



TRANSDISZIPLINÄRE FORSCHUNG ZUR ENTSORGUNG
HOCHRADIOAKTIVER ABFÄLLE IN DEUTSCHLAND

(Inter-)disziplinäre Forschung im TAP SAFE

Melanie Mbah, Ralf Wolters-Zhao, Henriette Muxlhanga, jemand vom LUH-IRS
Moderation: Klaus-Jürgen Röhlig

Einführung

Klaus-Jürgen Röhlig (TU Clausthal)

Einführung

- § Waren Sie heute früh beim Vortrag „Safety Case: Stakeholder-Perspektiven und Transdisziplinarität“?
- § Dort: Vorstellung **transdisziplinärer** (td) Forschung zur Endlagersicherheit, d. h. zu Forschung unter Einbezug von Nicht-Spezialisten und Praxisakteuren in die Forschungsprozesse
- § Basis dafür: disziplinäre und interdisziplinäre Forschung und Kooperation, z. B.
 - § Zusammenarbeit „Techniker“ – „Nicht-Techniker“: essentiell für Planung, Durchführung, Auswertung und Dokumentation der td-Formate
 - § Interdisziplinäre Verständigung, z. B. zum Thema „Indikatoren“
- § Jetzt: Drei Beispiele ...

Sicherheits-
management

Mensch und
Modellierung

Radio-
ökologie

Und nun ...

- 1) Sicherheitsmanagement
..... Melanie Mbah (Öko-Institut e. V.)
- 2) Menschlicher Faktor und Modellierung zum Systemverhalten
..... Ralf Wolters-Zhao (TU Clausthal) & Henriette Muxlhanga (Universität Kassel)
- 3) Radioökologie
.....Volker Hormann, Anna Kogiomtzidis & Clemens Walther (LU Hannover)
- 4) Diskussion

Sicherheitsmanagement und -kultur

Melanie Mbah, Bettina Brohmann, Julia Neles (Öko-Institut)

Einführung I

- § **SC ist ein soziotechnisches System**, das durch technische und soziale Bezüge und deren Interdependenzen geprägt wird (vgl. ENSI 2023; IAEA 2012; NEA 2016)

- § Das **Managementsystem** ist sowohl Bestandteil des SC als auch Objekt einer sicherheitsgerichteten Bewertung und hat folgende Aufgaben:
 - § Zusammenspiel zwischen unterschiedlichen Faktoren gewährleisten (technisch-naturwissenschaftlich, personell, organisational)
 - § Resilienz und Adaptionfähigkeit gegenüber sozialen Prozessen in und zwischen Organisationen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen

Einführung II

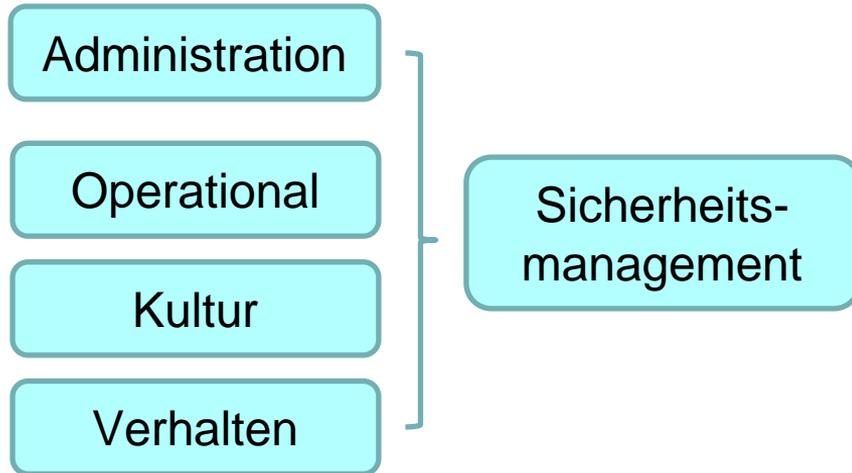
- § **Akteurshandeln** findet in dynamischen, sozio-kulturellen und politisch-regulatorischen Rahmen statt

- § Risiken des **menschl. Faktors** (vgl. Eckhardt 2020, 2021):
 - § Informationen können nicht gleichermaßen genutzt werden (Überlastung, Fehleinschätzung, etc.)
 - § Modelle und Szenarien beruhen auf individuellen Annahmen und Wahrnehmungen bzw. kollektiven Wissensgenerierungsprozessen

Sicherheitsmanagement = Prozesse, die dazu dienen Entscheidungen zu treffen, um ein möglichst hohes Sicherheitsniveau zu erreichen und langfristig zu gewährleisten

Aspekte des Sicherheitsmanagement

Einflussfaktoren:



Quelle: Eigene Darstellung nach (Jazayeri 2017; Sträter 2022).

