweltforschungszentrum in Leipzig und mit Jülich, wo wir genau das kombinieren: Modellrechnungen, Simulationen, Experimente im Labor und in unterirdischen Felslabors.

Ich selbst habe dreierlei gemacht. Ich habe Modellrechnungen durchgeführt, bei Experimenten mit Uran-Dioxid unter Strahlung mir das angeschaut und auch selber das zu rechnen. Neu sind für mich,

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

was für mich noch Neuland ist, wo ich auch durch das neue Projekt hineinkommen will, das sind die Experimente im Felslabor.

Herr Neumann, es tut mir leid, dass ich aus dem Stand nicht weiter auf Ihre Frage eingehen konnte, aber Sie können auch gerne --- Sie haben meine Adresse, die steht im Tagungsband, da haben wir zwei Beiträge. Da können Sie mich gerne nochmal anschreiben. Dann kann ich Ihnen die Frage ausführlicher beantworten. Das geht im Moment nicht.

(Frank Claus) Herr Metz, da sind aus meiner Sicht noch zwei Fragen offen. Also, Sie machen Labor und Simulation und Untertage-Labor. Was sind die Schwerpunkte, war die Frage von Herrn Lübbert und vielleicht kann ich daran auch noch anschließen, weil Sie gerade so deutlich gemacht haben, natürlich kennen Sie die Kollegen, die in Dresden arbeiten und wahrscheinlich auch anderswo. Herr Lübbert hat ja die Frage gestellt, wie viele Forschungseinrichtungen gibt es denn eigentlich, die sich mit diesem Thema in Deutschland oder international befassen. Haben Sie da eine Größenordnung, die Sie uns nennen könnten?

(Volker Metz) Es waren ja zwei Fragen. Vielleicht habe ich auch die Frage von Daniel Lübbert nicht ganz mitgekriegt.

(Frank Claus) Egal.

(Volker Metz) Neenee, der Schwerpunkt von unseren Arbeiten hier in Karlsruhe sind die experimentellen Arbeiten zum einen, wie weit echte Abfälle, Kernbrennstoff aus dem Kernreaktor oder die verglasten Abfälle oder auch schwach aktive Abfälle, wie viele können sich Radionuklide freisetzen und auch was demonstriert wurde, was ich gezeigt habe, diese Lösigkeiten, von Plutonium, von den anderen Radionukliden. Das ist so, wo wir sehr viel machen, plus Grundlagenforschung. Wir begleiten zusätzlich die Modellrechnung und auch die Untertage-Labors. Sie fragten noch, Herr Claus, es gibt das Forschungszentrum in Jülich, die machen ähnliche Experimente. Da sind die Gewichtungen etwas anders. Und das Helmholtz Zentrum in Dresden-Rossendorf, das sind die großen Einrichtungen. Weil, diejenigen, die mit Plutonium mit Radionukliden arbeiten, oder mit Brennstäben, das sind diese drei, die ich genannt habe. Es gibt aber noch viele Universitäten, die können mit Uran arbeiten oder mit natürlicher Radioaktivität. Die haben dort nicht die Möglichkeiten - denn mit Kernbrennstoff zu arbeiten, man braucht diese ganzen Schutzmaßnahmen.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Sie haben vielleicht dieses Foto gesehen, abgeschirmte Boxen, heiße Zellen, das ist in Deutschland - gibt es nur noch eine deutsche Institution, das sind wir uns in Karlsruhe, es gibt zusätzlich noch eine Industrie, die so heiße Zellen haben, die diese Experimente machen könnten. Aber die Arbeit nicht für die Endlagerung. Und es gibt noch ein europäisches Institut, die Forschungsstelle, die sitzt aber auch bei uns in Karlsruhe.

(Frank Claus) Hmmhmm (zustimmend). Ich habe noch von Herrn Neumann noch eine offene Frage. Ich habe Herrn Neumann so verstanden, dass er sagen wollte, Mensch, wenn doch Ton so tolle Eigenschaften, reicht es nicht immer nur noch Ton zu suchen?

(Volker Metz) Ja, stimmt. Herr Neumann. Das an Sie angesprochen. Ich habe es vergessen. Wir schauen zum einen diese Endlager in Ton, dass auch untersucht wird, es ist eine Schweiz, dieser Opalinuston, den es auch bei uns in Baden-Württemberg und auch angrenzenden Bayern auftritt. Ton wird untersucht, auch mit einem unterirdischen Felslabor in Frankreich, in Südlöthringen. Und Ton wird untersucht in einem Felslabor in Belgien. Das sind dann andere Tone. In Frankreich, Belgien, Schweiz sind die Tone nicht genau gleich. Und aus diesen Ergebnissen sehen wir, was da herauskommt. Und eines, was sich auf der vorletzten Folie draufhatte, war ja: Inwieweit sind die Ergebnisse, die man aus der Schweiz, Frankreich und Belgien, was da gesehen wird, die machende Experimente. Die sehen die Rückhaltung für viele Radionuklide, nicht für alle. Also, ich möchte noch mal betonen, dass sie viele Radionuklide, die stark zurückgehalten werden. Aber dieses Jod, Herr Claus, sie hätten es auch erwähnt, oder das Radio Carbon, die werden nur wenig zurückhalten.

