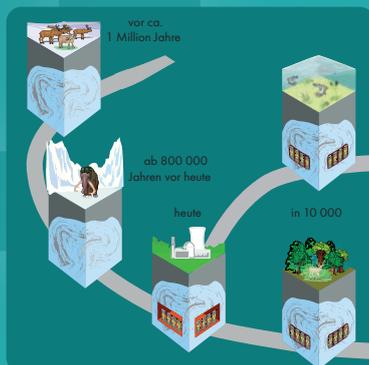
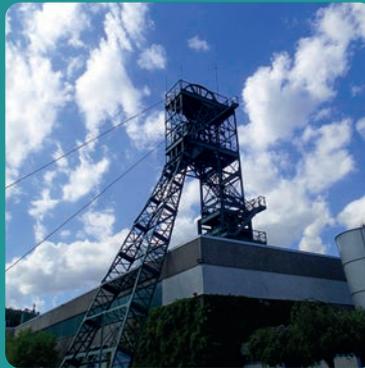




# PROJECT INSIGHTS 2024

Magazin zum Abschluss des Projekts



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz

Gefördert im  
Niedersächsischen Vorab der Volkswagenstiftung



VolkswagenStiftung



Niedersächsisches Ministerium  
für Wissenschaft und Kultur

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 02E11849A-J



stock.adobe.com / filin174

## INHALT

<b>Fünf Jahre TRANSENS. Was bedeutet das?</b> .....	3
<b>TRANSENS und die W-Fragen</b> .....	4
<b>Erfahrungen aus dem gegenseitigen Austausch zwischen Bevölkerung und Forschenden</b> .....	6
<b>Faktor Mensch in der Endlagerforschung</b> .....	8
<b>Wahrnehmungen durch Partizipation berücksichtigen</b> .....	10
<b>Ungewissheiten auf dem Entsorgungsweg</b> .....	12
<b>Forschung öffnen für die Gesellschaft</b> .....	14
<b>Radioaktivität im Garten?</b> .....	16
<b>Bürger treffen Wissenschaft</b> .....	18
<b>Endlagermonitoring als Brücke zwischen Technik und Gesellschaft zur Stärkung von Sicherheit und Vertrauen</b> .....	20
<b>Sicher verschlossen</b> .....	22
<b>Drei Engel für TRANSENS</b> .....	24
<b>Die Rückholung, oder: alles zurück auf Anfang?</b> .....	26
<b>Arbeit an der Schnittstelle Wissenschaft – Gesellschaft</b> .....	28
<b>Transdisziplinär zu neuen Informationsformaten finden.</b> .....	30
<b>Eine Aufgabe für viele Generationen</b> .....	32
<b>Die Öffentlichkeit im Standortauswahlverfahren</b> .....	34
<b>Die „Atomwende“ und transdisziplinäre Begleitprodukte</b> .....	36
<b>Bauwerke für die Zwischen- und Endlagerung</b> .....	38
<b>Kontext, Folgen und Recht</b> .....	40
<b>Die Rolle der Technik im Beteiligungsprozess der Standortauswahl</b> .....	42
<b>Nachwuchsförderung und Kompetenzerhalt</b> .....	44
<b>Gemeinsam stark</b> .....	46

### Impressum

#### TRANSENS Magazin

##### HERAUSGEBER

Leibniz Universität Hannover  
 Institut für Radioökologie und  
 Strahlenschutz (IRS)  
 Herrenhäuser Straße 2  
 30419 Hannover  
 Tel. 0511 762 - 2615  
<https://www.irs.uni-hannover.de>

##### EDITOR

Prof. Dr. Clemens Walther

##### DRUCK

printworld.com GmbH  
 Messering 5  
 01067 Dresden

##### SATZ

ScheurerMedien, Mölsheim

Alle Bildrechte – sofern nicht anders gekennzeichnet – liegen bei TRANSENS und den Projektpartnern.

Die einzelnen Artikel stellen die Meinung der jeweiligen Autoren dar und sind keine konsolidierte Aussage des Projekts TRANSENS.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und der Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

# FÜNF JAHRE TRANSENS. WAS BEDEUTET DAS?

**W**omit beschäftigt sich das Projekt? Das kann man aus zwei Perspektiven beantworten. Inhaltlich und methodisch.

Inhaltlich ist es ein gesellschaftliches Problem, nämlich die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle. Auch nach Abschalten aller Kernreaktoren zur kommerziellen Stromerzeugung in Deutschland müssen diese Abfälle sicher entsorgt werden. Dies ist eine Aufgabe, die einer technischen Lösung bedarf, aber eben nicht nur. Gesellschaftliche und politische Aushandlungsprozesse sind hier ebenso entscheidend wie der technisch naturwissenschaftliche Beitrag.

Das bringt uns zur zweiten Perspektive, der methodischen. Hier liegt die Besonderheit des Projekts: TRANSENS arbeitet transdisziplinär, das heißt, wir beziehen Partner:innen aus der Praxis und der Zivilgesellschaft in die Planung und Durchführung unserer Forschung ein. Die wissenschaftliche Seite von TRANSENS ist höchst interdisziplinär aufgestellt: Ingenieur:innen, Geolog:innen, Strahlenschutz:innen, Informatiker:innen sind ebenso Teil des Projekts wie die Disziplinen Ethik, Recht, Sozial- und Politikwissenschaft, Arbeitssicherheit, Ökonomie und Psychologie. „Nicht-Wissenschaftler:innen“ arbeiteten teils punktuell in offenen Workshops oder bei Bürgergutachten mit, teils aber auch projektbegleitend über die gesamte Laufzeit, herausheben möchte ich hier

knapp 20 Personen der Arbeitsgruppe Bevölkerung (AGBe) und der DIPRO-Begleitgruppe.

Die vorliegende Broschüre gibt aus Sicht aller beteiligten Teams Einblicke auf fünf erfolgreiche Jahre dieser Interaktion und Zusammenarbeit. Wir konnten in einer von Vertrauen geprägten Atmosphäre viel voneinander lernen und neue Blickwinkel und Perspektiven erfahren. Sehr wesentlich ist auch die vielfältige Erfahrung, wie „Fachpersonen“ und „Laien“ optimal kommunizieren können. Aus einem Workshop mit der AGBe ist auch nebenstehendes Statement erwachsen.

Meine persönlichen Erwartungen dieser Zusammenarbeit wurden über alle Maßen übertroffen. Zum einen hinsichtlich des beeindruckenden Engagements aller Beteiligten – zum anderen hinsichtlich der Lernprozesse, die aus den vielen verschiedenen Perspektiven resultierten. Besonders erfreulich: Diese positive Erfahrung konnten auch etliche junge Menschen machen, die in TRANSENS z.B. ihre Promotion abgeschlossen haben. Ich bin überzeugt: Bei komplizierten gesellschaftlichen Problemen bietet transdisziplinäre Zusammenarbeit (und Forschung) einen sehr vielversprechenden Weg, einer Lösung näher zu kommen.

Clemens Walther,  
Herausgeber und  
stellv. Projektsprecher



„Manchmal kann ein einziger Begriff die Richtung einer Diskussion komplett ändern. Vor allem wenn technische Bedeutung und umgangssprachliche Interpretation voneinander abweichen. Hier war es das Wort „Sicherheitsverzehr“ im Kontext des Monitorings eines Endlagers.“

Prof. Clemens Walther  
Physiker und Radiochemiker  
Leiter des Instituts für Radio-  
ökologie und Strahlenschutz der  
Leibniz Universität Hannover  
Leiter der TAP TRUST und EDU

# TRANSENS UND DIE W-FRAGEN

**Gemeinsam mit Partner:innen aus der Praxis und der Öffentlichkeit – also transdisziplinär – für eine sichere nukleare Entsorgung forschen, und das erstmals in Deutschland: Es ist wie im Kriminalroman.**

**Als wir unser Projekt konzipierten, stellten sich die üblichen W-Fragen. Drei davon beantworten wir hier:**

## **WARUM TUN WIR DAS?**

Dissens und Kontroverse waren in der Vergangenheit der „Normalzustand“ in Deutschland, wenn es um Fragen wie abgebrannte Brennelemente, Endlager, Zwischenlager, Gorleben und anderes ging. Trennlinien verliefen kreuz und quer in einer von Wagenburgen gekennzeichneten Landschaft, aber eine interessierte uns besonders: Viele Beteiligte bekundeten explizit ihr Misstrauen in „die“ Wissenschaft, die – vermeintlich oder tatsächlich – interessengeleitet und abhängig agiere. Umgekehrt fühlten sich Wissenschaftler:innen unverstanden oder von Interessenvertreter:innen instrumentalisiert – scheinbar ging es nicht mehr um Fakten, sondern nur noch um Meinungen und Positionen. Deshalb wollten wir eine Brücke zwischen Wissenschaft und Zivilgesellschaft bauen, um einander besser zu verstehen und voneinander zu lernen.

## **AS SOLLEN UNSERE FORSCHUNGSFRAGEN SEIN?**

Wir fanden diese – für den Zweck dieser Broschüre etwas umformulierte – Fragen besonders wichtig:

- Sichere Entsorgung – was muss wann getan werden, was kann schiefgehen? Dies wurde zum Thema des Transdisziplinären Arbeitspakets (TAP) HAFF „Handlungsfähigkeit und Flexibilität in einem reversiblen Verfahren“.
- Wann ist ein Endlager sicher? Mit dieser Frage befassten wir uns im TAP SAFE „Safety Case: Stakeholder-Perspektiven und Transdisziplinarität“.
- Wem vertrauen wir? Warum? Vertrauen war das zentrale Thema im TAP TRUST „Technik, Unsicherheiten, Komplexität und Vertrauen“.
- Was ist gerecht, was ist rechtmäßig? Dies war der Arbeitsgegenstand des TAP DIPRO „Dialoge und Prozessgestaltung in Wechselwirkung von Recht, Gerechtigkeit und Governance“.

- Wer kümmert sich in Zukunft? Wer kann das? Im Arbeitspaket EDU haben wir Aus- und Weiterbildung von und mit (nicht nur jungen) Wissenschaftler:innen, Praxispartner:innen und Personen aus der Zivilgesellschaft durchgeführt.
- Begleitforschung: Forschung mit Partner:innen aus der Zivilgesellschaft – machen wir das richtig? Im Rahmen der Transdisziplinaritätsforschung haben wir uns von Wissenschaftler:innen schulen, begleiten und beraten lassen, die sich auf diesen Typ Forschung spezialisiert haben.

## **WER SOLL DABEI SEIN?**

Im Projekt TRANSENS haben sich 16 Institute und Abteilungen aus deutschen und Schweizer Forschungseinrichtungen zusammengefunden, deren fachliches Profil gut zu den genannten Fragen passt. Wer davon sich in welchen Transdisziplinären Arbeitspaketen

**TRANSENS-Podcast:**



**TRANSENS-Selbstevaluation:**



**Sammelband mit Forschungsperspektiven:**



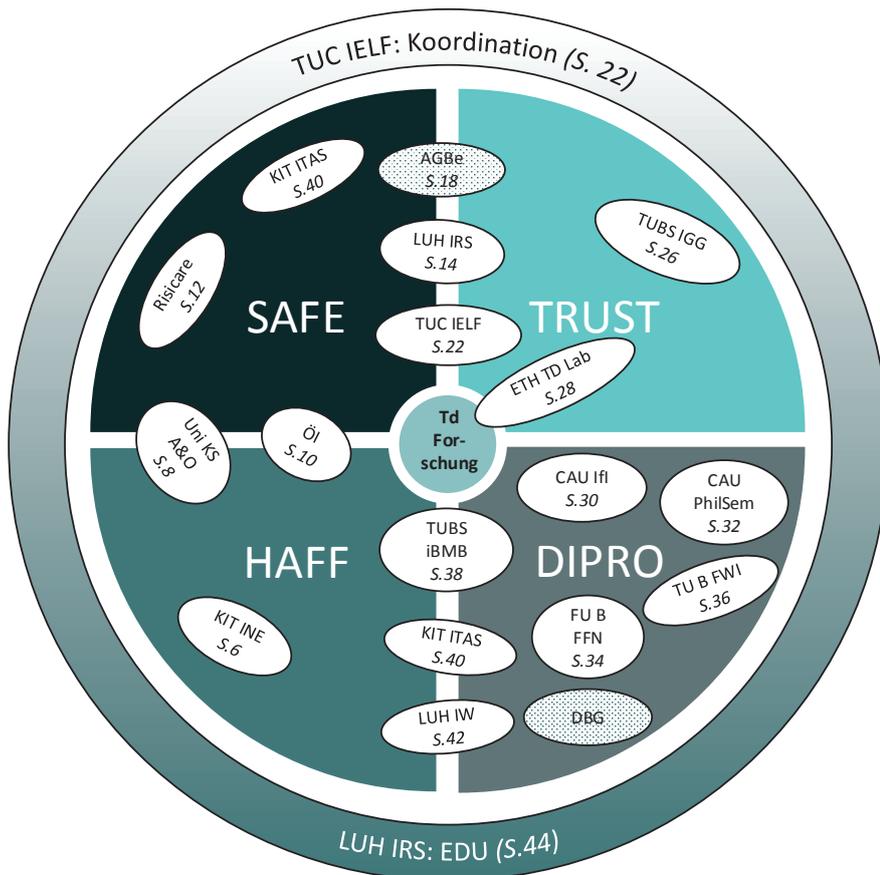
(TAP) engagiert hat, ist in der Abbildung zu erkennen. Unsere Forschungspartner:innen aus Praxis und Zivilgesellschaft waren – neben den Organisationen und Institutionen, die in der nuklearen Entsorgung aktiv sind – vor allem zwei ständige Begleitgruppen mit

Mitgliedern aus der Zivilgesellschaft, die uns über fünf Jahre die Treue gehalten und viele wichtige Impulse gegeben haben: In den TAP TRUST und SAFE die Arbeitsgruppe Bevölkerung (AGBe), in DIPRO die DIPRO-Begleitgruppe (DBG).



„Die Abbildung mag recht komplex wirken – aber ich kann versichern, dass es hochinteressant war, in diesem Projekt zu arbeiten und es zu koordinieren. Es hat (meistens) Spaß gemacht, und ich habe selten so viel gelernt wie in diesen fünf Jahren. Ich hoffe, dass wir Ihnen mit dieser Broschüre ein wenig von dem weitergeben können, was wir erarbeitet und gelernt haben.“

Prof. Klaus-Jürgen Röhlig,  
TU Clausthal, Institut für  
Endlagerforschung, TRANSENS-  
Sprecher, Leiter TAP SAFE



TUC IELF	Technische Universität Clausthal – Institut für Endlagerforschung
Riscicare	
TUC	Technische Universität Clausthal – – Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik
CAU Ifi	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – Institut für Informatik/Web Science
CAU Phil/Sem	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – Philosophie und Ethik der Umwelt
FU B FFN	Freie Universität Berlin – Forschungszentrum für Nachhaltigkeit
KIT INE	Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Nukleare Entsorgung
KIT ITAS	Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
LUH IW	Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde

LUH IRS	Leibniz Universität Hannover – Institut für Radioökologie und Strahlenschutz
ETH TD Lab	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich – Transdisziplinaritätslaboratorium des Dept. Umweltsystemwissenschaften
ÖI	Oko-Institut e.V. – Institut für angewandete Ökologie
TU B FWI	Technische Universität Berlin – Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik
TUBS IGG	Technische Universität Braunschweig – Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
TUBS IGG	Technische Universität Braunschweig – Institut für Geomechanik und Geotechnik
Uni KS A&O	Universität Kassel – Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie
AGBe	Arbeitsgruppe Bevölkerung
DBG	DIPRO-Begleitgruppe

# ERFAHRUNGEN AUS DEM GEGENSEITIGEN AUSTAUSCH ZWISCHEN BEVÖLKERUNG UND FORSCHENDEN

## Impulse aus Diskussionsrunden mit Bevölkerungsgruppen für die Forschung, Lehre und Wissenstransfer zu naturwissenschaftlichen Aspekten der nuklearen Entsorgung

**WAS TUN WIR?**  
Zwischen- und Endlagerung sind zwei miteinander verknüpfte Abschnitte des gesamten Entsorgungspfades für hochradioaktive Abfälle, die gemeinsam betrachtet werden sollen. Als Teil von HAFF beschäftigen wir uns mit der Verknüpfung der aktuellen Zwischenlagerung und der Entwicklung eines zukünftigen Tiefenlagers. Dies betrifft die Verknüpfung von Infrastruktur-, Strahlenschutz- und Betriebssicherheitsaspekten verschiedener Komponenten des Entsorgungspfades.

### UNSERE AUSGANGSSITUATION

Wir sind zwei Wissenschaftler aktiv in Forschung und Lehre in den naturwissenschaftlichen Disziplinen Geochemie und Physik. Zu unserer Forschung gehören experimentelle Arbeiten im Kontrollbereich unseres Instituts, des KIT-INE, in Verbindung mit Modellierungsrechnungen. Unsere Expertise sind das physiko-chemische Verhalten hochradioaktiver Abfälle sowie Strahlenfelder und Dosisauswirkungen um

hochradioaktive Abfälle in real existierenden Zwischenlagern und in geplanten Tiefenlagern sowie Reaktionen von Grundwasser mit hochradioaktiven Abfällen in einem Tiefenlager.

Durch die Mitarbeit in TRANSENS erfahren wir, wie gewinnbringend eine gute Zusammenarbeit zwischen der Bevölkerung und Forschenden aus den Naturwissenschaften für beide Seiten ist. Dies trägt zu einer Verbesserung des Verständnisses und der Sicherheit des Entsorgungspfades für hochradioaktive Abfälle bei.

### GEGENSEITIGER AUSTAUSCH VON BEVÖLKERUNG UND FORSCHENDEN

Der Beginn des TRANSENS-Projekts im Jahr 2019 fiel mit dem ersten Schritt im Standortauswahlverfahren<sup>1</sup> zusammen. Nach der Veröffentlichung des Berichts der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) zu Teilgebieten der Standortauswahl im September 2020 wurden in den folgenden Monaten mehrere Beratungstermine der „Fachkonferenz Teilgebiete“ durchgeführt. Wir beteiligten uns mit Impulsvorträgen und anderen

Formaten in den Arbeits- und Diskussionsgruppen und tauschten uns dabei mit Bürger:innen zu Fragestellungen des Standortauswahlverfahrens und den Interessen



„Die Auseinandersetzung mit den von Bevölkerungsgruppen thematisierten Problemstellungen motiviert uns in unserer naturwissenschaftlichen Forschung zur Sicherheit der nuklearen Entsorgung.“

Volker Metz, Ph.D., leitet die Abteilung „Radioaktive Abfälle und Endlagerbarrieren“ des Instituts für Nukleare Entsorgung (KIT-INE) am Karlsruher Institut für Technologie.