Voraussetzungen:

- § Transparenz und Partizipation (Mbah/Hocke 2022)
- § Ko-Design und Ko-Produktion (vgl. Krohn et al. 2017)
- § Reflexion, Iteration, positive Fehlerkultur (vgl. Sträter 2022; Mbah/Brohmann 2021)
- § Systematischer Austausch von Kritik zur Verbesserung des Gesamtsystems

Implementierung einer Sicherheitskultur

Implementierung:

- § Rahmensetzung durch Leitung
- § sicherheitsgerichtete Organisationsstruktur
- § Aufbau von Vertrauen, lernende Grundhaltung, Kooperation und Kommunikation

Evaluation anhand von Kulturindikatoren:

- § Führung (z.B. «Kümmern»)
- § Kommunikation (z.B. Information, Umgangston)
- § Einbindung (z.B. Weiterbildung)
- § Regelungen (z.B. Verantwortlichkeiten)
- § Werte (z.B. Verlässlichkeit, Wertschätzung, Weltbilder)

Methoden

Beobachtungen,
Befragungen,
Dokumenten-
analyse

eingeschränkt
erfassbar

Quelle: ESK 2021.

Quelle: Borg et al. 2019; Schöbel et al. 2017; ENSI 2016.

Lernen als zentrale Voraussetzung

§ Konsequenzen eines mangelnden Konflikt- und Risikomanagements (vgl. Sträter 2022; Mbah/Brohmann 2021):

- § Individuum: Wissen über Risiken wird nicht mehr geteilt
- § Organisation: Qualitätseinbußen, mangelnde Flexibilität
- § Interorganisational/gesellschaftlich: z.B. geringere Sorgfalt im Umgang mit Entsorgungsfragen

§ Lernen ermöglichen durch:

- § Betroffene zu Beteiligten machen (Mbah/Brohmann 2021)
- § Beachtung verankerter Denk- und Handlungsmuster möglich (vgl. Klug 2019)
- § Positive soziale Beziehungen (vgl. Ackermann 2018)
- § Wissenstransfer horizontal und vertikal (vgl. Wilkesmann 2009; Schorta 2018)
- § Formelle und informelle Beziehungen (vgl. Paoloni et al. 2022)

Fazit

- § **Menschl. Faktor** von entscheidender Bedeutung: Prozesse in und um Sicherheit sind von **Lernen** bestimmt
- § **Sicherheitskultur** einer Organisation ist **bedingt zugänglich**
- § **Konkretisierung** hinsichtlich dessen, was Sicherheitskultur in einer Organisation umfasst, erforderlich
- § **keine allgemeingültige Festlegung** über die richtige und beste Sicherheitskultur, aber: **Transparenz** unterstützt die Entwicklung von Standards
- § **Stärkung des Austauschs** zwischen Betreiber und Aufsicht für ein gemeinsames Verständnis von Sicherheitskultur und die Festlegung von Standards wichtig

Faktor Mensch und THM-Modellierung

Ralf Wolters-Zhao (TUC), Henriette Muxlhanga (UK)

Inhalt

- § Physikalische Modellierung und numerische Simulation thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelter Prozesse
- § Laborative Untersuchungen zur Bestimmung von Materialparametern
- § Einfluss des Faktors Mensch auf Simulationsergebnisse
- § Analyse des Faktors Mensch anhand von zwei durchgeführten Experimenten
- § Schlussfolgerungen und Empfehlungen

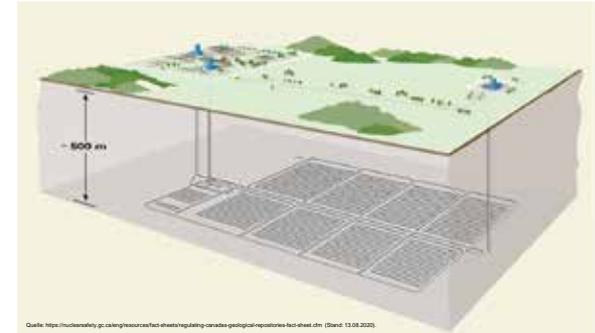
Physikalische Modellierung und numerische Simulation thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelter Prozesse (1/2)

§ Vielfältige thermische, hydraulische und mechanische Prozesse sowie ihre Wechselwirkungen sind in Raum und Zeit zu betrachten, z.B.