Inwieweit sind die Ergebnisse aus Frankreich, Belgien und der Schweiz auf die deutschen Verhältnisse übertragen? Da müssen wir schauen, mit den Daten, die wir jetzt aus Deutschland in der nächsten Phase bereitgestellt bekommen. Dem bei, es gibt auch ein Felslabore im kristallinen Gestein, in Schweden, wo wir vom Institut gearbeitet haben, in Äspö. Und in der Schweiz gibt es auch ein Felslabor im kristallinen Gestein, das ist Grimsel, das sind alles internationale Projekte. Das sind internationale, belgische, schweizerische, französische, schwedische Projekte, sondern das sind internationale Projekte und für uns der Vorteil ist, haben schon Teil an den Forschungen. Wir partizipieren an den Ergebnissen. Die Übertragbarkeit ist die große Fragestellung. Dazu brauchen wir mehr Daten aus Deutschland selber.

(Frank Claus) Gut, Danke.

(Christoph Borkel) Ich würde auch noch gern ein paar Sachen dazu sagen, geht das?

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Frank Claus) Ja, bitte, ich habe hier eine Redeliste, die wächst, da sind schon sieben Leute drauf und die Zeit läuft ein bisschen weg. Aber wenn Sie sich kurzfassen könnten, gerne.

(Christoph Borkel) Okay, ich versuche, schnell zu machen. Es wurde ja gefragt nach den Forschungsinhalten des INE, da wollte ich noch vielleicht ergänzen dazu, es gibt noch neben diesen Einrichtungen, die sich mit Radionukliden beschäftigen, natürlich auch noch eine Reihe von anderen Fragestellungen, die nicht die Radionuklide selbst berühren, also sowas wie Struktur-Geologen, wenn es um Erdbeben geht, die gibt es natürlich auch noch. Die wollen wir nicht hinten runterfallen lassen. Das BASE selbst beschäftigt sich mit Forschung, wir können uns natürlich selbst nicht einfach nur auf die Ergebnisse der BGE verlassen, sondern wir müssen auch unabhängiges wird diese Expertise aufbauen, um eigene Einschätzung vornehmen zu können und Fragestellungen nachgehen zu können und da nicht einfach nur am Informationsfluss durch die Vorträge selber zu hängen. Dafür ist natürlich auch wichtig, dass wir in Deutschland eine breit aufgestellte Forschungslandschaft haben, damit wir auch unabhängige Institute haben, die die Forschung durchführen können. Also nicht zweimal dasselbe machen, einmal für das BASE und einmal für die BGE, und eine Rollentrennung wahrnehmen zu können, auch in der Forschung. Dann war die Frage, warum reicht Ton nicht aus?

Meine Antwort geht ein bisschen in eine andere Richtung. Wir sind ein Land mit einer Geschichte der Kernenergie, einer Geschichte der Endlager, Gorleben, es gab die Kommission für Endlagerung hochradioaktiver Abfälle, und in Deutschland ist der Schluss, wir können nicht eins vorbestimmen, sondern wir mussten der weißen Landkarte starten und das ergibt es ist offen. Auch, wenn die Schweizer bestimmt eine gute Arbeit machen und alles da noch in Ordnung ist, das ist, wir haben einfach einen nationalen Weg, den wir dabei gehen müssen, und können keine Abkürzungen laufen jetzt.

Dann war noch die Frage nach der Dosis-Berechnung oder der Dosis-Abschätzung. Dazu wollte ich nur ganz kurz anmerken, im Auftrag des BMU wurde vom BASE in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strahlenschutz eine Berechnungsgrundlage für die Dosis-Abschätzung erstellt. Derzeit liegt die im Entwurf vor. Sie wurde auch veröffentlicht auf der Infoplattform Endlagersuche auf der Website des BASE. Dazu wird es auch noch eine Öffentlichkeitsbeteiligung geben, die ist also noch nicht fertiggestellt. Und das Ergebnis wird dann noch ans BMU gegeben und das Regelwerk wird praktisch noch geschrieben werden. In der Endlagersichersanforderungsverordnung steht auch drin, es wird diese Berechnungsgrundlage geben. Und die Details kann man jetzt

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

praktisch noch gar nicht genau beantworten, weil es noch nicht feststeht. Aber unterm Strich müssen alle Radionuklide berücksichtigt werden, die einen Einfluss auf die Dosis, die beim Menschen ankommen kann, hat. Da wird es jetzt keine großen Abstriche von geben.

Zu den Mikroorganismen hätte ich eine ganz kurze Sache, ich glaube, die Pandemie gerade sind Viren und keine Mikroorganismen, aber das nur am Rande. Mikroorganismen sind natürlich ein wichtiger Punkt. Nur, historisch ist es in der Endlagerung auf den Punkt, der nicht so stark beleuchtet wird. Denn in den Untertagelabor beispielsweise, ist das BASE auch in Vorhaben mit drin, wo mikrobielle Aktivitäten betrachtet werden. Genau. Danke.

(Frank Claus) Danke, Herr Borkel. Ich habe seltsamerweise zwar hier in meinem Konferenz vorgesehen, dass Ihr Name gezeigt wird als Redner, aber immer das Video von Herrn Metz. Ich hoffe, dass halten sie aus, meine Damen und Herren, wenn es Ihnen genauso geht. Ich mache jetzt weiter in der Redeliste. Der nächste ist Kay Bierbrauer, wo es auch um Wirtsgestein Fragen geht. Herr Bierbrauer, bitte.

(Kay Bierbrauer) Kann man mich hören?

(Frank Claus) Ja, kann man.