## KONTROLLBEREICH



**Radioaktiv  
Vorsicht Strahlung  
Kontamination  
Kernbrennstoffe**

Hinweisschild am Eingang des KIT-INE-Kontrollbereichs



Öffentlichkeitsveranstaltung „Forum Endlagersuche“ in Halle im November 2023



Für manche experimentelle Arbeiten mit radioaktiven Abfällen sind besondere Schutzmaßnahmen erforderlich.

der Gemeinden an den Zwischenlagerstandorten aus.

Nachfolgend engagierten wir uns in öffentlichen Diskussionsforen zur nuklearen Entsorgung, die z.B. von PFE<sup>2</sup>, BASE<sup>3</sup>, BGE und politischen Parteien organisiert wurden. Bei mitunter emotional geführten Diskussionen in solchen Öffentlichkeitsveranstaltungen setzten wir uns mit interessanten Argumentationen und den Besorgnissen der Bevölkerung auseinander. Wir erfuhren ein intensives Interesse am wissenschaftlichen Kenntnisstand zum Verhalten

hochradioaktiver Abfälle während der noch viele Jahrzehnte andauernden Zwischenlagerung und der geplanten Tiefenlagerung.

### **IMPULSE FÜR DIE FORSCHUNG UND LEHRE ZUR NUKLEAREN ENTSORGUNG**

Angeregt durch Diskussionen in der „Fachkonferenz Teilgebiete“ und dem „Forum Endlagersuche“ begannen wir mit Forschenden des TRANSENS-Projekts Studien zur Zwischenlagerung und zu Argumenten für bzw. gegen die sogenannte „direkte Einlagerung“ hochradioaktiver Abfälle in Transport- und Lagerbehältern wie denjenigen des Typs CASTOR<sup>®</sup> durchzuführen. In diesem Zusammenhang konnten wir Vertreter:innen von Bürgerinitiativen und der interessierten Öffentlichkeit den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu Untersuchungen des Kernbrennstoffinventars in Transport- und Lagerbehältern, die während der Zwischenlagerung geöffnet wurden, mitteilen. Neben Impulsen für unsere Forschung fließen auch unsere Erfahrungen aus den Öffentlichkeitsveranstaltungen in unsere

Lehr- und Fortbildungsveranstaltungen ein. In diesen Lehrveranstaltungen u.a. für Safeguards Inspector Candidates der IAEA<sup>4</sup> wird die nächste Generation des Personals in Institutionen der nuklearen Entsorgung ausgebildet. Neben disziplinären Lehrinhalten vermitteln wir ihnen transdisziplinäre Ansätze. Ein Kerngedanke ist hierbei, dass in einem guten Miteinander

- Abfallentsorgungsorganisationen und staatliche Akteure,
- Bevölkerung und
- Forschende als „honest brokers“<sup>5</sup>

zur Verbesserung der Sicherheit des Entsorgungspfads für hochradioaktive Abfälle beitragen. ■



Dr. Frank Becker ist der Leiter der Arbeitsgruppe „Strahlenschutzforschung“ des KIT-INE.

- 1 Gemäß § 13 StandAG
- 2 Planungsteam Forum Endlagersuche
- 3 Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
- 4 Internationale Atomenergieorganisation der Vereinten Nationen
- 5 sachverständige, ehrliche Makler im Sinne Bismarcks

# FAKTOR MENSCH IN DER ENDLAGERFORSCHUNG

**Die Berücksichtigung von psychologischen Faktoren schafft bestmögliche Sicherheit und löst Konflikte zwischen Anforderungen und Betroffenen**

## **WAS TUN WIR?**

In unseren Teilprojekten HAFF und SAFE drehen sich alle Fragen rund um die Rolle menschlicher Eigenschaften bei der Standortauswahl. Für eine gute Zusammenarbeit mit der Bevölkerung und auch innerhalb der wissenschaftlichen Community ist eine transdisziplinäre Kultur essenziell – auch für die bestmögliche Sicherheit eines Standorts.

## **TRANSDISZIPLINÄRER ANSATZ UND SICHERHEIT**

Der Mensch trifft vielfältige Abwägungen im Suchprozess. Gute psychologische Entscheidungen zu treffen setzt voraus, dass vielfältige Interessen und Ziele ohne Vorurteile (Biases) gegeneinander abgewogen werden.

An den zu planenden Maßnahmen sind Menschen mit unterschiedlichstem fachlichem Hintergrund beteiligt; Betroffene haben Ideen, Fragen und Bedenken, deren Berücksichtigung eine Lösung nur tragfähiger machen kann. Eine gute Sicherheitskultur aller Beteiligten und Betroffenen ist eine wesentliche Voraussetzung für die langfristige Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Stoffe. Der transdisziplinäre Ansatz schafft hierbei nicht allein ein harmonisches Miteinander im Prozess der Endlagersuche, sondern ist ein bedeutsamer Befähiger für Sicherheitskultur und damit für bestmögliche Sicherheit, denn Entscheidungs-



gen werden so rechtzeitig und aus unterschiedlichsten Perspektiven transdisziplinär reflektiert und gemeinsame tragfähige Lösungen werden generiert.

## **VISUELLES EXPERIMENT IM VIRTUELLEN RAUM**

Die Vielfalt der Tätigkeitsfelder bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle äußert sich neben einem hohen kommunikativen Aufwand auch darin, dass viele strategische Entscheidungen zu treffen sind, deren Auswirkungen schon in der Konzeptionsphase vorwegzunehmen sind.

Ein effektiver Austausch von Ansichten und Bedenken wurde durch einen hochimmersiven virtuellen Raum des Fachgebietes A&O unterstützt. In einem visuellen Experiment zusammen mit dem Öko-Institut und der TU-Braunschweig wurden Design-Lösungen für den zukünftigen Standort in einer gruppenfähigen virtuellen Realität gemeinsam von fachlichen

Experten und Bevölkerungsgruppen evaluiert und verbessert (Bild oben).

## **MENSCHLICHE FAKTOREN BEI UNGEWISSEITEN**

Überall da, wo Menschen, die aus verschiedenen organisatorischen Kontexten stammen, zusammenkommen, existieren unterschiedliche Vorstellungen und Ansichten über die Art und Weise, wie eine Sache auszuführen ist. Das trifft insbesondere bei Entscheidungen unter Unsicherheiten zu, aber auch bei vermeintlich eindeutigen Fragestellungen wie beispielsweise der, wie bei der geologischen Modellierung der Wirtsgesteine, vorzugehen ist.

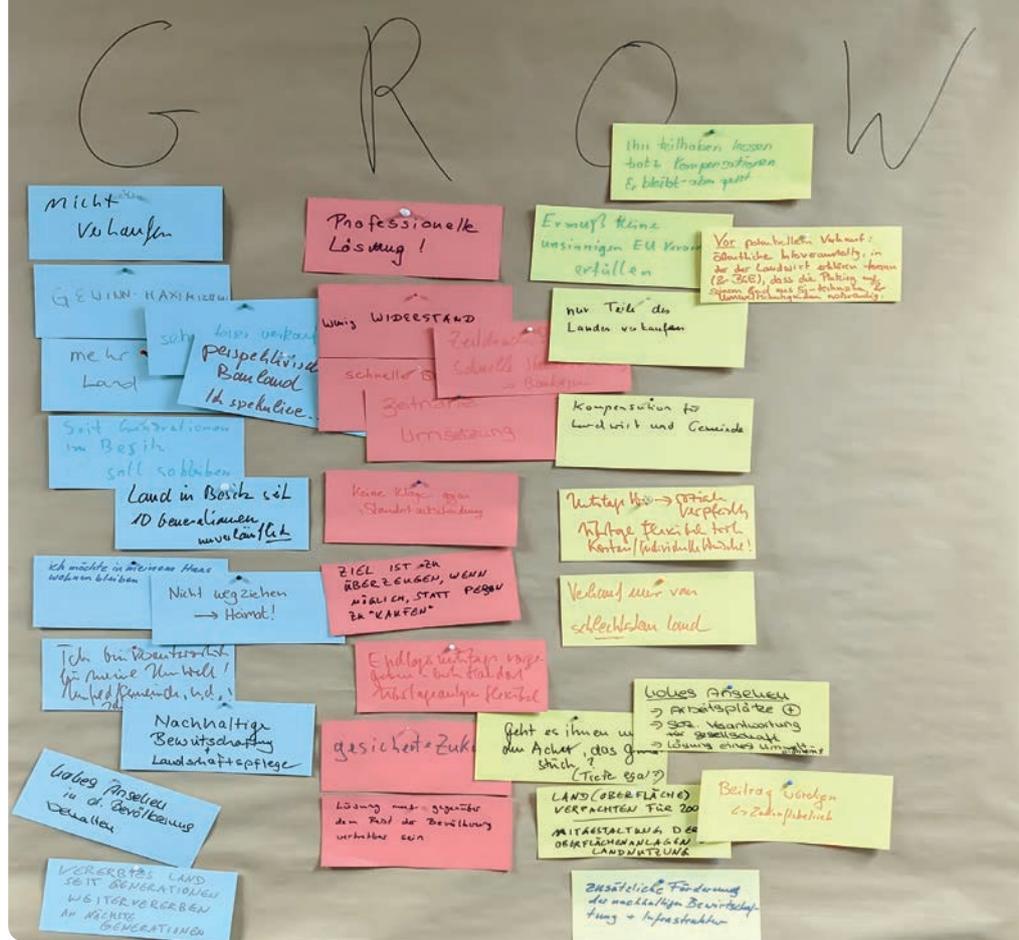
Ausgehend von der Frage, welches Modell in welcher Spezifikation und mit welchem Parametersatz geeignet ist, konnten wir in Untersuchungen mit der TU Clausthal zeigen, dass Modellierende mit ihren aktuellen Einstellungen, dem Verständnis

und Wissen zur Fragestellung, bis hin zur Arbeitsausstattung des Arbeitsplatzes Auswirkungen auf die Ergebnisse der Modellierung haben. In der Frage nach sicheren Entscheidungskriterien bei der Modellierung von Kriechvorgängen im Steinsalz zeigten sich erhebliche Unterschiede (Unterschiede mit dem Faktor 2 in den Ergebnissen). Damit bestätigt sich die Rolle des ‚Faktors Mensch‘ im sicherheitstechnischen Bewertungsprozess. Es wurden Vorschläge erarbeitet, wie durch die Verbesserung der Bewertungsprozesse und der Kultur einschließlich der Arbeitsbedingungen die Sicherheit in der Bewertung verbessert werden kann.

### KOMMUNIKATION AUF AUGENHÖHE – DER GROW-ANSATZ

Menschliche Kommunikation geht oft schief. Durch Missverständnisse und fehlendes ‚auf das Gegenüber eingehen‘ entstehen dialektische Entscheidungssituationen, Reibungsverluste bis hin zu schwerwiegenden Konflikten mit suboptimalen Lösungen.

Zur Unterstützung des transdisziplinären Ansatzes ist



eine geeignete und kreative Kommunikation erforderlich. Der GROW-Ansatz erlaubt, selbst oder insbesondere bei tiefgreifenden Konfliktpotenzialen, wie sie im Prozess der Endlagersuche inhärent vorhanden sind, diese aufzulösen und zu guten, tragfähigen und damit sicheren Lösungen zu kommen. Das Prinzip des Kommunikationsprozesses ist: Kommunikation fängt mit den Zielen des anderen an, nicht mit

den eigenen (G für Goals); die eigenen Ziele werden in die Ziele des anderen eingeordnet (R für Reality); daraus entstehen Optionen (O für Options); die optimale Option wird gemeinsam gewählt und vereinbart (W für Will).

In Workshops zu konkreten Szenarien der Endlagersuche wurden so in Spielszenen kreative Lösungen für Konflikte zwischen Endlagerung und Betroffenen entwickelt (Bild oben rechts).



Prof. Dr. Oliver Sträter leitet das Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie (A&O) an der Universität Kassel, Deutschland.



Henriette Muxlhanga M. Sc. forscht zur Wirksamkeit transdisziplinärer Ansätze am Fachgebiet A&O der Universität Kassel, Deutschland.

**WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN:**

**Webseite des Fachgebietes** 

**Bericht zu Ungewissheiten** 

**Sicherheit und Faktor Mensch** 

# WAHRNEHMUNGEN DURCH PARTIZIPATION BERÜCKSICHTIGEN

**Handlungsfähigkeit und Flexibilität durch eine raumsensible Long-term Governance ermöglichen**

## **W**AS TUN WIR?

Im Modul 2 des Transdisziplinären Arbeitspaktes (TAP) HAFF beschäftigen wir uns mit räumlichen Wirkungen eines Endlagers an seinem Standort. Hierbei interessieren wir uns sowohl für die räumlichen Veränderungen des potenziellen Standortes durch den Bau des Endlagers als auch für die mögliche Veränderung der Wahrnehmung des Ortes und daraus resultierende Konsequenzen. Ziel ist es, Erkenntnisse dieser möglichen Veränderungen und Wahrnehmungen mittels Literaturstudien, Interviews und in Zusammenarbeit mit verschiedenen Beteiligten zu identifizieren und darauf aufbauend den konzeptionellen partizipativen Ansatz für Entscheidungshandeln weiterzuentwickeln. Wir legen unserem Vorgehen und unseren Analysen internationale Erfahrungen zugrunde u.a. zur Platzierung von Oberflächenanlagen eines Endlagers in der Schweiz. Zudem untersuchen wir in Modul 1 des TAP HAFF Anforderungen an die Genehmigung einer Verlängerung der Zwischenlagerung an den bisherigen Zwischenlagerstandorten.



„Für eine gute Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis sind Offenheit und Flexibilität besonders wichtig.“

Dr. Melanie Mbah,  
Forschungskordinatorin für  
transdisziplinäre Nachhaltigkeits-  
forschung am Öko-Institut

## **BEDEUTUNG VON ORTEN FÜR DIE WAHRNEHMUNG VON VERÄNDERUNGEN**

Orte sind für Bewohner:innen häufig prägend, weil Erinnerungen aus verschiedenen Lebensabschnitten damit verbunden sind oder weil Freunde und Verwandte dort leben oder spezifische



„Wissenschaftliche Forschung sollte die konkreten Fragen der Bürger:innen stärker in den Blick nehmen.“

Julia Neles, stellvertretende  
Bereichsleiterin des Bereichs  
Nukleartechnik & Anlagen-  
sicherheit am Öko-Institut

Aktivitäten dort ausgeübt werden. Gleichzeitig verändern sich Orte stets, wie z.B. durch den Ausbau von Straßen, Gewerbe- und Wohnflächen oder Anlagen zur Energieerzeugung. Diese Veränderungen finden mehr oder weniger schnell statt und haben unter anderem Einfluss auf alltägliche Routinen,



# UNGEWISSHEITEN AUF DEM ENTSORGUNGSWEG

## Gute Entscheidungen treffen, auch wenn offene Fragen bleiben

### W ORUM GEHT ES?

Bis zur Auswahl des Standorts für das Endlager für hochradioaktive Abfälle vergehen noch Jahrzehnte, bis zum Verschluss des Endlagers voraussichtlich mehr als 100 Jahre. In dieser Zeit kann viel Unerwartetes geschehen: Die politische Situation verändert sich, in der Wissenschaft werden neue Entdeckungen gemacht, innovative Technologien kommen zur Anwendung, die Umwelt entwickelt sich anders als vorhergesehen. Die Ungewissheiten auf dem Entsorgungsweg sind vielfältig und verändern sich im Lauf der Zeit.

Eine solche zunächst unübersichtliche Ausgangslage erfordert Forschung, die unterschiedliche Sichtweisen und unterschiedliches Wissen einbezieht. Transdisziplinäre Forschung kann dazu beitragen, angesichts von Ungewissheiten bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle Lösungswege zu finden – auch in komplexen und verzwickten Situationen.

### WIE ENTSCHEIDEN?

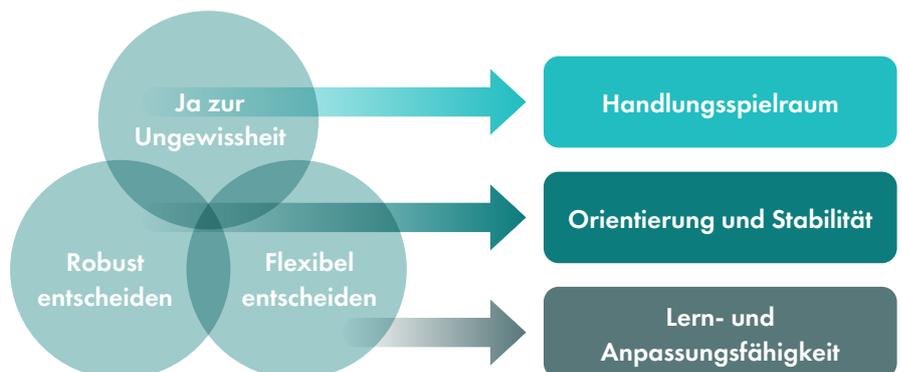
Politiker:innen, Behörden und Vorhabenträger müssen Entscheidungen zum weiteren Vorgehen auf dem Entsorgungsweg treffen, obwohl Ungewissheiten bestehen. Solche Entscheidungen können unterschiedlich ausgerichtet sein:

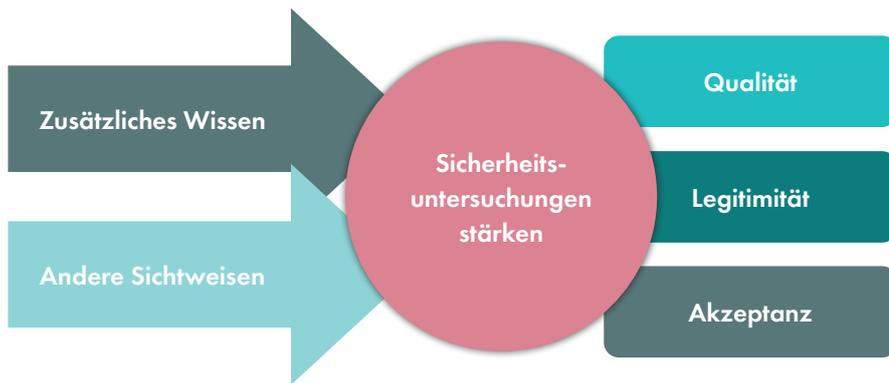
- Robustes Entscheiden ist unter anderem im Ingenieurwesen verbreitet. Dort wird beispielsweise mit Sicherheitszuschlägen ein Puffer aufgebaut, so dass die einmal gewählte technische Lösung auch einer Vielzahl unerwarteter Entwicklungen und Ereignissen standhält.
- Das Standortauswahlgesetz betont die Notwendigkeit, angesichts von Ungewissheiten lern- und anpassungsfähig zu bleiben. Damit unterstützt es flexibles Entscheiden, das auch als „adaptives Entscheiden“ bezeichnet wird.
- Werden Ungewissheiten bewusst eingegangen, geschieht das vor allem, um Handlungsspielraum für die Zukunft und für künftige Generationen offen zu lassen. Ein Ja zur Ungewissheit bedeutet zum Beispiel, sich jetzt noch nicht festzulegen, wie und durch wen das verschlossene Endlager später überwacht werden soll.



