



Modellierung und Parametrisierung von CO₂-Speicherung in tiefen, salinen Formationen für Dimensionierungs- und Risikoanalysen

Modelling and Parametrisation of CO₂ Storage in Deep Saline Formations for Dimension and Risk Analyses

Verbundvorhaben im Rahmen des deutschen Forschungsprogrammes GEOTECHNOLOGIEN

Joint Project in the Framework of the German Special Research Programme GEOTECHNOLOGIEN

Kurzübersicht / Brief facts

Gesamtziel & Ansatz / Overall Objective & Approach

Dimensionierungs- und Risikoanalysen zur unterirdischen CO₂-Speicherung anhand von virtuellen Szenarien-Untersuchungen.

Diese basieren auf im Projekt entwickelten numerischen, prozessorientierten Modellierungen, auf Grundlage einer validierten Datenbasis sowie auf ergänzenden Laborexperimenten.

Dimension and risk analyses for subterrestrial CO₂ sequestration by virtual scenario investigations. These are based on numerical, process oriented modelling, developed during the project, which are underlined by a validated data base as well as complementary laboratory experiments.

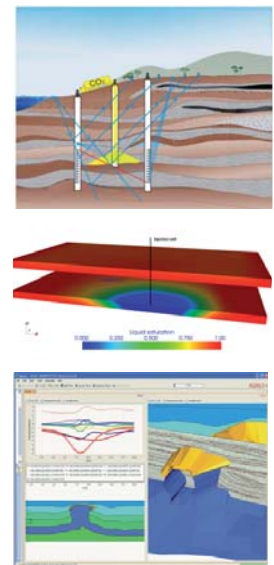
Projektdauer / Time Frame

04 / 2008 - 03 / 2011

Finanzen & Förderung / Finances & Funding

Finanzvolumen 4,6 Mio. Euro; jeweils 50% Förderung Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) & Industriepartner

Total project volume 4.6 m. Euro; 50% funding by each Federal Ministry of Education and Research (BMBF) & Industrial partners



Inhalt / Content

Seite / Page

<u>Allgemeines zum Verbundprojekt</u>	
Gesamtziele / Forschungspartner	2
Verbundprojektstruktur	3
Übersicht zu den Teilprojekten	4
<u>Einzeldarstellung der Teilprojekte</u>	
M1a, M1b, M1c, M2, M3, M4, M5, M6, E1, E2 und K	5-15

General Project Information

Joint Project Objectives / Research Partners	2
Joint Project Structure	3
Overview on Subprojects	4

Individual Subproject Descriptions

M1a, M1b, M1c, M2, M3, M4, M5, M6, E1, E2 and K	5-15
---	------

Stand: Sept. 2008

Gesamtziele des Forschungsvorhabens / Joint Project Objectives

Frage- und Zielstellungen

- Quantitative Aussagen zum langfristigen Rückhalt von CO₂ in Speichergesteinen
- Prognosen zur Ausbreitung von CO₂ im tiefen und flachen Untergrund unter Berücksichtigung hydraulischer, geometrischer, geochemischer und geomechanischer Prozesse
- Bewertung der nutzbaren CO₂-Speicherkapazität (Dimensionierungsanalysen)
- Risikoanalysen

Arbeitsansätze

- Entwicklung von numerischen prozessorientierten und ganzheitlichen Modellwerkzeugen
- Aufbau einer validierten, konsistenten und umfassenden Datenbasis als Grundlage für die Modellierungen
- Laborexperimente und Feldstudien zur Klärung offener Fragen und Parameterermittlung
- Virtuelle synthetische Typ-Szenarien-Simulationen

Objectives and main questions

- Quantitative conclusions on long-term attenuation of CO₂ in deep geological formations
- Prognoses on migration of CO₂ in deep and shallow subsurfaces considering hydraulic, geometrical, geochemical and geomechanical processes
- Assessment of usable CO₂ storage capacity (dimension analyses)
- Risk analyses

Approaches

- Development of numerical, process-oriented and integral modelling tools
- Compilation of a validated, consistent, and comprehensive data base to provide a basis for numerical simulations
- Laboratory experiments and site studies to resolve selected open questions and to determine parameters
- Synthetic virtual-type scenario simulations