(Kay Bierbrauer) Mein Name ist Kay Bierbrauer. Ich bin Geologie mit dem Hintergrund aus der Ölindustrie. Das Problem, was wir haben, sind ja, dass wir drei Wirtsgesteine ausgerufen haben, die auch wirklich alle drei für ein mögliches Endlager taugen. Das Hauptproblem, was ich jetzt sehe, ist, dass die ausgeschriebenen Teilgebiete natürlich nicht miteinander vergleichbar sind, weil es sehr unterschiedliche geologische Situationen sind. Deswegen ist meine Frage: Wäre es nicht sinnvoll, einfach davon auszugehen, dass wir eine ungestörte, ungeklüftete, ein homogenes Wirtsgestein vorliegen haben, sei es nun ein Granit oder ein anderer Metamorphit, ein Salzgestein oder ein Tongestein, sehr homogen, um dann wissenschaftlich herausfinden, welches dieses Verbandes, dieses Gesteins wäre eigentlich das beste Endlager? Denn nur dann könnte man gezielt suchen, wo man diese Verhältnisse in Deutschland noch findet, ungestört, ungeklüftet und es gibt es meiner Meinung nach in allen drei Wirtsgestein, sodass die Vergleichbarkeit, der endgültige Entschluss, wo man weitere Untersuchungen macht, einfach schwierig wird, wenn man sich nicht im Vorfeld vielleicht schon auf ein Wirtsgestein einigen könnt.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Frank Claus) Hmmhmm, ja, danke für die Frage. Die richtet sich ja eher nach meiner Wahrnehmung an Herrn Borkel. Aber ich sammele wieder Beiträge und der nächste Beitrag wäre von Klaus Nissen.

(Klaus Nissen) Ja, hallo, hören Sie mich?

(Frank Claus) Ja. Klappt.

(Klaus Nissen) Ja, o.k. ich kann auf die Kamera zulassen, also wenn Sie ---

(Frank Claus) Können Sie auch.

(Klaus Nissen) Ja, jetzt funktioniert es, ja. O.k. Also, ich möchte jetzt, nachdem ich das gerade folgert habe, den Herrn Bierbrauer auch stärkstes unterstützen. Ich meine, wir müssen eben wie runterkommen von diesen 54 % der Bundesrepublik. Da finden wir nie eine Lösung. Und von daher wäre es schon sinnvoll, eine Abwägung zu machen, welche Kombination Behälter-Gestein eigentlich am günstigsten für die Endlagerung sind. Damit hätten wir schon mal ein Drittel dieser 54 % ausgewählt. Wir hatten in der Vergangenheit die Auswahl für Salz und ich glaube, auch damals waren die Leute nicht total blöd, dass Salz als Lagerstätte zu bestimmen. In der Bundesrepublik haben wir die gute Möglichkeit, verschiedene Gesteine zu wählen. Und man hat ja auch damals wahrscheinlich schon die anderen beiden Gesteine ausgesondert. O. k. Das war das eine.

Dann habe ich einen weiteren Punkt. Den habe ich jetzt ein Diener Frage drin, die ich hier online gestellt habe. Also an den Herrn Metz. Die probabilistischen Sicherheitsanalysen in der Schweiz, die beinhalten natürlich das Abklingen der Radioaktivität der einzelnen Isotope. Es heißt, die flüchtigen Isotope sind ja meistens sehr kurzlebig, während die Schwermetalle relativ langlebig sind. Aber, wie Sie richtig gesagt haben, soweit ich das weiß, tatsächlich in der Uranmatrix verbleiben. Das müsste man vielleicht auch noch mal der Öffentlichkeit besser vermitteln insgesamt, denn sonst entsteht dieses Bild: Oh, das wird ja sofort freigesetzt, wenn Wasser eintritt, und die Katastrophe ist da. Gut.

(Frank Claus) Ja, danke.

(Klaus Nissen) zum anderen habe ich noch einen dritten. Das ist direkt an Herrn Metz gerichtet, also ich finde es nicht gut, dass Sie das andere Institut, was bei Ihnen am Ort ist, das Transuran Institut, das gegenüber der Straße ist bei Ihnen, dass Sie das immer nur so im Nebensatz benennen oder auch gar nicht beim Namen, weil, die Leute haben international anerkannte Forschung auf dem

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Gebiet geleistet und sind also weltweit anerkannt und es gibt, die werden einbezogen in EU-Forschungsvorhaben. Ich habe in dem Forum, dass da war, das schriftliche Forum, schon einen Link gemacht. 2005 gibt es einen Report der europäischen Union, das sind Rondinella und Co, da dargestellt, also wir müssen in Deutschland diese Ergebnisse berücksichtigen, und zwar dezidiert berücksichtigen, damit wir eine vernünftige auch im Kostenrahmen bleibende Lösung finden. Es kann nicht angehen, dass wir das Rad hier in Deutschland neu erfinden.

(Frank Claus) O. k. Danke schön.

(Klaus Nissen) Damit höre ich jetzt auf.

(Frank Claus) Danke, Herr Nissen. Wenn ich auf die Uhr gucke, es ist 19:56, es gibt noch elf --- das wird nicht klappen. Mein Vorschlag ist, wir nehmen jetzt noch zwei, machen die Antwortrunde, da müssen wir leider schon zum Schluss kommen. Ich hatte gesagt, es wird nicht möglich sein, dass Sie alle dran sind.

(Durcheinander)

(Daniel Lübbert) Das Ende ich nicht scharf definiert. Wir können auch länger machen. Außer, wenn Sie Feierabend machen möchten.