„Der Umgang mit Ungewissheiten erfordert viele und unterschiedliche Kompetenzen und Sichtweisen – eine gute Voraussetzung für transdisziplinäre Forschung.“

Dr. Anne Eckhardt,  
riscare GmbH, Zollikerberg,  
Schweiz





Oft lassen sich mehrere dieser Entscheidungstypen sinnvoll miteinander verbinden. In jedem Fall müssen Ungewissheiten als Grundlage für gute Entscheidungen möglichst vollständig erkannt, untersucht und beurteilt werden, zum Beispiel im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen.

### WURDE AN ALLES GEDACHT?

Bei der Prüfung von Sicherheitsuntersuchungen könnte Transdisziplinarität ebenfalls einen Beitrag leisten. Im TAP SAFE haben wir untersucht, ob transdisziplinäre Reviews in der Lage wären, die Qualität, die Legitimität (Rechtmäßigkeit) und die Akzeptanz von Sicherheitsuntersuchungen zu verbessern. Unsere Forschung wurde durch die Bürgerbegleitgruppe AGBe angeregt, die zeigte, dass Bürger:innen in der Lage sind, mit ihrem vielfältigen Wissen und ihren unterschiedlichen Sichtweisen wertvolle Beiträge zu Sicherheitsuntersuchungen zu leisten.

Im transdisziplinären Review wird eine Sicherheitsuntersuchung von Personen geprüft, die aus verschiedenen Gruppen der Bevölkerung stammen können. Dazu gehören zum Beispiel interessierte Bürger:innen oder Sicherheitsspezialist:innen,

die in anderen Bereichen als der Entsorgung radioaktiver Abfälle tätig sind. Beim Review kommen sozialwissenschaftliche Methoden zum Einsatz. Die Prüfer:innen leisten also nicht klassische Schreibtischarbeit, sondern tauschen sich wechselseitig zu Aspekten der Sicherheitsuntersuchungen aus und entscheiden weitgehend selbst, welche Aspekte sie eingehender behandeln wollen. Ein solcher Review kann beispielsweise während der Entwicklung einer

Sicherheitsuntersuchung oder während deren Prüfung durch die Aufsichtsbehörden durchgeführt werden.

In unseren Vorschlag zu transdisziplinären Reviews (<https://www.transens.de/transens-berichte>) sind sowohl viele praktische Erfahrungen und Hinweise als auch wissenschaftliche Fachliteratur eingeflossen. Wir hoffen, dass wir damit einen Beitrag zur Partizipation auf dem weiteren Entsorgungsweg leisten können. ■



Im Sammelband „Entscheidungen in die weite Zukunft“ werden Ungewissheiten aus der Sicht unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen und der Bürgerbegleitgruppe AGBe beleuchtet. Alle Beiträge zum Sammelband sind unter <https://link.springer.com/book/9783658426972> online frei verfügbar.



# FORSCHUNG ÖFFNEN FÜR DIE GESELLSCHAFT

## Wie sich durch die Kooperation mit Bürger:innen neue Perspektiven für die Forschung ergeben

### WAS TUN WIR?

In unserem Teilprojekt TRUST (dt. Vertrauen), das sich mit Fragen rund um die Themen Technik, Unsicherheiten, Komplexität und Vertrauen im Kontext der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle befasst, arbeiten wir mit 14 Bürger:innen zusammen (genannt „Arbeitsgruppe Bevölkerung“ = AGBe). 703 von etwa 5000 Teilnehmenden an der Umfrage zum Thema „Vertrauen und radioaktive Abfälle“ (Seidl, 2021) bekundeten Interesse, am Projekt mitzuarbeiten. Die am Ende ausgewählten Frauen und Männer sind zwischen 20 und 70 Jahre alt, haben verschiedene Berufe und wohnen in unterschiedlichen Bundesländern. Sie sind bewusst keine Expert:innen. Vielmehr bringen sie als Bürger:innen ihre Erfahrungen ein und wirken in TRANSENS sozusagen als zivilgesellschaftlicher Beirat.

### WARUM TUN WIR DAS?

Die AGBe wurde erstens geschaffen, um das Vertrauen in die Wissenschaft zu untersuchen. Wesentliche Aspekte sind der Dialog mit der Wissenschaft, die kritische ‚Begleitung‘ der Projektarbeiten sowie Input und Rückmeldung zu Inhalt und Vorgehen in den einzelnen Forschungsgruppen (Wissensproduktion). Zweitens besteht die Aufgabe der AGBe



„Die Kooperation mit Bürgern fördert das gegenseitige Verständnis. Wir können viel voneinander lernen.“

Dr. Cord Drögemüller,  
Sozialwissenschaftler,  
Leibniz Universität Hannover,  
Institut für Radioökologie und  
Strahlenschutz, TAP TRUST

darin, die Forschenden und ihre wissenschaftlichen Ansätze zu hinterfragen, auf „blinde Flecken“ der Forschenden (z.B. nicht nachvollziehbare Annahmen oder Jargon) hinzuweisen und Verbesserungsvorschläge einzubringen. Verschiedene Themen der Endlagerung werden in gemeinsamen Workshops und Dialogformen unter die Lupe genommen (Überwachung eines geologischen Tiefenlagers und Rückholung hochradioaktiver Abfälle).



„Man ist als Wissenschaftler ja auch Mensch, aber das vergisst man gerne. Da ist es gut, wenn man seine wissenschaftliche Sicht gespiegelt bekommt.“

Dr. Roman Seidl,  
Psychologe, Leibniz Universität  
Hannover, Institut für Radioökologie  
und Strahlenschutz, TAP SAFE

Eine sehr große Herausforderung bestand in der Auswahl der AGBe-Mitglieder. Grob gesagt wurde an die oben genannten 700 interessierten Personen ein

Der Ablauf der Rekrutierung ist im Einzelnen unter folgendem Link nachzulesen.



Report: Vertrauen bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland





Gruppenbild der Arbeitsgruppe Bevölkerung

zweiter Fragebogen gesendet, mit sozialpsychologischen Aspekten (z.B. Teamfähigkeit) und der Aufforderung, die eigene Motivation darzulegen (Rücklauf = 181). Dieser wurde statistisch

und qualitativ ausgewertet und eine erste Auswahl vorgenommen (N = 49). Mit 28 Personen konnte schließlich ein Interview geführt werden, woraufhin 17 Personen ausgewählt wurden.

## WAS BRINGT DAS?

Das Teilprojekt hat gezeigt, dass eine produktive Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedern der AGBe und den Forschenden zum Thema Entsorgung hochradioaktiver Abfälle möglich ist. Dabei war es wichtig, dass die Kooperation auf Augenhöhe stattfand. Das bedeutet, dass sich alle Beteiligten von Beginn an respektierten und einen sachlichen Austausch ermöglichen konnten. Es gab im Projekt also weder „dumme Fragen“ noch „dumme Antworten“. Auf diese Weise konnten vielerlei gute Hinweise erarbeitet werden, die in laufende wissenschaftliche Arbeiten einfließen. ■

# INTERAKTIVES WEBTOOL FÜR BÜRGER:INNEN

## Was beeinflusst den Transport von radioaktiven Stoffen im Untergrund

Um die potenzielle Strahlenbelastung des Menschen durch ein zukünftiges Endlager abzuschätzen, verwenden wir radioökologische Modelle. Diese berechnen, wie sich radioaktive Stoffe unter verschiedenen Bedingungen in der Umwelt bis hin zum Menschen ausbreiten.

Eine wesentliche Herausforderung sind dabei die beträchtlichen Ungewissheiten. Denn im Gegensatz zu den langlebigen Gesteinsformationen um das Endlager durchläuft die Umwelt an der Oberfläche in relativ kurzer Zeit erheblichen Veränderungen,

die über lange Zeiträume schwer vorhersehbar sind. Daher können für die relevanten Parameter anstelle fester Werte Variationsbereiche bestimmt werden, um die mögliche Bandbreite der Strahlenbelastung abzuschätzen. Zur Veranschaulichung dieser Methodik haben wir ein interaktives Webtool erstellt, das den Transport der Radioaktivität im Ökosystem darstellt. Welche zusätzliche Strahlenbelastung ist durch ein Endlager zu erwarten und was bedeutet das im Vergleich zur natürlichen Hintergrundexposition? In welchen Nahrungsmitteln und Umweltmedien steckt besonders viel Aktivität? Wie beeinflussen Umweltfaktoren, Klima und menschliches Verhalten das Ergebnis? ■

Schlüpfen Sie selbst in die Rolle der Modellierer:innen und verfolgen Sie die Wege der radioaktiven Stoffe durch die Umwelt!



„Es ist wichtig, dass wir unsere Forschungsergebnisse so präsentieren, dass auch Nicht-Expert:innen sie verstehen.“

Anna Kogiomtzidis, Physikerin, Leibniz Universität Hannover, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, TAP SAFE



# RADIOAKTIVITÄT IM GARTEN?

## Umweltüberwachung – Do it yourself in der Bürgermessstelle Remlingen



### DI E BÜRGER- MESSSTELLE?

Die Messstelle befindet sich in den Räumlichkeiten des Bürgerbüros der Samtgemeinde Elm-Asse in Remlingen nahe der Schachanlage Asse II. Bürger:innen haben die Möglichkeit, vor Ort Messungen von Radioaktivität in Proben aus ihrer Umwelt und ihrem Alltag durchzuführen. Dafür ist die Messstelle mit einem modernen, hochempfindlichen Gamma-Spektrometer ausgestattet. Zusätzlich stehen handgetragene Messgeräte zum Auffinden von Radioaktivität (Geiger-Müller-Zählrohre) zur Verfügung. Diese

sind auch für den mobilen Betrieb geeignet, beispielsweise für Exkursionen oder Schulbesuche. Die gamma-spektrometrisch ermittelten Daten werden dokumentiert und öffentlich zugänglich gemacht. Die Auswertung geschieht dabei in Zusammenarbeit mit erfahrenen Radioanalytiker:innen von der LUH. Die Messergebnisse werden mit dem sog. Referenzbereich verglichen, in dem die Radioaktivität ähnlicher Proben aus Deutschland liegt. Zudem wird ein Protokoll erstellt, welches die Messergebnisse radiochemisch und -ökologisch bewertet.

### WARUM AN DER ASSE?

Der öffentliche Diskurs beim Thema Asse ist relativ emotional und alle getroffenen Entscheidungen auch ein Politikum. Für die Bevölkerung vor Ort ergeben sich beim Thema Radioaktivität viele Fragen, zumal grundlegende Ängste bezüglich der eigenen Sicherheit und Gesundheit vor

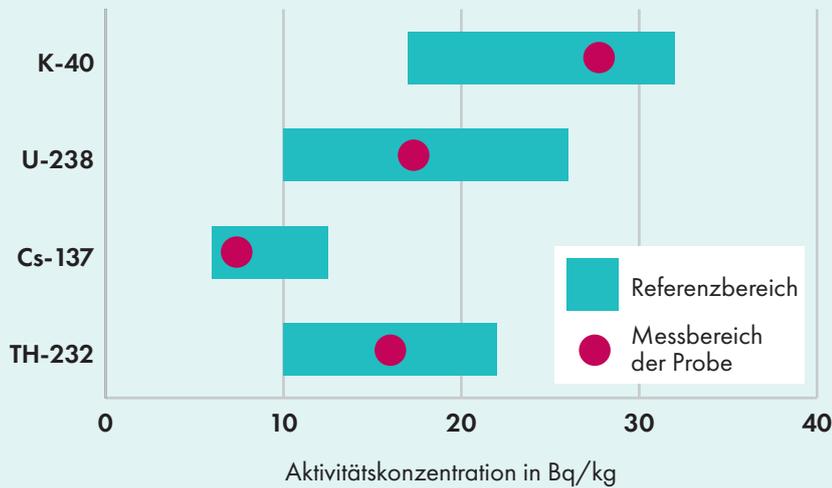


„Die direkte Zusammenarbeit mit Bürger:innen in einem so emotional diskutierten Themenfeld wie Radioaktivität – zumal in der Asse-Region – ist für mich als Wissenschaftler herausfordernd und zugleich extrem spannend.“

Dr. Wolfgang Schulz,  
Radiochemiker,  
Leibniz Universität Hannover,  
Institut für Radioökologie und  
Strahlenschutz



Bleiburg und Gamma-Messplatz.



Ergebnisse einer Boden-Analyse mittels Gamma-Spektrometrie. Die Messergebnisse in Bq (Zerfälle pro Sekunde) beziehen sich je auf ein Kilo Probenmaterial.

### WARUM GAMMA-SPEKTROMETRIE?

Mit der Gamma-Spektrometrie lassen sich eine Vielzahl von radioaktiven Stoffen (z.B. Cs-137, Uran, Thorium) ohne komplizierte Probenvorbereitung in nahezu beliebigen Umweltproben zerstörungsfrei messen. Sie ist damit ideal geeignet, um auch Laien ohne Laborkenntnisse direkt in Probenahme-Vorbereitung und Messung mit einzubeziehen. Eine Reihe von relevanten Radionukliden (z.B. Tritium, C-14, Sr-90) können nicht gamma-spektrometrisch erfasst werden. Diese lassen sich aber – bei begründetem Verdacht – mit hoher Empfindlichkeit in Kooperation mit dem Radionuklidlabor an der Leibniz Universität Hannover messen. Um auch Messungen zu Hause oder an anderen Orten zu ermöglichen, stellen wir auf Wunsch Geiger-Müller-Zählrohre zur Verfügung. ■

Ort aufgeworfen werden. Entsprechend hoch ist der Bedarf an Informationen. Ziel der Messstelle ist es, diese Informationen nicht nur transparent, sondern durch den engen Einbezug der Bevölkerung für diese auch nachvollziehbar und damit vertrauenswürdig zu machen. Gleichzeitig eröffnet die Messstelle die Möglichkeit, Wissensbestände, Sorgen und Fragen der Bevölkerung vor Ort direkt und unbürokratisch aufzunehmen und auch gezielt jene Proben zu messen, die die

Menschen tatsächlich interessieren.

### AN WEN WENDET SICH DAS ANGEBOT?

Die Bürgermessstelle steht grundsätzlich allen Bürger:innen der Region, aber auch Organisationen und Gemeinden als Anlaufstelle offen. Daneben liegt ein Schwerpunkt auf dem Einbezug von Schulen in der Region, die gezielt durch Angebote von Unterrichts- und Seminararbeiten unterstützt werden.

**In der Schachtanlage Asse II nahe Wolfenbüttel lagern rund 47.000 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Die eingelagerten Abfälle sind an dieser Stelle nie zur Endlagerung genehmigt worden und dort aufgrund von sich änderndem Wasserzutritt in den Salzstock nicht dauerhaft sicher. Sie müssen laut Gesetz zurückgeholt werden, solange dies noch möglich ist, und das Bergwerk muss anschließend stillgelegt werden.**



Schachtanlage Asse II (Foto: Iwannek)

# BÜRGER TREFFEN WISSENSCHAFT

Ich habe kein Problem mit Risiken, solange sie bekannt sind.

Ohne Monitoring ist man im Bereich des Glaubens.

Ich bin weg von der früheren Einstellung, alles zu messen, was geht!

Ich hoffe, dass ich die aktuellen Informationen einigermaßen ordentlich in meinem mentalen Speicher unterbringe. Sollte das reibungslos funktionieren, lasse ich mich gerne mit neuen Informationen füttern.

Was ist relevant? Wie viele Daten brauche ich eigentlich? Wie hoch ist der Sicherheitsverzehr?

Es muss nachvollziehbar und verständlich sein, für die große Masse!

Kommentare der AGBe-Mitglieder

## Ein kurzer Einblick der AGBe zur transdisziplinären Zusammenarbeit

**A**GBE: DAS SIND WIR, zwölf, anfangs 17 Personen, kunterbunt aus allen Ecken Deutschlands zusammengewürfelte Menschen aller Altersklassen, mit unterschiedlichem Hintergrund.

### WAS UNS EINT

Vor 4 Jahren haben wir an einer Umfrage teilgenommen und unser Interesse an der Mitarbeit an einem wissenschaftlichen, transdisziplinären Forschungsprojekt bekundet.

### UNSERE MOTIVATION

Interesse an Wissenschaft und Technik sowie an der Lösung eines gesellschaftlichen Problems, bei dem Wissenschaft und fachfremde Beteiligte zusammenarbeiten.

### UNSER FAZIT NACH 4 JAHREN

Es war eine spannende Zeit, in der wir mit Unterstützung der Forschenden viel Wissen zum Thema nukleare Entsorgung aufbauen und unsere eigene



Mitglieder der AGBe auf einem TRANSENS-Projekttreffen in Zürich.

