

Das neue CL Experiment: eine langzeitliche CO₂ Injektion CO₂LPIE — CO₂ Long-term Periodic Injection Experiment

Dorothee Rebscher¹, Roman Makhnenko², Christophe Nussbaum³, Victor Vilarrasa⁴

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Germany

² Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA), Spanish National Research Council (CSIC), Spain

³ Bundesamt für Landestopografie (swisstopo), Switzerland

⁴ University of Illinois at Urbana-Champaign, USA



swisstopo

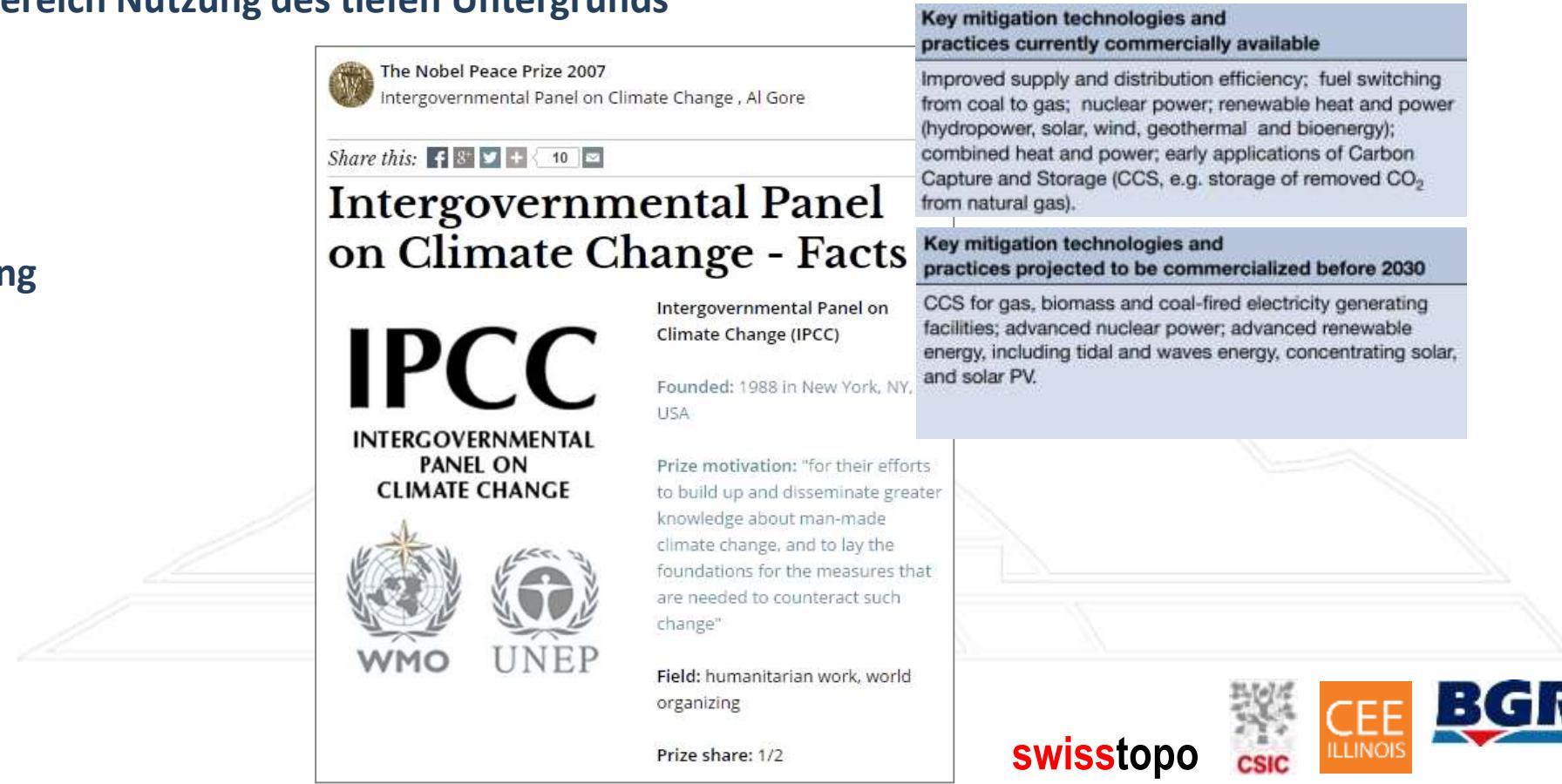


Climate Crisis und Caprock

dt. Hutgestein, Barrieregestein Entscheidungsfaktor im Bereich Nutzung des tiefen Untergrunds

bei

- fossilen Lagerstätten
- Kohlendioxidspeicherung
- Geothermie
- endlagerung
- Energiespeicherung



The Nobel Peace Prize 2007
Intergovernmental Panel on Climate Change , Al Gore

Share this: [f](#) [g+](#) [t](#) [+](#) 10 [e-mail](#)

Intergovernmental Panel on Climate Change - Facts

IPCC
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

WMO UNEP

Prize motivation: "for their efforts to build up and disseminate greater knowledge about man-made climate change, and to lay the foundations for the measures that are needed to counteract such change"

Field: humanitarian work, world organizing

Prize share: 1/2

Key mitigation technologies and practices currently commercially available

Improved supply and distribution efficiency; fuel switching from coal to gas; nuclear power; renewable heat and power (hydropower, solar, wind, geothermal and bioenergy); combined heat and power; early applications of Carbon Capture and Storage (CCS, e.g. storage of removed CO₂ from natural gas).

Key mitigation technologies and practices projected to be commercialized before 2030

CCS for gas, biomass and coal-fired electricity generating facilities; advanced nuclear power; advanced renewable energy, including tidal and waves energy, concentrating solar, and solar PV.

Logos: CEE ILLINOIS, BGR, CSIC, swisstopo

Climate Crisis und Caprock

Entscheidungsfaktor im Bereich Nutzung des tiefen Untergrunds

bei

- fossilen Lagerstätten
- Kohlendioxidspeicherung

- Geothermie
- endlagerung
- Energiespeicherung

gesellschaftspolitische Relevanz



BBC NEWS
Technology
16 January 2020

Microsoft makes 'carbon negative' pledge

Satya Nadella said that technology built without principles does more harm than good

Microsoft has pledged to remove "all of the carbon" from the environment that it has emitted since the company was founded in 1975.

[...]