(Frank Claus) Ja (lacht). Dafür gibt es auch Gründe. Aber fangen wir mal an mit der nächsten Wortmeldung. Das wäre Norbert Welker. Da geht es um die behälter-Strategie, das knüpft ein bisschen an das Thema an, das wir gerade hatten, Systeme zu betrachten und nicht nur Wirtsgesteine, so hatte ich das verstanden.

(Sprecher*in) Herr Welker, Sie haben (... 01:26:40)

(Norbert Welker) Ja, bin ich zu hören?

(Frank Claus) Ja, Sie sind zu hören.

(Norbert Welker) Jawoll. Kamera können Sie auch dazuschalten. Da habe ich auch nichts dagegen.

(Frank Claus) Ja, ich kann es nicht. Aber der Operator vielleicht im Hintergrund. Oder Sie selbst. Probieren Sie es.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05.Februar 2021

(Norbert Welker) Ja, ich probiere es, aber es klappt nicht.

(Frank Claus) Ja, dann belassen wir es beim Ton.

(Norbert Welker) (... 01:27:08) Da ist auch mein Bild, jetzt. Ich habe noch eine kurze Frage: Erinnerst du dich es richtig, dass die Langzeitstabilität der einzulagernden Behälter in Schweden und in Japan überraschende und nicht erwartete Ergebnisse in Bezug auf die Langzeitstabilität gezeigt wird, dass also die Behälter viel früher korrodiert sein, als es hätte erwartet werden können? Das war die Frage.

(Frank Claus) Danke, nehmen wir mit. So, gehen wir weiter, dann haben wir Markus Reger, der über die Frage neuer Forschungserkenntnisse und Zugänglichkeit sprechen möchte.

(Markus Reger) Moment, ich bin gleich da.

(Frank Claus) Gut.

(Markus Reger) Jetzt bin ich zu sehen. Danke ich mal, oder? Gut. Meine Frage ist, geht es in die Richtung: Die Forschung bleibt nie stehen. Sollte man vielleicht, wenn man sich entschieden hat für die Festlegung auf einen Endlagerstandort, ob man nicht die Zugänglichkeit zu dem Atommüll erhält, um gegebenenfalls darauf reagieren zu können und das vielleicht noch mal umzuschichten.

(Frank Claus) O.k.

(Markus Reger) Asse ist ein Beispiel.

(Frank Claus) Ja, danke für die Frage. Dann nehmen wir Herrn Lübbert auch noch mit dazu mit Open Source Software, ganz anderes Thema.

(Daniel Lübbert) Ja, eigentlich ist es eine Nachfrage an Herrn Metz. Er hat dargelegt, dass er unter anderem auch Computerberechnung macht. Das Institut steht sehr stark für den wissenschaftsbasierten Charakter des Verfahrens. Eine andere Säule ist der partizipative Charakter. Und jetzt ist die Frage, ob man beides verbinden kann, ob Sie Möglichkeiten sehen, das Publikum an Ihren Forschungen teilhaben zu lassen. Bei Laborarbeit ist das sicherlich schwierig. Aber wenn Sie Code entwickeln, wenn Sie Programme schreiben, könnten Sie das ja mit der ehrenamtlichen Gemeinde sozusagen synchronisieren. Das würde mich interessieren, ob Sie in die Richtung denken.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Frank Claus) Also auch ein bisschen in Richtung Bürgerwissenschaft, also Bürgerbeteiligung.

(Daniel Lübbert) Ja, genau.

(Frank Claus) Ja, danke Herr Lübbert. So, jetzt habe ich noch eine Frau, die erste Frau, die sich zu Wort gemeldet hat in dieser Runde heute. Und da kann ich nicht dran vorbei. Frau Klinkenberg.

(Sandra Klinkenberg) (lacht) Hallo zusammen. Kurz, knapp bündig: Die Wissenschaftslandschaft des. Wir haben eben schon einen Hinweis und eindringlichen Appell gehört, anderweitige Ergebnisse zu nutzen. Mich interessiert jetzt, die jetzt oder die auch möglicherweise zukünftig geplanten Teilnehmer der Wissenschaft, Institute und Organisationen, wie sieht es dort in der Landschaft aus? Ist es da ein starkes Wettbewerbsverhalten untereinander zu erwarten oder eher eine kooperative, partizipative Zusammenarbeit?

(Frank Claus) Hmmhmm (zustimmend), o.k. Danke, Frau Klinkenberg. Dann fangen wir einmal an mit der Frage, bestes Endlager und Vergleichbarkeit. Das wäre die Frage von Herrn Bierbrauer. Und ich denke, das richtet sich an Herrn Borkel.

(Christoph Borkel) Entschuldigung, ich musste mein Mikro anmachen. Genau. Vergleichbarkeit habe ich mir aufgeschrieben. Ob man vielleicht erst mal die Wirtsgestein generisch analysieren sollte. Also, die Endlagerkommission, die hat das ja probiert und der Schluss war: Man kann nicht sagen, welches das beste Wirtsgestein ist. Jedes Wirtsgestein hat Vor- und Nachteile. Es kommt immer darauf an, was für Parameter man anguckt und was für Entwicklungen man betrachtet. Und man kann ganz generisch leider nicht sagen, dass eine ist besser als das andere. Davon abgesehen ist es jetzt, dass Standortauswahlgesetzes geschrieben, es gibt die Endlagersicherheitsanforderungsverordnung, die Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung und es ist jetzt aktuell Aufgabe der BGE, diese Sicherheitsuntersuchungen durchzuführen. Die Abwägungen vergleiche vorzunehmen und alle Möglichkeiten, die das Gesetz bietet, darf die BGE nutzen. Der Ball ist bei der BGE zu sagen, wie sie Vergleiche durchführen und wie sie Teilgebiete eliminieren oder im Verfahren weiter drin lassen.

