



Optimierung des Safety Case durch transdisziplinäre Forschung

Ergebnisse der Selbstevaluierung im transdisziplinären Arbeitspaket SAFE

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert im Niedersächsischen Vorab der Volkswagenstiftung



Förderkennzeichen: 02E11849A-J

Impressum

Mit dem Projekt TRANSENS wird erstmalig in Deutschland transdisziplinäre Forschung zur nuklearen Entsorgung in größerem Maßstab betrieben.

TRANSENS ist ein Verbundvorhaben, in dem 16 Institute bzw. Fachgebiete von neun deutschen und zwei Schweizer Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten. Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages und im Niedersächsischen Vorab der Volkswagenstiftung vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) von 2019 bis 2024 gefördert (FKZ 02E11849A-J).

TRANSENS lebt vom pluralen Austausch. Die TRANSENS-Berichte spiegeln die Meinung der Autor*innen wider. Diese Meinungen müssen nicht mit den Meinungen anderer Beteiligter an TRANSENS übereinstimmen.

Autoren: TRANSENS-SAFE. Ausgangspunkt dieses Berichts ist die Selbstevaluation des Vorhabens TRANSENS. Im TAP SAFE haben dazu alle in diesem TAP forschenden Teams beigetragen. Die Methodik der Selbstevaluation für das gesamte Vorhaben war zuvor von der Kerngruppe Evaluation (in wechselnder Besetzung: Anne Eckhardt, Stefanie Enderle, Thomas Hassel, Dirk Kluge, Pius Krütli, Melanie Mbah, Jonas Müller, Klaus-Jürgen Röhlig, Roman Seidl, Ulrich Smeddinck, Dörte Themann, Clemens Walther, Wolfgang Schulz) entwickelt worden. Die Schlussredaktion übernahmen Anne Eckhardt, Jonas Müller und Klaus-Jürgen Röhlig.

Kontakt: Prof. Dr. Klaus-Jürgen Röhlig, Institut für Endlagerforschung, TU Clausthal, klaus.roehlig@tu-clausthal.de

TRANSENS-Bericht eingereicht am 05. Juli 2023, veröffentlicht am 19. Juli 2023.

Review: Dr. Pius Krütli, TdLab des Departements Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich

Zitierweise: TRANSENS-SAFE (2023): Optimierung des Safety Case durch transdisziplinäre Forschung. Ergebnisse der Selbstevaluierung im transdisziplinären Arbeitspaket SAFE. TRANSENS-Bericht-10.

ISSN (online): 2747-4186

DOI: 10.21268/20230605-3 (<https://doi.org/10.21268/20230605-3>).

Titelbild: TRANSENS

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Zum TAP SAFE | 1 |
| 1.1 Der Safety Case | 1 |
| 1.2 Ziele des TAP SAFE | 2 |
| 1.3 Partner im TAP SAFE | 3 |
| 1.4 Aufbau des TAP SAFE | 4 |
| 2. Zur Selbstevaluierung des TAP SAFE | 6 |
| 2.1 Methodik der Selbstevaluierung | 6 |
| 2.2 Einfluss der Pandemiebedingungen | 7 |
| 3. Evaluierung des transdisziplinären Verlaufs von TAP SAFE | 9 |
| 3.1 Verständigungsprozesse | 9 |
| 3.2 Inter- und Transdisziplinarität | 10 |
| 3.3 Eignung der Td-Methoden | 13 |
| 3.4 Mehrwert durch Transdisziplinaritätsforschung | 14 |
| 3.5 Dokumentation der Ergebnisse | 15 |
| 3.6 Beiträge der Td-Partner | 16 |
| 3.7 Transdisziplinär erzeugtes Wissen | 17 |
| 3.8 Wirkung in die Gesellschaft | 22 |
| 4. Ausblick | 25 |
| 4.1 Perspektiven für die transdisziplinäre Sicherheitsforschung | 25 |
| 4.2 Perspektiven für künftige Td-Formate im TAP SAFE | 26 |
| 4.3 Perspektiven über TRANSENS hinaus | 28 |
| 5. Literaturverzeichnis | 29 |

1. Zum TAP SAFE

Im Verbundprojekt TRANSENS wird von 2019 bis 2024 transdisziplinär zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland geforscht. Das Projekt umfasst vier transdisziplinäre Arbeitspakete (TAP) „Handlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren“ (HAFF), „Safety Case: Stakeholder-Perspektiven und Transdisziplinarität“ (SAFE), „Technik, Unsicherheiten, Komplexität und Vertrauen“ (TRUST) und „Dialoge und Prozessgestaltung in Wechselwirkung von Recht, Gerechtigkeit und Governance“ (DIPRO). Transdisziplinaritätsforschung und die Ausbildungsformate im Arbeitspaket EDU begleiten das gesamte Projekt.

2022 nahmen die TRANSENS-Teams eine Selbstevaluierung der in der ersten Projekthälfte erfolgten transdisziplinären Forschung vor. Die Ergebnisse dieser Selbstevaluierung sind in einem TRANSENS-Bericht zusammengefasst (TRANSENS 2023). Der vorliegende Bericht vertieft und konkretisiert Aspekte der Selbstevaluierung im TAP SAFE. Dabei fokussiert er auf die Erfahrungen mit transdisziplinärer Forschung. Ausgewählte fachliche Ergebnisse zum Safety Case werden komprimiert in den farblich herausgehobenen Boxen dargestellt.

Nach einem kurzen Einblick in das TAP SAFE (Kapitel 1) und einem Überblick zur Selbstevaluierung (Kapitel 2) werden die Leitfragen zur Selbstevaluierung bei TRANSENS spezifisch auf das TAP SAFE bezogen beantwortet (Kapitel 3) und ein Ausblick auf den weiteren Verlauf von SAFE und darüber hinaus gegeben (Kapitel 4).

1.1 Der Safety Case

Der Safety Case ist eine Methodik, um die Sicherheit eines Endlagers für radioaktive Abfälle zu belegen. Die international gebräuchliche Bezeichnung „Safety Case“ wird auch für das mit dieser Methodik erstellte Berichtswerk gebraucht. In Deutschland werden Safety Cases vielfach als „Sicherheitsuntersuchungen“ bezeichnet, wie sie zum Beispiel im Verlauf des laufenden Standortauswahlverfahrens auszuarbeiten sind.

Safety Cases stellen eine wesentliche Grundlage für behördliche Verfahren und politische Entscheidungen auf dem Entsorgungsweg dar. Für den Vorhabenträger oder die Vorhabenträgerin¹ können sie auch die Funktion einer internen Entscheidungsgrundlage haben. Im Verlauf des Entsorgungswegs werden eine Reihe aufeinander aufbauender Safety Cases erstellt. Wesentlich für die konkrete Ausgestaltung der Entsorgung sind die Wechselwirkungen zwischen dem Safety Case und der Endlagerplanung und -optimierung. Mit dem Safety Case wird u.a. die Endlagerplanung beurteilt und Erkenntnisse aus dem Safety Case fließen somit in die Sicherheits-gerichtete Weiterentwicklung der Endlagerplanung ein.

Die Struktur eines Safety Case ist nicht allgemein verbindlich festgelegt, auch wenn sich einzelne charakteristische Elemente, wie die Szenarienentwicklung oder die radiologische

¹ In diesem Bericht sind grundsätzlich alle Geschlechter angesprochen, wenn nicht explizit anderweitig betont. Zur Sichtbarkeit dessen wird neben der grammatikalisch männlichen Form («generisches Maskulinum») auch unregelmäßig bewusst die weibliche Form gebraucht, sodass – beispielsweise – mal von Praxispartnern und mal von Praxispartnerinnen die Rede ist, aber immer alle ungeachtet des Geschlechts angesprochen sind.

Konsequenzenanalyse, international etabliert haben. Ein Beispiel für den Aufbau eines Safety Cases zeigt Abbildung 1.

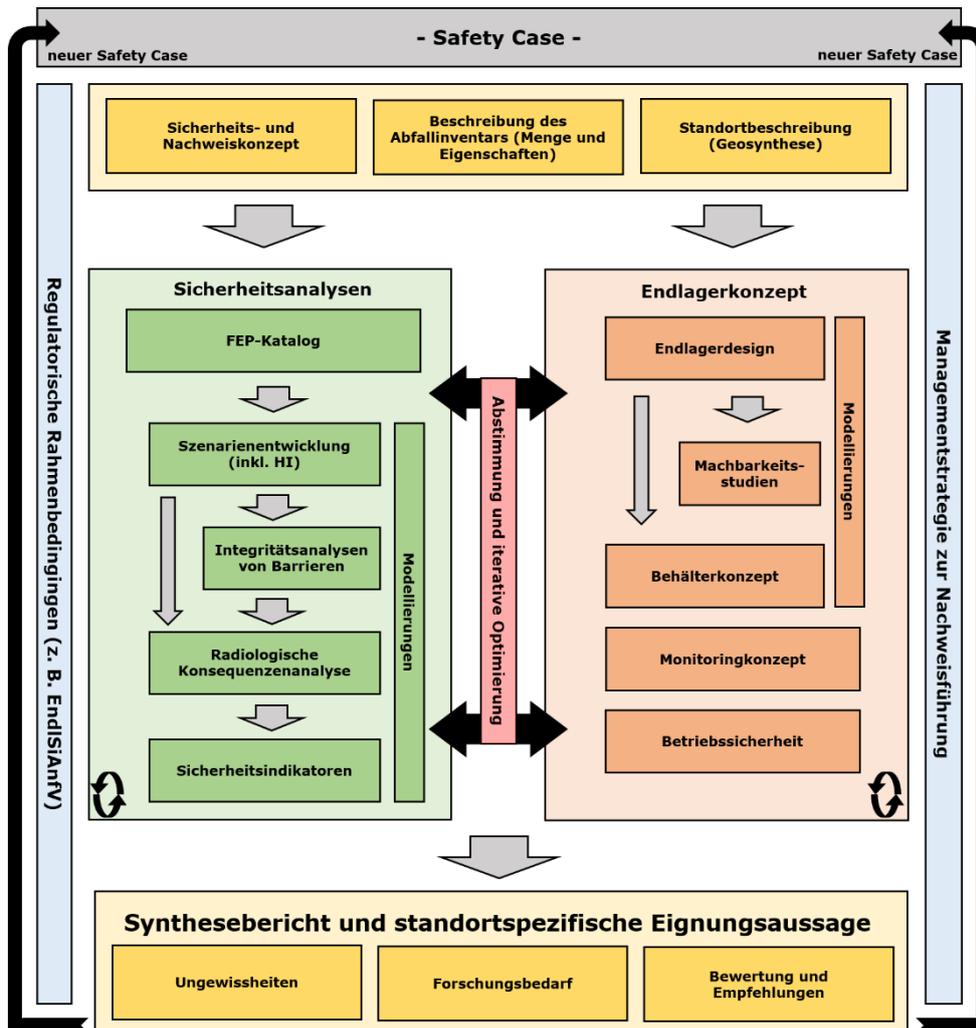


Abbildung 1: Aufbau eines Safety Case und Iterationsschritte, beispielhaft dargestellt (Grafik: M. Ebeling, inspiriert vom Strukturplan der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben. GRS 2013, S. 19). FEP, „Features, events and processes“, sind Eigenschaften, Ereignisse und Vorgänge, die verwendet werden, um Szenarien (Beschreibungen potentieller künftiger Entwicklungen des Endlagersystems) zu entwickeln. HI, „Human Intrusion“, bezeichnet Szenarien des menschlichen Eindringens in ein Endlager, EndSiAnfV die Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020.

1.2 Ziele des TAP SAFE

Die Hauptziele des Forschungsprojekts TRANSENS sind in der Vorhabenbeschreibung festgelegt (TRANSENS 2019, S. 5):

1. „Es ist zu prüfen, ob und, falls ja, welchen Beitrag transdisziplinäre Forschung leisten kann, die soziotechnischen Prozesse in Zusammenhang mit der nuklearen Entsorgung zu begreifen.“
2. Es ist transdisziplinäre anwendungsorientierte Grundlagenforschung durchzuführen, um die Lösung bedeutsamer sozialer und technischer Fragestellungen voranzutreiben.“
3. Gleichzeitig wird ein Beitrag zur Nachwuchsförderung und zum Kompetenzerhalt durch (disziplinäre, interdisziplinäre und transdisziplinäre) Aus- und Weiterbildung geleistet.“

Die zentralen Forschungsfragen, die im Transdisziplinären Arbeitspaket (TAP) SAFE beantwortet werden sollen, lauten (TRANSENS 2019, S. 33):

- Welche Paradigmen, Gegenstände und Ergebnisse von Sicherheitsuntersuchungen werden von Stakeholdern und interessierten Laien als relevant angesehen?
- Führt ein transdisziplinärer Ansatz zu Änderungen oder Ergänzungen bezüglich der Gestaltung des Safety Case?
- Wie sollten diese Änderungen oder Ergänzungen ausgestaltet werden?