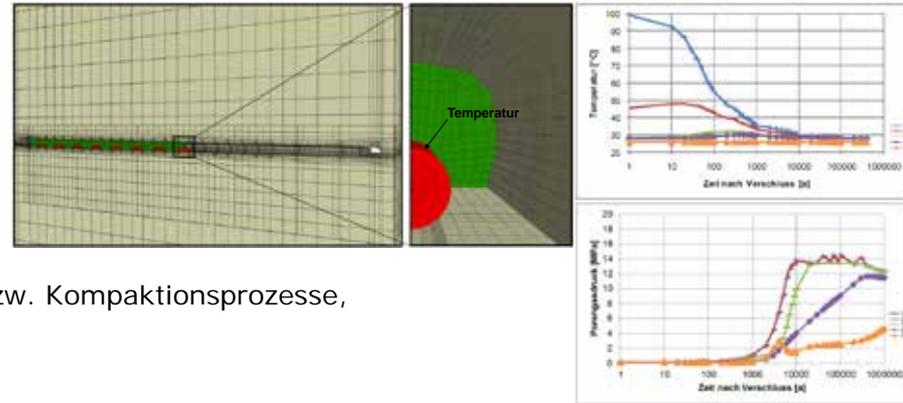
§ thermisch:
Temperaturveränderungen

§ hydraulisch:
Porendruckänderungen, Sättigungsänderungen,
Fluidmigration

§ mechanisch:
Deformationsprozesse, Mikrorissbildung, Verheilungs- bzw. Kompaktionsprozesse,
Quellprozesse, Spannungsumlagerungen

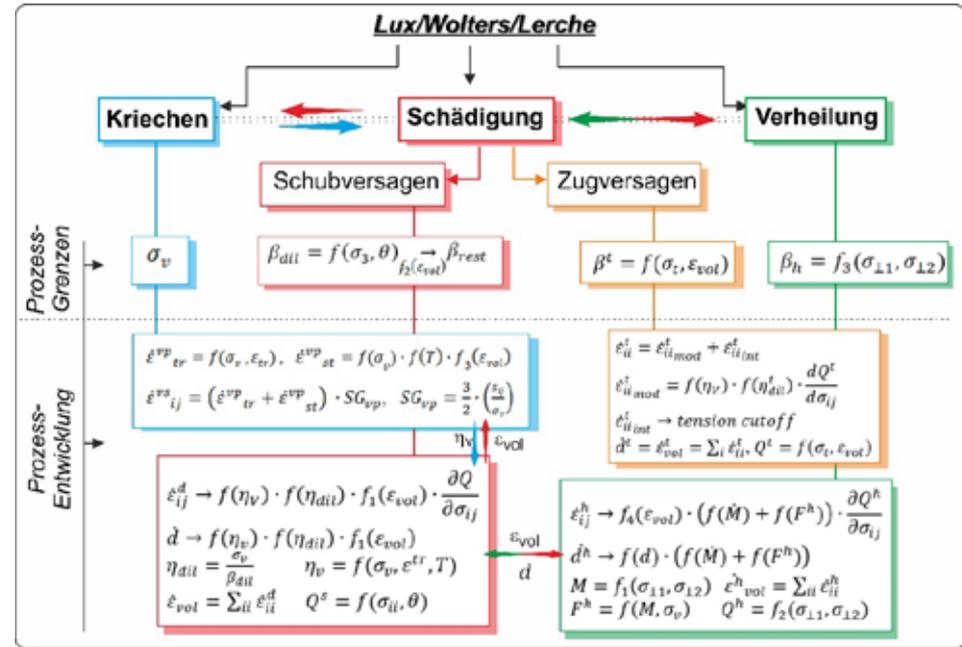


Quelle: <https://www.tam.uni.giessen.de/resources/fact-sheet/regulating-carbon-geochemical-transport-fact-sheet.htm> (Stand: 13.08.2020)