Sichtweise im Rahmen von Workshops einbringen konnten. Besonders die Vielfalt der Disziplinen, die bei dem Thema „Entsorgung von Atommüll“ zusammenspielen und gerade bei den Forschenden einen Blick über den Tellerrand der eigenen Disziplin erforderte, machte die Zusammenarbeit spannend. So konnten wir Einblicke in die Arbeit auf den Gebieten der Geologie, Geomechanik, Geotechnik, Werkstoffkunde, Strahlenschutz, Informatik, Ethik, Sozial-

wissenschaften, Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik gewinnen. Der Blick hinter die Kulissen der wissenschaftlichen Forschung, die wertschätzende Kommunikation auf Augenhöhe war für uns alle eine bereichernde Erfahrung und Grundlage für die entstandene breite Vertrauensbasis.

Zudem wurde der Austausch im Laufe der Zeit einfacher, da viele Fachbegriffe, die uns anfangs fremd waren, zum täglichen Sprachgebrauch gehören.

### **UNSERE KLARE EMPFEHLUNG**

Fachfremde Bürger:innen sollten sich trauen mitzureden und Wissenschaftler:innen sollten sich trauen, interessierte Bürger:innen einzubeziehen. ■

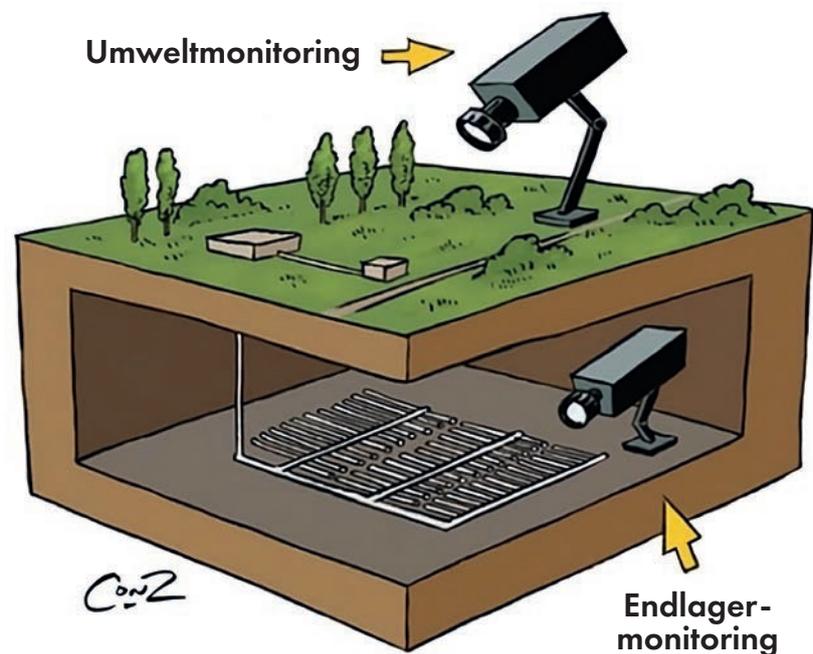
# ENDLAGERMONITORING ALS BRÜCKE ZWISCHEN TECHNIK UND GESELLSCHAFT ZUR STÄRKUNG VON SICHERHEIT UND VERTRAUEN

## Endlagermonitoring im gesellschaftlichen Kontext

**WER SIND WIR?**  
Wir sind Wissenschaftler des Lehrstuhls für Geomechanik und multiphysikalische Systeme am Institut für Endlagerforschung der TU Clausthal und haben in dem Projekt TRANSENS in den transdisziplinären Arbeitspaketen (TAP) TRUST und SAFE zu den Themen Endlagermonitoring sowie Endlagersicherheit geforscht.

### WIESO IST DAS THEMA ENDLAGERMONITORING RELEVANT?

Ein Endlager für hochradioaktive Abfälle ist ein komplexes, mit Ungewissheiten behaftetes Konstrukt. Durch die messtechnische Überwachung des Endlagers (Abbildung) wird es Expert:innen sowie der Zivilgesellschaft ermöglicht, sich des sicherheitstechnisch prognostizierten Zustands des Endlagers in seiner tatsächlichen Entwicklung zu vergewissern. Aus dieser Möglichkeit der Überwachung kann Vertrauen in die Sicherheit des Endlagers entstehen, wenn bei der Ausgestaltung eines Endlagermonitoringkonzeptes neben technischen Aspekten auch Belange der Zivilgesellschaft und damit soziale Aspekte Berücksichtigung finden.



Darstellung des übertägigen Umweltmonitorings sowie des untertägigen Endlagermonitorings, nach Meyermans.

### WIE HABEN WIR TRANSDISZIPLINÄR ZUM ENDLAGERMONITORING GEFORSCHT?

Wir haben zusammen der Arbeitsgruppe Bevölkerung (AGBe, siehe Seite 18), das Thema Endlagermonitoring und Vertrauen diskutiert. Hierzu haben wir an drei Workshops unterschiedliche technische und soziale Aspekte thematisiert. Aus diesen Diskussionen konnten wir zentrale Anforderungen aus der Zivilgesellschaft an die Aus-

gestaltung eines Endlagermonitorings ableiten.

### WAS HABEN WIR HERAUSGEFUNDEN?

Um ein Endlagermonitoring so auszugestalten, dass es vertrauensfördernd und an die Bedürfnisse der Zivilgesellschaft angepasst ist, sind die Themenfelder Information und Kommunikation, technische Ausgestaltung, Entscheidungsfindung sowie angemessene Beteiligung zentral. ■

# ENDLAGERSICHERHEIT UND TH2M-GEKOPPELTE SIMULATIONEN

## Was heißt TH2M?

TH2M ist eine Abkürzung und steht für die Berücksichtigung thermischer Prozesse (z.B. Wärmefluss), 2-phasiger hydraulischer Prozesse (z.B. Strömung von Gasen und Flüssigkeiten) und mechanischer Prozesse (z.B. beanspruchungs- und zeitabhängige Verformungen) bei der Simulation des Endlagersystemverhaltens.

## Wieso sind TH2M-gekoppelte Simulationen wichtig?

Um eine Aussage über die Sicherheit des Endlagers zu treffen, müssen die im Endlager wirkenden Prozesse und ihre Wechselwirkungen auf Prozessebene verstanden und für das Endlager auf Systemebene prognostiziert werden. Hierbei helfen TH2M-gekoppelte Simulationen.

## Wozu haben wir TH2M-gekoppelte Simulationen genutzt?

In TRANSENS haben wir ein 2-söhliges Endlagerbergwerk untersucht. Dabei wollten wir wissen, welchen Einfluss eine Überfahrungssohle mit Monitoringbohrlöchern auf die Barrieren eines Endlagers hat.

## Was haben wir herausgefunden?

Wir haben herausgefunden, dass eine Überfahrungssohle mit Monitoringbohrlöchern grundsätzlich einen Einfluss auf die Beanspruchung der geologischen Barriere und der geotechnischen Barrieren hat. Dieser Einfluss ist jedoch im Rahmen der für die Simulation getroffenen Annahmen als eher gering zu bewerten, da die zentralen Kriterien zur Bewertung der Barrierenintegrität erfüllt bleiben.

## Was ist unser Fazit zum Projekt TRANSENS?

TRANSENS war ein großes Experiment zur Beantwortung der Frage, ob der Einbezug von Bürger:innen in die Forschung zur Endlagerung funktionieren und neue Erkenntnisse erbringen kann. Dabei war es nicht immer einfach, die gleiche Sprache zu finden oder objektiv Wissen in reduzierter fachlicher Tiefe zu vermitteln. Letztendlich war es eine sehr wertvolle und nachhaltige Erfahrung, die eigene Forschung mit Bürger:innen voranzutreiben, und die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen können helfen, dass die Endlagerung in Deutschland gelingt.



„Wissenschaftliche Kompetenz, didaktische Reduktion, Objektivität und Respekt – die Schlüssel zur Erarbeitung von Vertrauen der Zivilgesellschaft.“

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Lux  
Bauingenieur  
TU Clausthal  
Institut für Endlagerforschung  
TAPs TRUST / SAFE



„Transdisziplinäre Forschung ist eine Herausforderung, aber es lohnt sich.“

Johann Arne Othmer  
Geumwelttechniker  
TU Clausthal  
Institut für Endlagerforschung  
TAPs TRUST / SAFE



„Numerische Simulationen – ein wichtiger Aspekt des Safety Case im Hinblick auf Prozessverständnis und Systemanalyse.“

Dr.-Ing. Ralf Wolters-Zhao  
Technomathematiker  
TU Clausthal  
Institut für Endlagerforschung  
TAPs TRUST / SAFE

Mehr Infos zu  
unserem Institut  
und unserer  
Forschung:



# SICHER VERSCHLOSSEN

## Transdisziplinäre Forschung zur Endlagersicherheit

### WAS TUN WIR?

Im Rahmen des Teilprojekts „SAFE“ beschäftigen wir uns mit der Endlagersicherheit, insbesondere mit der Langzeitsicherheit. Im Sicherheitsnachweis muss ja gezeigt werden, dass die Sicherheit für einen Zeitraum von einer Million Jahre gewährleistet ist. Dafür verwenden wir verschiedene Methoden. So kann man etwa Szenarien zusammenstellen, die beschreiben, welchen Prozessen und Ereignissen das Endlager

möglicherweise unterworfen sein wird – die Spanne reicht dabei von Klimaänderungen und Vulkanausbrüchen bis zur Korrosion des Behälters und den Ernährungsgewohnheiten von Menschen. Aus einem Szenario kann man dann ableiten, wie sich das Endlager in der Zukunft entwickeln könnte und ob es unter den betrachteten Gegebenheiten sicher wäre. Als Hilfestellung für die Zusammenstellung von Szenarien, die sog. „Szenarientwicklung“, gibt es eine umfangreiche Liste mit Merk-

malen, Ereignissen und Prozessen (engl. features, events and processes, FEP). Die verschiedenen Einträge in der FEP-Liste kann man miteinander zu unterschiedlichen Szenarien kombinieren.

Im Zusammenhang mit der Szenarientwicklung beschäftigen wir uns u. a. mit folgenden Fragen: Ist die Methodik leicht nachvollziehbar? Wie kann man sie verbessern? Hilft uns der Einbezug von Nicht-Expert:innen bei der Verbesserung der Methodik, und wenn ja, wie?



„Die Lernkurve, die unsere Partner aus der AGBe genommen haben, ist beeindruckend. Sie sind echte Gesprächspartner geworden.“

Klaus-Jürgen Röhlig,  
Mathematiker,  
TU Clausthal,  
Leiter TAP SAFE



„Die Bürger:innen haben mir den gesellschaftlichen Nutzen meiner Forschung gezeigt.“

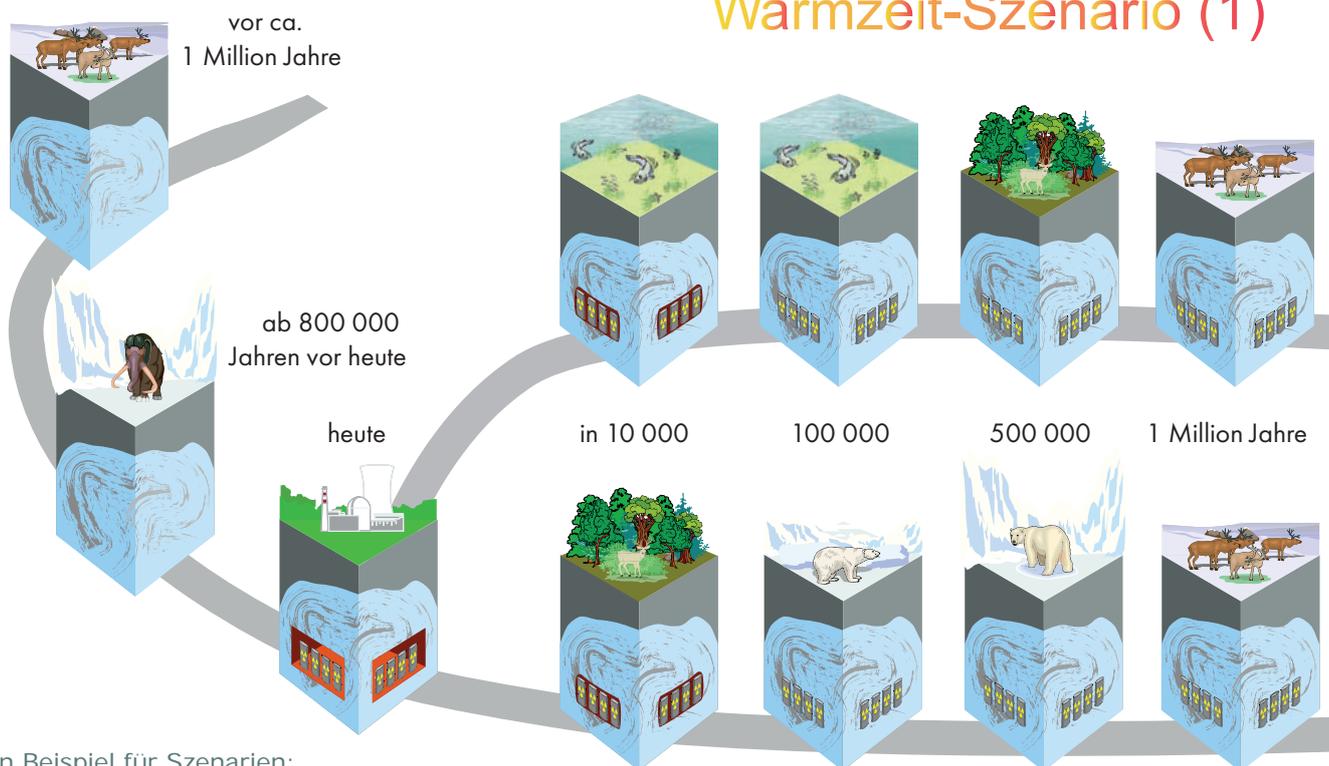
Martina Heiermann,  
Geophysikerin,  
TU Clausthal, TAP SAFE



„Die Beiträge der TD-Partner:innen haben mich immer wieder begeistert und mir deutlich den Mehrwert von Meinungen außerhalb etablierter Denkrinnen vor Augen geführt.“

Dirk Kluge,  
Informatiker,  
TU Clausthal, TAP SAFE

## Warmzeit-Szenario (1)



Ein Beispiel für Szenarien:  
Die zukünftige Entwicklung des Klimas lässt sich über einen Zeitraum von einer Million Jahren nicht vorhersagen, daher werden verschiedene Möglichkeiten betrachtet und bewertet.  
Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2010)

## Kaltzeit-Szenario (2)

### WARUM TUN WIR DAS?

Der Einbezug von Nicht-Expert:innen hilft uns einerseits, uns auf die wesentlichen Zusammenhänge in unserem Fachgebiet zu konzentrieren und unser vorhandenes Wissen zu reflektieren. Andererseits kommen frische Perspektiven hinzu. Wir werden mit teilweise sehr unerwarteten Gedankengängen konfrontiert, auf die wir reagieren müssen.

Das bringt uns in unserer Arbeit voran.

### WAS BRINGT ES?

Zunächst hat sich Wissenschaftskommunikation als zentrales Thema herausgeschält. Wie bereite ich komplexe Inhalte so auf, dass sie leicht verstanden werden und eigene Schlussfolgerungen zulassen? Wo diese Hürde gemeistert wurde, konnten viele gute inhalt-

liche Ergebnisse mit der AGBe erarbeitet werden. Für die Auswahl von FEP wurde eine übersichtliche Matrix-Darstellung vorgeschlagen sowie eine Methode zur Szenarientwicklung, die dafür sorgt, dass keine relevante FEP-Kombination „vergessen“ wird. Auch für Interaktionen zwischen Nutzer und FEP-Liste wurden mehrere konkrete Verbesserungsvorschläge erbracht. ■

Optimierung des Safety Case durch transdisziplinäre Forschung: Ergebnisse der Selbstevaluierung im transdisziplinären Arbeitspaket SAFE



Beiträge zur Optimierung des Safety Case für nukleare Endlager: Ergebnisse fünfjähriger transdisziplinärer Forschung



# DREI ENGEL FÜR TRANSENS

**Basis für  
eine erfolgreiche  
Zusammenarbeit:  
Das Koordinationsteam**



v. l.:  
Jonas Müller,  
Sophie Klostermann,  
Svenja Schachten

„Die Arbeit am gegenseitigen Verständnis war in TRANSENS beeindruckend – sowohl mit den TD-Partner:innen, aber auch zwischen weit entfernten Disziplinen.“

Jonas Müller,  
Sozialwissenschaftler

**WAS TUN WIR?**  
Als Team kümmern wir uns um alle organisatorischen Belange des Forschungsprojekts, von der Buchhaltung bis hin zur Koordination des Projekts. Auch der öffentliche Auftritt des Projekts wird von uns betreut, z.B. durch Bereitstellung der TRANSENS-Webseite, regelmäßiges Versenden von Newslettern

und Vorstellung des Projekts auf externen Veranstaltungen. Neben den formellen Aufgaben war es besonders wichtig, über viele Gespräche den Draht zu den Projektbeteiligten zu halten, um TRANSENS gut auf die Zielgerade zu bringen.

Regelmäßige Projekttreffen dienen nicht nur dem wissenschaftlichen Austausch der am Projekt Beteiligten untereinander,



„Es war nicht immer einfach, eine Brücke zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu schlagen.“

Sophie Klostermann, Geologin

„Die gemeinsame Arbeit hat gezeigt, dass solche transdisziplinären Ansätze unerlässlich sind für akzeptierte Lösungen in der nuklearen Entsorgung.“

Svenja Schachten, Betriebswirtin

Budgets liegen. In halbjährlichen Zwischenberichten dokumentieren wir die im Projekt geleisteten Forschungsarbeiten sowie die damit in Zusammenhang stehenden Veröffentlichungen. Wir schaffen frühzeitig Rahmenbedingungen für gemeinsame Aktivitäten wie z. B. Projekttreffen oder die Publikationsreihe „TRANSENS-Berichte“, damit sich alle Projektbeteiligten entsprechend vorbereiten können.

### **WAS BRINGT DAS?**

Wir haben 16 Projektbeteiligte erfolgreich auf die Zielgerade gebracht! Während der Projektlaufzeit wurden 10 Zwischenberichte verfasst, mehr als 20 TRANSENS-Berichte zur Veröffentlichung begleitet und 10 Arbeits- und Projekttreffen organisiert.