(Frank Claus) Hmmhmm. Das Thema Zugänglichkeit wurde ja angesprochen von Herrn Reger, Herr Borkel.

(Christoph Borkel) Da kann ich auch schnell was zu sagen.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Frank Claus) Bitte.

(Christoph Borkel) Also, das fällt unter das Stichwort Rückholung der Abfälle und Ermöglichung einer Bergung. Rückholung, die Definition ist, bis das Endlager verschlossen sein wird, müssen die Abfälle jederzeit rückholbar sein. Das bedeutet, es muss auch nachgewiesen werden, wie ein Rückholung stattfinden würde, wenn sie dann stattfinden soll, warum auch immer, weil eine Krise kommt oder man hat festgestellt, man hat einen falschen Behälter hinten eingelagert, dann müsse der raus. Das muss demonstriert werden und es ist wirklich zu zeigen, auch methodisch, geht es, wie lange dauert es? Das ist klar zu demonstrieren. Für die Phase nach Verschluss des Endlagers ist festgelegt im Gesetz, 500 Jahre lang muss es möglich sein, die Abfälle zu bergen. Das bedeutet nicht, dass die Technik einwandfrei oben an der Oberfläche stehen muss, und wenn wir sagen, jetzt sollen wir bergen, dann geht es los. Des Endlagers wirklich komplett verschlossen, aber man hat sich überlegt, man hat Pläne angelegt, und wo ist welcher Behälter, man hat vorgesehen, wie man die theoretisch greifen könnte, um sie herauszuziehen, man hat das ganze so konzipiert, dass, wenn man die Behälter wirklich noch mal anpacken würde in 500 Jahren, dass die dann auch nicht gleich aufreißen und die radioaktiven Stoffe rauskommen, sondern die müssen natürlich integer bleiben. Und das ist die Vorgabe des Gesetzes. Was das Gesetz an die Endlagerkommission auch vorgeschrieben hat, ist, wir wollen jetzt das Problem der radioaktiven Abfälle, das muss gelöst werden. Und zwar nicht durch zukünftige Generationen, sondern mit den Mitteln, die wir heute zur Verfügung haben. Und die Abfälle längerer Zeit über Tage stehen zu lassen oder in einem offenen Endlager, Bergwerk dann, was Sie glaube ich angesprochen hatten, das birgt andere Risiken. Und zwar viele Generationen mit Wachschatz und was allem. Und das ist nicht der Weg, der jetzt von den Gesetzgebern vorgeschlagen wurde.

(Frank Claus) Vielleicht darf ich noch mal nachfragen, Herr Borkel, bei Ihnen, weil ich denke, diese Frage, die Frau Klinkenberg gestellt hat, nach dem Motto "Wettbewerb" oder "Zusammenarbeit" oder in eine ähnliche Richtung ging das ja, was Herr Lübbert vorgeschlagen hat mir Bürgerwissenschaft. Ist das was, was Sie als BASE anleiern?

(Christoph Borkel) Also, wir denken auf jeden Fall über solche Ansätze nach. Wir haben es noch nicht umgesetzt oder so etwas. Bis jetzt verstanden habe, wäre die Entwicklung von Open Source Codes und die dann auch wirklich der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, vielleicht sogar Tutorien als anzubieten, wo man erklärt, wie man das bedienen kann, was das bedeutet. Solche Gedanken gibt es bei uns. Ist jetzt aber noch nicht beschlossen, dass das kommt oder so. Aber über

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

solche Sachen eng wir vielen Fall aktiv nach. Genau. Die letzte Frage, da weiß ein bisschen, da habe ich Schwierigkeiten, die genau nachzuvollziehen. Und es wirkte so, als wäre noch ein Hintergedanke hinter der Frage. Ob die Wissenschaftslandschaft in Deutschland, die Ausschreibungen sind prinzipiell international, ich glaube, da muss man auch echt im Blick weiter öffnen. Volker Metz hat ja auch schon erzählt, die sind in ganz vielen internationalen Kollaboration drin, da muss man auf jeden Fall einen größeren Blick als nur Deutschland haben.

Aber ob das so ein freundliches Miteinander ist und man kennt sich und man kommt zu den gleichen Ergebnissen widerspricht sich nicht oder ob der Wettbewerb drin ist, das war so ein bisschen in der Frage drin. Also, wenn wir Forschungsvorhaben ausschreiben, dann haben wir natürlich ein Wettbewerb, da konkurrieren die hoffentlich und nicht, wenn sie Absprachen treffen würden, wer jetzt welches Angebot irgendwie wer trifft und mit welchen Ergebnissen, dann würden sie Probleme mit uns kriegen.

(Frank Claus) Ja, Frau Klinkenberg ---

(Sandra Klinkenberg) Das ist ---

(Frank Claus) Sagen Sie es noch mal mit dem O-Ton.