1.3 Partner im TAP SAFE

In SAFE wirken Verbundpartnerinnen mit Td-Partnerinnen, also Forschungspartnern aus der interessierten Öffentlichkeit und der Entsorgungspraxis, zusammen. Zu den Td-Partnern zählen

- Praxispartner: Vertreter von Akteuren, die an der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle direkt mitwirken, wie die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) oder das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE).
- Arbeitsgruppe Bevölkerung (AGBe): Die AGBe setzt sich aus Bürgern aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands zusammen. Sie wurde in einem mehrstufigen kriteriengeleiteten Verfahren rekrutiert und bildet verschiedene Alters-, Bildungs- und Berufsgruppen ab. Die Mitglieder der AGBe sind keine Stakeholder. Als „extended peer community“ sollen sie zur gemeinsamen Erarbeitung neuen Wissens durch Wissenschaftlerinnen und Akteure der Zivilgesellschaft beitragen.

Die Verbundpartner bei TRANSENS sind Institute bzw. Fachgebiete von neun deutschen und zwei Schweizer Universitäten und Forschungseinrichtungen. An SAFE beteiligen sich:

| | |
|-----------|---|
| TUC-ELS | TU Clausthal, Institut für Endlagerforschung / Fachgebiet Endlagersysteme in Zusammenarbeit mit GRS, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH SAFE wird von Prof. Klaus-Jürgen Röhlrig, TUC-ELS, geleitet |
| ETH-TdLab | ETH Zürich, Transdisziplinaritäts-Laboratorium des Departments Umweltsystemwissenschaften |
| KIT-ITAS | Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruhe |
| LUH-IRS | Leibniz Universität Hannover, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz |
| ÖI | Öko-Institut e.V. Darmstadt |
| risicare | risicare GmbH, Zürich |
| TUC-GEMS | TU Clausthal, Institut für Endlagerforschung / Fachgebiet Geomechanik und multiphysikalische Systeme |
| UK-A&O | Universität Kassel, Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie |

1.4 Aufbau des TAP SAFE

Für die transdisziplinäre Forschung im Vorhaben TRANSENS wurde ein neues Instrument entwickelt, die Themenkorridore. Die Themenkorridore geben einen Rahmen für die Bearbeitungsgegenstände der transdisziplinären Arbeitspakete vor, lassen aber Spielräume für die Ausgestaltung offen. In der Vorhabenbeschreibung TRANSENS (2019) wird der Themenkorridor für das TAP SAFE wie folgt beschrieben:

„Das Konzept des Safety Case (SC) für Endlager ist mit seinen Stärken, Grenzen und Schnittstellen zu analysieren und mittels transdisziplinärer Forschung auf Möglichkeiten der Weiterentwicklung zu untersuchen. Der Themenkorridor wird dabei durch die Frage definiert, ob und wie das SC-Konzept unter Einbezug von Sichtweisen von Nicht-Spezialisten in Bezug auf den in Deutschland einzuschlagenden Entsorgungsweg anzupassen oder weiterzuentwickeln ist und damit die Diskurs- und Beratungsfähigkeit verbessert werden kann. Dabei sind immer auch normative Aspekte zu behandeln: Welche Argumente gibt es für den Einbezug von Sichtweisen von Nicht-Spezialisten in Sicherheitsuntersuchungen, welche sprechen dagegen?

[...]

Es wird angestrebt, wissenschaftliche Grundlagen als Beitrag zur Lösung des Problems der Standortauswahl speziell hinsichtlich der dabei vorgesehenen Sicherheitsuntersuchungen zu schaffen bzw. weiterzuentwickeln: Das SC-Konzept wird die Grundlage der Sicherheitsuntersuchungen in dem stufenweisen Standortauswahlverfahren sein. Die transdisziplinäre Forschung zum SC soll die Stärken und Grenzen des Konzepts herausarbeiten und zeigen, was es für eine Sicherheitsdiskussion interessierter Akteure beitragen kann. Dabei wird gleichzeitig geprüft, welche Rolle es als professionelles Tool in einem transparenten Verfahren einnehmen kann.“

Das TAP SAFE umfasst ein zentrales Td-Experiment, das im oberen Teil von Abbildung 2 dargestellt ist, und damit verbundene, auf einzelne disziplinäre Themen ausgerichtete Module im unteren Teil von Abbildung 2 zu den Themen Systemverhalten von Tiefenlagern, radioökologische Modellierung, Ergebnisdarstellung von Modellrechnungen und transdisziplinäre Kommunikation.

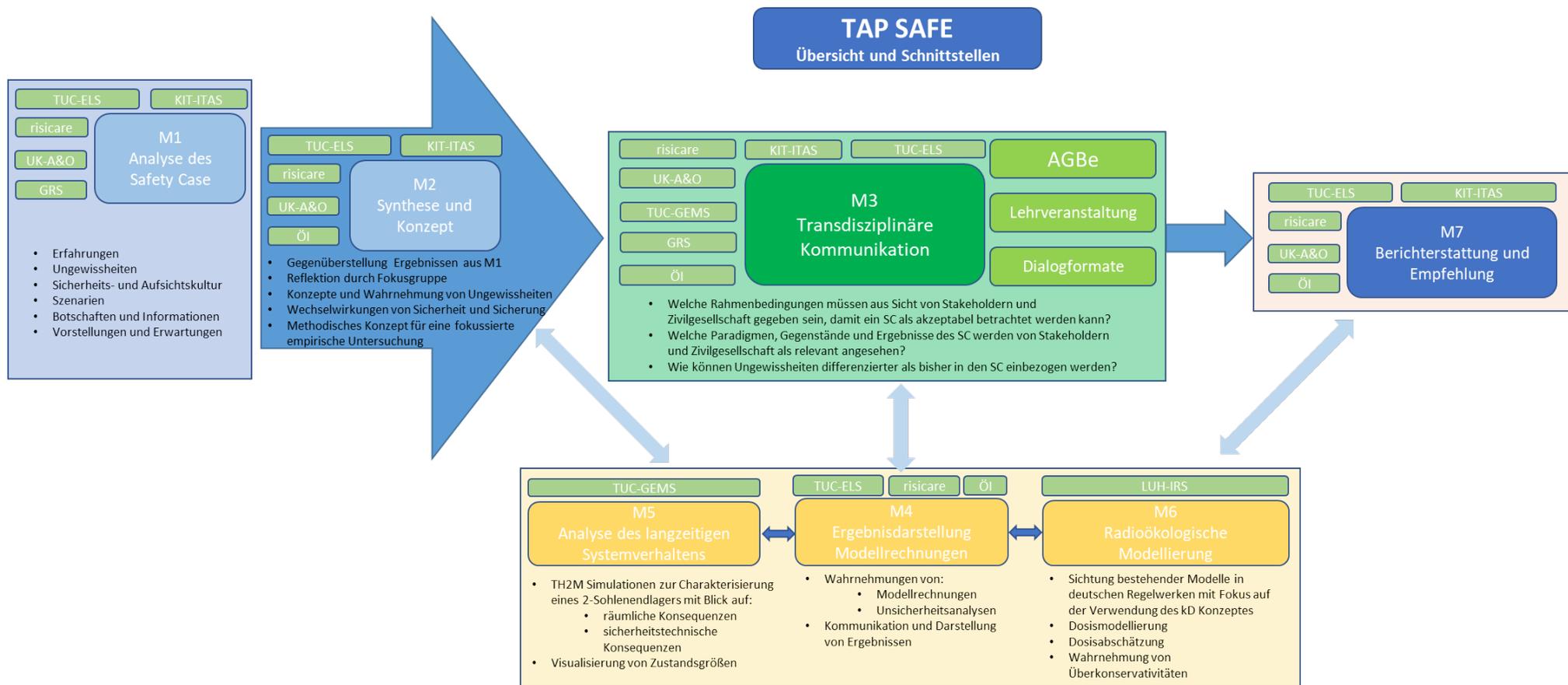


Abbildung 2: Struktur des TAP SAFE gemäß Vorhabenbeschreibung. Mit M1 bis M7 werden Forschungsmodul bezeichnet. Die Pfeile geben wesentliche Schnittstellen an. Das zentrale Td-Experiment setzt sich aus einzelnen Formaten zusammen, die teils aufeinander aufbauen und sich teils ergänzen. SC bezeichnet den Safety Case, TH2M thermisch, hydraulisch (Zweiphasenfluss) und mechanisch gekoppelte Prozesse. Der kD-Wert ist ein Verteilungskoeffizient, der unter bestimmten Annahmen nuklid- und systemabhängig die das Verhältnis zwischen in der Flüssigkeit gelösten und an der Gesteinsmatrix sorbierten Radionukliden beschreibt.

2. Zur Selbstevaluierung des TAP SAFE

Die Methodik der Selbstevaluierung im Vorhaben TRANSENS ist in TRANSENS (2023) dargestellt und wird im Folgenden nochmals kurz zusammengefasst. Da TRANSENS in den ersten beiden Jahren seiner Laufzeit mit unerwarteten Anforderungen aufgrund der COVID-19-Pandemie konfrontiert war, wird auch das Arbeiten unter Pandemiebedingungen angesprochen.

2.1 Methodik der Selbstevaluierung

2022 haben die TRANSENS-Teams eine TAP-übergreifende Zwischenevaluation des Gesamtprojektes vorgenommen. Ziel war es, für die eigene Weiterarbeit einen realistischen Blick über bisher Geleistetes sowie Anregungen und Empfehlungen für die Fortsetzung der Arbeit zu erhalten, also eine formative Evaluation durchzuführen. Zugleich sollte eine Basis für eine potentielle externe Evaluation geschaffen werden, die im Verlauf der Arbeit aber zunehmend in den Hintergrund trat. Der Fokus lag entsprechend auf der Identifizierung von möglichen Anpassungen und Verbesserungen in der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit.

Angesichts des Pilotcharakters von TRANSENS als transdisziplinäres Forschungsprojekt in der Landschaft der Entsorgungsforschung mussten und konnten viele Aspekte der Evaluation passgenau für TRANSENS entwickelt werden. Eine Arbeitsgruppe – das „Kernteam Evaluation“ – entwickelte mit einschlägiger Expertise sowie der Auswertung von Literatur zur Evaluation transdisziplinärer Vorhaben (Belcher et al. 2016, Bergmann et al. 2005) ein entsprechendes Verfahren.

Dieses stellte Leitfragen an die einzelnen Teams, TAPs und an die ständigen Bürgerbegleitgruppen in TRANSENS zu zentralen Aspekten der transdisziplinären Forschung im Bereich der nuklearen Entsorgung. Diese Leitfragen sind literaturbasiert und bauen insbesondere auf den Kategorien bei Belcher et al. (2016) auf, wurden aber explizit auf den speziellen Kontext von TRANSENS zugeschnitten.

Der Projektverlauf wurde zunächst durch die Teams und anschließend in den TAPs, so auch in SAFE, konsolidiert eingeschätzt. Die Einschätzung erfolgte anhand von acht Leitfragen:

1. Beschreiben Sie die Verständigungsprozesse zu den Zielen des Moduls/TAPs und den Hauptzielen von TRANSENS mit (und innerhalb der) Teams und Td-Partnern. Wie wird der Stand eingeschätzt und wie lässt sich dies aus der Sicht der Teams belegen? (vgl. 3.1 Verständigungsprozesse)
2. Wie sieht die disziplinäre, interdisziplinäre und transdisziplinäre Arbeitsteilung/-struktur im Modul/TAP aus und wie ist sie einzuschätzen? (vgl. 3.2 Inter- und Transdisziplinarität)
3. Wie gut eignen sich die bisher im Modul/TAP angewendeten Td-Methoden zur Bearbeitung der zugrundeliegenden Fragestellungen gemäß Vorhabenbeschreibung? (vgl. 3.3 Eignung der Td-Methoden)

4. Inwiefern sehen die Module/TAPs einen Mehrwert für sich durch die Transdisziplinaritätsforschung? (vgl. 3.4 Mehrwert durch Transdisziplinaritätsforschung)
5. Ergebnisdokumentation: Wie wurden transdisziplinäre (Zwischen-)Ergebnisse der Module/TAPs dokumentiert und in Bezug zur Vorhabenbeschreibung gesetzt? Was ist in Zukunft geplant? (vgl. 3.5 Dokumentation der Ergebnisse)
6. Was haben die Td-Partner und in welcher Form bisher in den Forschungsprozess eingebracht? Wie werden die Td-Partner in den Forschungsprozess eingebunden? (vgl. 3.6 Beiträge der Td-Partner)
7. Erbringen die transdisziplinären Forschungsansätze Wissen, das ohne Td-Partner nicht erlangt worden wäre? (vgl. 3.7 Transdisziplinär erzeugtes Wissen)
8. Entsteht im Vorhaben Wissen, das potentiell für Entscheidungsfindung und Problemlösung bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle nutzbar ist? Wie gut wurden die Ziele bzgl. Lösung des gesellschaftlichen Problems in den TAPs bisher erreicht? (vgl. 3.8 Wirkung in die Gesellschaft)

Zwischen den Teams im TAP SAFE fand ein Verständigungsprozess zur Beantwortung der Leitfragen und Ableitung von Schlussfolgerungen für die weitere Forschung statt, der als Basis dieses TRANSENS-Berichts dient. Die Leitfragen werden in Kapitel 3 beantwortet. Der vorliegende Bericht basiert auf dem Stand des TAP SAFE Ende Oktober 2022.