Rund 250 Abonnent:innen wurden durch Newsletter über TRANSENS kontinuierlich auf dem Laufenden gehalten und eine dreistellige Anzahl von Publikationen und Vorträgen aus dem Projekt gesammelt (Tendenz weiter steigend). ■

sondern auch mit anderen Beteiligten sowie der interessierten Öffentlichkeit. Bei der Planung freuen wir uns über Unterstützung durch unseren lokalen Gastgeber.

### **WARUM TUN WIR DAS?**

Alle Aufgaben und Belange, die mehr als eine:n Projektpartner:in betreffen, werden von uns begleitet und unterstützt, um gute interne Kommunikation

und einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Ganz wichtig natürlich: Finanzmittel müssen rechtzeitig bereitgestellt werden, damit z.B. Materialien beschafft, Wissenschaftler:innen bezahlt und Veranstaltungskosten erstattet werden können. Gegenüber der Projektträgerschaft weisen wir nach, wofür die abgerufenen Gelder verwendet wurden und dass diese innerhalb des vereinbarten

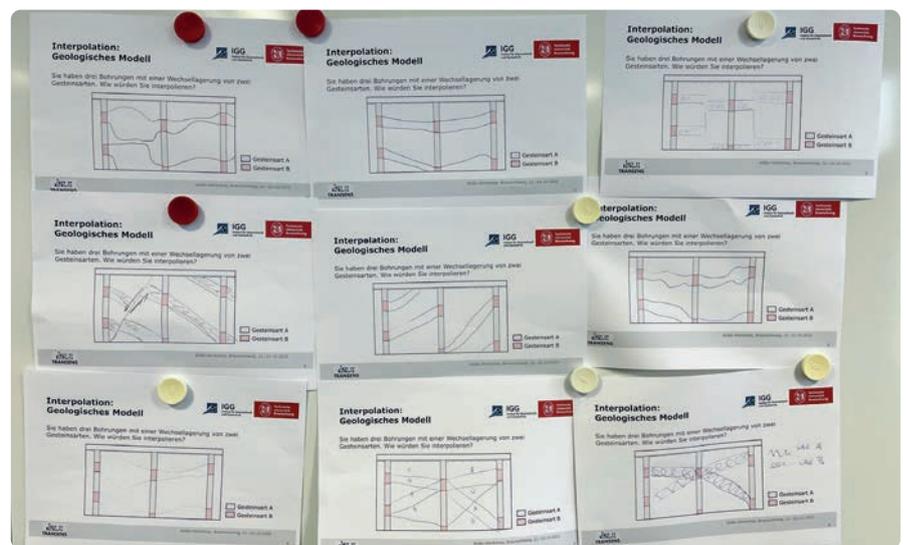
# DIE RÜCKHOLUNG, ODER: ALLES ZURÜCK AUF ANFANG?

## Wie der Umgang mit Ungewissheiten bei der Entscheidung über eine Rückholung transdisziplinär erforscht werden kann.

Derzeit läuft der Standortauswahlprozess für ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle. Warum also jetzt schon eine Rückholung der einzulagernden Abfälle durchdenken? Die Sicherheit des Endlagers soll doch für eine Million Jahre gewährleistet sein.

Was passieren kann, wenn man eine Rückholung nicht mitdenkt, kann derzeit bei der Schachttanlage Asse II beobachtet werden. Bereits zur Zeit der Einlagerung bestanden Ungewissheiten bzgl. der Konsequenzen aus der Überbeanspruchung des Gebirges durch das Gewinnungsbergwerk. Knapp zwanzig Jahre später treten Lösungen zu, derzeit etwa 12 m<sup>3</sup>. Es ist ungewiss, wie sich dieser Zustand in der Zukunft entwickeln wird. Diese Ungewissheit lässt eine Bergung der eingelagerten Abfälle erforderlich erscheinen, um die langfristige Sicherheit gewährleisten zu können. Durch diese Erfahrungen wird die Möglichkeit der Rückholung als Mittel der Fehlerkorrektur im Umgang mit Ungewissheiten betrachtet.

Ungewissheiten gibt es viele und im Alltag wird oft unbewusst mit ihnen umgegangen. Für die Endlagerung braucht es aber einen professionellen Umgang mit den vorhandenen Ungewissheiten. Sie brauchen und sollten dabei kein Widerspruch zur



Ergebnis einer Übung zum Umgang mit unvollständiger geologischer Information

Sicherheit sein. Denn: Je mehr Ungewissheiten benannt und auch quantifiziert werden können, desto besser wird in der Regel das Gesamtsystem „Endlager“ verstanden.

Was bei einer Rückholung geschieht, sollte bereits im Vorhinein bekannt sein. Diese Anforderung wirft komplexe naturwissenschaftlich-technische Fragen darüber auf, wie sich das Gebirge über alle Phasen des Endlagers entwickelt. Bei der Errichtung der Einlagerungsstrecke wird das umgebende Gebirge geschädigt. Daraufhin werden die Behälter eingelagert und die Strecke versetzt. Durch den Versatz wird das

Gebirge stabilisiert. Wärme wird von den Abfällen eingetragen, es entstehen je nach Wirtsgestein verschiedene Reaktionen. Im Salzgestein finden Verheilungsprozesse statt. In Tonstein kommt es zur Ent- und Wiederauftätigung mit Grundwasser, durch die eingebrachte Wärme kann sich eine Gasphase zusätzlich zur Wasserphase bilden. Während der Rückholung wird das Gebirge erneut geschädigt und das damit verbundene Risiko der Auffahrung sollte bekannt sein.

Selbst wenn es eine realitätsnahe Beschreibung aller Prozesse bei der Endlagerung gibt, kann eine Rückholung erforderlich

Die Arbeitsgruppe Bevölkerung in der Diskussion zum Umgang mit Ungewissheiten.

werden, wenn eine Abweichung von der prognostizierten Entwicklung beobachtet wird.

Die transdisziplinäre Einbindung der Arbeitsgruppe Bevölkerung (AGBe, siehe Seite 18) zum Thema Rückholung erscheint erst einmal als zusätzliche Herausforderung, eine zusätzliche Ebene an Komplexität. Kann diese Arbeitsweise im Hinblick auf das Vertrauen der Beteiligten untereinander funktionieren und sogar gewinnbringend sein? Das TRANSENS-Projekt hat gezeigt, dass dies möglich ist, wenn die Einbindung in geschützten Räumen auf Augenhöhe erfolgt. Eines der wesentlichen Ergebnisse im Rahmen des TRANSENS-Projekts ist die Forderung der AGBe, dass eine Alternative, ein Plan B für die Abfälle, bevor diese zurückgeholt



werden, ausgearbeitet sein muss. Die gesellschaftlichen Prozesse bei und vor einer Rückholung sind komplex: Wer entscheidet über die Notwendigkeit einer Rückholung, wer sollte in diese Entscheidung mit eingebunden werden und wie sollten die Risiken Verbleib/Rückholung der Abfälle abgewogen werden? In einem Bürgergutachten bringt die AGBe ihre Meinung dazu zu Papier.

Die Einbindung der AGBe hat im TRANSENS-Projekt verschiedene Entscheidungen bewirkt, die ohne die AGBe anders getroffen worden

wären und direkten Einfluss auf die Forschungsfragen hatten. Beispielsweise hat sich die Bevölkerungsgruppe für das Wirtsgestein Tonstein für die Betrachtung von Rückholungsszenarien entschieden, obwohl viele der bei der Rückholung relevanten Prozesse besser in Steinsalz dargelegt werden können. Viele Aspekte, wie Ungewissheiten über die gesellschaftliche Entwicklung und das Erfordernis einer transparenten Kommunikation, konnten im Austausch miteinander bearbeitet werden. ■



„Die Zusammenarbeit mit der AGBe eröffnet neue Perspektiven in die Wahrnehmung von Wertigkeiten naturwissenschaftlich-technischer Lösungsansätze.“

Prof. Dr.-Ing. Joachim Stahlmann  
TU Braunschweig,  
Institut für Geomechanik und  
Geotechnik,  
TAP TRUST



„Auch komplexe Fragestellungen konnten zusammen mit der AGBe konstruktiv diskutiert werden. Naturwissenschaftlich besteht die besondere Herausforderung dabei, Zusammenhänge zu vereinfachen, ohne sie zu verfälschen.“

Dipl. Geol. Volker Mintzlaff,  
TU Braunschweig,  
Institut für Geomechanik und  
Geotechnik,  
TAP TRUST



Svenja Wacker, M.Sc.,  
TU Braunschweig,  
Institut für Geomechanik und  
Geotechnik,  
TAP TRUST

TRANSENS-Arbeitsbericht  
Ungewissheiten aus der  
Perspektive der  
Ingenieurwissenschaften



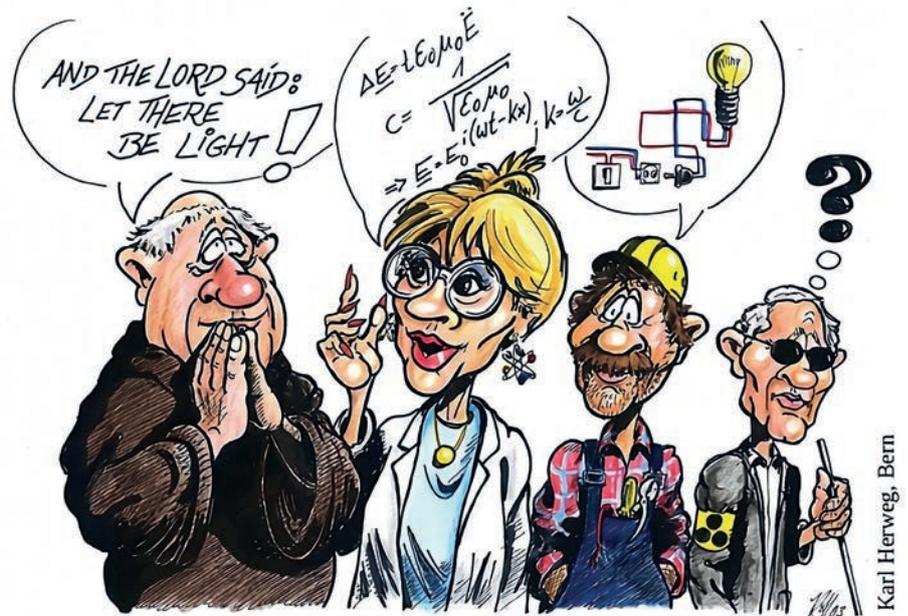
# ARBEIT AN DER SCHNITTSTELLE WISSENSCHAFT – GESELLSCHAFT

**Dem Konzept  
Transdisziplinarität  
Leben einhauchen:  
Training – Beratung –  
Analyse & Reflexion**

## **T** RANSDISZIPLINARITÄT (Td) – KURZ UND BÜNDIG

Td ist ein Forschungsansatz, bei dem auch Vertreter:innen der Zivilgesellschaft sowie des öffentlichen und/oder des privaten Sektors einbezogen sind. Ausgangspunkt für Td ist ein gesellschaftlich bedeutsames Problem, z.B. die Energiewende. Die Energiewende ist erst einmal ein technisches Problem. So müssen etwa Alternativen zu Öl, Gas und Kohle gefunden werden. Daneben gibt es nicht-technische Aspekte: Erneuerbare Energien dürfen nicht zu teuer sein, und sie müssen gesellschaftlich akzeptiert werden (z.B. Landschaftsbild von Windparks). Ein solches Problem nennen wir sozio-technisch. Solche Probleme sind in der Regel komplex, weil:

- unterschiedliche – teils entgegengesetzte – Interessen und Ansichten zu berücksichtigen sind,
- zahlreiche Aspekte (technische Möglichkeiten, Vorgaben der Raumplanung / des Natur-



Karl Herweg, Bern

schutzes, hohe Kosten, Bevölkerungsbedürfnisse etc.) zu beachten sind,

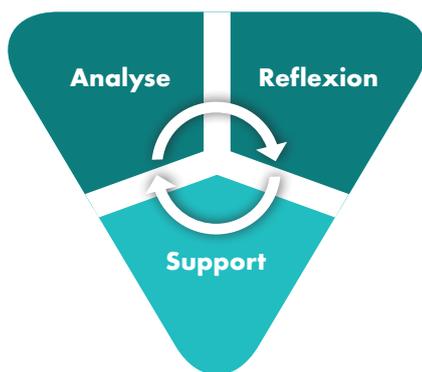
- die Lösung Jahre oder gar Jahrzehnte in Anspruch nimmt, währenddessen sich Rahmenbedingungen verändern (z.B. durch Regierungswechsel).

Bisherige Erfahrungen zeigen, dass die Wissenschaft allein solche Probleme nicht lösen kann, und damit sind wir bei Td: Hier werden unterschiedliche Perspektiven, Problemverständnisse, Interessen und Wissen von Staat, Gesellschaft und Wissenschaft zusammengebracht. Ziel ist die Erarbeitung von tragfähigen Lösungen, die eine breite gesellschaftliche Akzeptanz aufweisen.

## **UNSERE MISSION IN TRANSENS**

Td greifbar machen! Durch Training, Beratung und Reflexion. Große Forschungsvorhaben wie TRANSENS beinhalten typischerweise auch „Begleitforschung“. Dies ermöglicht, Projektfortschritte zu identifizieren und ggf. Anpassungen vorzunehmen. In TRANSENS begleitete das TdLab die Forschenden der vier transdisziplinären Arbeitspakete (TAP) mit insgesamt 16 Teams. Eine Besonderheit der Begleitforschung waren die Trainings zu Projektbeginn, um den Forschenden einen möglichst schnellen und sicheren Einstieg in die transdisziplinäre Forschung zu ermöglichen. Denn Td war zu Beginn für die meisten

TRANSENS-Beteiligten eine Unbekannte: Die Vorstellungen waren vage; die Erfahrung, transdisziplinär zu forschen, fehlte weitgehend. Trainings gingen einher mit individuellen Beratungen z.B. zur Durchführung von Workshops mit Bürger:innen. Die gemeinsame Reflexion ermöglichte den Forschenden in TRANSENS rasch, selbstständig transdisziplinär zu arbeiten und vielfältige Formen für die Zusammenarbeit zu entwickeln.



## WOZU IST DAS ALLES GUT?

TRANSENS ist in Deutschland das erste große transdisziplinäre Projekt in der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Ein bedeutendes Ziel von TRANSENS war, Erkenntnisse für das Standortauswahlverfahren zu gewinnen, aber auch Grenzen der Übertragbarkeit zu bestimmen. Wir blicken in TRANSENS auf einen großen Zuwachs an Fach- und Sozialkompetenzen zurück.

Das Projekt profitierte von den unterschiedlichen Perspektiven aus Wissenschaft und Praxis. Wir haben gelernt, dass:

- sich begleitende Forschungsgerade wegen der Größe und Komplexität von TRANSENS – als sehr zweckdienlich erwiesen hat (Kompetenzentwicklung, Erfahrungsaustausch, Reflexion).
- unterschiedliche Rollen/Aktivitäten (z.B. Training/Beratung vs Analyse der TAP-Aktivitäten) der Begleitforschung delikat sind und gut reflektiert werden müssen.
- die Rekrutierung von Vertretenden aus Zivilgesellschaft, privatem und öffentlichem Sektor aufwändig und nicht immer möglich ist.
- insbesondere zu Beginn wenige Vertreter:innen aus dem öffentlichen Sektor (z.B. Base, BGE) beteiligt waren, wodurch TRANSENS hinsichtlich Td eher eine Trainings- und Lernplattform war – was die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf das Standortauswahlverfahren einschränkt.
- Naturwissenschaftler:innen sich oftmals mit der Herausforderung konfrontiert sahen, komplexe Sachverhalte ihrer Forschung einfach darzustellen. ■

Mehr Informationen unter



„In TRANSENS hat sich eine neue Generation von Wissenschaftler:innen gebildet, die gelernt hat, mit der Bevölkerung einen Dialog aufzubauen und diese auch in den Wissenschaftsprozess einzubinden.“

Dr. Pius Krütli,  
Umweltnaturwissenschaftler,  
ETH Zürich.  
Leiter Transdisziplinaritäts-  
Forschung.

„Die Entsorgung radioaktiver Abfälle ist eine technische UND soziale Herausforderung. Das erfordert von Wissenschaftler:innen nicht nur ganzheitlich zu denken, sondern auch eine hohe soziale Kompetenz zu entwickeln.“

Dr. Ingo Hölzle,  
Geograph, ETH Zürich.

# Transdisziplinär zu neuen Informationsformaten finden

## Ein partizipatives WebGIS für die Endlagerstandortsuche

**B**ei der Suche nach einem Standort für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland ist es entscheidend, dass eine gute Kommunikation und Transparenz sowie eine umfassende Informationsbasis gewährleistet sind. Die Vielzahl an Informationsquellen erschwert es, das Thema der Standortauswahl zu überblicken. Es gibt verschiedene Plattformen, die diese Anforderungen erfüllen sollen, aber oft sind die Informationen schwer zugänglich. Viele Informationen zur Standortauswahl haben einen geografischen Bezug. Ein WebGIS (webbasiertes geographisches Informationssystem) bietet eine vielversprechende Möglichkeit, diese Informationen zusammenzufassen, geografisch einzuordnen und Interaktion zu ermöglichen.

### WAS WURDE GEMACHT?

Im Rahmen des Projekts TRANSENS wurde gemeinsam mit nicht-akademischen Beteiligten ein WebGIS für die Standortauswahl entwickelt und evaluiert. Dabei wurden transdisziplinäre Methoden angewandt, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten auf Augenhöhe interagieren können. In vier aufeinander aufbauenden Online-Workshops wurden Ideen gesammelt, umgesetzt, untersucht und anschließend ausgewertet.



Prof. Dr. Isabella Peters  
Fachgebiet Web Science,  
Christian-Albrechts-Universität  
zu Kiel, Institut für Informatik,  
TAP DIPRO

Im ersten Workshop wurden gemeinsam mit der DIPRO-Begleitgruppe Forschungsfragen entwickelt und Schwerpunkte für die Untersuchung des WebGIS festgelegt. Es wurden drei Forschungsfragen formuliert:

1. Welche Rolle kann ein WebGIS bei der Standortauswahl für ein Endlager spielen?
2. Inwieweit ermöglicht ein WebGIS eine niederschwellige Nutzung für verschiedene Bevölkerungsgruppen?
3. Kann ein WebGIS den Dialog über die Standortauswahl für ein Endlager ermöglichen?