(Sandra Klinkenberg) Das ist völlig klar, weil, die Wissenschaftslandschaft, ja, steht im Wettbewerb zueinander. Frage ist einfach, wie stark ist der Wettbewerb untereinander mittlerweile ausgeprägt? Und hat das - Hintergrund der Frage, absolut richtig gehört und erkannt - Hintergrund der Frage inwiefern erwartet man möglicherweise Einflussnahme oder Verfälschung von Ergebnissen, die sich daraus erwirken lassen, grade auch im internationalen Kontext gesehen?

(Christoph Borkel) Eine ganz wichtige Säule ist natürlich, dass man sich nicht irgendwie zwei große Player schafft, die dann alles bearbeiten, sondern dass man eine breite Landschaft hat, die einfach sich mit den Themen beschäftigt. Und ich glaube, wenn man eine breite Forschungslandschaft hat, und auch Förderung schafft von Wissen und Forschungsmittel, dann ist das schon ein gutes Mittel dagegen, dass sich solche Strukturen eventuell bilden können. Auf jeden Fall zu vermeiden.

(Sandra Klinkenberg) Also, ich vergleiche das jetzt mal mit der Raumfahrt, auch sehen wir da an der Stelle, dass sich da eine Entwicklung abgezeichnet hat, und jetzt gerade im gesamten-globalen Kontext sich auch eben Für und Wider entwickelt. Frage ist natürlich, wie sieht es im nuklearen

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

Umfeld aus? Da ist es mir so jetzt nicht bekannt und geläufig, aber eben auch die Frage, gibt es solche Anzeichen und könnte das möglicherweise Risikopotenziale in sich tragen?

(Frank Claus) Wollen Sie noch mal was dazu sagen, Herr Borkel, oder haben Sie eigentlich das Wesentliche schon gesagt.

(Christoph Borkel) Das Wesentliche gesagt. Ich sehe aktuell keine Anzeichen, gerade ---

(Sandra Klinkenberg) Perfectement, danke (lacht).

(Christoph Borkel) Ein guter Gedanke.

(Frank Claus) Gut, dann kommen wir jetzt zu Herrn Metz, zu den offenen Fragen. Herr Metz, ich habe dabei mir als Notiz sowas wie System- statt Gesteins-Orientierung. Ich habe Abklingen und Verbleib der verschiedenen Isotope und möglicherweise auch ein Aufklärung- oder Bildungsauftrag, der da gesehen wird. Und ich habe das Thema Behälterstabilität und wie Welker gesagt hat, die überraschenden Ergebnisse der frühzeitigen Alterung. Und das Transuraninstitut war auch noch auf der Liste. Herr Metz.

(Volker Metz) Ja, genau. Das Team von teambits, die haben meine Kamera ausgeschaltet. Sie wissen ja, wie ich aussehe. Ah, o. k. Wieder dazu schalten. Letztendlich, Herr Nissen und Frau Klinkenberg, Daniel Lübbert und Norbert Welke, Sie haben unterschiedliche Fragen gestellt und dennoch gibt es da Gemeinsamkeiten. Und zwar fange ich, Frau Klinkenberg, Sie haben schon eine Antwort gehört. Deshalb mache ich das nächste, David (!) Lübbert, Sie hätten gefragt, wie sieht es denn aus, Beteiligung zum Beispiel von Bürgerinnen und Bürgern? Wir haben hier vom Institut nuklearen Entsorgung, beteiligen uns unter anderem an dem Projekt TRANSENS. Transdisziplinäre Forschung. D. h., Forschung gemeinsam mit Bürgerinnen und Bürgern. Transdisziplinär. Also, das ist eine Sache, die wir schon im Blick haben, wo wir auch gucken, wo können wir Bürgerinnen und auch deren Expertisen mit einbringen. Es gibt Leute, da spricht man von nicht zertifizierten Laien. Also auch, was ich heute Abend höre. Viele von Ihnen, Sie haben wissen, was Sie einbringen können, und wir möchten auch gern da in Interaktion bringen.

Es gibt Projekte. Früher, es gab ein Projekt, das nannte sich ENTRIA und jetzt läuft TRANSENS. Und auch die Frage, wie sieht es aus, Frau Klinkenberg und Herr Welke, Sie hatten es angesprochen, wie sieht es aus mit Expertendissens, mit Konkurrenz innerhalb der Forschung? Jetzt

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

ist es so, Herr Welker, Sie hatten angesprochen, in Schweden, da gibt es, was gezeigt wurde, die haben kristallines Gestein, deswegen habe die dort da hinzu noch eine 5 cm Kupferummantelung und in den ersten Jahren, 80er, 90er Jahre bis Anfang 2000er Jahre waren die Ergebnisse aus Forschungsexperimenten, hat man gesehen, oh, dieses Kupfer, unter Bedingungen, die man erwartet im Endlager, es wird in einigen Jahren wird es keinen Millimeter durchrosten. Dann kam aber im Jahr, wenn ich es richtig erinnere, 2008 neue Forschungsergebnisse raus. Da war ein Expertendissens da. Und das ist auch wichtig, deswegen, Frau Klinkenberg: gewisse Konkurrenz ist wichtig, damit nicht alle in die eine Richtung laufen, vielleicht in eine falsche Richtung laufen.