Microsoft says it will do this using a range of carbon capture and storage technologies.

Wissenschaft

Neue Zürcher Zeitung 01.12.2018,

Bei Umweltschützern ist die Technologie nicht sonderlich beliebt. Aber ohne «carbon capture and storage» wird man die Klimaziele von Paris nicht erreichen

Möchte man die globale Erwärmung auf unter zwei Grad begrenzen, führt kein Weg daran vorbei, Kohlendioxid aus den Abgasen von Kraftwerken abzuscheiden und es zu speichern. Forscher warnen davor, Förderung und Ausbau entsprechender Techniken zu verschlafen.



One of the key technologies that is off track in the IEA's clean energy monitor is carbon capture and storage (CCS), a set of technologies that

The truth is that CCS has much wider applications. It remains the only technology that can deliver deep emissions reductions in hard-to-abate industrial sectors such as steel, fertiliser and cement. Decarbonising these

Climate Crisis und Caprock

Entscheidungsfaktor im Bereich Nutzung des tiefen Untergrunds

- Kohlendioxidspeicherung
- MIT Studie 2018
- fast 1000 Szenarien
- Bedeutung „low-carbon resources“

wissenschaftliche Grundlage

Joule

CellPress

Article

The Role of Firm Low-Carbon Electricity Resources in Deep Decarbonization of Power Generation



Nestor A. Sepulveda,^{1,2,*} Jesse D. Jenkins,² Fernando J. de Sisternes,³ and Richard K. Lester^{1,*}

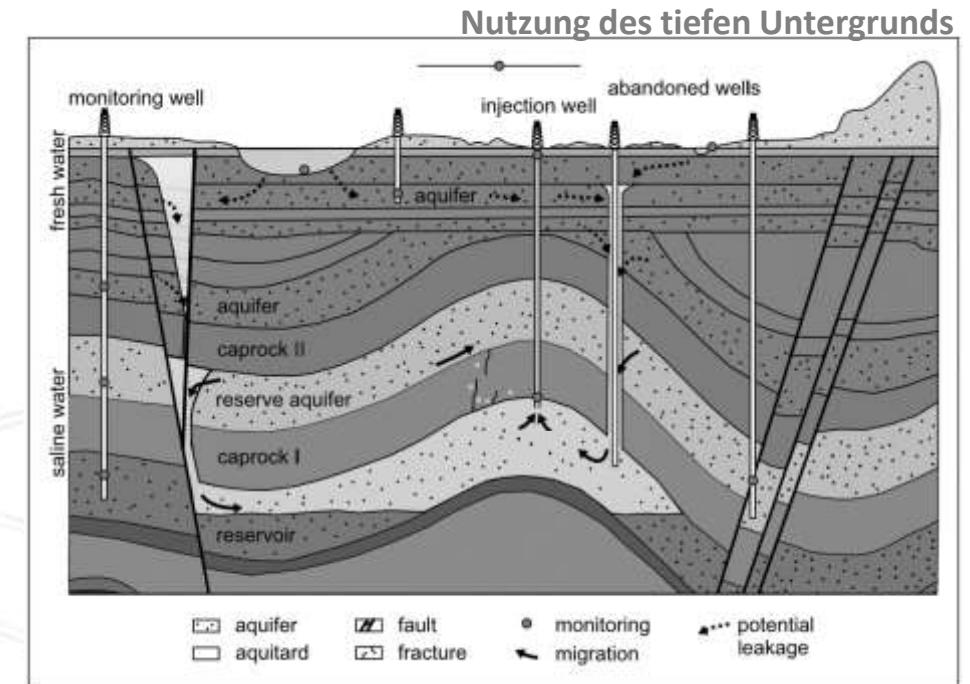
Joule 2, 2403–2420, November 21, 2018 © 2018 Elsevier Inc.

First, although a wide range of public policies currently support the growth of variable renewable resources, policy support for firm low-carbon resources such as nuclear power, geothermal energy, biofuels, and CCS is modest in most jurisdictions. Our results indicate that having one or more firm low-carbon resources available for widespread deployment at reasonable cost will greatly improve the odds that zero or near-zero power sector emissions can be achieved cost-effectively. At present, available firm low-carbon resources face a variety of challenges that impede their widespread adoption, from cost to technology immaturity to risk. If these resources are to be viable options when needed, greater policy support for demonstration, deployment, and improvement of the existing portfolio of firm low-carbon resources is needed today.

Climate Crisis und Caprock

Entscheidungsfaktor im Bereich Nutzung des tiefen Untergrunds

- Eigenschaften
- Verhalten (auf unterschiedlichen Skalen)
- speziell Integrität



Caprock

Entscheidungsfaktor im Bereich Nutzung des tiefen Untergrunds

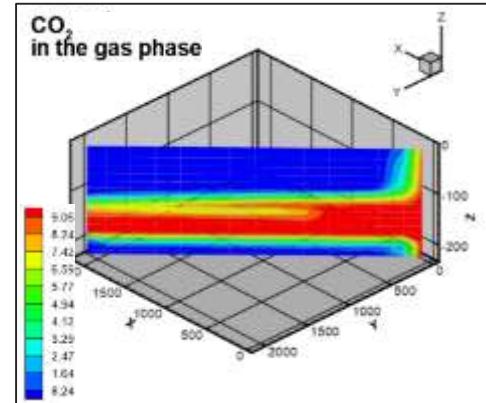
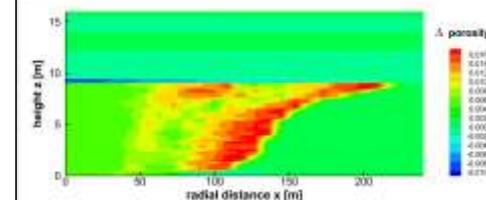
Verständnisgewinn durch