Das WebGIS wurde entsprechend der Ideen aus dem ersten Work-

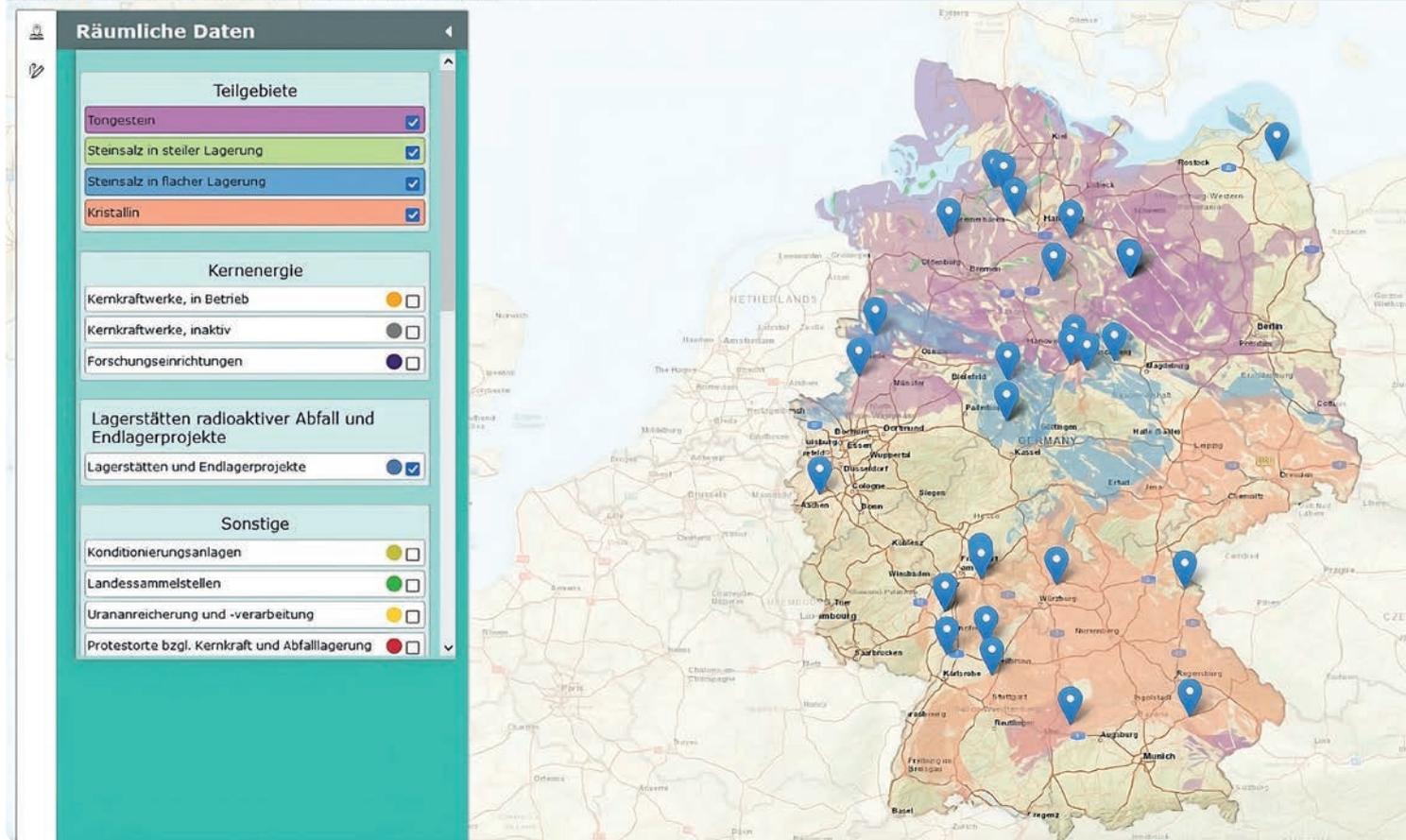


Paula Bräuer,  
Fachgebiet Web Science,  
Christian-Albrechts-Universität  
zu Kiel, Institut für Informatik,  
TAP DIPRO

shop programmiert. Es wurde um ein Forum ergänzt, über das sich die Nutzer austauschen können.

Die DIPRO-Begleitgruppe und zusätzliche Beteiligte u.a. aus verschiedenen Behörden testeten das WebGIS in einem zweiten Workshop. Dabei wurden verschiedene Aufgaben gestellt, um zu testen, ob die Suche nach Informationen, das Stellen von Fragen und die Diskussion im Forum passend umgesetzt wurden. Neben dem Test der Funktionalität wurde Feedback zu Vor- und Nachteilen sowie Verbesserungsmöglichkeiten eingeholt.

Im dritten Workshop wurden die gesammelten Daten gemeinsam



Darstellung einer WebGIS Einstellung, in der Gesteinsarten und Standorte von Lagerstätten und Endlagerprojekten dargestellt sind.

mit der DIPRO-Begleitgruppe betrachtet. Die Teilnehmenden haben gemeinsam überlegt, wie die Daten zur Beantwortung der aufgestellten Forschungsfragen interpretiert werden können. Der letzte Workshop wurde erneut mit allen Beteiligten durchgeführt, die an der Studie teilgenommen hatten. Hier wurden die Ergebnisse vorgestellt und von allen Teilnehmenden diskutiert.

### WAS WAREN DIE ERGEBNISSE?

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass die Anwendung grundsätzlich verständlich ist und relevante Informationen gut dar-

gestellt werden. Es wurden jedoch auch Herausforderungen identifiziert, wie die Notwendigkeit von Moderation und Erklärungen für bestimmte Daten.

Die Evaluation zeigt, dass ein WebGIS potenziell viele Personen anspricht und niedrigschwellig in den Standortauswahlprozess einbindet. Ein WebGIS kann sowohl von Expert:innen als auch von neu eingestiegenen Personen genutzt werden, je nachdem, wie es gestaltet ist.

Es ist wichtig, den transdisziplinären Arbeitsprozess zu reflektieren, ebenso wie die inhaltlichen Ergebnisse. Transdisziplinäre Forschung erfordert Zeit

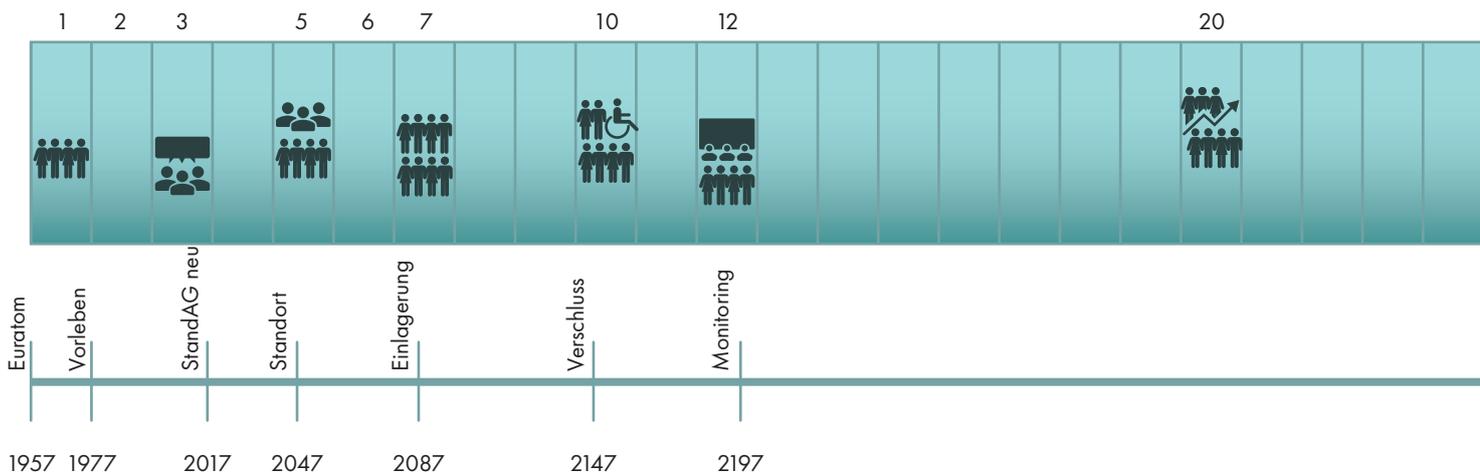
und intensive Absprachen, bietet jedoch die Chance, verschiedene Perspektiven einzubeziehen und die eigenen Grenzen zu erweitern. Der Arbeitsprozess variierte in den verschiedenen Phasen der Studie. Die Zusammenarbeit zwischen akademischen und nicht-akademischen Beteiligten war durchgehend eng. ■

**Einen ausführlichen Bericht zu dieser Studie kann man hier finden:**



# Eine Aufgabe für viele Generationen

**Lasten fair verteilen, Freiheiten bewahren und Wissen weitergeben**



Zeitstrahl mit Phasen des Entsorgungsprozesses in Deutschland (ab 2046 laut gegenwärtigen Schätzungen) und die Zahl der Generationen (oben) seit Inbetriebnahme des ersten Forschungsreaktors.

## WARUM KÜNFTIGE GENERATIONEN BERÜCKSICHTIGEN?

Die hochradioaktiven Abfälle werden viele Jahrtausende brauchen, bis die ionisierende Strahlung, die den Menschen und die Natur gefährden könnte, nachlässt. Die Verwirklichung der finalen Entsorgung erfordert ebenfalls eine sehr lange Zeit: mehrere Jahrzehnte für eine Standortentscheidung bis mehrere Jahrhunderte für die Möglichkeit der Bergung (siehe Abbildung oben). Die Endlagerung ist somit eine Aufgabe für viele Generationen.

Menschen an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten werden dabei unterschiedlich betroffen sein: Zwischenlager-

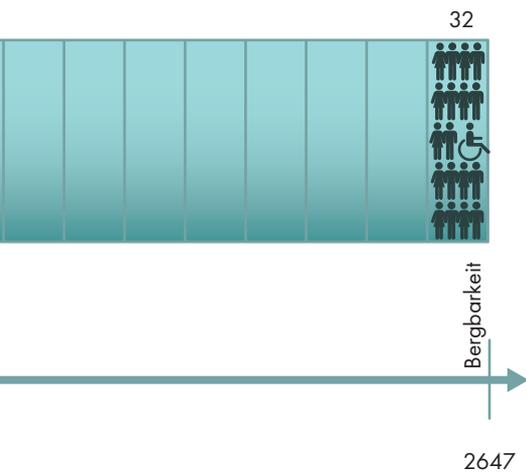
standorte beherbergen jetzt und in der nahen Zukunft die hochradioaktiven Reststoffe an der Oberfläche. Der Endlagerstandort wird mittelfristig mit Beeinträchtigungen durch den Bau der Anlage und den Transport der Behälter rechnen müssen sowie eine Verantwortung als Standortgemeinde langfristig tragen.

Zu verschiedenen Zeitpunkten werden Entscheidungen getroffen werden. Indem wir heute unsere Verantwortung ausüben, um kein ungelöstes Problem zu hinterlassen, schränken wir den Entscheidungsspielraum in der Zukunft ein. Deswegen sollte jede Begründung für eine Entscheidung heutige sowie künftige Belastungen und Freiheiten mitberücksichtigen.

## ABER IN WELCHER FORM AN DIE ZUKUNFT DENKEN?

Um verantwortungsvolle Entscheidungen in Bezug auf solche lange Zeiträume treffen zu können, ist auch ein Verständnis dieser unterschiedlichen Zeithorizonte nötig. Während es den meisten Menschen noch relativ leichtfallen dürfte, sich die Jahrzehnte bis zu einer Standortentscheidung vorzustellen, ist die Vorstellung von 500 (oder gar einer Million) Jahren schon deutlich schwieriger.

Zur Darstellung von verschiedenen Zeiträumen werden klassischerweise Zeitstrahlen oder Abbildungen von Uhren genutzt. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von Virtual Reality (VR).



Eine Anwendung für eine VR-Brille wurde in einer Kooperation der beiden Kieler TRANSENS-Teams (Informatik und Philosophie) entwickelt. In unserer Anwendung drehen sich die Nutzer:innen mit der VR-Brille auf einem Ziffernblatt um die eigene Achse und bewegen sich so mit dem Uhrzeiger virtuell in die Zukunft (Abbildung rechts). Dabei werden an relevanten Zeitpunkten Audio-Erläuterungen zu den entsprechenden zukünftigen Ereignissen vorgelesen (z. B. Standortentscheidung oder Einlagerung der Behälter). Die Bewegung des eigenen Körpers soll dazu beitragen, die langen Zeiträume der Endlagerung besser nachvollziehbar zu machen.

## UND WIE SCHAFFEN WIR ES?

Die Möglichkeit, lange Zeiträume durch das Denken in Generationen zu erfassen, macht sich beispielsweise die in Frankreich mit der Endlagerung betraute Behörde ANDRA zunutze. Dort werden Gedächtnisgruppen (groupes memoires) eingerichtet, in denen Bürger:innen, Kunstschaffende, Politiker:innen und Vertreter:innen von Behörden gemeinsam daran arbeiten, das Wissen über die Endlagerung anschaulich aufzubereiten und von Generation zu Generation weiterzugeben.

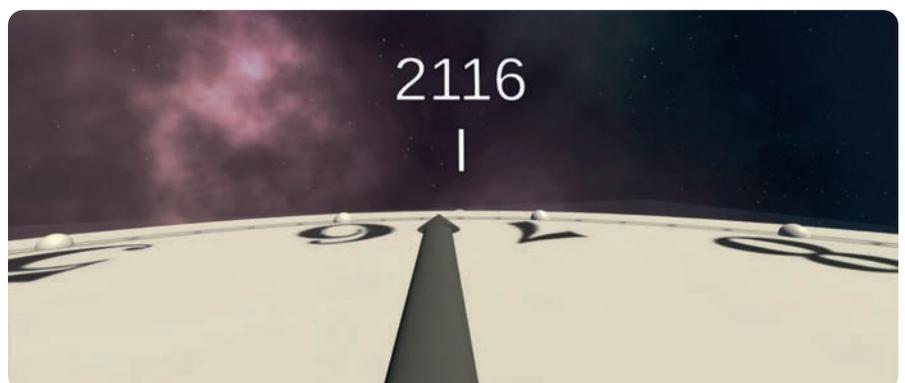
Für diese Strategie gibt es aus unserer Sicht gute Gründe: Für die nahe Zukunft verschafft sie eine Grundlage für Entscheidungen und für die öffentliche Beteiligung an Entscheidungsprozessen. Wenn das Wissen zudem für die ferne Zukunft verfügbar sein sollte, ist diese Strategie ebenfalls geeignet: Schon in wenigen Jahrtausenden könnten unsere Sprachen nicht mehr aktiv genutzt oder sogar vergessen werden und somit nicht mehr unmittelbar verständlich sein. Es ist gut, wenn jede Generation das Wissen erneuert und anpasst und an die nächste Generation weitergibt. ■



„Langfristige Prozesse und Entscheidungen können durch das Denken in Generationen und die Weitergabe von Wissen fair gestaltet werden.“

Dr. Rosa Sierra  
Christian-Albrechts-Universität  
zu Kiel  
Lehrstuhl für Philosophie und Ethik  
der Umwelt  
TAP DIPRO

Margarita Berg  
Christian-Albrechts-Universität  
zu Kiel  
Lehrstuhl für Philosophie und  
Ethik der Umwelt  
TAP DIPRO



Screenshot aus der VR-Anwendung mit Ziffernblatt, beispielhaft für das Jahr 2116 (Paula Bräuer)

# Die Öffentlichkeit im Standortauswahlverfahren

**Das Forschungsteam der FU Berlin hat in Workshops neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen und seine Ergebnisse vorgestellt.**

**S**eit rund 40 Jahren betreibt das Otto-Suhr-Institut für Politikwissenschaft der Freien Universität Berlin (FU Berlin) politik- und sozialwissenschaftliche Forschung zur Atompolitik. Nach dem Ausstieg aus der „Atomkraft“ im April 2023 liegt der Schwerpunkt der Forschung auf der Öffentlichkeitsbeteiligung und der Selbstorganisation zivilgesellschaftlicher Akteure bei der Standortsuche für ein Tiefenlager für hochradioaktive Abfälle. Zusätzlich wird an der Finanzierung der Lagerung dieser Abfälle intensiv geforscht, um langfristig nachhaltige Lösungen zu entwickeln.

## NEBEN DINOSAURIERN IM MUSEUM

Der transdisziplinäre Ansatz von TRANSENS integriert Bürger sowohl in einzelne Workshops als

auch langfristig in die Forschungsarbeiten. An den von der FU Berlin organisierten Workshops nahmen sowohl Bürger:innen als auch die DIPRO-Begleitgruppe teil. Besonders aufschlussreich war der Workshop „(Nicht) Mein Endlager“, der in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin im Museum für Naturkunde stattfand. Die Nähe zu den Dinosauriern sollte die enormen Zeiträume und Herausforderungen der Lagerung von hochradioaktiven Abfällen verdeutlichen.

Im Workshop wurden verschiedene Szenarien für den Umgang mit hochradioaktiven Abfällen in naher und ferner Zukunft ausführlich diskutiert. Ein Szenario behandelte die potenzielle Veränderung der Atompolitik über Jahrhunderte hinweg. Die DIPRO-Begleitgruppe war aktiv in

die Entwicklung der Forschungsfragen, die Durchführung und die Nachbereitung des Workshops eingebunden. Es zeigte sich, dass es herausfordernd ist, Unbeteiligte für die komplexe Thematik der Standortauswahl zu gewinnen. Verständliche Szenarien mit direktem Alltagsbezug können jedoch fruchtbare Diskussionen anregen. Eine weitere wichtige Erkenntnis war, dass das Einbeziehen vielfältiger Perspektiven, insbesondere



„TRANSENS bot die Möglichkeit zum unabhängigen Forschen. Davon muss es in Zukunft noch viel mehr geben.“

Dr. Achim Brunnengräber,  
Politikwissenschaftler,  
Freie Universität Berlin,  
Otto-Suhr-Institut,  
TAP DIPRO

## Die Landkarte der Gerechtigkeit

Lucas Schwarz widmete sich in seiner Dissertation der persönlichen Wahrnehmung von Gerechtigkeit. Das Ergebnis zeigt, dass jeder Mensch eine individuelle Landkarte der Gerechtigkeit hat. Diese zu erforschen, ist die Grundlage für einen offenen und umfassenden gesellschaftlichen Austausch über einen gerechten Entsorgungspfad für hochradioaktive Abfälle. Durch die Erhebung wurden unterschiedliche Gerechtigkeitsverständnisse, von technisch-pragmatischen über partizipativ-orientierte bis hin zu kritisch-hinterfragenden und nüchtern-distanzierten Perspektiven, empirisch fundiert nachgezeichnet.