Wir kooperieren. Und es ist auch eine Antwort an Herrn Nissen: Wir schauen über den Tellerrand. Wir arbeiten - Sie haben wir erwähnt die gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission, auf Englisch Joint Research Center, hier bei uns in Karlsruhe, wir arbeiten auch mit denen eng zusammen. Gerade diese Experimente mit Kernbrennstoff machen wir gemeinsam, aber jeder für sich. Und bei der Wissenschaft ist es doch wichtig, dass man gegenseitig auch kritisch schaut, was dort herauskommt. Und, Herr Welker, zu Ihrer Frage: Ja, es gab dort vor zwölf Jahren, 13 Jahren überraschende Ergebnisse und das ist auch so, dass dort in Schweden dort weiter auch neue Forschungsprojekte initiiert wurden. Mittlerweile, die Diskussion läuft eigentlich darum, mittlerweile ist die Korrosion nach 100.000 Jahren, sind wir da bei 1 mm, sind wieder bei mehreren Millimetern. Behälter selbst, die Kupferschicht sind 5 cm. Und wenn ich es richtig im Kopf habe, dann war 2020 oder 2021 eine Entscheidung von dem schwedischen, von der Aufsichtsbehörde von den Gerücht, dass die gesagt haben, es gibt einen Expertendissens, allerdings hat der keine, hat er nicht an dem Konzept, an dem Mehrbarrieren-System, so wie es in Schweden, aber auch in Finnland initiiert ist, dort anlegen, ich sage mal, an den Grundfesten rüttelt.

Nichtsdestotrotz, das war 2008 erst mal ein großes - schon, dass Leute ein bisschen aufgeschreckt sind. Aber so ist es auch wichtig, dass man Sachen hinterher geht. Und, Herr Nissen, Sie hatten angesprochen, darauf hatten wir hingewiesen, die Radionuklide, die wenig zurückgehalten werden, die weit ins Gestein vordringen können, sind nicht, so hatten Sie erwähnt, das Wort habe ich nicht verwendet, aber Sie haben vollkommen recht, das sind Spaltprodukte, Aktivierungsprodukte. Da kam vor, eben, Aktivierungsprodukt Radio C-14. Radio Carbon. Radiojodid-129, Chlor-36. Ich möchte noch mal drauf hinweisen, das sind langlebige Aktivierungs- und Spaltprodukte. Insofern, Sie hatten darauf hingewiesen, sie sind volatil, ja, das ist richtig, aber sie sind auch langlebig. Deswegen können wir sie nicht ignorieren.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Frank Claus) Um welcher Halbwertszeit geht es dabei etwa?

(Volker Metz) Da geht es um Halbwertszeiten von 10.000, 100.000 Jahre oder sogar Millionen Jahre. Also, die sind auch innerhalb des Nachweiszeitraums kann man nicht sagen, ja, o. k., die zerfallen. Es gibt zum Beispiel das Caesium-135, langlebiges Spaltprodukte und Caesium-137 nur 30 Jahre Halbwertszeit. Deswegen, wenn jemand nur Caesium hört, denke an das Caesium-137, der denkt, ist das Problem. Ja, es gibt immer noch das Caesium-135.

(Frank Claus) Ja, ich glaube, das waren sie.

(Volker Metz) Genau, richtig.

(Frank Claus) Transuraninstitut vielleicht noch, oder?

(Volker Metz) Ja, das - ich hatte genannt die gemeinsame Forschungsstelle der europäischen Kommission auf Englisch Joint Research Center, die heißen vor einigen Jahren heißen die das Institut für Transuran. Die heißen so seit, ich glaube, 3, 4 Jahren. Aber ich glaube, Herr Nissen, Sie wussten, dass ich damit das ehemalige Institut ITU für Transurane gemeint habe. Das ist eine europäische Einrichtung, die arbeitet mir heißen Zellen und wir arbeiten - die machen auch viele Experimente zur Freisetzung von Radionukliden aus Kernbrennstoff im Kontakt beispielsweise mit simulierten granitischen Wässern. Und da profitieren wir dadurch, dass wir mit denen gemeinsam unsere Forschungsergebnisse abgleichen können. Haben Ergebnisse aus dem einen Grundwasser, die aus dem anderen und wir sehen, viele Sachen sind sehr, sehr ähnlich, also Befunde.

(Frank Claus) Danke schön, Herr Metz. Dr. Borkel, haben Sie noch was zu ergänzen, oder ist das in Ihrem vorherigen Redebeitrag ausreichend erfolgt?

(Christoph Borkel) Ich muss gerade nichts ergänzen, glaube ich.

(Frank Claus) Wunderbar, weil ich bin dabei in eine Schlusskurve zu gehen.

(Klaus Nissen) Lassen Sie mich noch mal ganz kurz rein?

(Frank Claus) Aber ganz kurz.

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

(Klaus Nissen) Ein Satz. Es ist natürlich wichtig, die flüchtigen, langlebigen Radioisotope, in welcher Konzentration die vorliegen, auch. Für die Aktivität. Ob (... 01:43:34) werden kann.

(Frank Claus) Ja. Nicht nur ob, sondern wieviel.

(Klaus Nissen) Das war es schon.