2.2 Einfluss der Pandemiebedingungen

Das Verbundprojekt TRANSENS wurde im Oktober 2019 gestartet und ab März 2020 nahezu zwei Jahre lang unter Pandemiebedingungen weitergeführt. Diese besondere Situation hat sich auch im transdisziplinären Arbeiten im TAP SAFE niedergeschlagen:

Zu Beginn der Forschung war die interdisziplinäre Verständigung zwischen den Verbundpartnern und Verbundpartnerinnen erschwert, die zur inhaltlichen Vorbereitung der transdisziplinären Formate erforderlich war. Einzelne Verbundpartnerinnen waren mit personellen Problemen konfrontiert. Einstellungen konnten erst mit zum Teil erheblicher Verzögerung vorgenommen und damit auch geplante Arbeiten erst verspätet aufgenommen werden. Dies führte unter anderem dazu, dass einige der Untersuchungen und Literaturstudien, die als Grundlagen für das zentrale transdisziplinäre Experiment gedacht waren, erst fertiggestellt wurden, als die transdisziplinären Formate bereits weit fortgeschritten waren. Einige der in der Vorhabenbeschreibung vorgesehenen Elemente von Forschungsmodulen erwiesen sich im Verlauf von SAFE schließlich als überholt, und die entsprechenden Ressourcen wurden für andere Aufgaben eingesetzt.

Ein Beispiel für die aufgrund der Pandemiebedingungen erforderlichen Anpassungen stellt das Fokusgruppen-Experiment zum Safety Case im TAP SAFE dar. Fokusgruppen sind eine Methode aus der empirischen qualitativen Sozialforschung, die auf der moderierten Diskussion in einer Gruppe von Personen beruht. Das Fokusgruppen-Experiment wurde später als geplant und in drei Schritten statt wie ursprünglich vorgesehen in einem Schritt durchgeführt (vgl. Abbildung 3). Zunächst wurde das Format in einem Rollenspiel, dem „Trockentest“ ausschließlich mit TRANSENS- Forschern (also ohne externe Partner) unter online-Bedingungen getestet, wie sie die Pandemie-Situation erforderlich machte. Das

ursprünglich einteilig geplante Format der Fokusgruppe wurde auf zwei Termine aufgeteilt, weil einige der im ersten Termin erzielten Ergebnisse eine weitere Vertiefung nahelegten. Während der erste Teil des Fokusgruppen-Experiments in Präsenz stattfinden konnte, musste der zweite Teil wieder online durchgeführt werden.

Die Verständigung unter den Verbundpartnern und mit den Td-Partnerinnen von Präsenz auf online-Formate umzustellen, gelang innerhalb von kurzer Zeit. Für etablierte Werkzeuge in Präsenzformaten, wie Poster und Flipcharts, fand sich Ersatz in online nutzbaren Instrumenten, deren Funktionalitäten und Benutzerfreundlichkeit sich unter den Pandemiebedingungen schnell weiterentwickelten.

Vereinzelt erwiesen sich die online-Formate den Präsenztreffen überlegen, da sie einen häufigeren Austausch in den Teams und bei den Verbundpartnern erlaubten, als dies bei Präsenztreffen möglich gewesen wäre. Es zeigte sich, dass manche online nutzbaren Instrumente zusätzliche Funktionen und bessere Dokumentationsmöglichkeiten als etablierte Werkzeuge in Präsenzformaten anbieten. Ein Beispiel war das gemeinsame Arbeiten an MindMaps, die von den Teilnehmerinnen auch außerhalb von Besprechungen oder anderen Terminen weiterentwickelt werden konnten.

Insgesamt wurden aber sowohl der transdisziplinäre Austausch zwischen Td-Partnerinnen und Verbundpartnern als auch der interdisziplinäre Austausch unter den Verbundpartnern durch die Pandemiebedingungen tendenziell beeinträchtigt. Als Präsenzformate wieder aufgenommen werden konnten, zeigte sich, dass die Interaktionen zwischen allen Beteiligten in Präsenz intensiver und damit auch für die Forschung gewinnbringender ist. Nähere Angaben zum Arbeiten unter Pandemiebedingungen finden sich in den Antworten zu den Leitfragen im folgenden Kapitel.

3. Evaluierung des transdisziplinären Verlaufs von TAP SAFE

Zur Selbstevaluierung von TRANSENS wurden acht Leitfragen entwickelt und im TAP SAFE beantwortet. Die folgenden Kapitel 3.1 bis 3.8 sind auf zentrale Punkte aus diesen Antworten fokussiert. Wichtige Erkenntnisse sind am Ende dieses Kapitels in Abbildung 5 zusammengefasst.

3.1 Verständigungsprozesse

Leitfrage 1: Beschreiben Sie die Verständigungsprozesse zu den Zielen des Moduls/TAPs und den Hauptzielen von TRANSENS mit (und innerhalb der) Teams und Td-Partnern. Wie wird der Stand eingeschätzt und wie lässt sich dies aus der Sicht der Teams belegen?

Die zentrale Forschungsfrage von SAFE lautet: Ist eine transdisziplinäre Optimierung des Safety Case möglich bzw. notwendig? Falls ja, wie kann und soll diese Optimierung erfolgen? Neben dem Ziel, die zentrale Forschungsfrage zu beantworten, wurde im TAP SAFE eine Reihe weiterer, detailliert ausformulierter Ziele verfolgt. Dazu zählt, zu ermitteln, wie zentrale Paradigmen des Safety Case von der interessierten Öffentlichkeit eingeschätzt werden oder wie Anpassungen der Gestaltung des Safety Case über einen transdisziplinären Ansatz erreicht werden können (TRANSENS 2019, S. 31f., Kapitel 1.2 Ziele von SAFE).

Grundsätzlich waren und sind die Teams in SAFE mit der Vorhabenbeschreibung und den dort formulierten Zielen vertraut. Zu Beginn des Forschungsprojekts zeigte sich allerdings, dass es für die Teams nicht immer einfach war, sich allein anhand der Vorhabenbeschreibung in der Struktur des TAP SAFE (vgl. Abbildung 2) zu orientieren. Das Zusammenwirken der in der Vorgabenbeschreibung formulierten Module war noch nicht ausreichend geklärt. Zur Ausrichtung der Module auf die Beantwortung der Forschungsfragen und die Erfüllung der Ziele gab es noch offene Fragen. Dieser Umstand und die Tatsache, dass das erste Modul disziplinäre und interdisziplinäre Grundlagenarbeiten wie Literaturstudien vorsah, trugen vermutlich dazu bei, dass sich viele Teams bei ihrer Arbeit zu SAFE zunächst auf ihnen vertraute Aspekte des Safety Case sowie disziplinäre und allenfalls interdisziplinäre Forschung konzentrierten.

Nach kurzer Zeit setzte jedoch ein intensiver Verständigungsprozess zu den Fragestellungen und der konzeptionellen Ausgestaltung der Forschung ein. Unter anderem wurde die in Abbildung 2 wiedergegebene grafische Darstellung entwickelt, die seither bei der internen Verständigung und Verortung regelmäßig verwendet wird. In einigen Teams und zwischen Teams finden seit Projektbeginn regelmäßige Treffen zur internen Abstimmung statt.

Im Zentrum des TAP SAFE steht, wie bereits erwähnt, ein „zentrales Td-Experiment“, das sich aus mehreren Formaten, dem „Trockentest“ Fokusgruppe, der Fokusgruppe mit Praxisakteurinnen und -akteuren, den Workshops mit der Arbeitsgruppe Bevölkerung, den

Workshops im Rahmen der Graduiertenakademie und dem geplanten Abschlussworkshop, zusammensetzt (vgl. Abbildung 3).

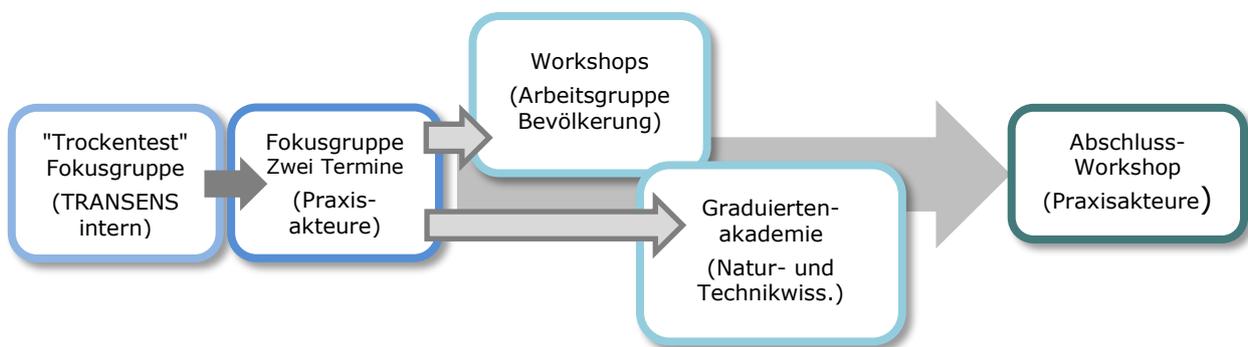


Abbildung 3: Struktur des zentralen Td-Experiments bei SAFE. Das zentrale Td-Experiment setzt sich aus einzelnen Formaten zusammen, die teils aufeinander aufbauen und sich teils ergänzen. Die Workshops in der Graduiertenakademie wurden (ergänzend zur ursprünglichen Planung) Ende 2022 durchgeführt.

Zu Beginn der Td-Formate im zentralen Td-Experiment erfolgte jeweils eine explizite Kommunikation mit den Td-Partnern zu den Zielsetzungen. Aus den Beobachtungsprotokollen ist zu entnehmen, dass diese Verständigung gelang. Nur in der Fokusgruppe wurde auch in späteren Phasen noch danach gefragt, ob es im Format um Optimierung „des Safety Case selbst“ oder „nur“ seiner Kommunikation ginge. Dessen ungeachtet hat die Fokusgruppe Ergebnisse zu beiden Aspekten erarbeitet.

Da die Ziele von TRANSENS bereits in der Vorhabenbeschreibung festgelegt waren, wurden sie bei den Td-Partnerinnen nicht explizit zur Diskussion gestellt. Im Verlauf von SAFE zeigte sich bei den Td-Partnern auch kein Bestreben, die Hauptziele von TRANSENS als Forschungsprojekt oder die spezifischeren Ziele von SAFE infrage zu stellen. Sowohl die Vertreterinnen und Vertreter der interessierten Öffentlichkeit als aus Praxisakteure und Personen aus Natur- und Technikwissenschaften ohne Bezug zum Safety Case verstanden sich offenbar tatsächlich als „Partner“ innerhalb des TAP SAFE, die ähnlich wie die Verbundpartner einen (kritischen) Beitrag zum Erreichen der vorab gesetzten Ziele leisten.

3.2 Inter- und Transdisziplinarität

Leitfrage 2: Wie sieht die disziplinäre, interdisziplinäre und transdisziplinäre Arbeitsteilung/-struktur in SAFE aus und wie ist sie einzuschätzen?

Dem zentralen Td-Experiment in SAFE wird disziplinär und interdisziplinär zugearbeitet. Ergebnisse aus dem Td-Experiment werden interdisziplinär und disziplinär ausgewertet, um zu prüfen, ob sie zur Optimierung des Safety Case genutzt werden können und sie ggf. zu vertiefen. Ein Beispiel für eine rein interdisziplinäre Forschungsarbeit wird in Box 1 vorgestellt.

Die interdisziplinären Literaturstudien, die vor und zu Beginn des zentralen Experiments durchgeführt wurden, gestalteten sich extensiver als geplant. Belege dafür sind die TRANSENS-Berichte zu Sicherheit angesichts von Ungewissheiten, sicherheitsrelevanten

Barrieren bei der Endlagerung und zum Stressfaktor Mensch. Zudem wurde frühzeitig eine Literatursammlung angelegt und allen Teams bei SAFE zur Verfügung gestellt. Der direkte Nutzen dieser Vorarbeiten blieb jedoch begrenzter als ursprünglich vorgesehen, weil die Td-Partner die Td-Formate schnell selbst aktiv mitgestalteten (Co-Production, teilweise auch Co-Design) und dabei Themenschwerpunkte setzten, die für die Sekundärforschung („desk research“) ursprünglich nicht eingeplant worden waren.

Zur Vorbereitung der Workshops mit der AGBe wurden gezielt Paradigmen (insbesondere Wartungsfreiheit für die Nachbetriebsphase, Bewertungszeiträume von bis zu einer Million Jahren, Robustheit sowie im deutschen Fall der Einschluss der Schadstoffe in den so genannten „wesentlichen Barrieren“) herausgearbeitet, die den Safety Case-Konzepten zugrunde liegen. Dieser Ansatz hat sich bewährt, um die Td-Formate thematisch fokussiert zu gestalten und damit konkrete Impulse zur Optimierung des Safety Case zu erhalten.