Ein Tag im Museum sollte veranschaulichen, mit welcher enormen Zeiträumen die Standortauswahl verbunden ist.



Ohne die Diskussion mit Bürger:innen wird die Standortauswahl nicht gelingen.

in Bezug auf Gerechtigkeit und Sicherheit, das Standortauswahlverfahren erheblich bereichern kann.<sup>1</sup>

### ÖFFENTLICHKEIT, WISSENSCHAFT UND STAAT IM DIALOG

Ein weiterer Workshop, der im Henry-Ford-Bau der FU Berlin stattfand, thematisierte das Verhältnis von Politik und Wissenschaft bei der Standortauswahl für ein Tiefenlager. Wissenschaftler:innen aus verschiedensten Disziplinen, auch aus themenfremden Bereichen, diskutierten mit Akteuren staatlicher Einrichtungen. Dabei wurde ein deutliches Spannungsverhältnis zwischen kritischer, unabhängiger Forschung und politischer Beratung offensichtlich. Die Förderung unabhängiger Forschung wurde als wesentliche, wenn auch anspruchsvolle Begleitmaßnahme der Standortauswahl identifiziert.

In einem dritten Workshop, der gemeinsam mit Partnern der Technischen Universität Berlin

durchgeführt wurde, präsentierten und reflektierten die Forscher:innen die Ergebnisse zur Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Standortauswahl. In der Diskussion mit Bürger:innen und Umweltverbänden wurde deutlich, dass eine effektive zivilgesellschaftliche Selbstorganisation im bisherigen Verfahren nur begrenzt möglich war.

Mit fortschreitender Zeit nahm die Beteiligung der Bürger:innen ab, und staatliche Prozesse und Strukturen schränkten die Räume für Dialoge erheblich ein. Um diesem Trend entgegenzuwirken, müssen Machtasymmetrien zwischen Zivilgesellschaft und Staat gezielt abgebaut werden.<sup>2</sup>

Achim Brunnengräber, Albert Denk, Dörte Themann, Lucas Schwarz, Jan Sieveking, Nicolo Luzzatto und Maria Rosaria Di Nucci haben ihre umfangreichen Erkenntnisse in zahlreichen Publikationen festgehalten und somit einen bedeutenden Beitrag zur wissenschaftlichen Debatte geleistet.<sup>3</sup>

## „Commoning“ im Umgang mit (hoch-)radioaktiven Abfällen?

Commoning bezeichnet eine spezifische Form des kooperativen kollektiven Handelns mit charakteristischen Merkmalen und Logiken. Dörte Themann untersucht in ihrer Dissertation, wie sich solche Logiken in der Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Standortsuche in Deutschland identifizieren lassen, welche Grundlagen sie haben, was ihre Entstehung begünstigt oder hemmt und wie sie wirken. Durch die Beantwortung dieser Fragen sollen neue, innovative Perspektiven auf den Umgang mit (hoch-)radioaktiven Abfällen entwickelt und die Forschung weiter bereichert werden. Diese Erkenntnisse könnten langfristig zu besseren und gerechteren Lösungen im Bereich der nuklearen Entsorgung führen.

<sup>1</sup> Die wissenschaftliche Methodik und die Ergebnisse des Workshops finden sich hier:



<sup>2</sup> Die Ergebnisse aus der Analyse der Öffentlichkeitsbeteiligung finden sich hier (Seite 23ff.):



<sup>3</sup> Die Veröffentlichungen sind unter dem folgenden Link aufrufbar:



# DIE „ATOMWENDE“ UND TRANSDISZIPLINÄRE BEGLEITPRODUKTE

**Das Team des Prof. Dr. Christian von Hirschhausen, Fabian Präger und Alexander Wimmers vom Fachgebiet für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP) der Technischen Universität Berlin erforschen sozio-ökonomische Aspekte der Entsorgung und Organisationsmodelle des sozio-technischen Systems „Atomenergie“.**



Fotoband „Einfach mal abschalten – und dann?“

## **A** TOMWENDE UND ENTSORGUNG ALS TEILE DER SOZIAL-ÖKOLOGISCHEN TRANSFORMATION

Die Forschung des Teams der TU Berlin verbindet sozial-ökologische Transformationsprozesse mit der Entsorgungsfrage und sozio-technischen Untersuchungen des System der „Atomenergie“ durch die Entwicklung des Analysekonzepts der „Atomwende“. Der Begriff der „Atomwende“ bezeichnet die Abkehr vom alten System der kommerziellen Nutzung der „Atomenergie“, einschließlich der in der Gesellschaft oft vernachlässigten Entsorgungsfragen. Mit dem Konzept der „Atomwende“ können die anhaltenden Herausforderungen des Entsorgungsprozesses untersucht werden, die nicht mit einem einfachen „Ausstieg“ gelöst sind, da radioaktive Abfälle weiterhin behandelt werden müssen.

Die sich daraus ergebenden Herausforderungen müssen in die Diskussion über die sozial-ökologische Transformation im 21. Jahrhundert einbezogen werden. Die „Atomwende“ ist somit integraler Bestandteil dieser Transformation und bildet die Grundlage für eine erfolgreiche Entsorgungspolitik, die wiederum Voraussetzung für die deutsche Energiewende ist.<sup>1</sup>

## **BEGLEITPRODUKTE FÜR TRANSDISZIPLINÄRE DIALOGE UND LEHRE**

Im Rahmen des TAP DIPRO, das sich auf transdisziplinäre Dialoge zur Partizipation im Entsorgungsprozess konzentriert, entwickelt das WIP-Team transdisziplinäre Begleitprodukte für Dialoge und Lehre. Die Herausforderungen von Endlagerdialogen beginnen bereits im vorgelagerten Schritt, insbesondere bei Bemühungen, Menschen ohne Vorkenntnisse

oder Interesse am Themenfeld zu erreichen. Die Begleitprodukte für transdisziplinäre Dialoge dienen daher als niedrigschwellige Angebote, um mit Menschen verschiedener Hintergründe ins Gespräch zu kommen und den Dialog über Entsorgungsfragen zu erleichtern.

## **FOTOBAND UND WANDERAUSSTELLUNG**

Ein Fotoband und eine Wanderausstellung entstanden aus einem Studienprojekt am WIP. Unter dem Titel „Einfach mal abschalten – und dann?“ illustrieren diese den Übergang von der Nutzung der „Atomenergie“ zum Rückbau und der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Die Ausstellung mit 21 Plakaten soll Personen, die nicht mit dem Thema vertraut sind, einen einfachen Zugang ermöglichen und das Bewusstsein für die Herausforderungen der Zwischen- und Endlagerung schärfen.



„Durch TRANSENS bieten wir an der TU Berlin zwei forschungsorientierte, inter- und transdisziplinäre Veranstaltungen zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle an, um Studierende und Nachwuchswissenschaftler:innen für nukleare Sicherheit zu sensibilisieren.“

Prof. Christian von Hirschhausen, Fachgebietsleiter WIP, Fachgebiet für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP) der Technischen Universität Berlin, TAP DIPRO

### **KARTENSPIELE ZUR BESCHÄFTIGUNG MIT NEUBAUPLÄNEN FÜR KERNKRAFTWERKE**

Die Kartenspiele im Quartettformat befassen sich spielerisch mit Neubauplänen für Kernkraftwerke und verschiedenen Reaktortypen. Sie bieten wissenschaftlich basierte Informationen zu sogenannten „Small Modular Reactors“ (SMR) sowie komplexeren Reaktorkonzepten mit schnellem Neutronenspektrum, Hochtemperaturreaktoren sowie Salzschnmelzreaktoren.

### **FINANZIERUNG KERntechnischer Entsorgung**

Die Neuordnung der Entsorgung radioaktiver Abfälle 2017 führte zur Einrichtung des Fonds



„Die Neuordnung der Entsorgungsorganisation 2017 führte zur Einrichtung des KENFO, doch Zweifel an seiner langfristigen Finanzierungsfähigkeit bestehen, weshalb die TU Berlin diese Risiken untersucht.“

Alexander Wimmers, Wirtschaftsingenieur, Fachgebiet für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP) der Technischen Universität Berlin, TAP DIPRO

„KENFO“, der mit 24 Milliarden Euro unter Nachhaltigkeitskriterien die Entsorgung finanzieren soll.<sup>2</sup>

Verzögerungen bei der Standortauswahl und die schlechte Performance des Fonds werfen die Frage auf, ob die Finanzierung bis zur Schließung eines Endlagers gesichert ist oder zukünftige Steuerzahler:innen die Kosten tragen müssen. Die TU Berlin untersucht derzeit die Risiken eines Zahlungsausfalls, um zukünftige Belastungen zu minimieren und proaktives Handeln zu ermöglichen.<sup>3</sup>

Zusammenfassend zielt die Forschung des Teams darauf ab, die sozial-ökologische Transformation zu unterstützen, indem sie die Entsorgungsproblematik umfassend adressiert und inno-



„Die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle muss ganzheitlich im Kontext der Atomwende und sozial-ökologischen Transformation betrachtet werden.“

Fabian Präger, Wirtschaftsingenieur, Fachgebiet für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP) der Technischen Universität Berlin, TAP DIPRO

vative Begleitprodukte für transdisziplinäre Dialoge und Lehre entwickelt. ■

<sup>1</sup> Siehe dazu:



<sup>2</sup> Siehe dazu den Aufsatz eines Forschungspartners:



<sup>3</sup> Siehe dazu:



# BAUWERKE FÜR DIE ZWISCHEN- UND ENDLAGERUNG

## Handlungsfähigkeit und Flexibilität auf dem Endlagerpfad durch Lebensdauermanagement von Bauwerken für die Zwischen- und Endlagerung hochradioaktiver Reststoffe:

**WAS TUN WIR?**  
Wir entwickeln im transdisziplinären Verfahren Konzepte für die ober-tägigen Anlagen von Endlagern bestehend aus Lagergebäuden, einer Konditionierungsanlage und der dazugehörigen Infrastruktur. Dazu gehört auch ein lernfähiges System zum Alterungsmanagement der Bauwerke, mit dem zu jedem Zeitpunkt der aktuelle bauliche Zustand der Infrastruktur bewertet werden kann. Zudem erörtern wir in transdisziplinären

Workshops mit Bürger:innen die technischen Anforderungen an den Betrieb und das Alterungsmanagement von Zwischenlagerbauwerken im Zusammenhang mit der verlängerten Zwischenlagerung.

### BAUWERKE AM ENDLAGERSTANDORT

Neben den Anlagen unter Tage müssen auch über Tage Bauwerke errichtet werden. Dazu gehören die Eingangslager mit entsprechenden Anlagen zum Umladen

der aus den Zwischenlagern angelieferten Transport- und Zwischenlagerbehälter sowie einer Konditionierungsanlage zum Umpacken der hochradioaktiven Reststoffe von den Transport- und Lagerbehältern in geeignete Endlagerbehälter.

In einem visuellen Experiment zusammen mit dem Öko-Institut und der Universität Kassel wurde das Design und die Anordnung der Oberflächenanlagen an verschiedenen Endlagerstandorten gemeinsam zwischen fachlichen Expert:innen und Bevölkerungsgruppen evaluiert und verbessert.



Alexander Gunkler forscht zu nachhaltigen Baustoffen und Lebensdauer am Institut für Baustoffe Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig.



Dr.-Ing. Thorsten Leusmann leitet kommissarisch das Fachgebiet Baustoffe am Institut für Baustoffe Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig.

### ZWISCHENLAGER-BAUWERKE

Seit mehr als 30 Jahren lagern hochradioaktive Reststoffe aus Kernkraftwerken in Zwischenlagern in Deutschland. Aktuell gibt es 16 Zwischenlagerbauwerke, in denen mehr als 1000 Transport- und Lagerbehälter für hochradioaktive Reststoffe lagern. Die Bauwerke sind unterschiedlich aufgebaut und haben unterschiedliche Abmessungen, alle sind jedoch aus Stahlbeton errichtet.

Die Auswirkungen einer verlängerten Zwischenlagerung auf die Sicherheit, Risiken und

Anforderungen wurden in drei transdisziplinären Workshops mit Bürger:innen aus Brokdorf, Greifswald und Heilbronn zusammen mit Vertretenden von BGZ, BASE und dem philosophischen Seminar der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel diskutiert.

## ALTERUNG UND KORROSION DER BAUWERKE

Stahlbeton besteht aus Beton und Bewehrungsstahl. Beide Materialien können korrodieren. Bei der Stahlkorrosion im Beton führen lang andauernde chemische und physikalische Alterungsprozesse dazu, dass der Bewehrungsstahl nicht mehr durch den Beton vor Korrosion geschützt ist. Setzt dann die Korrosion ein, kommt es zu Rissen und Abplatzungen, die zu einer reduzierten Tragfähigkeit führen können.

## EXTREME EINWIRKUNGEN

Neben den üblichen Belastungen für Bauwerke sind die Oberflächenanlagen und die Zwischenlagerbauwerke auch für extreme Einwirkungen wie Hochwasser,



Zwischenlagerstandorte in Deutschland mit Genehmigungsdauer

Erdbeben, Brand und Flugzeugabstürze auszulegen.

## LEBENSDAUER DER BAUWERKE

Die Lebensdauer der Bauwerke ist erreicht, wenn die Tragfähigkeit durch die Korrosionsprozesse so weit gesunken ist, dass das Bauwerk den Einwirkungen nicht mehr standhalten kann.

Bauwerke werden in der Regel für eine Lebensdauer von 50 Jahren geplant und gebaut. Durch regelmäßige Überprüfungen wird sichergestellt, dass diese oder auch eine längere Lebensdauer erreicht wird.

Mit Hilfe von Sensoren und Messtechnik können die Bauwerke kontinuierlich überwacht werden und die Daten können zur Prognose der weiteren Zustandsentwicklung genutzt werden. Somit wird ein ständiger Vergleich der Einwirkungen mit den Widerstandswerten ermöglicht.

Die Lebensdauerprognose ist ein hilfreiches Instrument zur Bewertung der Sicherheitsanforderungen und Kosten der obertägigen baulichen Anlagen eines Endlagers und kann ebenso zur Bewertung der Zwischenlagerbauwerke eingesetzt werden. Sie kann wertvoll für die Priorisierung der Rückbaureihenfolge von Zwischenlagern sein und ist somit ein sinnvolles Hilfsmittel zur Erhöhung der Flexibilität auf dem Endlagerpfad.



Evaluation der Oberflächenanlagen am Endlagerstandort im virtuellen Labor der Universität Kassel.

# KONTEXT, FOLGEN UND RECHT

## Perspektive auf die Dynamik des Verfahrens

**T**echnische Fragen im gesellschaftlichen Zusammenhang zu betrachten und Folgen sowie „Folgen-Folgen“ im Voraus zu durchdenken – das sind die großen Aufgaben in der Forschung am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Mit vier Arbeitsschwerpunkten verdeutlichen wir die „soziotechnische“ Endlagerforschung im Rahmen von TRANSENS:

### DENKEN IN ALTERNATIVEN: DEN EINGESCHLAGENEN PFAD VERLASSEN?

Es dauert mehrere Jahrzehnte (Standortauswahl) und sogar Jahrhunderte (Errichtung, Betrieb, Verschluss, Kontrolle eines Endlagerbergwerks), hochradioaktive Abfälle sicher zu entsorgen. Auf diesem Weg sind zahlreiche Entscheidungen zu treffen. Im Standortauswahlgesetz, welches das Vorgehen bis zur Standortauswahl anleitet, werden dafür Qualitätsmerkmale genannt: Die Suche soll partizipativ, wissenschaftsbasiert, transparent, selbsthinterfragend und lernend sein.

Auch wenn diese Standards eingehalten werden und die Verfahrensqualität hoch ist, sollten zukünftige und problematische Entwicklungen vorausschauend in das aktuelle Handeln einbezogen werden. Um dafür eine Grundlage zu schaffen, haben wir erwartbare Entwicklungen systematisch dargestellt. Auch unerwartete

Ereignisse und Entscheidungsprobleme sowie alternative Vorgehensweisen sollten frühzeitig bedacht werden. Dazu gehört beispielsweise, Bedingungen zu ermitteln, die für eine erfolgreiche Umsetzung notwendig sind.

### PROBLEMLÖSUNGSFÄHIGKEIT FÖRDERN DURCH KOLLABORATIVES VORGEHEN

Die am Verfahren zur Standortauswahl Beteiligten sind ständig gefordert, sich auf neue

Herausforderungen einzustellen. Der erste Schritt ist, eine gemeinsame Problemwahrnehmung zu erarbeiten. Durch die Beratung und den Austausch der unterschiedlichen Perspektiven der Beteiligten entsteht eine konstruktive Zusammenarbeit. Diese gestärkte Verbindung unterstützt den Ansatz, Lösungsideen kollaborativ zu entwickeln. Dazu werden geeignete Räume des Dialogs benötigt, in denen komplexe Themen und auch mög-



„Denken in Alternativen heißt vergleichende Betrachtung lösungsorientierter Handlungsoptionen, um Vor- und Nachteile offenzulegen und abzuwägen – eine Daueraufgabe.“

PD Dr. Dirk Scheer, Politikwissenschaftler, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am Karlsruher Institut für Technologie, TAP HAFF



„Lernen bedeutet im Kontext der nuklearen Entsorgung, sowohl eigenes Handeln als auch das Zusammenspiel der Akteure der Endlager-Governance zu reflektieren.“

Elske Bechthold, Sozialwissenschaftlerin, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am Karlsruher Institut für Technologie, TAP HAFF



Einen geeigneten Behälter für ein Endlager gibt es noch nicht. (Foto: Brigitte Hiss)



Workshop zum finanziellen Ausgleich für ein Endlager.

liche Konflikte lösungsorientiert besprochen werden. Innovative Methoden (wie z.B. Design Thinking), die kreatives Potenzial freisetzen und einen vertrauensbildenden Rahmen schaffen, unterstützen bei der Entwicklung von Lösungsansätzen.