Forschungspartner / Research Partners

*Institut für Geowissenschaften (IfG) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel /
Institute of Geosciences (IfG), CAU Kiel*



*Institut für Wasserbau (IWS), Universität Stuttgart /
Institute of Hydraulic Engineering (IWS), University of Stuttgart*



*Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ & TU Dresden /
Helmholtz Centre for Environmental Research UFZ & Technical University Dresden*



*Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU) /
State Office for Nature and Environment Schleswig-Holstein (LANU)*



Weißleder & Ewer, Notar und Rechtsanwälte / Weißleder & Ewer Lawyers



Verbundprojektstruktur / Joint Project Structure

Das Verbundprojekt enthält insgesamt elf Teilprojekte und gliedert sich in drei fachliche Projektthemenbereiche (siehe Abbildung unten):

- (1) Modellierung (Teilprojekte M1a - M2),
- (2) Parametrisierung (M3 - M6) und
- (3) Hochdruck-Experimente (E1 - E2).

Die inhaltliche Koordination zwischen den Projektthemen sowie die Vertretung nach außen obliegt dem Vorstand (2). Dieser setzt sich aus den drei Projektthemensprechern, dem Verbundkoordinator und einem Beiratsmitglied zusammen. Die Projektarbeiten werden von einem Beirat (4) begleitet, der sich aus Vertretern der industriellen Mittelgeber sowie des Wirtschafts- und Wissenschaftsministeriums des Landes Schleswig-Holstein zusammensetzt. Die Arbeiten des Vorstandes und des Beirats sowie die allgemeine Projektkoordination erfolgt durch das Teilprojekt K (3).

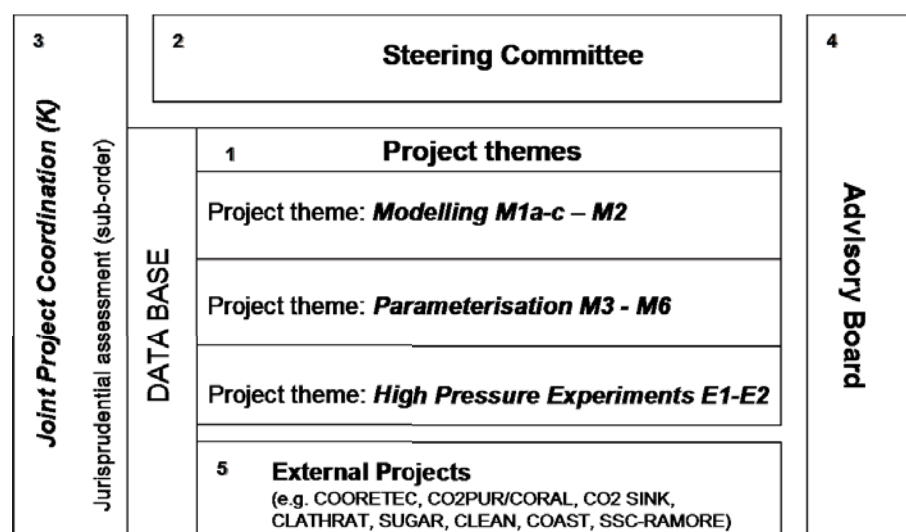
Die Projektarbeiten in CO₂-MoPa erfolgen zudem in enger Vernetzung mit anderen nationalen und internationalen Forschungsprojekten zum Thema CO₂-Speicherung (5).

The joint project includes eleven subprojects and has three principal scientific project themes (see Figure below)

- (1) Modelling (subprojects M1a - M2),
- (2) Parametrisation (subprojects M3 - M6) and
- (3) High-pressure Experiments (E1 -E2).

Coordination of the scientific contents as well as overall external representation is executed by the steering committee (2). This committee is composed of the three project theme coordinators, the joint project coordinator and a member of the advisory board. The overall work is accompanied by an advisory board (4), including members from the funding industrial partners as well as from the Ministry of Science, Economy and Traffic of the State of Schleswig-Holstein. The steering committee and the advisory board is supported by the subproject K (3), which is responsible for the general project management.