Die transdisziplinäre Forschung erfolgte in Zusammenarbeit mit KIT-ITAS und ETH-TdLab, die Td-Methodenkompetenz und Erfahrung einbrachten. Die Planung und Durchführung der Td-Formate lagen bei verschiedenen Partnern in SAFE, was zur Diversität der Formate beitrug. So war beispielsweise KIT-ITAS für die formelle Durchführung der Fokusgruppe zuständig. TUC-ELS und GRS waren federführend bei der Durchführung der Workshops mit der AGBe.

Die Auswertung der Td-Formate erfolgte in interdisziplinärer Zusammenarbeit durch die beteiligten Teams. Sie wird als effizient, zielführend und erfolgreich eingeschätzt. Besonders bewährt hat sich der Ansatz, alle an den Formaten beteiligten Teammitglieder des TAP SAFE unabhängig voneinander wenige Ergebnisse („fünf Punkte“) identifizieren zu lassen, die sie als besonders wichtig beurteilen. Durch Einbezug von Beobachtern aus verschiedenen Disziplinen ergibt sich eine Breite der Resultate, die eine substantielle Grundlage für interdisziplinäre Arbeiten darstellt, die auf den Ergebnissen der Td-Formate aufbauen. Bei der Auswertung des ersten Fokusgruppentermins wurden beispielsweise Ergebnisse identifiziert, die sich im Kontext der Arbeits- und Organisationspsychologie, des Rechts, der Risiko- und Sicherheitsforschung sowie der Soziologie einordnen und interpretieren lassen.

Box 1: Identifikation von Ungewissheiten aus arbeits- und organisationspsychologischer Sicht am Beispiel der Materialparameterbestimmung

Ein Fallbeispiel für interdisziplinäre Zusammenarbeit in SAFE

Um Sicherheit für Mensch und Umwelt über sehr lange Zeiträume zu gewährleisten, muss ein Endlager robust ausgestaltet werden. Die Forderung nach Robustheit bezieht sich auf natur- und technikwissenschaftliche Aspekte. Da das Endlager jedoch von Menschen geplant, bewertet und umgesetzt wird, muss dabei insbesondere auch der Faktor Mensch Berücksichtigung finden. Wie der Faktor Mensch in die technische Planung und Bewertung hineinspielt, wurde von UK-A&O und TUC-GEMS gemeinsam in zwei psychologischen Experimenten am Beispiel der Parameterermittlung für numerische Simulationen zur prognostischen Ermittlung des Endlagersystemverhaltens exemplarisch untersucht.

Bei der Modellierung des Langzeitverhaltens eines Endlagers spielen auch Einschätzungen der jeweiligen Modellierer eine Rolle. Daher wurde am Beispiel zweier Einlagerungsstrecken, für die eine Prognose ihres langfristigen Tragverhaltens vorzunehmen ist, aufgezeigt, wie groß dieser individuelle Einfluss auf die Simulationsergebnisse sein kann, wenn Modellierer basierend auf Laborversuchsdaten Gebirgskennwerte zur physikalischen Abbildung des Gebirgsverhaltens ermitteln. Dieser Prozess und insbesondere der dabei zugrundeliegende Faktor Mensch wurden mittels unterschiedlicher methodischer Ansätze der Arbeits- und Organisationspsychologie erfasst und anschließend bewertet.

Die Untersuchung zeigt, dass unerwünschte Einflüsse des Faktors Mensch proaktiv durch geeignete Maßnahmen aufgezeigt, erfasst und reduziert werden sollte (Muxlhanga 2021, Muxlhanga et al. 2023).

Generell erwies sich die Verbindung von Td-Forschung mit Forschung zur menschlichen Zuverlässigkeit als wertvoll für sicherheitsgerichtete Fragestellungen. Das gilt insbesondere für Formate, die auf Konsensfindung und Reflexion abheben.

Die inhaltliche Einbindung mancher disziplinärer und interdisziplinärer Forschungsarbeiten in die transdisziplinären Formate im TAP SAFE erfolgte eher indirekt, wie zum Beispiel bei den anfänglich durchgeführten Literaturstudien. In manchen Fällen steht sie noch weitgehend aus, wie bei den Arbeiten zur Analyse des langfristigen Systemverhaltens oder der radioökologischen Modellierung. Einige Teams wurden bislang nur punktuell eingebunden. Dies ist vor allem den Herausforderungen in der COVID 19-Pandemie und der Tatsache geschuldet, dass die Arbeiten in einige Modulen aus personellen Gründen erst zu einem ungewöhnlich späten Zeitpunkt begonnen werden konnten (vgl. 2.2 Einfluss der Pandemiebedingungen).

Die interdisziplinäre Auswertung der Td-Formate (siehe oben) erfolgt überwiegend im Rahmen von Dissertationen an der TUC. Es sind jedoch auch Formate angedacht, in denen

sich einige Verbundpartner gemeinsam damit befassen, spezifische Ergebnisse aus den Td-Formaten aufzunehmen und interdisziplinär weiterzuentwickeln. Als Grundlage für die interdisziplinäre Auswertung wurde SAFE-intern ein „Living Document“ (vgl. auch 3.5 Dokumentation der Ergebnisse) erstellt, in dem die Ergebnisse aus den Td-Formaten erfasst sind.

Die Arbeitsteilung und -struktur bei SAFE war bisher weit überwiegend durch gegenseitigen Respekt und Offenheit gegenüber den Vertretern anderer Disziplinen geprägt. An den periodischen SAFE-Treffen bestand Gelegenheit für alle, sich auch zu Modulen oder Formaten auszutauschen, an denen einzelne Teams nicht direkt beteiligt waren.

3.3 Eignung der Td-Methoden

Leitfrage 3: Wie gut eignen sich die bisher im Modul/TAP angewendeten Td-Methoden zur Bearbeitung der zugrundeliegenden Fragestellungen gemäß Vorhabenbeschreibung?

Zu Beginn wurde in SAFE mit Fokusgruppen und Workshops gearbeitet, zwei Formaten, die den Verbundpartnerinnen bereits aus anderen disziplinären und interdisziplinären Kontexten vertraut waren. Grund dafür war vor allem, dass sich das SAFE-Team für Methoden entschied, die es gut einschätzen konnte und die es für geeignet hielt, um die Forschungsfragen zu beantworten. Die Pandemiesituation führte dazu, dass neue Varianten dieser Formate ausprobiert wurden. Im weiteren Verlauf von SAFE ebnete die zunehmende Auseinandersetzung mit transdisziplinärer Forschung den Weg zur Anwendung zusätzlicher, für die Entsorgungsforschung innovativer Formate, die zum Beispiel das Werkzeug „Rich Picture“ nutzten.

Das zentrale Td-Experiment bei SAFE wurde mit einem Fokusgruppen-Format eingeleitet (vgl. Abbildung 3). Innerhalb von TRANSENS wurde anfänglich diskutiert, ob und inwiefern sich Fokusgruppen eignen, um die Forschungsfragen zum Safety Case transdisziplinär zu beantworten oder Td-Forschung zum Safety Case vorzubereiten. Schließlich belegten die Ergebnisse des Formats, dass sich Fokusgruppen für transdisziplinäre Entsorgungsforschung eignen. Durch die Regeln zum Austausch und zur Vertraulichkeit innerhalb der Fokusgruppen und Workshops wurde eine offene, fokussierte und vertrauensvolle gemeinsame Arbeit gefördert.

Das Fokusgruppen-Format lieferte Impulse zur Optimierung des Safety Case und dafür, ein zusätzliches Td-Format in SAFE durchzuführen, die Workshops im Rahmen der Graduiertenakademie der TU Clausthal: In der Fokusgruppe zeigte sich, dass die Auseinandersetzung mit einer bestimmten Gruppe von Personen eine besondere Herausforderung in Partizipationsformaten und beim Diskurs zum Safety Case darstellt. Es handelt sich dabei um Spezialisten aus für den Safety Case relevanten Disziplinen wie etwa aus dem Bereich der Geo- oder der Ingenieurwissenschaften, die keinen engeren Bezug zu Entsorgungs- und Endlagerungsfragen und zum Safety Case aufweisen. Solche Personen bringen oft entschieden Fachwissen in den Diskurs ein, ohne den entsprechenden Kontext im Safety Case ausreichend zu kennen und verstanden zu haben. Daher wurde entschieden, diese Akteursgruppe – ergänzend zur ursprünglichen Planung – in der Graduiertenakademie der TU Clausthal zu adressieren.

Angesichts der Pandemiesituation zu Beginn des Vorhabens wurde in Betracht gezogen, das Fokusgruppen-Format online durchzuführen. Zur Vorbereitung wurde daher ein „Trockentest“ online durchgeführt, der Hinweise für das eigentliche Format lieferte (vgl. 2.2 Einfluss der Pandemiebedingungen). Bei den eigentlichen Fokusgruppen-Formaten zeigte sich, dass es wohl sinnvoll gewesen wäre, innerhalb des Td-Partner-Typs „Akteure mit Erfahrung zum Tool Safety Case“ noch weiter zu differenzieren, und zwar nach größerer und geringerer Nähe zu den naturwissenschaftlich-technischen Sachverhalten. Da diese Differenzierung nicht erfolgte, entstand in der Fokusgruppe eine Tendenz zur Einigung auf einen gemeinsamen Nenner der Wissensbestände der Teilnehmer: Die Kommunikation zum Thema Safety Case. Die Fokusgruppe, wie ursprünglich vorgesehen, zur Themenfindung für folgende Td-Formate, vor allem mit der AGBe, einzusetzen, hat sich nur bedingt bewährt. Zum einen lieferte das Fokusgruppenformat wenig Ergebnisse, die sich als Themen für transdisziplinäre Forschung eigneten. Zum anderen war die AGBe gewillt und in der Lage, ihre eigenen inhaltlichen Schwerpunkte zu setzen, nachdem sie sich rasch und engagiert in die Thematik des Safety Case eingearbeitet hatte. Demnach wäre ein vorbereitendes Format für die Arbeit der AGBe nicht notwendig gewesen.

Die Zusammenarbeit mit der AGBe fand ausschließlich im klassischen Workshop-Format mit Vorträgen, Plenumsdiskussionen und Gruppenarbeit statt. Diese wiederholt angewendeten Formate führten zu sehr guten Ergebnissen. Angesichts der zunehmend eingespielten und vertrauensvollen Zusammenarbeit zwischen AGBe und Verbundpartnern im TAP SAFE stellte sich jedoch die Frage, wie weit „professionelle Distanz“ zwischen Begleitgruppe und akademischer Forschung gewahrt werden soll und muss. Dürfen Beobachterinnen fachliche Fragen beantworten, die während Gruppenarbeiten der AGBe an sie gerichtet werden und den Verlauf der weiteren Diskussion beeinflussen können? Diese und ähnliche Fragen wurden unter den Verbundpartnern in SAFE diskutiert und bei der Auswertung der Ergebnisse thematisiert.

Im weiteren Verlauf von SAFE werden nun zunehmend die in der Td-Toolbox des TdLab und des TdNET (scnat 2022) angebotenen Formate und Werkzeuge genutzt.

3.4 Mehrwert durch Transdisziplinaritätsforschung

Leitfrage 4: Inwiefern sehen die Module/TAPs einen Mehrwert für sich durch die Transdisziplinaritätsforschung?

In TRANSENS wird die Wissensproduktion durch transdisziplinäres Forschen systematisch reflektiert. Die Transdisziplinaritätsforschung befasst sich mit Konzepten, Methoden und Praxis der transdisziplinären Formate bei TRANSENS. Indem sie die transdisziplinäre Forschung analysiert, mitgestaltet und reflektiert, leistet sie einen Beitrag dazu, die transdisziplinäre Entsorgungsforschung zu konkretisieren und ihre Stärken und Grenzen auszuloten (vgl. auch TRANSENS 2019, S. 11).

Anfänglich wurde die Rolle der Transdisziplinaritätsforschung im Vorhaben TRANSENS kontrovers diskutiert: Kann eine Transdisziplinaritätsforschung die Arbeit der Teams, die sie zuvor beraten hat, mit ausreichender Unabhängigkeit betrachten und beurteilen? Im Verlauf des TAP SAFE lösten sich die Bedenken zur Unvereinbarkeit von Beobachtung und

Beratung zunehmend auf. Letztlich hat sich im TAP SAFE eine beratende Begleitung durch die Transdisziplinaritätsforschung als wertvoll erwiesen.

Zu Beginn des Vorhabens wiesen die meisten Teams noch keine Erfahrungen mit Td-Forschung auf. Die Schulungen zur transdisziplinären Forschung, die das ETH-TdLab anbot, zum Beispiel zum 10-steps Ansatz, bildeten eine wertvolle Grundlage für die Arbeit der Teams im TAP SAFE. Dennoch näherten sich die Teams neuen, ungewohnten Formaten nur zögernd an (vgl. 3.3 Eignung der Td-Methoden). Erst nachdem sie Erfahrungen mit der Anwendung vertrauterer Formate wie Fokusgruppe und Workshop in der Zusammenarbeit mit den Td-Partnern gesammelt hatten, begannen sie, das Methodenspektrum auszuweiten und auch mit ihnen bisher unbekanntem Formaten zu experimentieren. Zur Vorbereitung des Formats im Rahmen der Graduiertenakademie (vgl. Abbildung 3) tauschten sich die beteiligten Teams dann intensiver mit dem ETH-TdLab aus und begannen, unterschiedliche Elemente aus der Td-Toolbox des TdLab und des TdNET (scnat 2022) einzuplanen.