### „NOCH LUFT NACH OBEN“ – DAS „LERNENDE“ STANDORT-AUSWAHLVERFAHREN

Während der langen Dauer der Standortauswahl kann sich

vielen verändern: wissenschaftliche Erkenntnisse, technische Möglichkeiten, Managementmethoden und vieles mehr. Dafür müssen auch die Beteiligten des Standortauswahlverfahrens aufmerksam und offen sein. Passend dazu sieht das Standortauswahlgesetz unter anderem ein „lernendes Verfahren“ vor. Doch was bedeutet das genau? Und wie ist es umzusetzen? Erste Antworten auf diese Fragen wurden zusammen mit Personen

aus Institutionen gefunden, die direkt am Verfahren beteiligt sind.

Es wurden drei Workshops in Zusammenarbeit mit der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Endlagerforschung durchgeführt. Dabei war das Ziel, in einem „geschützten Raum“ gemeinsam gute Lernerfahrungen zu machen.

### FORTSCHREIBUNG DES KOMMENTARS ZUM STANDORTAUSWAHLGESETZ

Die Einhaltung rechtlicher Vorgaben ist ein zentrales Element von Rechtsstaatlichkeit. Allerdings sind Gesetzestexte typischerweise nicht leicht verständlich. Besonders das „Wiedererkennen“ vertrauter Wörter aus der Alltagssprache kann trügerisch sein. Für die Erklärung von Gesetzestexten gibt es im juristischen Feld die sogenannten Kommentare. In ihnen wird der Rechtstext – jede Vorschrift, jeder Begriff – eingehend erklärt. Die Fortschreibung eines Kommentars zum Standortauswahlgesetz war die größte Aufgabe im Arbeitspaket Recht.

Aus dem TRANSENS-Verbund konnten eine Vielzahl neuer und nützlicher Erkenntnisse aus anderen Wissenschaftsdisziplinen eingearbeitet werden. Zugleich sollen die erklärenden Texte möglichst einfach sowohl für Wissenschaftler:innen aus anderen Disziplinen als auch Bürger:innen verständlich sein. ■



„Das Standortauswahlverfahren ist ein anspruchsvolles Projekt. Um kreative Lösungsideen zu entwickeln, ist es zentral, vielfältige Perspektiven einzubeziehen und vertrauensvoll zusammenzuarbeiten.“

Stefanie Enderle,  
Sozialwissenschaftlerin,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am  
Karlsruher Institut für Technologie,  
Leiterin TAP HAFF



„Im Standortauswahlverfahren ist es wichtig, dass die Beteiligten die rechtlichen Vorgaben und Möglichkeiten gut verstehen.“

Prof. Ulrich Smeddinck,  
Rechtswissenschaftler und  
Herausgeber eines Gesetzeskommentars zum StandAG,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am  
Karlsruher Institut für Technologie,  
Leiter TAP DIPRO

# DIE ROLLE DER TECHNIK IM BETEILIGUNGSPROZESS DER STANDORT-AUSWAHL

**Die Berücksichtigung von psychologischen Faktoren schafft bestmögliche Sicherheit und löst Konflikte zwischen Anforderungen und Betroffenen**



**WAS TUN WIR?** Wir sind in den Teilprojekten HAFF und DIPRO beteiligt. Dabei drehen sich in HAFF die Fragen rund um die Flexibilität des Verfahrens zur Endlagerung wärmeentwickelnder hochradioaktiver Abfälle. Wir unterstützen mit dem notwendigen technischen Wissen zu den Endlagerbehältern die transdisziplinäre Arbeit, so dass immer auf ein fundiertes technisches Wissen zurückgegriffen werden kann. In DIPRO geht es eher um die Ausgestaltung des Verfahrens, wobei die Güte der Prozessgestaltung im Vordergrund steht. Diese ist jeweils abhängig vom eigenen Empfinden, Wissen und von der individuellen Position, welche als gerecht oder ungerecht wahrgenommen wird. Dialogprozesse werden hinsichtlich des zu leistenden technischen Wissensfundaments begleitet und Wege zur vertrauensbildenden Aufbereitung und Vermittlung von Wissen werden untersucht.

„Das Sicherheitskonzept eines Endlagerbehälters kann mit dem Matroschka-Prinzip erklärt werden, dies ergaben die Analysen zur Eignung von CASTOR-Behältern zur Endlagerung und der Betrachtung internationaler Endlagerbehälterkonzepte.“

Dr.-Ing. Thomas Hassel leitet das Unterwassertechnikum des Instituts für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover.

## **DIE ROLLE DER ENDLAGER-BEHÄLTERTECHNIK AUF DEM ENTSORGUNGSPFAD**

Der Entsorgungsprozess des hochradioaktiven Abfalls beginnt mit der Einlagerung in die Transport- und Lagerbehälter, welche bis zur Verbringung in das Endlager in Zwischenlagern bleiben

müssen. Mit der ungeklärten Frage, wann die Einlagerung in das noch zu erstellende Endlager in Deutschland beginnt, herrscht noch völlige Unklarheit über die Zeiträume, über welche zwischengelagert werden muss. Ebenso gibt es vielfach die naive Vorstellung oder Hoffnung bei Beteiligten oder Betroffenen, dass schlussendlich die Behälter aus dem Zwischenlager direkt in das Endlager verbracht werden können. Hierzu ist wesentliche inhaltliche Aufklärungsarbeit geleistet worden, wobei einerseits die Eignung der in Deutschland verwendeten CASTOR-Behälter für die Endlagerung untersucht worden ist. Andererseits ist recherchiert worden, welche Randbedingungen und Schranken es dafür gibt, von internationalen Endlagerkonzepten zu lernen, insbesondere warum es keine einfache Übertragung dieser Konzepte auf das laufende Verfahren geben kann.

## HINTERGRÜNDE VON TECHNISCHEN ENTSCHEIDUNGEN

Die Aussicht auf eine generationenübergreifende Realisierungsphase der Endlagerung stellt uns vor große Herausforderungen hinsichtlich des dafür notwendigen Wissensmanagements. Die Grundlage, auf deren Basis heutige Entscheidungen getroffen werden, müssen verständlich und auf Basis von Fakten erhalten bleiben, um entstehende Zweifel an diesen Entscheidungen zukünftiger Beteiligten konfliktfrei ausräumen zu können.

Anhand der seit 1978 getroffenen Entscheidung, den Endlagerbehälter im schwedischen Endlagerkonzept mit Kupfer zu ummanteln, ist untersucht und dargestellt worden, dass schon 46 Jahre später Begründungen von Entscheidungen und die dafür notwendige Datenbasis nur noch schwer nachvollziehbar sind. Damit verbundene Risiken sind hier vertieft diskutiert worden.

### 1 MIO. JAHRE SICHERHEIT UND KEINER WEISS, WANN ES LOS GEHT!

Zeitkonzepte sind bei der Diskussion über die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle von enormer Bedeutung. Nach dem deutschen Standortauswahlgesetz (StandAG) müssen drei verschiedene Zeitskalen berücksichtigt werden. Der derzeitige öffentliche Diskurs über die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle konzentriert sich jedoch auf den Zeitpunkt der Standortauswahl (1) und auf die eine Million Jahre sichere Lagerung (3), während die „mittlere Frist“ von 500 Jahren

nach dem Verschluss (die Phase der geforderten Bergbarkeit) (2) weitgehend vernachlässigt wird. Daher besteht eine der ersten Kommunikationsherausforderungen darin, geeignete Wege zu finden, um alle relevanten Skalen der Zukunft anzusprechen.



Einordnung der Behälterentwicklung im Gesamtsicherheitskonzept der Endlagersuche.

Grund dafür könnte sein, dass es einfacher ist, über die nahe und ferne Zukunft zu sprechen, als über Zeiträume von „500 Jahren ab x“, wenn niemand x als Größe definiert hat. Um also hier zukünftiges Systemverhalten beschreiben zu können, braucht man Daten, die eine Eigenschaftsänderung pro Zeit abbilden, welche dann in die Zukunft extrapoliert werden kann. Die Qualität der Daten sowie die zeitliche Systementwicklung sind dabei extrem wichtig, um die Unsicherheiten und Ungewissheiten zum zukünftigen Systemverhalten möglichst gering zu halten.

Gerade in der Diskussion über die mittlere Zeitspanne (2), welche am wenigsten definiert und durchsichtig in der gesellschaftlichen Diskussion erscheint, ist eine möglichst genaue Kenntnis des Systemverhaltens erforderlich.

## EINNAHME DER PERSPEKTIVE DES ANDEREN IN KONFLIKTBETAFFETEN DISKUSSIONEN

Wie erreicht man eine gerechte Kompensation der Betroffenen „am Standort“ des Endlagers? In einem Workshop mit den Personen / Playern / ... wurde dies mit dem Ansatz von „anderen zu lernen“ verknüpft, wobei hier die in Finnland durchgeführte Standortauswahl als ein Fallbeispiel gewählt worden ist.

Im TD-Format eines organisierten Rollenspiels sollten dabei Konfliktpotenziale identifiziert, diskutiert und Lösungsansätze erarbeitet werden. Dabei übernahmen die Teilnehmer:innen im Rahmen einer festgelegten Situation vordefinierte Rollen und vertraten im Spiel die mit den Rollen verbundenen Interessen. Der Wechsel in eine Rolle sollte dabei Möglichkeiten eröffnen, sämtliche persönlichen Befindlichkeiten und Zwänge als Teilnehmer:in der Diskussionen über Bord werfen und völlig frei argumentieren zu können. Der Perspektivwechsel im Denken und in der Problembetrachtung schafft große Möglichkeiten, sowohl die Qualität des Verfahrens auf organisatorischer Seite als auch das Vertrauen in das Verfahren auf gesellschaftlicher Ebene zu stärken und damit zum Erfolg des Endlagerprozesses beizutragen. ■

# NACHWUCHSFÖRDERUNG UND KOMPETENZERHALT

## Aus- und Weiterbildung im Modul EDU

**D**er Schwerpunkt des Moduls Aus- und Weiterbildung (EDU) liegt auf dem Aufbau inter- (nur Wissenschaft) und transdisziplinärer (Wissenschaft und Praxis) Kompetenzen. Junge Wissenschaftler:innen aus unterschiedlichen Disziplinen ‚üben‘ die Co-Produktion von Wissen mit anderen Wissenschaftler:innen und insbesondere mit Stakeholdern und Praxisakteur:innen. Die EDU-

Angebote richten sich also nicht nur an Wissenschaftler:innen, sondern an alle Interessierten aus Gesellschaft, Verwaltung und privatem Sektor. Zu den Angeboten zählen Ringvorlesungen mit vielfältigen Inhalten von Reaktorphysik bis Psychologie und Ethik, Doktorarbeiten, Sommerschulen und Trainings (z.B. Methoden für Austausch/Wissensproduktion zwischen Wissenschaft und Praxis).

### BEISPIEL SOMMERSCHULEN

Warum die radioaktiven Abfälle nicht ins All schießen? Was macht man mit zwischengelagerten hochradioaktiven Abfällen, wenn sich der Bau des Endlagers verzögert?

Mit Fragen wie diesen beschäftigten sich insgesamt etwa 100 Teilnehmende und Dozierende aus über 20 Ländern in zwei mehrtägigen internationalen



Nachwuchsförderung und Kompetenzaufbau in TRANSENS.



„Es gab viele Gelegenheiten, mit Vortragenden ins Gespräch zu kommen. Die lockere Atmosphäre hat wesentlich zum Erfolg der Sommerschule beigetragen.“

Dörte Themann,  
Doktorandin am  
Forschungszentrum für  
Nachhaltigkeit, FU Berlin

Sommerschulen. Studierende, erfahrene Wissenschaftler:innen, Teilnehmende aus Entsorgungsinstitutionen, aber auch interessierte Bürgerinnen waren aktiv dabei. Sie tauschten sich aus, lernten neue Methoden, wie ein ergiebiger Austausch unter diesen Gruppen gestaltet werden kann. Sie lernten Neues voneinander und erweiterten den Blick auf das Thema nukleare Entsorgung.

Thematisch widmete sich die erste Sommerschule unter dem Titel: „Transdisziplinäre Forschung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle: Wissenschaft trifft Gesellschaft“ den Themen Endlagerung und Akzeptabilität im internationalen Kontext. In der zweiten Sommerschule standen die Leitfragen im Fokus:



„Die Ringvorlesung im Rahmen von TRANSENS hat mir eine wertvolle Übersicht und Breite an Informationen zu allen gesellschaftlichen, gesellschaftspolitischen und technischen Aspekten der Endlagerung für meine Mitarbeit im Nationalen Begleitgremium geliefert.“

Jürgen Rüffer  
Nationales Begleitgremium



Die TRANSENS-Ringvorlesung.

„Wie geht man mit unerwarteten Entwicklungen um? Wann muss entschieden werden? Wer muss beteiligt sein?“

### BEISPIEL RINGVORLESUNG

Die jährlich wiederkehrende TRANSENS-Ringvorlesung spannt über zwei Semester (2h/Woche) den Bogen von den (geo-) technischen Grundlagen zu den ethischen, sozio-ökologischen, ökonomischen, juristischen und politischen Implikationen der Suche nach einem geeigneten Standort für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Im ersten Semester liegt der

Schwerpunkt auf den technischen Grundlagen. Im zweiten Semester steht der Standortauswahlprozess mit den vielfältigen wissenschaftlichen Perspektiven im Fokus.

Die Ringvorlesungen können in Präsenz oder online verfolgt werden. Hierdurch können auch Nicht-Studierende bequem den Themenkomplex verfolgen und der Teilnehmendenkreis besteht neben Studierenden auch aus interessierten Bürger:innen sowie Stakeholdern im Bereich Endlagerung, die sich weiter informieren und fortbilden möchten. ■

### THEMEN (AUSWAHL)

Kernspaltung, Reaktoren, Strahlenschutz	LUH IRS
Entsorgung	TU Clausthal
Politische Ökonomik von Atomenergie	TU Berlin
Der transdisziplinäre Ansatz in der Endlagerforschung	ETH Zürich
Philosophische und ethische Reflexionen zur Entsorgung	CAU PhilSem
Das Stand-AG im aktuellen Kontext	KIT ITAS
Behältertechnik	LUH IW
Geologie, Wirtsgesteine, Rückholbarkeit und Monitoring	TU Braunschweig

# GEMEINSAM STARK

**TRANSENS ist ein Verbundvorhaben, in dem 16 Institute bzw. Fachgebiete von neun deutschen und zwei Schweizer Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten.**



**TU Clausthal**

**Institut für Endlagerforschung**  
 Univ.-Prof. Dr. Klaus-Jürgen Röhlig  
 Telefon: +49 53 23/72-49 20  
 E-Mail: ielf@tu-clausthal.de




**Risicare**  
 Dr. Anne Eckhardt  
 Telefon: +41 79 388 83 83  
 E-Mail: info@risicare.ch




**TU Clausthal**

**Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik**  
 Univ.-Prof. Dr. Karl-Heinz Lux  
 Univ.-Prof. Dr. habil. Eleni Gerolymatou  
 E-Mail: ielf@tu-clausthal.de




**Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**Philosophie und Ethik der Umwelt**  
 Univ.-Prof. Dr. Konrad Ott  
 Telefon: +49 431/8 80-28 22  
 E-Mail: ott@philsem.uni-kiel.de




**Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

**Institut für Informatik/Web Science**  
 Prof. Dr. Isabella Peters  
 Telefon: +49 431/880-7286  
 E-Mail: ipe@informatik.uni-kiel.de




**Freie Universität Berlin**

**Forschungszentrum für Nachhaltigkeit (FFN)**  
 PD Dr. Achim Brunnengräber  
 E-Mail: achim.brunnengraeber@fu-berlin.de




**KIT**  
 Karlsruher Institut für Technologie

**Institut für Nukleare Entsorgung**  
 Dr. Volker Metz  
 Telefon: +49 721/60 82 80 78  
 E-Mail: volker.metz@kit.edu




**KIT**  
 Karlsruher Institut für Technologie

**Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse**  
 2019 – 2023 Dr. Peter Hocke  
 Seit 2024 apl. Prof. Dr. Ulrich Smeddinck  
 E-Mail: ulrich.smeddinck@kit.edu





Leibniz  
Universität  
Hannover

### Institut für Werkstoffkunde

Dr.-Ing. Thomas Hassel

Telefon: +49 511/762 9813

E-Mail: [hassel@iw.uni-hannover.de](mailto:hassel@iw.uni-hannover.de)



Leibniz  
Universität  
Hannover

### Institut für Radioökologie und Strahlenschutz

Prof. Dr. Clemens Walther

Telefon: +49 511/762 3312

E-Mail: [walther@irs.uni-hannover.de](mailto:walther@irs.uni-hannover.de)



**ETH** zürich

### Transdisziplinaritäts- laboratorium des Dept. Umweltsystemwissenschaften

Dr. Pius Krütli

E-Mail: [pius.kruetli@uysy.ethz.ch](mailto:pius.kruetli@uysy.ethz.ch)



**Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology

### Öko-Institut

Julia Mareike Neles & Dr. Melanie Mbah

E-Mail: [j.neles@oeko.de](mailto:j.neles@oeko.de)

[m.mbah@oeko.de](mailto:m.mbah@oeko.de)



### Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik

Prof. Dr. Christian von Hirschhausen

E-Mail: [cvh@wip.tu-berlin.de](mailto:cvh@wip.tu-berlin.de)



Technische  
Universität  
Braunschweig

### Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

Prof. Dr.-Ing. Dirk Lowke

E-Mail: [d.lowke@ibm.tu-bs.de](mailto:d.lowke@ibm.tu-bs.de)



Technische  
Universität  
Braunschweig

### Institut für Geomechanik und Geotechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Joachim Stahlmann

Telefon: +49 531/391 62000



**U N I K A S S E L**  
**V E R S I T Ä T**

### Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie

Prof. Dr. phil. habil. Oliver Sträter

Telefon: +49 56 18/04-4210

E-Mail: [straeter@uni-kassel.de](mailto:straeter@uni-kassel.de)