- Modellierungen
- Laboruntersuchungen

**Langzeitmessungen
unter quasi-real Bedingungen**

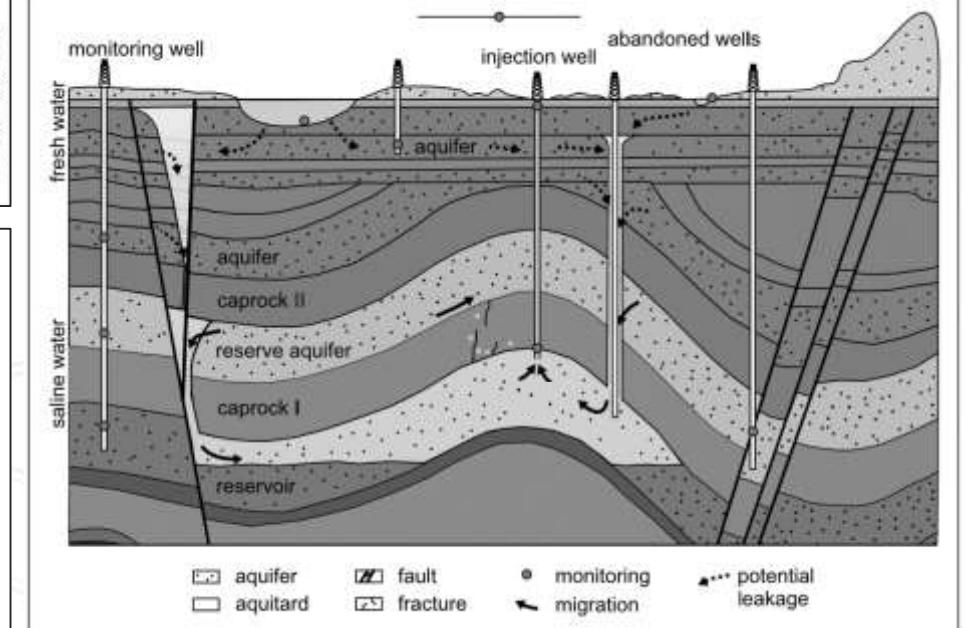
stellvertretend Opalinuston

Übergang Aquifer und Aquitard



unterschiedliche Schichten

Nutzung des tiefen Untergrunds



De nouvelles expériences au laboratoire souterrain du Mont Terri dès 2019

Le laboratoire souterrain du Mont Terri à St-Ursanne, actif dans la recherche relative au dépôt de déchets radioactifs et à la séquestration de CO₂ en couches géologiques profondes, doit s'agrandir. Les appels d'offres pour ces travaux sont publiés aujourd'hui.

15.06.2017 | DKW

Depuis sa création en 1996, environ 150 expériences ont déjà été mises en œuvre dans ce laboratoire de recherches. Ce sont souvent des expériences de longue durée dont un tiers d'entre elles sont toujours en cours. La place manque désormais pour continuer les investigations. Différentes questions technico-scientifiques sont encore en suspens avant de pouvoir penser à un dépôt des déchets hautement radioactifs en couches profondes agendé pour 2060. L'Office fédéral de topographie swisstopo qui exploite ce site a décidé de développer le laboratoire souterrain du Mont Terri. Le canton du Jura, concerné au premier chef, a délivré les autorisations nécessaires en décembre 2016 déjà.