Die Td-Forschung bei SAFE wurde durch die Transdisziplinaritätsforschung anfangs überwiegend schriftlich mit online-Umfragen ausgewertet. Diese noch zu wenig differenzierte Kommunikation brachte immer wieder Verständigungsprobleme zwischen den SAFE-Teams und der Transdisziplinaritätsforschung mit sich. In späteren Phasen wurden die Befragungen daher durch Besprechungen ergänzt, ein Vorgehen, das die inzwischen etablierten online-Treffen erleichterten. Damit verbesserten sich sowohl die Verständigung zwischen dem Team der Transdisziplinaritätsforschung und den Teams in SAFE als auch die Qualität der Beobachtungen und Beurteilungen der Transdisziplinaritätsforschung. Darüberhinausgehend könnte vermutlich substanzieller Mehrwert entstehen, wenn das Team der Transdisziplinaritätsforschung an den Td-Formaten teilnähme. Seitens der SAFE-Teams wird es allerdings nicht als sinnvoll angesehen, wenn den Td-Partnern eine Überzahl an TRANSENS-Forschern gegenübersteht. Aufzulösen ist dies allenfalls in Formaten, an denen eine größere Anzahl von Td-Partnerinnen und Partnern teilnimmt.

3.5 Dokumentation der Ergebnisse

Leitfrage 5: Wie wurden transdisziplinäre (Zwischen-)Ergebnisse der Module/TAP dokumentiert und in Bezug zur Vorhabenbeschreibung gesetzt? Was ist in Zukunft geplant?

Zum Fokusgruppenexperiment (vgl. Abbildung 3) wurden sowohl Beobachtungsprotokolle erstellt als auch Transkripte der Audioaufnahmen aus diesem Format vorgenommen. Nach dem Experiment zeigte sich, dass der Mehrwert, den Audioaufnahmen und Transkription im Vergleich zu den Beobachtungsprotokollen boten, gering war. Daher sind die Ergebnisse aller darauffolgenden Td-Formate vor allem in Beobachtungsprotokollen dokumentiert. Ergänzend hielten alle an den jeweiligen Formaten beteiligten Team-Mitglieder jeweils fünf Punkte, Beobachtungen oder Botschaften aus dem Format schriftlich fest, die ebenfalls in die Auswertung der Formate eingegangen sind (vgl. 3.2 Inter- und Transdisziplinarität).

An den periodischen Treffen aller Teams, die an SAFE beteiligt sind, wurden die Ergebnisse interdisziplinär sowohl aus unterschiedlichen Perspektiven als auch integrierend reflektiert und die Ergebnisse dieser Reflexionen in Ergebnisnotizen festgehalten. Eine erste

Zusammenschau und Synthese der Ergebnisse erfolgte in (Röhlig et al. 2021), weitere Aktualisierungen bei den folgenden Arbeits- und Projekttreffen von TRANSENS. Seit Mitte 2022 existiert ein Arbeitsdokument („Living Document“) in SAFE, in dem alle an den Td-Formaten Beteiligten Ergebnisse der Td-Formate strukturiert festhalten können. Vorerst wird das Dokument allerdings nur von wenigen Mitgliedern der SAFE-Teams aktiv genutzt.

Die disziplinären, interdisziplinären und transdisziplinären Ergebnisse von TRANSENS wurden in wissenschaftlichen Publikationen und Vorträgen dokumentiert. Zudem haben die an SAFE beteiligten Teams Workshops zu den Forschungsfragen von SAFE an Tagungen und Veranstaltungen der Fachcommunity durchgeführt (vgl. 3.8 Wirkung in die Gesellschaft). Eine umfassende Dokumentation von Methoden und Ergebnissen werden die Masterarbeiten und Dissertationen enthalten, die im Rahmen des TAP SAFE in den Teams TUC-ELS, TUC-GEMS, UK-A&O und LU-IRS durchgeführt werden. Ergebnisse aus dem zentralen Td-Experiment sind in Box 2 wiedergegeben.

3.6 Beiträge der Td-Partner

Leitfrage 6: Was haben die Td-Partner und in welcher Form bisher in den Forschungsprozess eingebracht?

Die Beiträge der Td-Partner zur Beantwortung der Forschungsfragen (vgl. 3.1 Verständigungsprozesse) wurden in den Td-Formaten eingeholt, dort erfasst (vgl. 3.5 Dokumentation der Ergebnisse) und anschließend interdisziplinär ausgewertet (vgl. 3.2 Inter- und Transdisziplinarität). Die Td-Partnerinnen leisteten direkte Beiträge zu allen drei Forschungsfragen (vgl. 1.2 Ziele von SAFE) und damit zum Optimierungspotenzial des Safety Case. Sie gaben Hinweise, welche Paradigmen, Gegenstände und Ergebnisse des Safety Case sie als relevant ansehen, wo Änderungen und Ergänzungen angebracht sind und wie diese ausgestaltet werden sollten.

Td-Formate zielen darauf ab, gemeinsam mit gesellschaftlichen Akteuren, „jedoch mit unterschiedlichen Mandaten und Rollen, Wissen zu erzeugen und gesellschaftliche Handlungsfelder zu gestalten“ (Grunwald et al. 2020, S. 106). Mit Td-Formaten werden zusätzliche Wissensbestände und andere Sichtweisen in den Forschungsprozess eingebracht. Dazu zählen berufliche Kenntnisse und Erfahrungen der gesellschaftlichen Akteure.

Im Verlauf von SAFE zeigte sich insbesondere, dass nicht nur die Praxisakteure, die am Fokusgruppenexperiment beteiligt waren, sondern auch die Mitglieder der AGBe wertvolles Wissen und Erfahrungen aus ihrem beruflichen Kontext in das Projekt einbrachten. Konkrete Anregungen, wie der Safety Case informationstechnisch besser gestaltet werden könnte, führten zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit dem digitalen Safety Case. Die Ergebnisse von trans- und interdisziplinären Formaten zu diesem Thema wurden in den Workshop „Digital Safety Case Methods and Development“ der OECD/NEA eingebracht, der im Oktober 2022 in Berlin stattfand.

Generell war der Forschungsprozess bei TRANSENS dadurch erschwert, dass sich nicht nur die Td-Partner, insbesondere die AGBe, in einer neuen Rolle wiederfanden, sondern auch die meisten Verbundpartner bei TRANSENS, die zuvor keine Td-Forschung betrieben

hatten. Die AGBe orientierte sich bald in dieser Situation, setzte selbst Themenschwerpunkte (vgl. TRANSENS 2023) und entwickelte, wie sich an den Arbeits- und Projekttreffen von TRANSENS zeigte, ein Selbstverständnis als Vermittlerin zwischen akademisch Forschenden und interessierter Bevölkerung. In dieser Rolle brachte sie viele Aspekte in SAFE ein, die die Wahrnehmung und Einschätzung von Safety Cases in der interessierten Öffentlichkeit betreffen. Dazu zählen konkrete Anregungen, wie der Safety Case mittels Informationstechnik besser zugänglich, nachvollziehbarer, umfassender und damit letztlich wohl auch vertrauenswürdiger gestaltet werden kann.

3.7 Transdisziplinär erzeugtes Wissen

Leitfrage 7: Erbringen die transdisziplinären Forschungsansätze Wissen, das ohne Td-Partner nicht erlangt worden wäre?

Die Aspekte einer Optimierung des Safety Case (vgl. 1.2 Ziele von SAFE), die von den Td-Partnern angesprochen wurde, wären möglicherweise auch im Rahmen von „desk research“ oder beim interdisziplinären Austausch zwischen Forschenden aus einem akademischen Umfeld als diskussionswürdig identifiziert worden – eine dezidierte Forschungs- und Entwicklungsaktivität mit einer entsprechenden Allokation von Ressourcen vorausgesetzt. Der Mehrwert der Td-Formate liegt vor allem darin, die spezifischen Sichtweisen der Td-Partnerinnen auf den Safety Case besser zu verstehen und die Perspektiven der beteiligten Wissenschaftlerinnen zu erweitern. Die spezifischen Sichtweisen sind besonders im Fall der AGBe relevant für den Entsorgungsweg. Herkömmliche Diskurs- und Partizipationsformate mit der interessierten Öffentlichkeit erreichen in der Regel nur einen begrenzten Teilnehmerkreis, der ggf. ein besonderes Spektrum an Wertvorstellungen und Interessen mitbringt. Wie die große, schweigende Mehrheit auf den Safety Case blickt, ist kaum bekannt. Hier vermittelt der Austausch mit der AGBe, die Bereitschaft zeigt, sich intensiv mit diesem Instrument auseinanderzusetzen, wertvolle Einsichten, die mit anderen Forschungsansätzen, wie zum Beispiel Befragungen, nicht erzielt werden können.

Der Td-Ansatz steigert potenziell die Akzeptanz von Spezialistinnen im Bereich des Safety Case, sich mit anderen, gegebenenfalls auch unbequemen Wahrheiten auseinanderzusetzen und diese in der Sicherheitsbetrachtung zu berücksichtigen. Speziell aus der arbeits- und organisationspsychologischen Sicht auf menschliche Zuverlässigkeit bietet transdisziplinäre Forschung die Chance, sicherheitstechnische Betrachtungen gesamthafter als zuvor aus menschlicher Perspektive durchzuführen. Dies geht deutlich über die derzeitige sicherheitstechnische Bewertungspraxis hinaus, welche den Faktor Mensch kaum direkt in den Safety Case einbindet und damit latente Sicherheitsprobleme schaffen kann.

Bei einem Arbeitstreffen bei TRANSENS vermutete die AGBe, dass das Vertrauen der interessierten Öffentlichkeit in Wissen, das mit Td-Formaten gewonnen wurde, höher sei als das Vertrauen in Wissen, das ohne Einbindung gesellschaftlicher Akteure erzeugt wurde. Aufgrund dieser Einschätzung lässt sich annehmen, dass die Td-Partner nicht nur andere Wissensbestände und Sichtweisen in SAFE einbringen, sondern auch einen Beitrag

zur Wirkung der Ergebnisse aus SAFE in die Gesellschaft leisten. Der Einbezug von Td-Partnern trägt potenziell auch zur Legitimität des Safety Case bei.

Box 2: Zentrales Td-Experiment: Ausgewählte Ergebnisse zu Erarbeitung, Inhalten und Kommunikation des Safety Case

Im einleitenden **Fokusgruppenexperiment** mit ausgewählten Akteuren mit Erfahrungen zum Tool Safety Case wurden Ergebnisse erzielt, die sich vor allem auf die Erarbeitung und die Kommunikation des Safety Case beziehen:

- In den Teams, die Safety Cases erarbeiten, besteht die Gefahr einer Ritualisierung und Verselbständigung, zum Beispiel in Zusammenhang mit der FEP-Bearbeitung (FEP, features, events and processes, sind Eigenschaften, Ereignisse und Vorgänge, die verwendet werden, um Szenarien von künftigen Entwicklungen des Endlagersystems zu entwickeln) und der numerischen Modellierung.
- Die Verwendung des Begriffs „Nachweis“ in Zusammenhang mit dem langen Bewertungszeitraum führt zu Verständigungsproblemen. Eine Klärung hinsichtlich von Konzepten wie „Sicherheit“ und „Nachweis“ erscheint notwendig. In der Endlagersicherheitsanforderungsverordnung wird der Begriff „Nachweis“ bereits vermieden.
- Komplexität und Umfang des Safety Case sind eine inhaltliche und kommunikative Herausforderung; sie sind der Transparenz hinderlich – eine Verknappung und Komplexitätsreduktion ist je nach Kontext erforderlich.
- Nützlich wäre die Bereitstellung einfach nachvollziehbarer Argumentationslinien und einfach nachvollziehbarer Rechnungen, zum Beispiel Dreisatz, mit denen sich Ergebnisse des Safety Case abschätzend überprüfen lassen.
- Eine hierarchische zielgruppenorientierte Dokumentation des Safety Case, wie im Ausland zum Teil bereits praktiziert, wäre von Vorteil.
- In Partizipationsformaten und im Diskurs ist die Auseinandersetzung mit Spezialisten relevanter Disziplinen, jedoch ohne engeren Bezug zu Entsorgungs- und Endlagerungsfragen und zum Safety Case eine besondere Herausforderung.

Der **erste Workshop mit der AGBe** zielte darauf ab, Ziele und Erwartungen zu klären. Das fachliche Interesse der AGBe sollte geweckt und Wissen vermittelt werden. Zudem war vorgesehen, Themen für den zweiten Workshop, den Intensivworkshop, zu identifizieren und eine Arbeitsgruppe für diesen Workshop zu bilden, die aus interessierten Mitgliedern der AGBe bestand. Im Workshop äußerte die AGBe Erwartungen an den Safety Case. Diese Erwartungen richteten sich methodisch auf die Themen Redundanz, Adressierung von Worst-Case-Fällen und Praxistests zur Funktionalität. Stärker inhaltlich ausgerichtet waren die Erwartungen an die Behandlung von menschlichem Eindringen in ein verschlossenes Endlager und zur Langzeitdokumentation. Zudem befasste sich die AGBe mit Governance-

Fragen und der Kommunikation des Safety Case. Für die Arbeit im folgenden Intensivworkshop wählte sie das Thema FEP, features, events and processes.