The work in CO₂-MoPa will be in close collaboration with other national and international research projects dealing with CO₂ storage (5).



Organigramm des Verbundprojektes.
Organigramm of the joint project.

Übersicht zu den Teilprojekten / Overview on Subprojects

Themengebiet Modellierung

Gemeinsames Ziel der Teilprojekte M1a, M1b und M1c ist die Entwicklung eines numerischen Instrumentariums, das die Simulation synthetischer und realitätsnaher CO₂-Speicherszenarien in salinen Formationen erlaubt. Teilprojekt M2 hat die Simulation potenzieller Auswirkungen eines CO₂-Eintrages in flache Grundwasserleiter zum Ziel sowie die Entwicklung von Monitoringmethoden zur Detektion solcher Einträge.

Thematic Field Modelling

The development of numerical instruments which simulate synthetic and realistic CO₂ storage scenarios in saline formations is the concerted objective of subprojects M1a, M1b and M1c. Subproject M2 targets the simulation of potential consequences of CO₂ leakage in shallow aquifers, as well as the development of monitoring methods for the detection of leakages.

Themengebiet Parametrisierung

Im Themengebiet Parametrisierung erfolgt im Teilprojekt M3 der Aufbau einer Datenbank und eines Parametervisualisierungssystems. Die weiteren Arbeiten umfassen die Sammlung und Validierung konsistenter geomechanischer (M4), geochemischer (M5) und geologisch-geometrischer Daten (M6).

Thematic Field Parametrisation

The parameterisation field includes the compilation of a database and parameter visualization system (M3). Furthermore consistent geomechanical (M4), geochemical (M5) and geological-geometrical data (M6) will be compiled and validated.

Themengebiet Hochdruck-Experimente

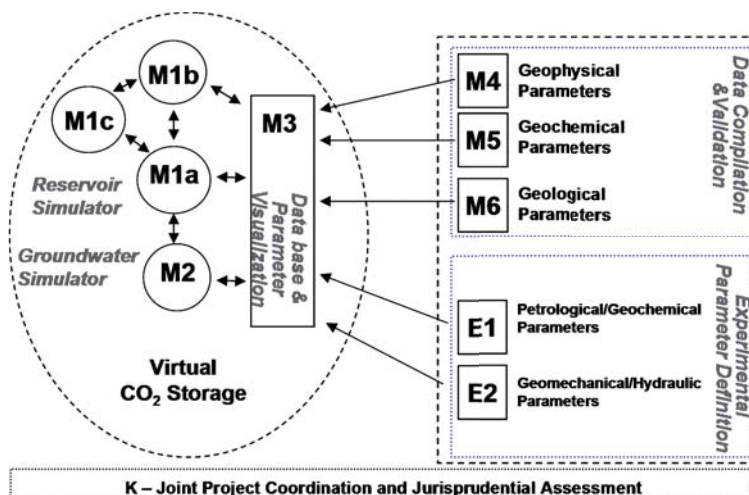
In Teilprojekt E1 werden Laborexperimente zur Identifikation und Parametrisierung von geochemischen Reaktionen der CO₂-Phase mit dem Speichergestein durchgeführt. Teilprojekt E2 beinhaltet die Ermittlung von geomechanischen, geophysikalischen und hydraulischen Parametern unter in situ Druck- und Temperaturbedingungen. Damit werden gezielt Daten ermittelt, die sich nicht aus einer Literaturrecherche ergeben oder ableiten lassen und zur Validierung einzelner Programmteile der numerischen Modelle herangezogen werden sollen.

Thematic Field High-Pressure Experiments

Laboratory experiments in subproject E1 aim to identify and parameterise geochemical reactions of CO₂ with the storage formation. In E2 experiments to determine geomechanical, geophysical and hydraulic parameters under in situ pressure- and temperature conditions will be applied. The experiments shall provide data and parameters which cannot be extracted or deduced from the literature and which will be used for the validation of numerical model sections.

Die einzelnen Teilprojekte werden auf den folgenden Seiten 5-15 näher beschrieben.