600 mètres supplémentaires pour accueillir les nouvelles expériences

Les 16 partenaires internationaux se sont accordés autour d'un nouveau projet de



Christoph
Einführung in die
CO₂ Experimente
am Mont Terri

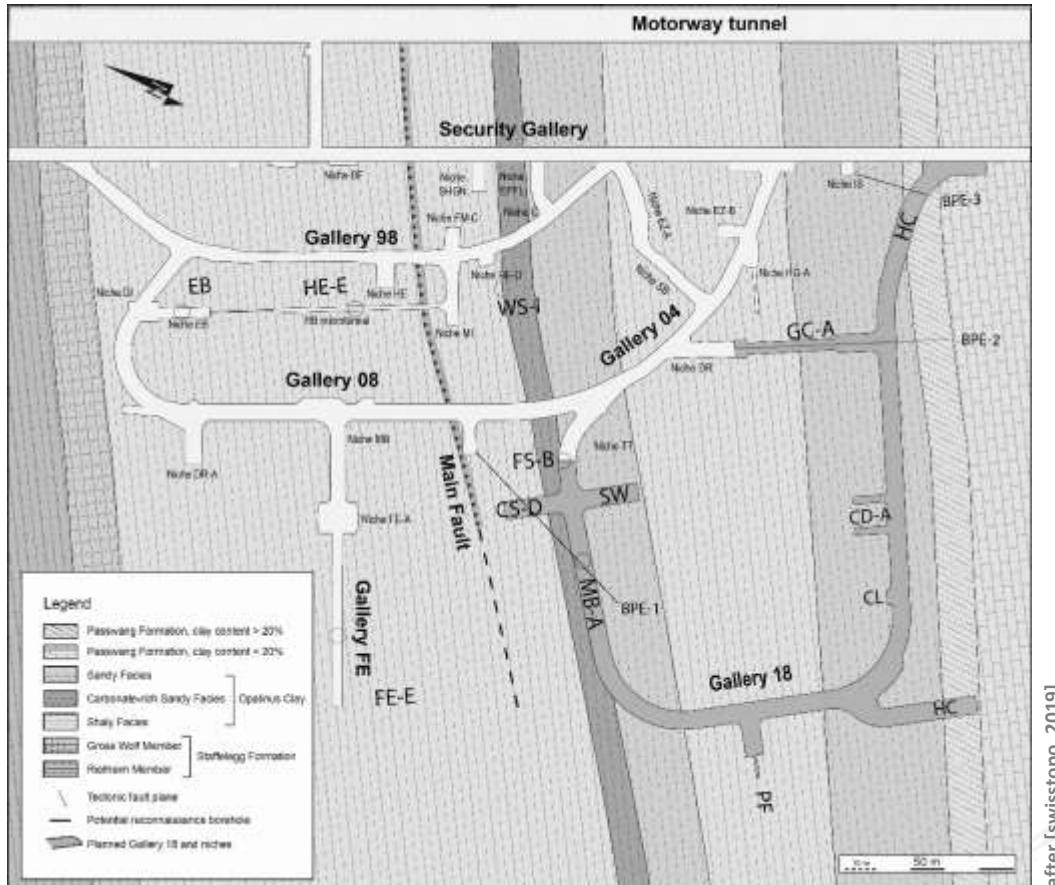
Alba
CS-D Experiment

swisstopo



CEE
ILLINOIS

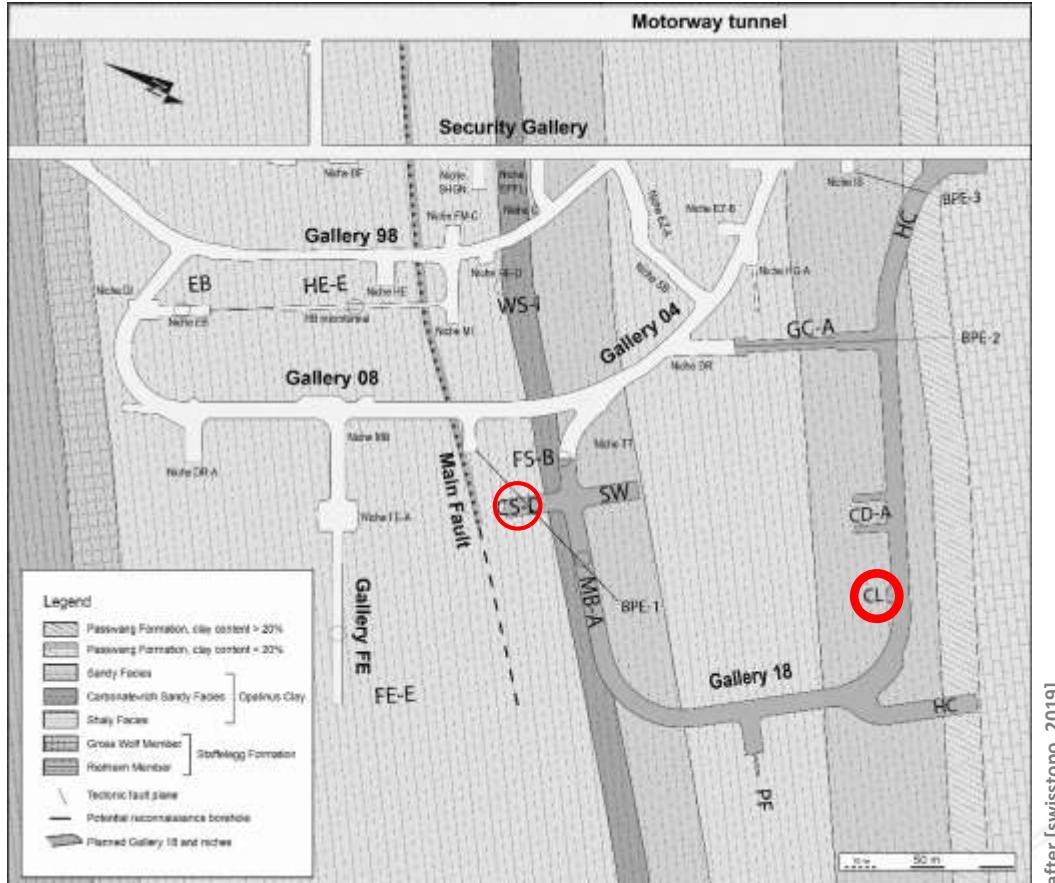
BGR



neue Mont Terri Erweiterung

- 600 m² zusätzlicher Laborraum
- Opalinus Clay Gesteinsformation
- ungestörte sandige Fazies
- zusätzliche Erkenntnisse bei technischen und wissenschaftlichen Fragestellungen im Bereich Nutzung des tiefen Untergrunds
- Relevanz Integrität von Barrieregestein





neues Experiment

CL-Experiment

CO₂ Long-term Periodic Injection Experiment (CO₂LPIE)

- Untersuchungen zur Geochemie und Geomechanik
- tonreiche natürliche Barrieren
- Kontext: Caprock-Integrität, speziell CCS, ...



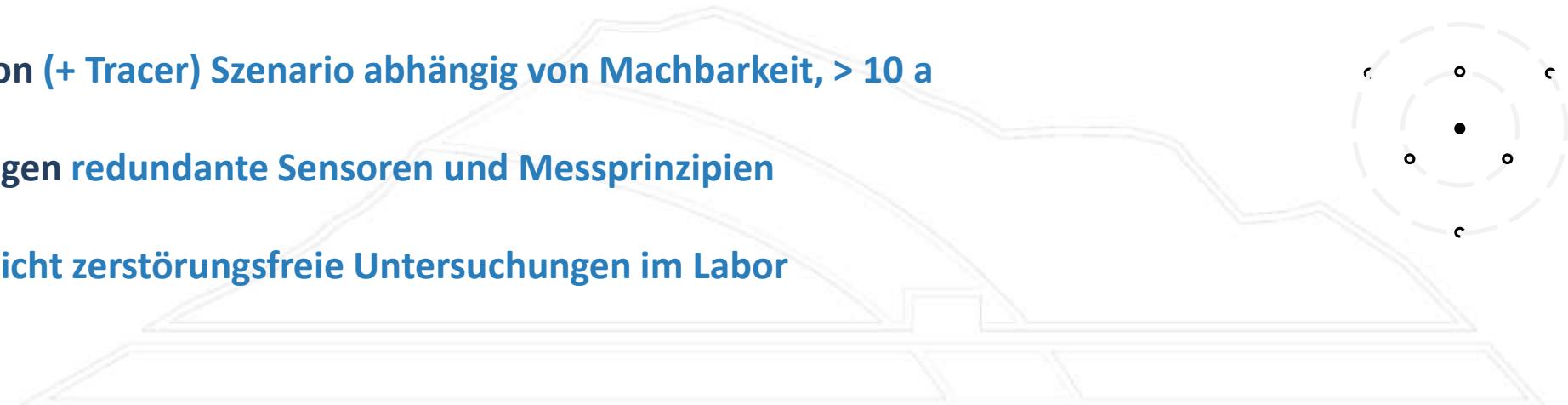
Bestimmung experimenteller Daten in Langzeitexperimenten

- nötig sind zuverlässige Beobachtungen von Änderungen in Ton aber, oft Abschätzungen oder Extrapolationen (pT-Bereich, Langzeitverhalten)
- Mobilitätswerte
Adsorption von CO₂ in Ton
- in-situ Permeabilität
geochemische Reaktionen von CO₂ mit Mineralen und Fluiden nicht beobachtbar mit inerten Tracern
- Kalibration von THMC Modellierungen
- Charakterisierung und Risikobewertung (spez. CCS)
Eigenschaften und Veränderungen von Barrieregesteinen
Verhalten von CO₂, Druck, Deformation