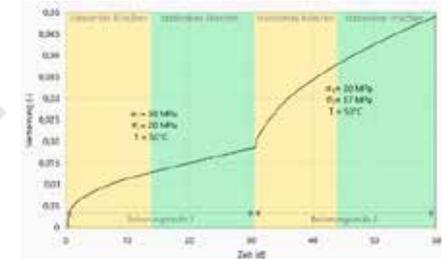
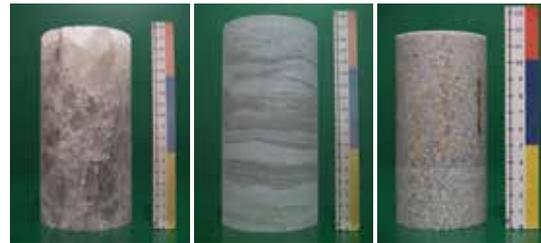
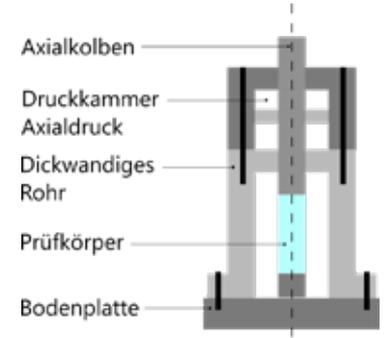
Physikalische Modellierung und numerische Simulation thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelter Prozesse (2/2)

- § Physikalische Modellierung erfolgt mit Hilfe sogenannter Stoffmodelle
- § Implementierung in numerische Simulationssoftware notwendig
- § Verifizierung und Validierung notwendig
- § Ermittlung von Materialparametern notwendig



Laborative Untersuchungen zur Bestimmung von Materialparametern

- § Geomechanisches Labor
- § Triaxialprüfanlage mit Steuerungssoftware und hochpräziser Messdatenerfassung
- § Gesteinsprüfkörper
- § Systematische Versuchsdurchführung



(2-stufiger Kriechversuch)

Einfluss des Faktors Mensch auf Simulationsergebnisse

- § Der Faktor Mensch kann an verschiedenen Stellen Einfluss auf die Simulationsergebnisse haben:
 - § Auswahl eines geeigneten Stoffmodells
 - § Handhabung der Simulationssoftware (z.B. Modelldiskretisierung, Zeitschrittsteuerung)
 - § Interpretation der Simulationsergebnisse
 - § Bestimmung der benötigten Materialparameter

Erfahrung? Tagesform?

Analyse des Faktors Mensch anhand von zwei durchgeführten Experimenten

Forschungsfragen und –methoden

Forschungsfragen:

- § Welchen Einfluss kann der Mensch in seiner Eigenschaft als Planender bzw. Modellierender auf numerische Simulationsergebnisse haben?
- § Wie lässt sich dieser menschliche Einfluss begründen?

Forschungsmethoden:

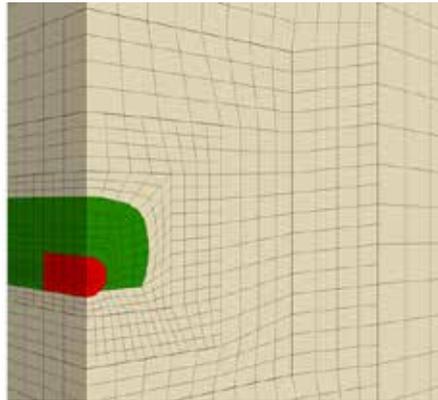
- § Experiment 1 (*2 Tage*):
 - § Fragebogen zur Selbstauskunft
 - § Lautes Denken
 - § Nachbesprechung in freier Diskussion
- § Experiment 2 (*1 Tag*):
 - § Fragebogen zur Selbstauskunft
 - § Eye Tracking

Analyse des Faktors Mensch anhand von zwei durchgeführten Experimenten

Betrachtete Simulationsmodelle und verwendete Eingangsdaten

§ Experiment 1:

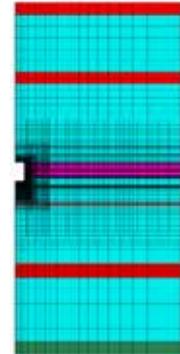
mit Salzgrus
versetzte
Einlagerungsstrecke
in einem generischen
Endlager im
Steinsalzgebirge



§ 6 jeweils 2-stufige Kriechversuche

§ Experiment 2:

offener Hohlraum im Forschungsbereich
des Endlagerbergwerks an der WiPP-Site



§ 8 jeweils 2-stufige Kriechversuche für
Argillaceous Salt von der WiPP-Site

§ in situ-Messdaten von der WiPP-Site zum
Deformationsverhalten des Hohlraums

Analyse des Faktors Mensch anhand von zwei durchgeführten Experimenten

Aufbau und Ablauf von Experiment 1:

- § 4 Versuchspersonen (VP) des GEMS wurden am ersten Tag von Experiment 1 online von der Experimentleitung zunächst hinsichtlich ihrer jeweiligen Verfassung vor Beginn des Experiments befragt.
- § Anhand der verfügbaren Daten aus den 6 Kriechversuchen ermittelten die 4 VP unter Beobachtung der Experimentleitung und mit der Methode „Lautes Denken“ unabhängig voneinander jeweils die stationären Kriechparameter für das Stoffmodell Lubby2.
- § Mit den ermittelten Kriechparametern führten die 4 VP anschließend eine ansonsten identische numerische Simulation zum Konvergenzverhalten der mit Salzgrus versetzten Einlagerungsstrecke im Steinsalzgebirge und der resultierenden Salzgruskompaktion durch.
- § Zum Abschluss des ersten Tages von Experiment 1 wurden die 4 VP erneut zu ihrer jeweiligen Verfassung befragt.
- § Am zweiten Tag von Experiment 1 wurden die Ergebnisse des ersten Tages ebenfalls online im Rahmen einer freien Diskussion diskutiert.

	VP1	VP2	VP3	VP4

Analyse des Faktors Mensch anhand von zwei durchgeführten Experimenten

Ergebnisse der beiden Experimente zum Faktor Mensch

§ Experiment 1:

Aus Parameterbestimmung und Modellierung:

- § Im Rahmen des „Lauten Denkens“ wurden nachweisbare Unterschiede im Vorgehen der VP bei der Parameterbestimmung registriert.

Aus freier Diskussion:

- § Es wurde der Bedarf nach weiteren Informationen zu den Umständen der laborativen Versuchsdatenerhebung identifiziert, da einige VP bei der Parameterermittlung teilweise unplausible Versuchsdaten erkannt haben wollen.
- § Es wurden bei einzelnen VP einige wenige (meist kleine, aber auch ein größerer) Handlungsfehler bei der Parameterermittlung identifiziert.

§ Experiment 2:

Aus Parameterbestimmung und Modellierung:

- § Die Auswahl eines geeignet erscheinenden Stoffmodells durch den Modellierenden kann einen signifikanten Einfluss haben auf die erhaltenen Simulationsergebnisse.
- § Bei diesem Experiment konnten Einflüsse aus der Parameterbestimmung nicht isoliert werden, da der Einfluss der Stoffmodellauswahl zu dominant war.

Aus Feedback:

- § Improvisation und Genauigkeit der Messdaten
- § Nachkommastellen wegen Umrechnung
- § Konzentrationsverlust durch Störung
- § Programmabstürze, z.B. wegen Datenmenge etc.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Schlussfolgerungen:

- § Bezogen auf die jeweiligen Zielgrößen (Zeit bis zum Schließen des Firstspalts bzw. Vertikalkonvergenz des offenen Hohlraums) konnten signifikante modellierungsbedingte Bandbreiten beobachtet werden:
 - § Experiment 1: Faktor von bis zu ca. 5
 - § Experiment 2: Faktor von bis zu ca. 5,7
- § Es wird weiterer Forschungsbedarf im Zusammenhang mit Auswirkungen des Faktors Mensch auf den Planungs- und auch auf den Ausführungsprozess gesehen.

- § Zielsetzung ist eine systematische Verbesserung der Prognosezuverlässigkeit zum möglichst optimal zu gewährleistenden Schutz von Mensch und Umwelt.