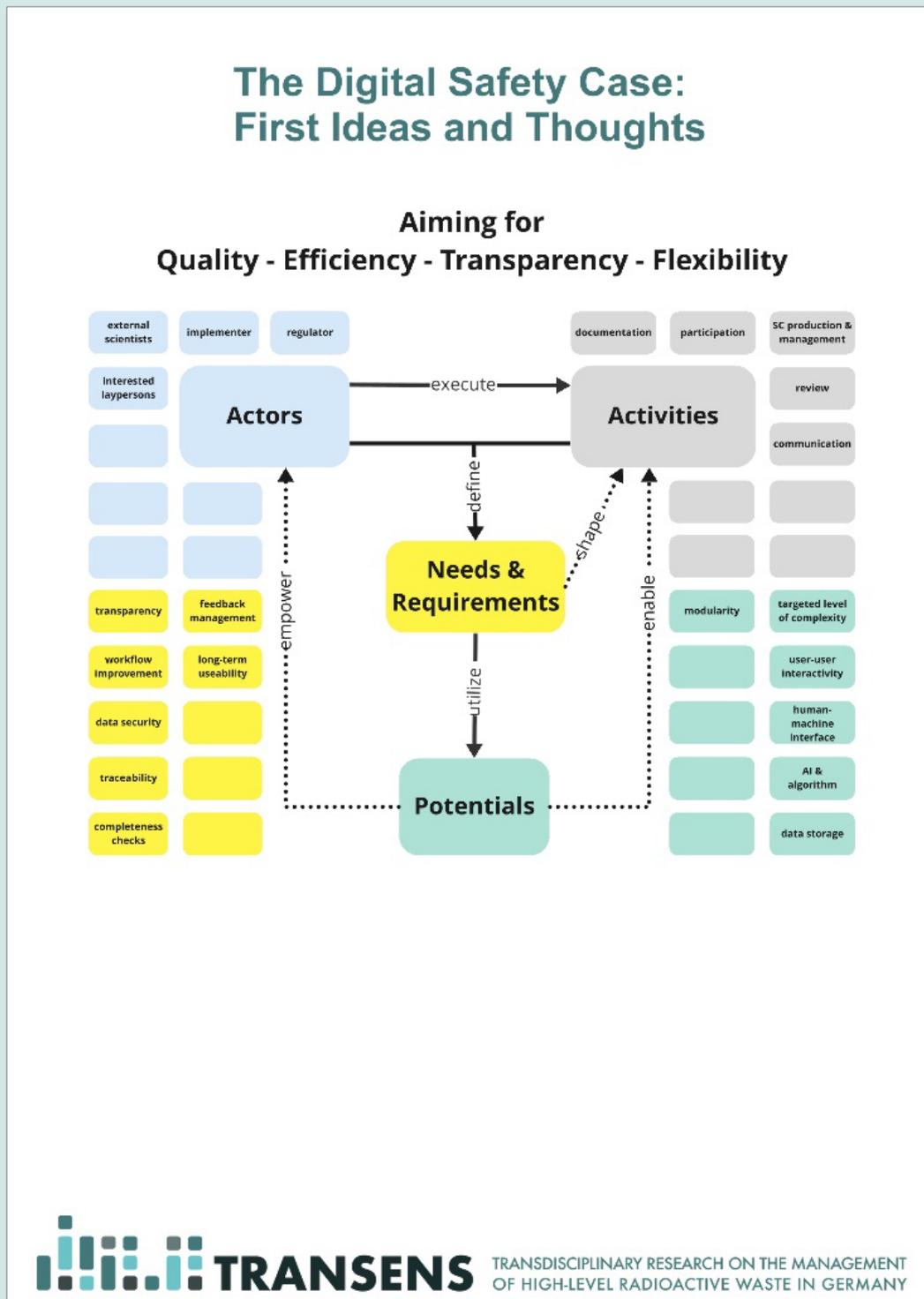
Im **zweiten Workshop mit der AGBe („Intensivworkshop“)** entstanden folgende Ergebnisse:

- Die AGBe konnte prinzipiell gut mit der Idee „FEP-Ansatz“ umgehen. Es gab keine Fundamentalkritik, sondern Verständnis und den Willen, sich in das Thema einzuarbeiten und zu Verbesserungen beizutragen.
- Die AGBe äußerte Interesse an bestimmten FEP, zum Beispiel zu mikrobiellen Einflüssen und zu Auswirkungen menschlichen Handelns in der Zukunft auf das Barrierensystem.
- Sie wies auf Schwächen und Unklarheiten bei der Verwendung von Begriffen hin.
- Die AGBe entwickelte Ideen zum so genannten FEP-Processing, interaktiver Arbeit, grafischer Aufbereitung sowie zum Wissensmanagement. Nach Auffassung des SAFE-Teams sind diese plausibel, hilfreich und zielführend und lassen sich in einem „digitalen Safety Case“ gut umsetzen. Die Entwicklung von digitalen Safety Cases ist gegenwärtig Gegenstand von Entwicklungen in Endlagerorganisationen und von internationaler Kooperation.
- Es gab Hinweise zur Zusammensetzung der FEP-Expertengruppen, eine Öffnung für Nicht-Naturwissenschaftler sei sinnvoll.

Im **dritten Workshop mit der AGBe** wurden die Erkenntnisse zum digitalen Safety Case bestätigt, vertieft und ergänzt. Diese Ergebnisse wurden bereits in die Fachcommunity eingebracht (Röhlig 2022). Weitere Ergebnisse waren:

- Der angestrebte Schritt von einzelnen FEP zu einer ganzheitlichen Sicht von Szenarien gelang nur zum Teil. Dies ist nicht als negativ zu bewerten: Zum einen zeigt sich, dass die AGBe noch mehr zu FEPs erfahren wollte. Zum anderen bestätigt sich damit ein Eindruck aus anderen Austauschen mit Interessierten: Besonderes Interesse gilt der Frage der Vollständigkeit von FEP-Listen. Ein Schritt in Richtung Szenarien gelang jedoch über die Frage nach möglichen Kombinationen auslösender FEP. Die von der AGBe letztlich identifizierten Szenarien wichen nicht signifikant von dem ab, was auch in Sicherheitsanalysen betrachtet würde.
- Es kamen verstärkt FEP und dadurch bedingte Szenarien zur Sprache, die außerhalb des klassischen Rahmens einer Sicherheitsanalyse liegen, beispielsweise im normativen Bereich und im Bereich von „programme uncertainties“, also von Ungewissheiten zum Verlauf des Entsorgungswegs.
- Die technische Barriere Behälter wird als besser kontrollierbar wahrgenommen als die geotechnischen und geologischen Barrieren. Daher legen viele Menschen besonderen Wert darauf, dass der Behälter seine Sicherheitsfunktionen auch tatsächlich erfüllt.

- Der Konsens „Es braucht ein Umweltmonitoring auf Dauer“ in der AGBe relativiert das klassische Endlagerkonzept. Ebenso wie Ideen, die Behälter längerfristig vor Ort zu überwachen und die Daten kabellos an die Erdoberfläche zu übertragen. Dieser Punkt fügt sich gut mit einem dynamischen Bild der Endlagerung zusammen.



The Digital Safety Case: Potentials

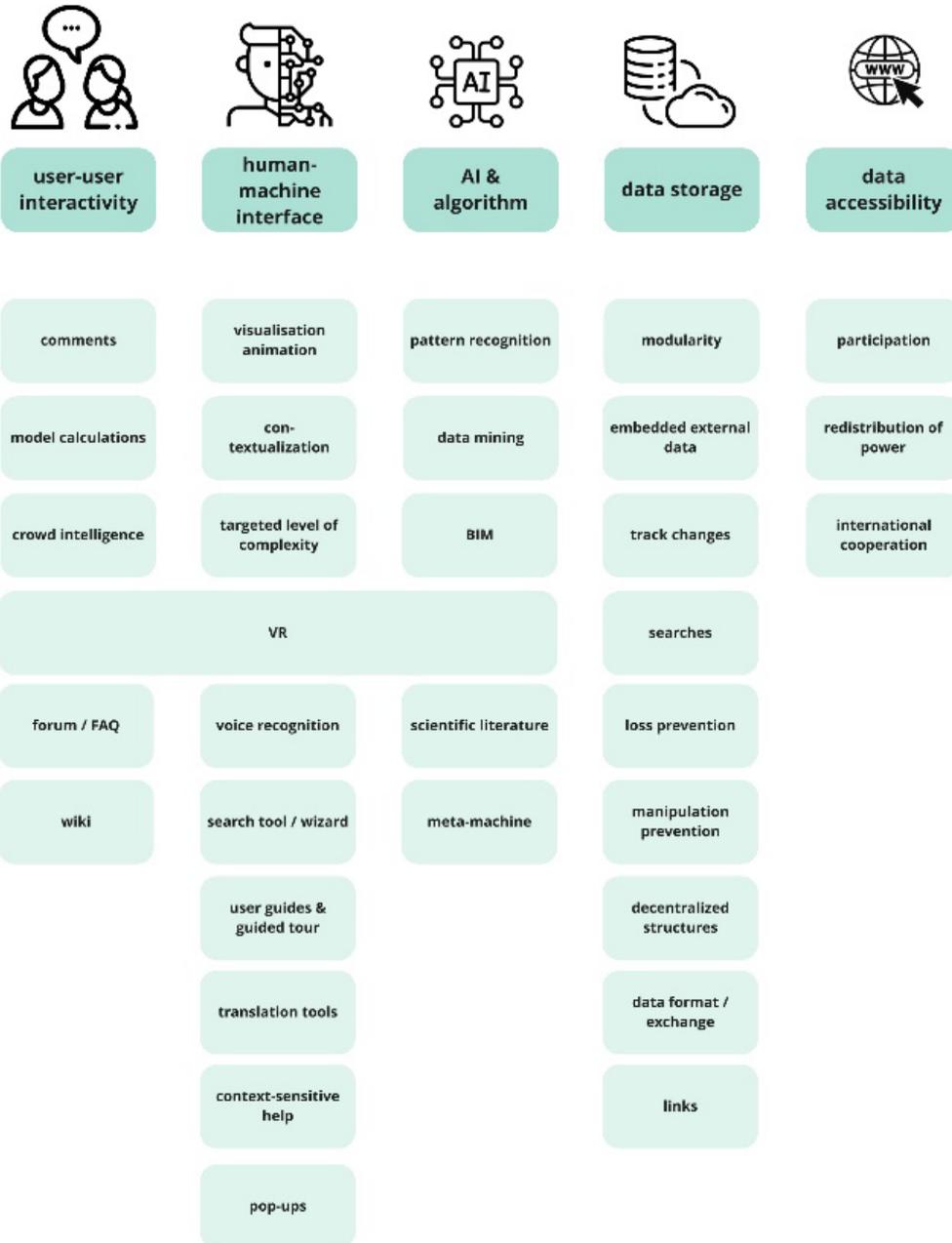


Abbildung 4: Poster zum digitalen Safety Case am NEA IDKM/EGSSC Workshop on Digital Safety Case Methods and Development 2022

3.8 Wirkung in die Gesellschaft

Leitfrage 8: Entsteht im Vorhaben Wissen, das potentiell für Entscheidungsfindung und Problemlösung bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle nutzbar ist? Wie gut wurden die Ziele bzgl. Lösung des gesellschaftlichen Problems in den TAPs bisher erreicht?

Die Zielsetzung von SAFE wurde insbesondere mit Blick auf die Sicherheitsuntersuchungen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens formuliert. Diese stellen eine besondere inhaltliche und kommunikative Herausforderung dar, wie bereits die ersten Beteiligungsformate im Verfahren zu diesem Thema gezeigt haben. Die Problematik von Komplexität und Umfang wird durch die Vielzahl der zu betrachtenden Untersuchungsräume und Teiluntersuchungsräume im Verfahren noch einmal wesentlich verschärft. Daher ist zu vermuten, dass eine Erstellung und Durchführung dieser Sicherheitsuntersuchungen als elektronischer Safety Case entscheidende Vorteile brächte. Der Input aus den Td-Formaten wäre für eine solche Entwicklung hilfreich. Allerdings ist abzusehen, dass solche Entwicklungen für die demnächst zu erstellenden repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zu spät kämen, allenfalls wäre dies im Rahmen der weiterentwickelten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen nach § 16 StandAG denkbar.