Langzeit in situ Experiment

- Bohrungen zu Injektion und Monitoring,
> 10 m, senkrecht zur Schichtung
in undisturbed rock (< 25 % Sand content, kaum Karbonate)
- Charakterisierung via Mini-Seismik, Geoelectrik, Kerne, Literatur
- Baseline-Messungen Temperatur, Druck, Deformation, Chemie
- periodische CO₂ Injektion (+ Tracer) Szenario abhängig von Machbarkeit, *> 10 a*
- kontinuierliche Messungen redundante Sensoren und Messprinzipien
- overcoring detaillierte nicht zerstörungsfreie Untersuchungen im Labor

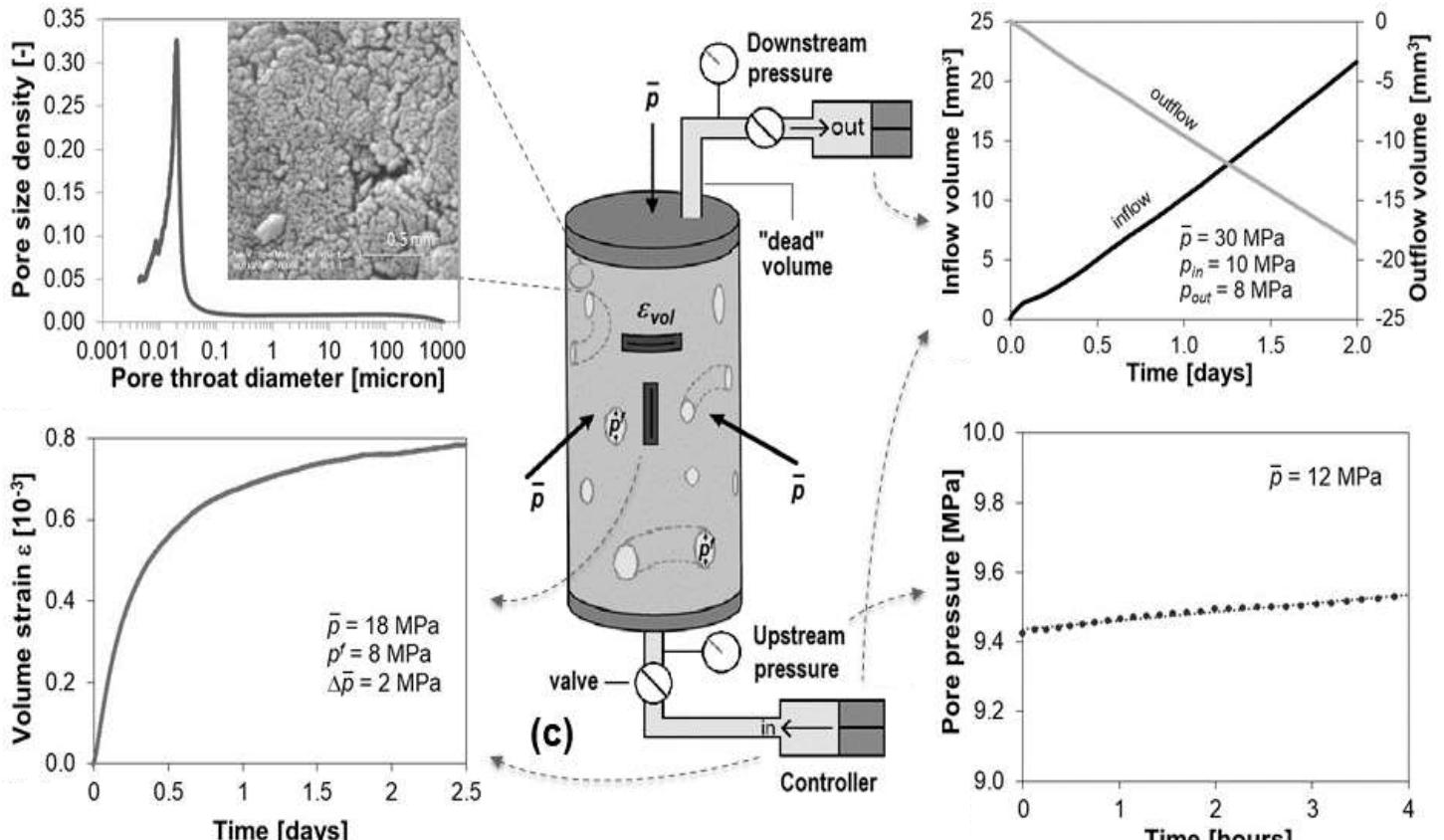


Charakterisierung von Opalinuston im Labor mechanische Eigenschaften

erforderlich:
mechanische, hydrologische,
thermische, chemische Messungen

- Porengrößen-Verteilung
- Parendruck
- Verformung
- Fließraten

Abhängigkeit von
Temperatur, Druck, Sättigung, Zeit, ...

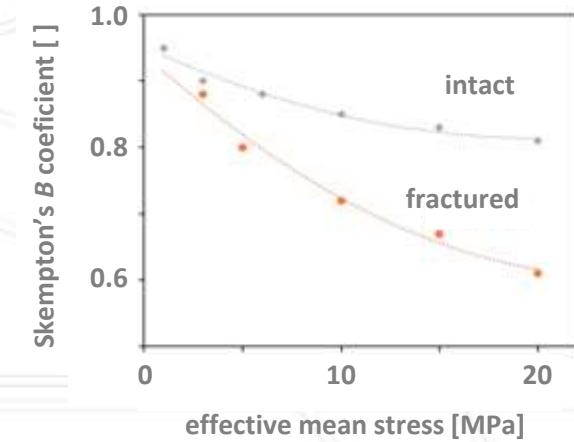
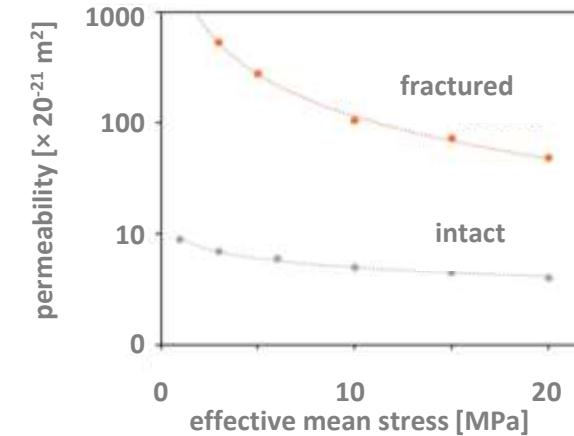