(Frank Claus) Ja. Gut, danke schön. Ja, ich habe gesagt, ich muss so Schlusskurve kommen. Wir haben jetzt eine Viertelstunde überzogen. O.k., wir hatten Technik, am Anfang ein bisschen später angefangen, aber trotzdem brauche ich brauche meinen Feierabend. Ich bedanke mich erst mal bei Herrn Metz und bei Herrn Borkel für den Input, bedanke mich bei Ihnen fürs Zuhören und Mitwirken und wenn Sie noch etwas loswerden wollen an Hinweisen oder auch an Fragen: Ich hatte Sie so verstanden, Herr Metz, dass Sie sagen, Sie nehmen gerne E-Mails entgegen und versuchen, sie zu beantworten. Und zum anderen gibt es die Möglichkeit, auch Ihre Hinweise auf irgendwelche Themen, die auch mit dem zwischendurch zu tun haben, an die Geschäftsstelle bei der Fachkonferenz per E-Mail zu schicken. Die ist darauf ausgerichtet, dass das dann auch ein Bestandteil der Dokumentation reden kann, die schließlich der BGE übernahmen wird. Das ist ja schließlich Zweck der Fachkonferenz, der wir uns hier befinden, dass die BGE jede Menge Hinweise, Kritik, konstruktive Anmerkungen bekommt für die weitere Arbeit.

Ja, noch mal herzlichen Dank. Das Abwürgen ist immer blöd, aber es gehört zu meinen Aufgaben als Moderator. Ich würde mir wünschen, dass Sie morgen in den verschiedenen anderen Arbeitsgruppen sich ebenfalls engagiert beteiligen, da gibt es wieder viele Möglichkeiten.

Ich wünsche Ihnen noch einen schönen Abend und sage Tschüss.

(Volker Metz) Ja, vielen Dank auch Ihnen. Schönen Abend und bis morgen.

(Christoph Borkel) Ebenfalls schönen Abend und bis morgen.

Textbeiträge zum Fachvortrag 2

Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus?

– Eine Einführung –

Freitag, 05.02.2021, ab 18:30 Uhr

Herzlich Willkommen beim Fachvortrag 2

Wortmeldungen Fachvortrag 2

21 Beiträge

1. Feb 5, 2021, 7:34:25 PM, Daniel Lübbert (Wissenschaftler*in):

Kommentar aus der AG-V

2. Feb 5, 2021, 7:35:12 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Frage, wenn Ton (Schweiz) so gut zurück hält, warum noch die anderen Formationen untersuchen.

3. Feb 5, 2021, 7:35:51 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Welche Dosis und Transferfaktoren verwenden Sie in der Modellierung?

4. Feb 5, 2021, 7:36:36 PM, Johannes Raff (Wissenschaftler*in):

Bisher nicht genannt: der Einfluss mikrobieller Aktivität im Untergrund

5. Feb 5, 2021, 7:36:52 PM, Kay Bierbrauer (Wissenschaftler*in):

Wäre es nicht sinnvoll zunächst das bestmögliche Wirtsgestein zu ermitteln, um gezielt zu suchen

6. Feb 5, 2021, 7:43:24 PM, Markus Reger (Bürger*in):

Neue Forschungserkenntnisse nach der Festlegung- sollte die Zugänglichkeit erhalten bleiben?

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

7. Feb 5, 2021, 7:45:56 PM, Sandra Klinkenberg (Bürger*in):

Wissenschaftslandschaft und Wettbewerb untereinander?

8. Feb 5, 2021, 7:39:51 PM, Klaus Nissen (Wissenschaftler*in):

Klaus Nissen: Abklingen der Radioaktivität einzelner Isotope

9. Feb 5, 2021, 7:44:26 PM, Daniel Lübbert (Wissenschaftler*in):

Daniel Lübbert (Wissenschaftler*in): Open-Source-Software

10. Feb 5, 2021, 7:42:25 PM, Norbert Welker (Bürger*in):

Behälterstabilität bislang enttäuschend ?

11. Feb 5, 2021, 7:46:56 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Frage ist auch, erst Vorauswahl der Formation, oder mehrere Probebohrungen in allen drei?

12. Feb 5, 2021, 7:51:17 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Dosisberechnung verweist auf StrlSchV verweist auf ICRP die unter Kritik steht mit ihrem Konzept

13. Feb 5, 2021, 7:54:14 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Das Salz wurde durch Ministerpräsident Albrecht mit dem Bleistift auf einer Karte ausgewählt

14. Feb 5, 2021, 7:54:40 PM, Heike Wiegel (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Salz ? Aus ASSE II lernen !

15. Feb 5, 2021, 7:55:13 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Halbwertszeiten haben mit dem chemischen Verhalten nichts zu tun

16. Feb 5, 2021, 8:02:54 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Wie soll eine Bergung erfolgen bei 160 Grad in 3000 m und Wärme durch die Behälter?

Dr. Volker Metz, Karlsruher Institut für Technologie/ KIT – Institut für Nukleare Entsorgung/ INE: „Wie breiten sich Radionuklide im Untergrund aus? - Eine Einführung“

Koreferat: Dr. Christoph Borkel (BASE) | 05. Februar 2021

17. Feb 5, 2021, 8:07:06 PM, Klaus Nissen (Wissenschaftler*in):

Hr. Neumann, Halbwertszeit und chemisches Verhalten sind natürlich für die Radioaktivität zusammen

18. Feb 5, 2021, 8:07:17 PM, Klaus Nissen (Wissenschaftler*in):

zu betrachten.

19. Feb 5, 2021, 8:09:50 PM, Klaus Nissen (Wissenschaftler*in):

Hr. Neumann, Hr. Albrecht hat Gorleben ausgewählt. Salz war schon vorher als Wirtsgestein ausgewählt

20. Feb 5, 2021, 8:12:36 PM, Werner Neumann (Vertreter*in gesellschaftlicher Organisation):

Cs 135 2 Mio. Jahre

21. Feb 5, 2021, 8:14:58 PM Julia Neles (Wissenschaftler*in):

Danke für die interessanten Beiträge!