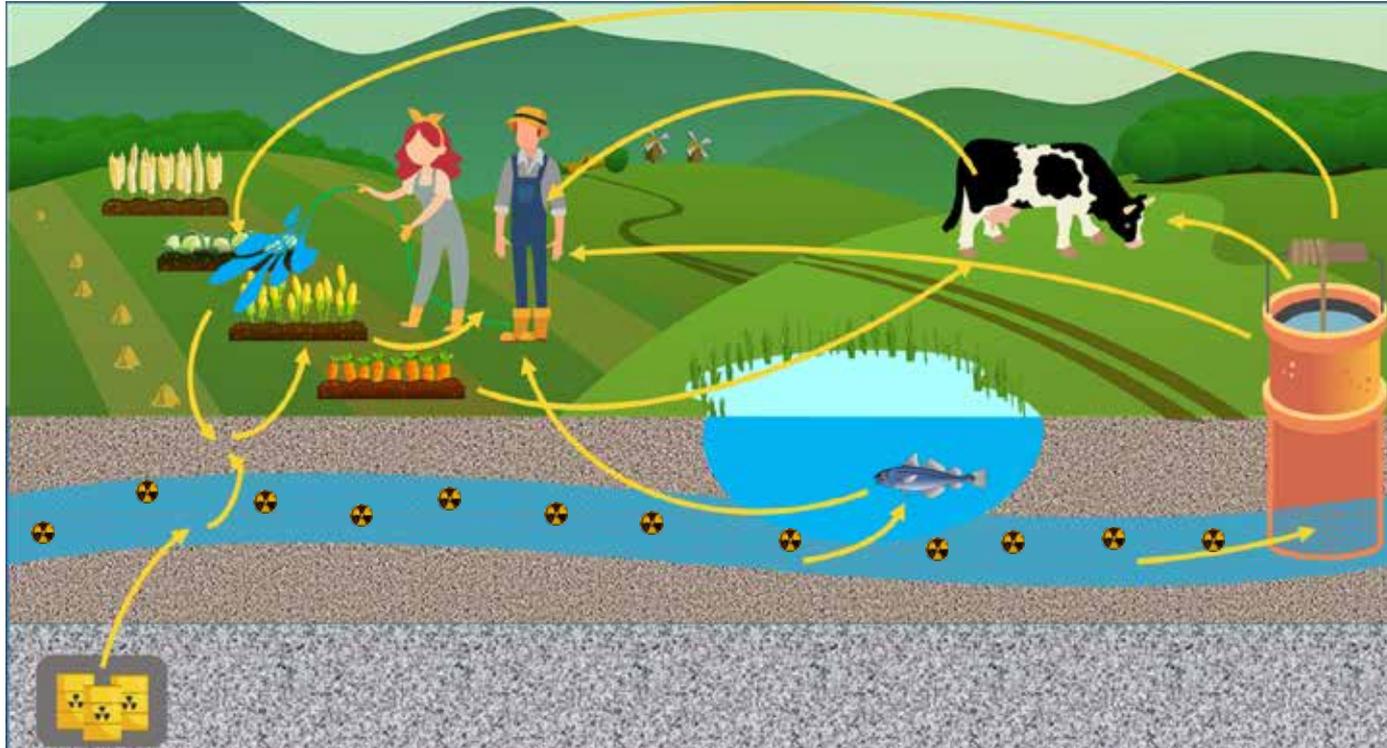
Einige Interventionsmöglichkeiten:

- § Abfragen von Alternativen für Denkanstöße
- § Vorgaben von Entscheidungskriterien
- § Informationsbereitstellung
- § Reflexion von (eigenen) Denkprozessen (Metakognition)
- § Gezielte Erzeugung von Widersprüchen
- § Perspektivwechsel

Radioökologische Modellierung

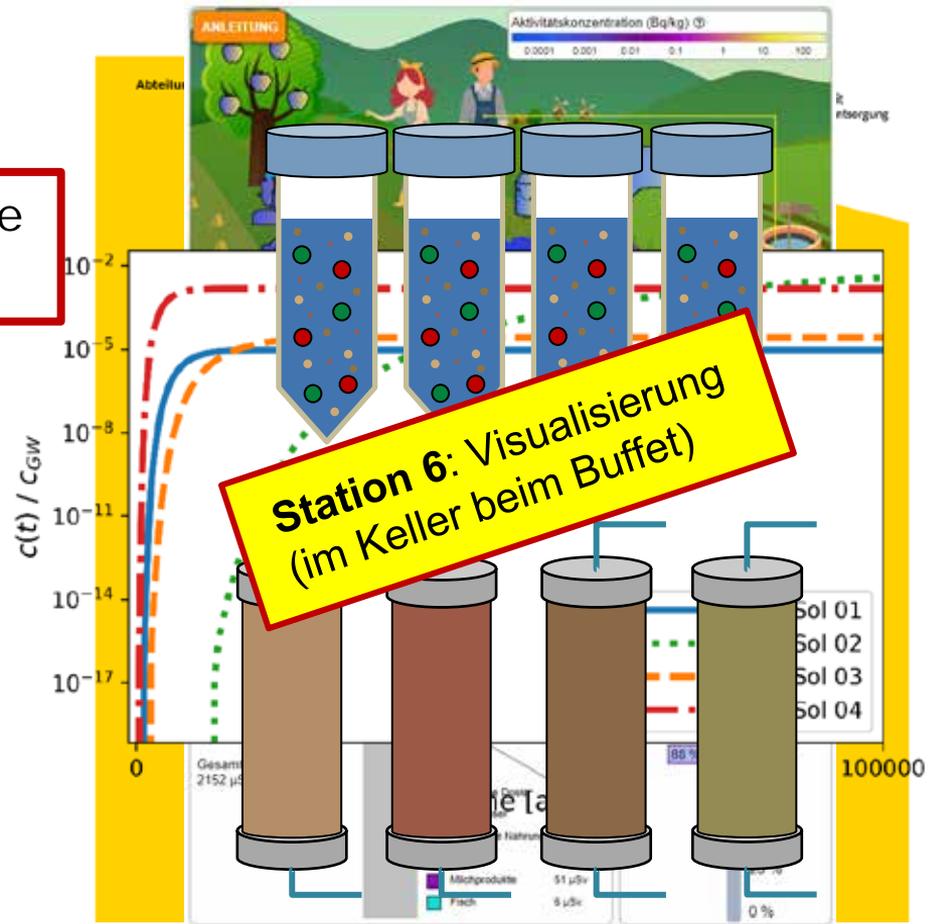
Anna Kogiomtzidis, Clemens Walter (LU Hannover),
Volker Hormann (Universität Bremen)