Charakterisierung von Opalinuston im Labor Transport-Eigenschaften

erforderlich:
mechanische, hydrologische,
thermische, chemische Messungen

- Permeabilität
- Porendruck, Sättigung

Abhängigkeit von
intaktem, modellierten, gebrochenem Tonmaterial

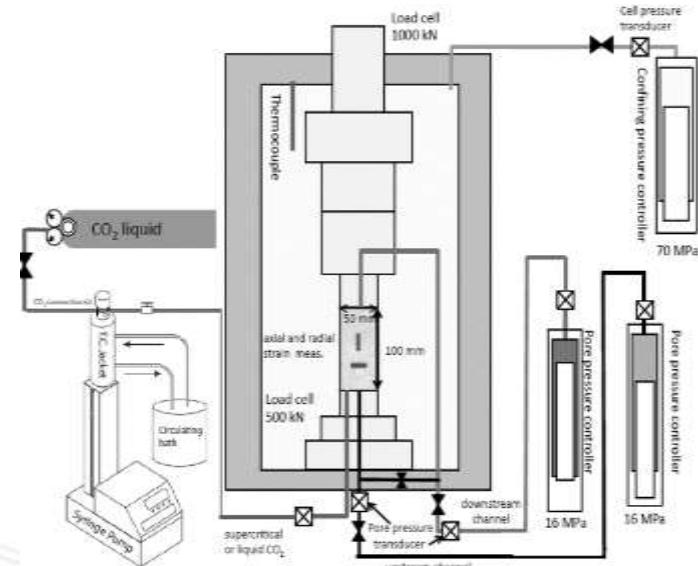


Charakterisierung von Opalinuston im Labor mechanisch-thermische Eigenschaften

Triaxialzelle

- drainierte und undrainierte Eigenschaften
- inelastische Deformationen
- thermische Effekte (≤ 150 °C)
- Einfluss von CO₂ Injektion

Anisotropie des Opalinustons durch Gesteinsschichtung



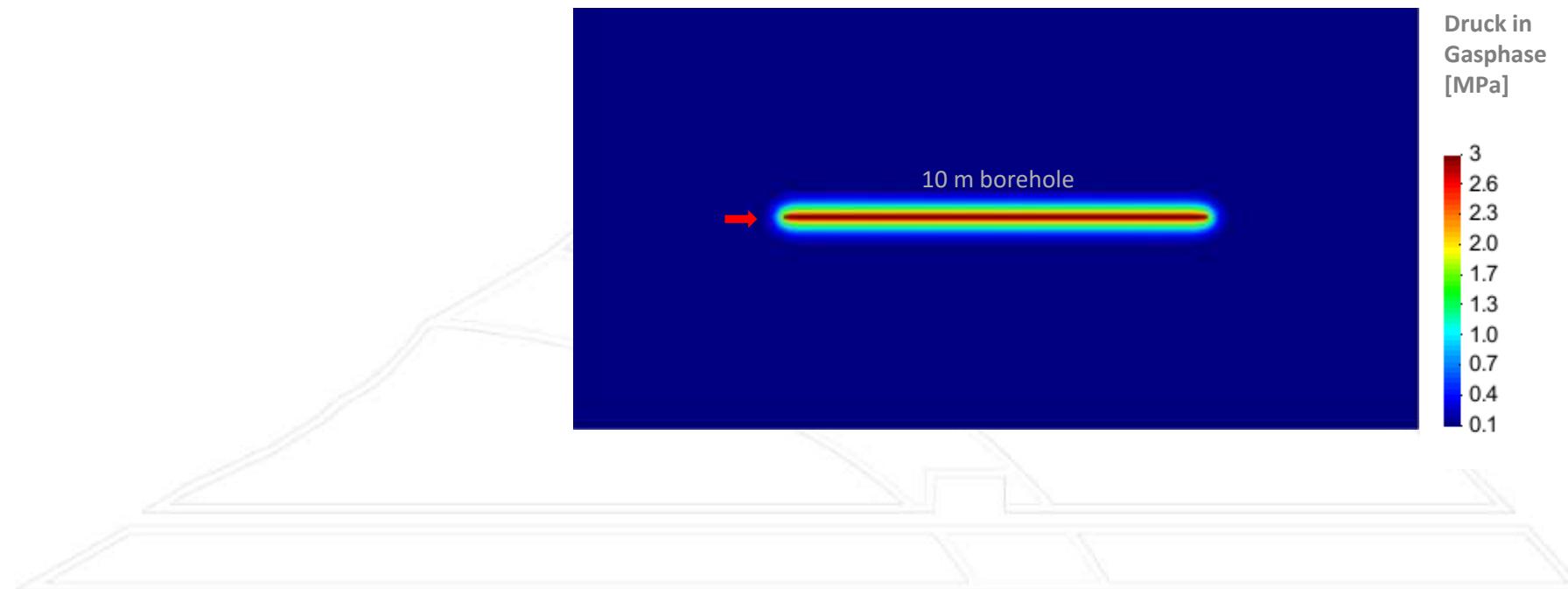
entscheidend für Design des Experiments
Bohrlochlokationen, Injektionsszenario, ...

Simulationen

blinde Vorhersage der CO₂ Evolution und THMC Antwort

CODE_BRIGHT

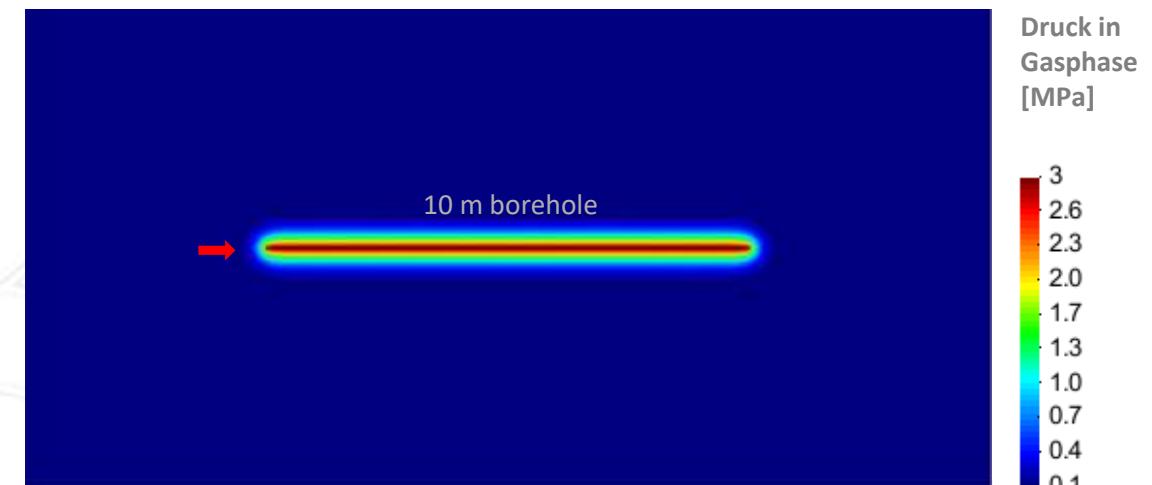
2D Model, 40 m × 20 m



entscheidend für Design des Experiments
Bohrlochlokationen, Injektionsszenario, ...