Ergebnisse der transdisziplinären Forschung im TAP SAFE wurden bisher in verschiedene nationale und internationale Veranstaltungen eingebracht. Vonseiten des TAP SAFE waren an diesen Veranstaltungen sowohl Verbundpartner als auch Td-Partnerinnen anwesend. Beispiele sind das Symposium safeND des BASE 2021 (Hassel et al. 2021, Sträter und Krütli 2021, Röhlig et al. 2021), der 3rd Joint Workshop of the Forum on Stakeholder Confidence (FSC) and the Integrated Group for the Safety Case (IGSC) in Bern 2022 (Eckhardt und Röhlig 2022a), die „3rd Conference on Key Topics in Deep Geological Disposal“ der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (Röhlig et al. 2022, Eckhardt und Röhlig 2022b) und der Workshop „Digital Safety Case Methods and Development“ des IGSC in Berlin, der ebenfalls 2022 stattfand (Röhlig 2022), sowie ein Vortrag im Nationalen Begleitgremium². Solche Veranstaltungen bieten Gelegenheit, die Methoden und Ergebnisse transdisziplinärer Forschung sowohl Akteurinnen der nuklearen Entsorgung als auch Forschenden, die in diesem Bereich tätig sind, nahezubringen.

Erfahrungsgemäß ergeben sich mehrere Herausforderungen: Zunächst muss jeweils Zielgruppen-gerecht die Idee und Motivation transdisziplinärer Forschung zur nuklearen Entsorgung kommuniziert werden. Dies nimmt notwendigerweise einen relativ großen Raum in Präsentationen und Vorträgen ein. Anschließend ist dann die fachliche Perspektive hinsichtlich der Gestaltung des Safety Case einzunehmen: Welche Themen wurden warum behandelt, mit welchen Ergebnissen? Die Zusammenführung beider Aspekte führt letztlich auch zu einer Legitimation einerseits der Ergebnisse zum Safety Case und andererseits des transdisziplinären Forschungsansatzes an sich, vgl. hierzu die in 1.2 Ziele des TAP SAFE formulierten Ziele. Die Logik einer Legitimation hängt dabei von der Perspektive ab: Für Spezialisten dürfte die (von ihnen anerkannte) fachliche Qualität der Ergebnisse den transdisziplinären Forschungsansatz legitimieren, für an Partizipation interessierte Akteure der Wert der fachlichen Ergebnisse aufgrund des transdisziplinären Ansatzes, mit dem sie

² <https://www.youtube.com/watch?v=9x9NjK7Rro8&t=7175s>).

erzielt wurden, steigen. Nach Einschätzung der jeweils Vortragenden ist es in den oben genannten Veranstaltungen gelungen, beide Perspektiven gut zu adressieren.

Die Arbeit mit der AGBe belegt, welche Sachlichkeit, Sachkundigkeit und Tiefe eine Diskussion mit Td-Partnern erreichen kann, wenn diese (i) interessiert und engagiert sind und (ii) kontinuierlich in den Diskurs eingebunden werden. Dies kann als Muster für Beteiligungsformate auch im Standortauswahlverfahren gesehen werden. Zu beachten ist, dass mit der AGBe eine über Jahre währende kontinuierliche Partnerschaft entwickelt wurde. Besondere Merkmale dieser Partnerschaft sind das gewachsene Vertrauensverhältnis wie auch die Lernkurve der AGBe-Mitglieder im Hinblick auf Endlager- und Entsorgungs-relevante Themen. Es gibt also insbesondere Analogien zu *kontinuierlichen* Beteiligungsformaten, wie sie zum Beispiel in der Schweiz oder Schweden etabliert wurden (Soderblom 2013). Es wurde demonstriert, dass ein Mehraugenprinzip mit Einbezug von Nicht-Spezialisten nützlich und möglich ist.

Im Vorhaben TRANSENS entsteht – abgesehen von neuem interdisziplinären bzw. disziplinären Wissen – Wissen, das nicht in direkter Verbindung zu den gestellten Forschungsfragen/Forschungsarbeiten und Erkenntnissen generiert wird, sondern sich eher darin äußert, dass sich das gegenseitige Verständnis von Kompetenzen und Sichtweisen der beteiligten Partnerinnen verbessert. Das so gewonnene Wissen kann sich nachhaltig positiv auf die Entscheidungsfindung und Problemlösung / Problemvermeidung im Kontext des Safety Case auswirken. Belegen lässt sich diese Wirkung jedoch kaum, da kein direkter Vergleich zu einem nicht transdisziplinären Projekt gezogen werden kann.

Die Fragestellung aus der Vorhabenbeschreibung nach „Argumente[n] für / gegen Einbezug von Sichtweisen von Nicht-Spezialisten?“ kann eindeutig beantwortet werden: Starke Indizien sprechen für einen solchen Einbezug, es ist sogar abzusehen, dass sich mit der „anwendungsorientierten transdisziplinären Grundlagenforschung zur nuklearen Entsorgung“ ein neuer Typ von Forschung entwickelt und dass eine Anwendung und Anpassung von Td-Methoden im Rahmen dieser Forschung erfolgt.

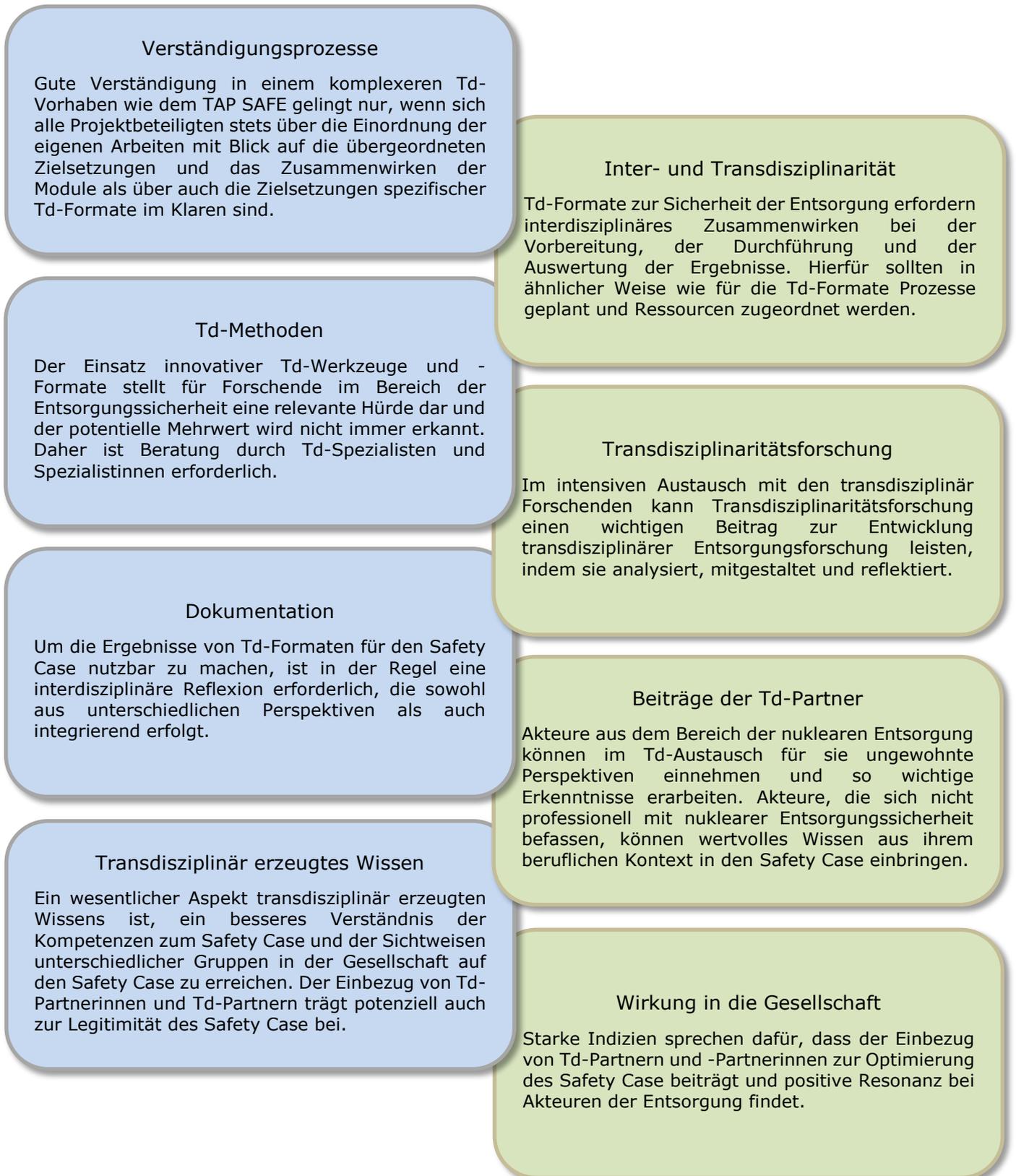


Abbildung 5: Wichtige Erkenntnisse aus der Beantwortung der Leitfragen

4. Ausblick

Die Selbstevaluierung bei TRANSENS war, wie zu Beginn von Kapitel 2 ausgeführt, formativ ausgerichtet: Reflexionen der bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen aus dem TAP SAFE sollen in die Gestaltung künftiger Td-Formate bei SAFE einfließen und dazu beitragen, dass die Forschungsziele erreicht werden. Durch die Auseinandersetzung mit der transdisziplinären angewandten Grundlagenforschung sollen Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt stimuliert werden (vgl. auch 1.2 Ziele von SAFE). Einige Erkenntnisse aus der Selbstevaluierung weisen aber auch über den Abschluss von TRANSENS hinaus.

4.1 Perspektiven für die transdisziplinäre Sicherheitsforschung

Die Selbstevaluierung ermöglicht es, ein klareres Verständnis davon zu erlangen, was transdisziplinäre Entsorgungsforschung zu Sicherheitsthemen auszeichnet, wo sie vielversprechend ist und wo sie an ihre Grenzen stößt. Spezifische Anhaltspunkte aus SAFE zur transdisziplinären Sicherheitsforschung sind:

- Ein Austausch mit Vertretern der interessierten Öffentlichkeit zu technisch-naturwissenschaftlichen Aspekten der Sicherheit ist möglich und aus der Perspektive von Spezialisten, die am und mit dem Safety Case arbeiten, gewinnbringend.
- Der Zusammenarbeit mit Td-Partnerinnen, insbesondere solchen aus der interessierten Öffentlichkeit, muss ein ganzheitliches Verständnis von Sicherheit zugrunde liegen. Sozial- und geisteswissenschaftliche Aspekte spielen in Td-Formaten zur Sicherheit der Entsorgung radioaktiver Abfälle ebenso eine Rolle wie natur- und technikkwissenschaftliche Aspekte. Von den Teams, die Td-Formate vorbereiten, durchführen und auswerten, ist daher eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit gefordert, die der Kommunikation zwischen allen Beteiligten große Aufmerksamkeit einräumt.
- Die Td-Partner geben vielfach neue Impulse, die sich interdisziplinär evaluieren und weiterentwickeln lassen. Bei Td-Formaten sollten daher ausreichende Ressourcen eingeplant werden, um mit den erzielten Ergebnissen weiterzuarbeiten.
- Angesichts der teils hochgradigen Spezialisierung im Bereich der sicheren Entsorgung ist das Spektrum möglicher Praxispartner vielfältig und breit. Deren beruflicher Wissens- und Erfahrungshintergrund kann sich bei Td-Formaten stark auf die Ergebnisse auswirken. Daher muss der Auswahl der Praxispartnerinnen und den verwendeten Td-Tools große Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Diese Erkenntnisse sollen im weiteren Verlauf des TAP SAFE berücksichtigt werden. Darüberhinausgehend zeigen sie grundlegende Möglichkeiten für die Sicherheitsforschung auf, sich durch einen transdisziplinären Forschungsansatz weiterzuentwickeln.

4.2 Perspektiven für künftige Td-Formate im TAP SAFE

In der ersten Projekthälfte wurden im TAP SAFE Einsichten zu den Möglichkeiten von Td-Forschung bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle und Erkenntnisse zur potenziellen Weiterentwicklung des Safety Case sowie von dessen Kommunikation gewonnen. Die zweite Projekthälfte baut auf diesen Erkenntnissen auf.

Beim zentralen Td-Experiment in SAFE (vgl. 1.4 Aufbau von SAFE) stehen weitere Formate wie die Graduiertenakademie an der TU Clausthal im Mittelpunkt. Dabei soll die Zusammenarbeit mit dem Team der Transdisziplinaritätsforschung von ETH-TdLab intensiviert werden. Diese Zusammenarbeit betrifft insbesondere

- die Auswahl geeigneter Formate für die Td-Forschung angesichts neuer Themen und neuer Td-Partnerschaften sowie
- die Optimierung des Feedbacks durch die Transdisziplinaritätsforschung und unter Umständen
- eine Teilnahme des Teams der Transdisziplinaritätsforschung an den Td-Formaten.

Daran wird sich eine Konkretisierung und ggf. auch Modifizierung der in der Vorhabenbeschreibung dargelegten Planung anschließen.

Eine detaillierte Auswertung der Td-Formate hinsichtlich der Interaktionen in und mit der AGBe, des sich entwickelnden fachlichen Wissens ihrer Mitglieder und möglicherweise daran geknüpfter Prägungen und Einstellungen ist in SAFE geplant. Dies ist auch für das Standortauswahlverfahren von Bedeutung, da in Partizipationsverfahren ähnliche oder vergleichbare Prozesse stattfinden könnten.