Worum geht es?



Was haben wir gemacht?

- § Analyse der Berechnungsgrundlage
Dosisabschätzung
- § Entwicklung eines Webtools zur
radioökologischen Modellierung
- § Eigene Langzeitmodellierungen
- § Ongoing: Validierung
(Weiterentwicklung?) des
Teilmodells zur Selenabsorption



Die Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung

§ "Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen" (BASE, BfS)

§ enthält ein konkretes radioökologisches Modell mit Parameterwerten für kühlgemäßes Klima (à AVV Tätigkeiten)

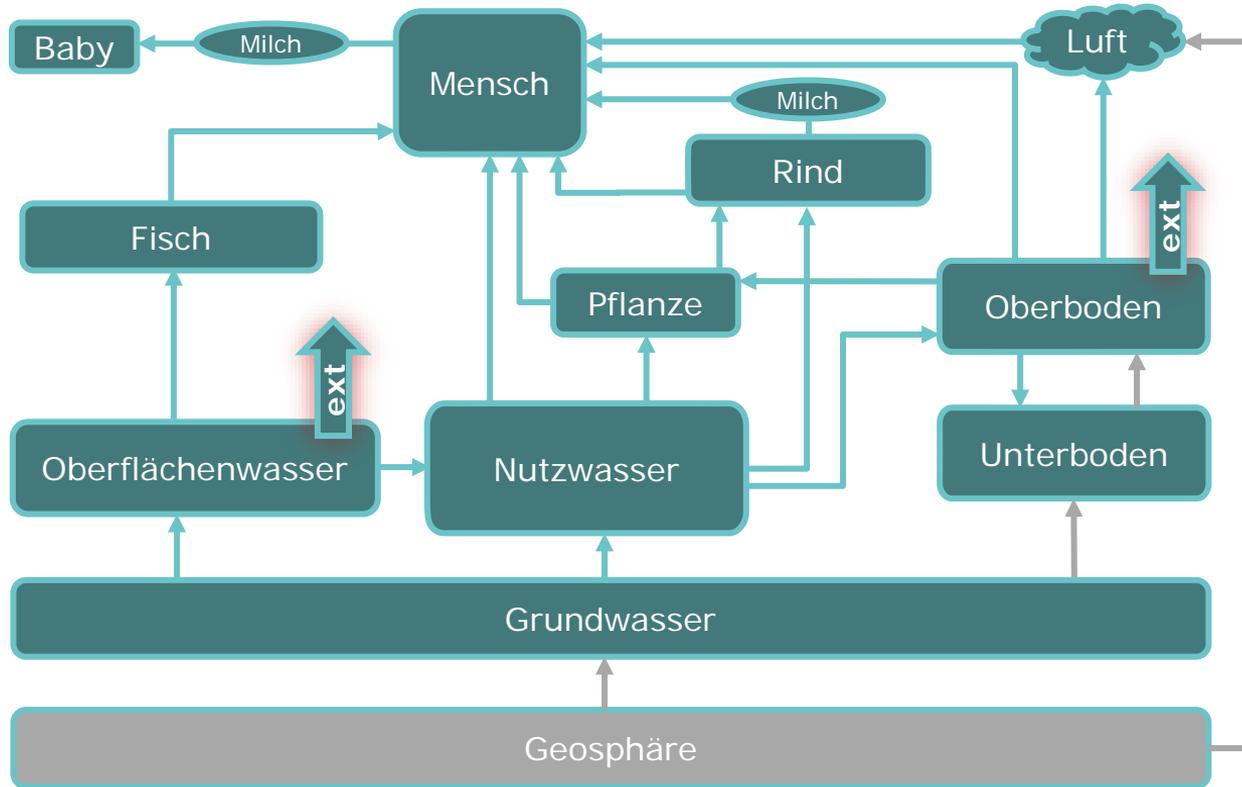
"Bei der Dosisabschätzung werden keine zusätzlichen jährlichen effektiven Dosen für zukünftig tatsächlich lebende Personen berechnet. Die abgeschätzte Dosis wird als ein Indikator für die Sicherheit eines Endlagers verwendet und stellt keine Prognose dar."