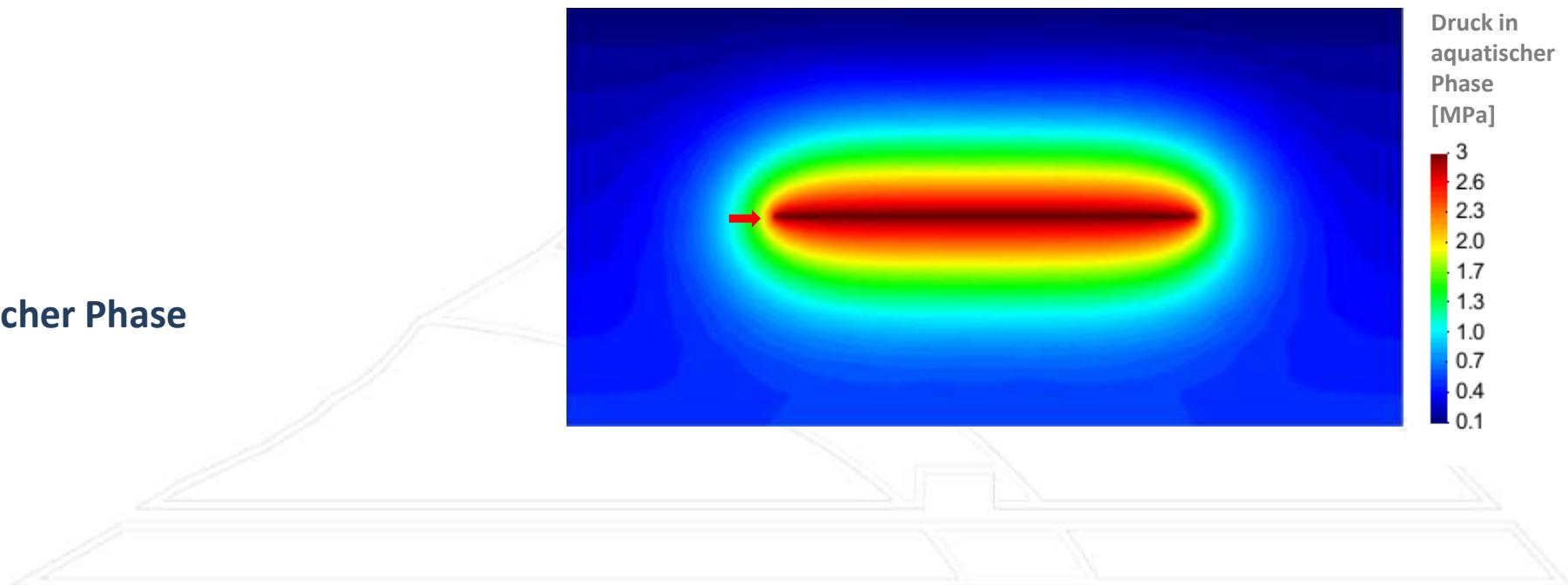
CO₂ Verteilung
nach CO₂ Injektion
bei 3 MPa (1 MPa über hydrostatischem Druck)
für 1 Jahr

CO₂ Druck dringt ≤ 1 m ein
Auflösung von CO₂ im Porenwasser
→ chemische Reaktionen



**Druck-Verteilung
nach CO₂ Injektion**

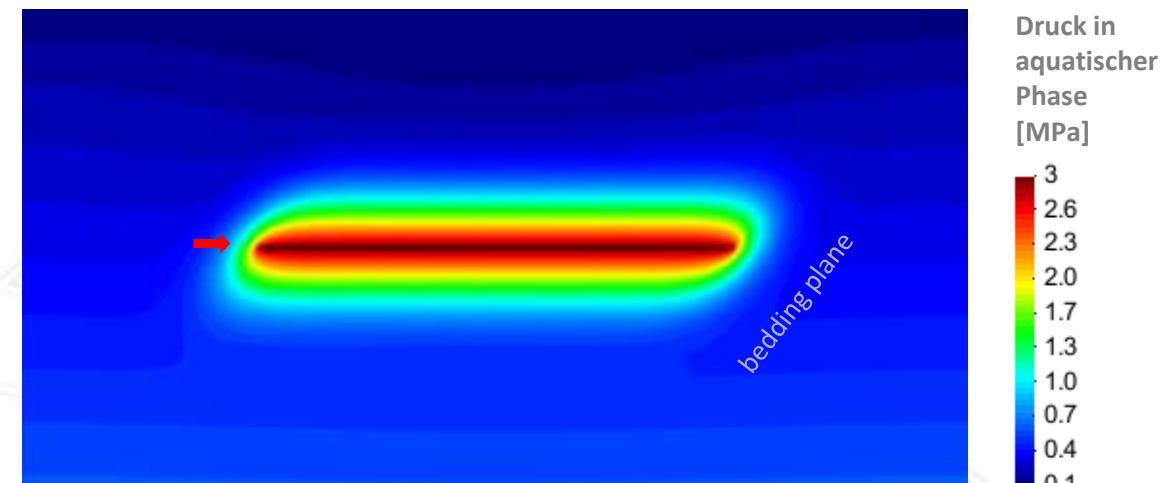
→ Druckanstieg in aquatischer Phase
CO₂ nicht in freier Phase