Die Interaktion von inter- und transdisziplinärer Forschung in SAFE, die während der COVID-19-Pandemie unter eingeschränkten Möglichkeiten des gegenseitigen Austauschs und der verzögerten Einstellung neuer Mitarbeiter litt (vgl. 2.2 Einfluss der Pandemiebedingungen), soll intensiviert werden. Im Modul zur Ergebnisdarstellung von Modellrechnungen lassen sich dabei Synergien innerhalb von TRANSENS zum TAP TRUST und zum TAP-übergreifenden Thema Ungewissheiten nutzen.

Planerisch und konzeptionell muss nun zeitnah gewährleistet werden, dass alle Teams und Arbeiten zielführend in das zentrale Td-Experiment eingebunden werden. Einige fachliche Aspekte dieser Einbindung sind in Box 3 aufgeführt.

Box 3: Weitere Einbindung fachlicher Arbeiten in das zentrale Td-Experiment des TAP SAFE

In einem TAP-Treffen im Juni 2022 wurde hierzu festgelegt, dass das Thema „Indikatoren“ eine zentrale thematische Schnittstelle zwischen disziplinärer und interdisziplinärer Forschung in den Modulen von SAFE und den Td-Formaten bilden soll. Hierzu wurde bereits vorab eine Verständigung in zwei Workshops – einer zu Indikatoren und Sicherheitsfunktionen, einer zum Code ReSUS (Li 2016, Ghofrani 2016) – in die Wege geleitet. Ein weiterer Workshop soll einer möglichen technischen Unterstützung der transdisziplinären Forschung mit Mitteln der Virtual Reality gewidmet werden.

Im Modul zum langfristigen Systemverhalten werden thermo-hydraulisch-mechanische (THM)-Simulationen im Tonstein durchgeführt. Hierzu soll an der Weiterentwicklung des Stoffmodells „Lux/Wolters/Lerche-T“ für Tonstein sowie dem Barcelona Basic Modell für Bentonit gearbeitet werden. Die Erkenntnisse der THM-Simulationen im Steinsalz und Tonstein können dann für den transdisziplinären Diskurs im zentralen Td-Experiment genutzt werden. Zu Beginn des vierten Projektjahres sollen die Visualisierung orts- und zeitbezogener Zustandsgrößenentwicklungen im Hinblick auf die Beteiligung der interessierten Öffentlichkeit intensiviert und die Bearbeitung der interdisziplinären Forschungsfrage unter Einbezug des menschlichen Faktors fortgesetzt werden.

Eine synthetisierende Dokumentation der Td-Forschung soll künftig begleitend und zeitnah erfolgen. Die methodischen Erkenntnisse, die zu transdisziplinärer Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle gewonnen wurden, sollen dokumentiert und den relevanten Anspruchsgruppen wie akademische Wissenschaft, Praxisakteure, interessierte Öffentlichkeit kommuniziert werden. Das Team des TAP SAFE plant, zentrale Erkenntnisse aus der inter- und transdisziplinären Forschung in einem kurzen Thesenpapier zuhanden von Praxisakteuren zusammenzufassen. Die hierzu notwendige Stoffsammlung wurde mit dem Ergebnisbericht (vgl. 2.5 Dokumentation der Ergebnisse) in die Wege geleitet.

Bereits jetzt wurde eine Vielzahl von Impulsen für die Ausgestaltung und Kommunikation von Safety Cases gewonnen. Nach Einschätzung der im Vorhaben TRANSENS arbeitenden Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sind diese fachlich relevant und können tatsächlich zu der in der Vorhabenbeschreibung angesprochenen Optimierung des Safety Case signifikant beitragen. In der zweiten Hälfte des Vorhabens gilt es nun, neben der Weiterführung der transdisziplinären Forschung verstärkt auf die Kommunikation dieser Ergebnisse in der Fachcommunity und ihre Nutzung für die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle hinzuwirken, der Interaktion mit Praxisakteuren kommt also eine besondere Bedeutung zu (vgl. auch 3.8 Wirkung in die Gesellschaft). Erste erfolgreiche Schritte in diese Richtung wurden unternommen (Röhlig et al. 2021, 2022, Hassel et al. 2021, Sträter & Krütli 2021, Eckhardt und Röhlig 2022a, b, Röhlig 2022).

4.3 Perspektiven über TRANSENS hinaus

Sicherheit ist letztlich ein Konstrukt, das von einem sich ständig verändernden und erweiternden System von Menschen und Organisationen getragen und weiterentwickelt wird (Röhlig und Sträter 2022). Im Sinn des laufenden partizipativen und lernenden Standortauswahlverfahrens liegt es daher nahe, ein breites Spektrum von Akteuren, Interessierten und Betroffenen in sicherheitsrelevante Entwicklungen und Entscheidungen zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle einzubeziehen. Im Verbund mit Partizipation stellt Transdisziplinarität im Verfahren ein vielversprechendes Instrument für einen solchen Einbezug bei der Erarbeitung von Wissen dar.

Mit Td-Methoden und Werkzeugen können verschiedene Formen von Wissen in die Sicherheitsforschung eingebracht und unter anderem zur Optimierung von Safety Cases genutzt werden. Verschiedene Td-Partner sind in der Lage, mit unterschiedlichen Beständen von System-, Ziel- und Transformationswissen (td-net 2022, ProClim 1997) und unterschiedlichen Sichtweisen zur Weiterentwicklung der Sicherheit beizutragen. Daher kann und sollte mit Methoden und Werkzeugen der transdisziplinären Forschung experimentiert werden, um spezifische Fragen zur Sicherheit der Entsorgung zu erforschen und zu klären (vgl. zum Beispiel Eckhardt et al. 2023).

In TRANSENS wurden einige Themen identifiziert, die sich – über TRANSENS hinaus – zur inter- und transdisziplinären Erforschung in einem größeren Verbundprojekt oder in einem Verband von thematisch zusammenhängenden überschaubareren Forschungsprojekten eignen:

- Sicherheitskonzepte: Transdisziplinäre Impulse zur Sicherheit auf dem Entsorgungsweg, Verhältnis von Sicherheit und Zeit, ökonomische Aspekte der Sicherheit, Einfluss neuer Technologien, insbesondere der Digitalisierung, auf die Sicherheit und das Belegen von Sicherheit, Wissens- und Forschungsdatenmanagement
- Auswirkungen der Verzögerung des Standortauswahlverfahrens über 2031 hinaus auf die Sicherheit der Entsorgung, Zusammenwirken von Zwischenlagerung, Endlagerung und Transporten

Insgesamt deuten die bisherigen Erfahrungen aus der transdisziplinären Forschung im TAP SAFE auf ein erhebliches Potenzial hin, das Standortauswahlverfahren und den weiteren Entsorgungsweg mit transdisziplinären Formaten und transdisziplinärer Sicherheitsforschung im Sinn eines partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahrens gewinnbringend zu begleiten.

5. Literaturverzeichnis

- Belcher B. M. et al. (2016): Defining and assessing research quality in a trans-disciplinary context, *Research Evaluation*, Volume 25, Issue 1, January 2016, 1–17, <https://doi.org/10.1093/reseval/rvv025>.
- Bergmann M. et al. (2005): *Quality Criteria of Transdisciplinary Research. A Guide for the Formative Evaluation of Research Projects*. Frankfurt a.M.
- Eckhardt A., Krütli P., Röhlig K.J. (2023, im Erscheinen): *Transdisziplinäre Reviews. Ein Ansatz zur Optimierung des Safety Case*. TRANSENS-Bericht.
- Eckhardt A. und Röhlig K.J. (2022a): *Safety facing uncertainty - decisions about and under uncertainty*. Extraordinary Meeting of the Integration Group for the Safety Case (IGSC), Bern.
- Eckhardt A. und Röhlig K.J. (2022b): *Safety facing uncertainty. Steps towards a holistic and more comprehensive assessment of uncertainties in the Safety Case*. 3rd DAEF Symposium: Key Topics on Deep Geological Disposal – Challenges of a Site Selection Process: Society – Procedures – Safety, Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung, Köln, 06.07.2022.
- Ghofrani J. (2016): *Conceptualization and software development of a simulation environment for probabilistic safety assessment of radioactive waste repositories*. Dissertation, TU Clausthal.
- GRS – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH (2013): *Synthesebericht für die VSG. Bericht zum Arbeitspaket 13. Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben*. Fischer-Appelt K., Baltes, B., Buhmann D., Larue J., Mönig J. GRS-290.
- Grunwald A., Schäfer M., Bergmann M. (2020): *Neue Formate transdisziplinärer Forschung. Ausdifferenzierte Brücken zwischen Wissenschaft und Praxis*. GAIA 29/2 (2020): 106 – 114. Doi 10.14512/gaia.29.2.8.
- Hassel T., Mintzlauff V., Stahlmann J., Röhlig K.J., Eckhardt A. (2021): *Workshop Safety and Uncertainty. Interdisciplinary Research Symposium on the Safety of Nuclear Disposal Practices SafeND*. DOI: 10.5194/sand-1-309-2021.
- Li X. (2016): *Entwicklung der Softwareplattform RESUS: Repository Simulation, Uncertainty propagation and Sensitivity Analysis*. Dissertation, TU Clausthal.
- Muxlhanga H., Othmer J. A., Sträter O., Lux K.H., Wolters R., Feierabend J., Sun-Kurczinski J. (2023): *Identifikation von Ungewissheiten aus arbeits- und organisationspsychologischer Sicht am Beispiel der Materialparameterbestimmung – eine erste methodische Annäherung*. In Eckhardt A., Becker F., Scheer D., Seidl R. (2023): *Entscheidungen für die Zukunft: Ungewissheiten bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle*. Springer Verlag.
- Muxlhanga H. (2021): *Einfluss menschlicher Zuverlässigkeit auf die Annahmen und Ungewissheiten bei der Anwendung der TH2M-Modellierung eines Endlagers*. Masterarbeit. Universität Kassel, Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie. Kassel.

- ProClim – Forum für Klima und globalen Wandel (1997): Research on sustainability and global change – Visions in science policy by Swiss researchers. Bern: Swiss Academy of Sciences (SAS).
- Röhlig K.J. (2022): Input from outside the Safety Case community: Improving Safety Case content and communication using electronic tools. NEA IDKM/EGSSC Workshop on Digital Safety Case Methods and Development. Berlin, 25.-26.10.2022.
- Röhlig K.J., Sträter O. (2022): Das „lernende“ Verfahren – Ziele, Systemgrenzen, Akteure und Erfahrungen. 29-39. In: Smeddinck U., Röhlig K.J., Mbah M., Brendler V. (Hrsg.): Das „lernende“ Standortauswahlverfahren für ein Endlager radioaktiver Abfälle. Interdisziplinäre Beiträge. Berliner Wissenschafts-Verlag. Berlin.
- Röhlig K.J., Ebeling M., Eckhardt A., Hocke P., Krütli P. (2022): Transdisciplinary research on nuclear waste management – can it work? A case study on repository safety. 3rd DAEF Symposium: Key Topics on Deep Geological Disposal – Challenges of a Site Selection Process: Society – Procedures – Safety. Köln, 05.-07.07.2022.
- Röhlig K.J., Ebeling M., Eckhardt A., Hocke P., Krütli P. (2021): Transdisciplinary research on repository safety: challenges and opportunities. Safety of Nuclear Waste Disposal, 1, 205–207. <https://doi.org/10.5194/sand-1-205-2021>.
- scnat – Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften (2022): Methoden und Werkzeuge für die Koproduktion von Wissen. td-net Toolbox. https://naturwissenschaften.ch/co-producing-knowledge-explained/methods/td-net_toolbox. Abgerufen 28.11. 2022.
- Soderblom A.-L. (2013): How Swedish communities organised themselves in reviewing a safety case. The Safety Case for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: 2013 State of the Art. Symposium Proceedings, NEA/RWM/R(2013)9, https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_19432/the-safety-case-for-deep-geological-disposal-of-radioactive-waste-2013-state-of-the-art.
- Sträter O., Krütli P. (2021): Transdisciplinary and psychological resilient communication with stakeholders. Saf. Nucl. Waste Disposal, 1, 307–308, 2021. <https://doi.org/10.5194/sand-1-307-2021>.
- td-net 2022: Drei Arten von Wissen. Network for Transdisciplinary Research. <https://transdisciplinarity.ch/de/transdisziplinaritat/was-ist-td/drei-arten-von-wissen/>. Einschließlich verlinktem Video auf <https://www.futurelearn.com/info/courses/partnering-for-change/0/steps/107683>. Abgerufen 22.12.2022.
- TRANSENS (2023): Drei Jahre transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle – Selbstevaluation des Vorhabens TRANSENS. Evaluationsbericht. TRANSENS-Bericht 09. DOI: [10.21268/20230509-0](https://doi.org/10.21268/20230509-0)
- TRANSENS (2019): TRANSENS Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland. Forschung zur Verbesserung von Qualität und Robustheit der soziotechnischen Gestaltung des Entsorgungspfades Vorhabenbeschreibung. August 2019.