Berechnungsgrundlage, S. 6

Entwurf des Beschlusses Nr. 1 der "Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen" (BeGru) vom Dezember 2022

Volker Hormann & Clemens Walther (TRANSENS-Bericht, im Erscheinen)

Relevante Pfade und Nuklide



Parameter und Unsicherheiten

§ Einige Parameter sind in der Literatur nicht einheitlich, sondern mehr als einer Quelle entnommen

§ Verbrauchsdaten

§ Transaktionskosten

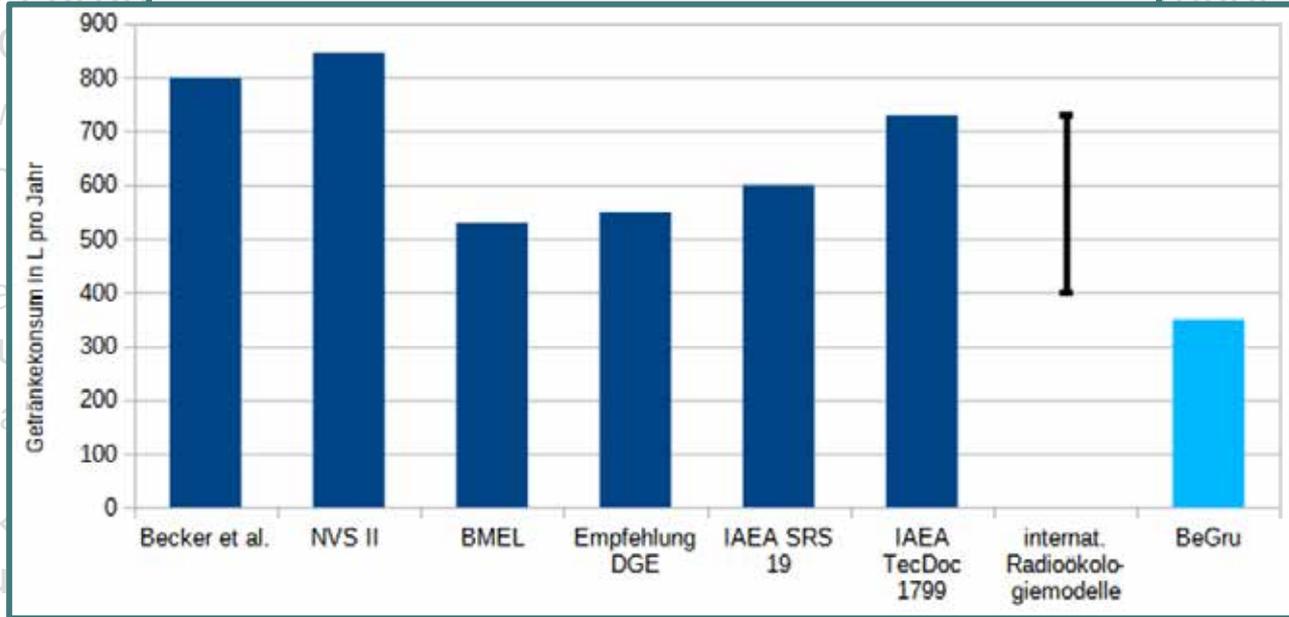
§ Auswahl

Literatur

§ à Faktoren

§ Viele Konzepte

der zu



ung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Meinungen? Fragen?

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert im

Niedersächsischen Vorab der Volkswagenstiftung



VolkswagenStiftung



Niedersächsisches Ministerium
für Wissenschaft und Kultur

Förderkennzeichen: 02E11849A-J