**Druck-Verteilung
nach CO₂ Injektion**

→ Druckanstieg in aquatischer Phase
CO₂ nicht in freier Phase

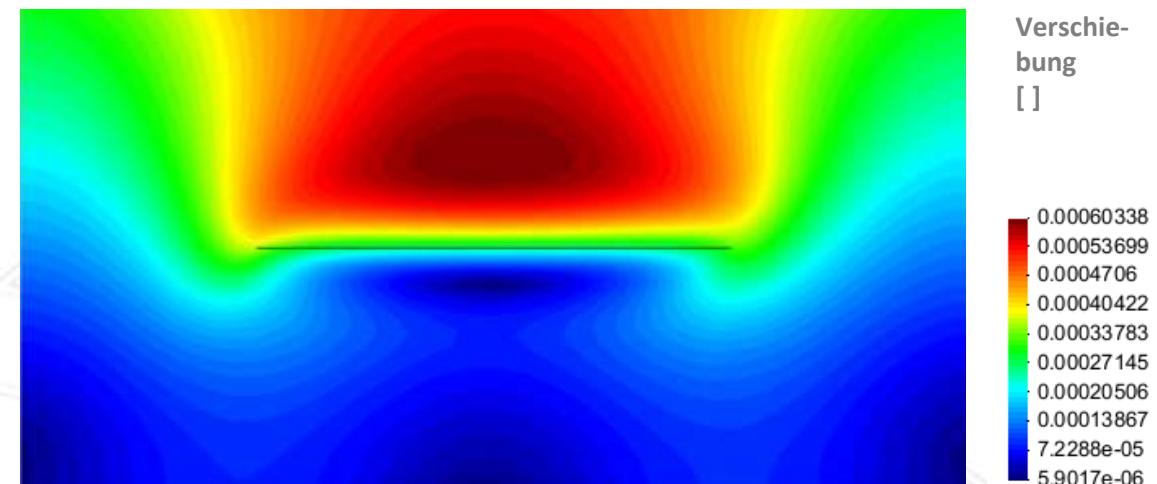
Asymmetrie durch Einfluß der Schichtung



Verschiebung nach CO₂ Injektion

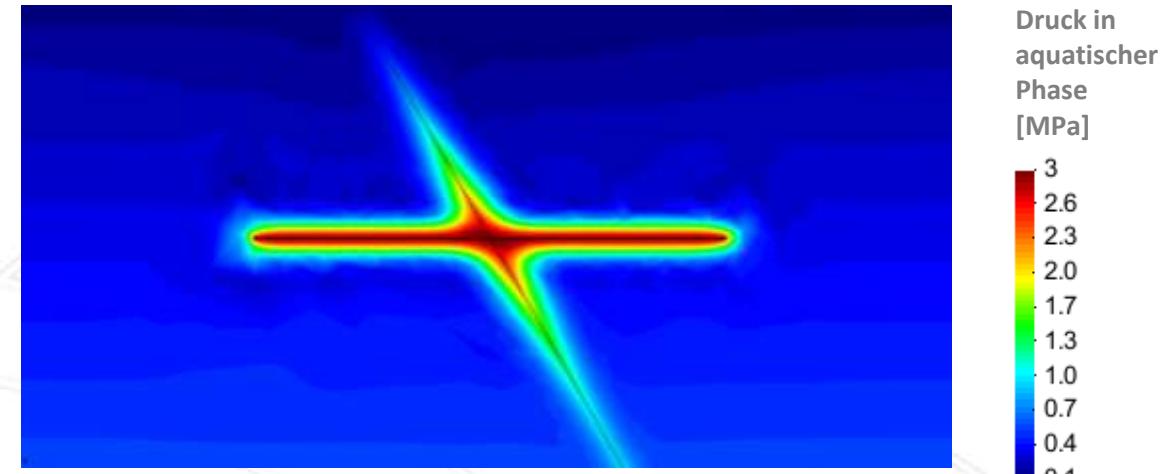
→ Druckanstieg führt zu Expansion
Verschiebungen im sub-mm-Bereich

→ Glasfaser-Monitoring

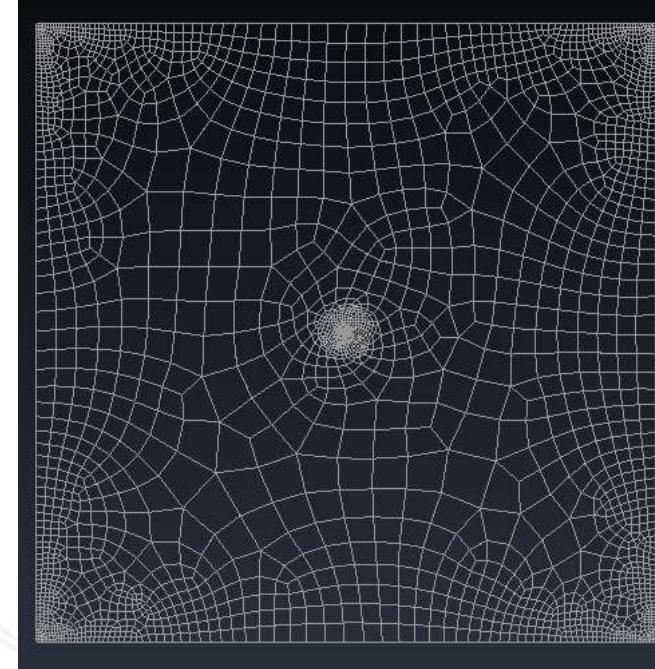


**Druck-Verteilung
nach CO₂ Injektion**

- präferierte Fließwege entlang von Rissen
- Permeabilitätserhöhung um zwei Größenordnungen



**3D THM Modellierung
halbstrukturiertes Gitter
126000 Elemente**



Ziele

Verlässlichere Bestimmung von Parametern und Verhalten von Barrieregesteinen bei Nutzungsoptionen des tiefen Untergrundes

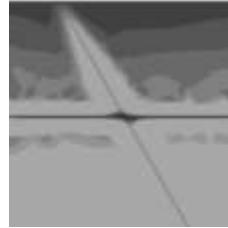


Konzept

Untersuchungen zu geochemischen und geomechanischen Veränderungen in Ton

Langzeitexperiment

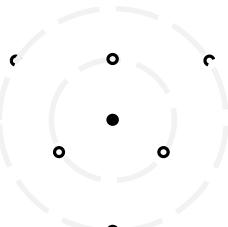
periodische CO₂-Injektion



Methode

in situ Feld- und Laborexperimente, THM- und THC-Modellierung

Mont Terri Gesteinslabor bietet hierfür einzigartige Möglichkeit





merssi

swisstopo



CEE
ILLINOIS

BGR