The single subprojects are described in detail on the following pages 5-15.



*Inhaltliche Struktur und Verknüpfung der Projektebenen Modellierung (M) und Experimente (E).
Structure and connections between the project themes modelling (M) and experiments (E).*

Erstellung und Anwendung eines Software-Paketes zur numerischen Simulation der CO₂-Injektion in tiefe, saline Formationen

Development and Application of a Software Package for Numerical Simulation of CO₂ Injection in Deep Saline Aquifers

Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Bei der Speicherung von CO₂ in tiefen salinen Formationen sind hauptsächlich zwei Prozesse für das Rückhaltevermögen bestimmend.

During storage of CO₂ in deep saline formations, two processes primarily dominate the retention capacity of the host rock.

Die hydrodynamische Barriere erfordert langsames Fließen in der salinen Formation, eine relativ hohe Porosität, um die erforderlichen großen Speichervolumina aufnehmen zu können, die Bildung einer verbleibenden CO₂-Phase und eine darüberliegende Sperrschicht (cap-rock). Diese sollte eine hohe hydraulische Sperrfähigkeit aufweisen, um den Auftrieb der CO₂-Phase zu verhindern, sowie chemisch inert unter Anwesenheit des CO₂ sein.

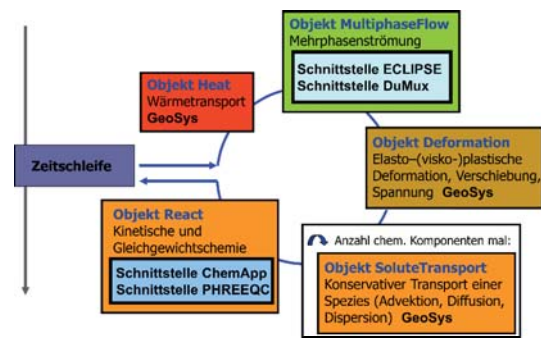
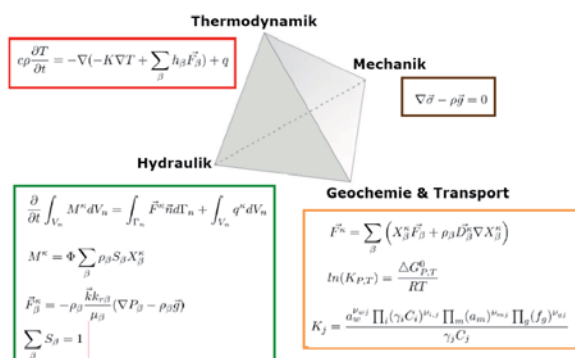
The hydrodynamic barrier requires slow flow velocities in the saline storage formation, relatively high porosity in order to be able to take up the necessary large storage volumes, the formation of a residual CO₂ phase and the presence of a cap rock above the saline formation. The cap rock should exhibit a low conductive barrier in order to prevent the rise of the CO₂ phase and should be chemically inert under the presence of CO₂.

Geochemische Rückhaltemechanismen sind die Bildung von kohlenstoffhaltigen Lösungen und die Mineralisierung durch Reaktionen mit dem Formationsmaterial, die zu einer langfristigen Bindung des CO₂ führen. Zur Untersuchung der geochemischen Reaktionen sind bisher kaum experimentelle Arbeiten durchgeführt worden, die die Parametrisierung bzw. Validierung von Simulationsmodellen erlauben.

Geochemical barrier mechanisms are the formation of acid solutions containing CO₂ and mineral formation by reactions with the host rock material, which lead to the long-term storage of CO₂. For the study of geochemical reactions, only a few experimental investigations have been carried out so far, which allow a parametrization and/or validation of simulation models.

Gekoppelte reaktive Transportmodelle sind daher ein nützliches Werkzeug, um die bisher vorhandenen experimentellen Daten auf mögliche geologische und geochemische Bedingungen bei der CO₂-Injektion zu übertragen. Da sich die bisher publizierten Modelle in erster Linie auf die hydrodynamischen Verhältnisse konzentriert haben, ist eine Modellentwicklung für detaillierte geochemische Untersuchungen notwendig.

Coupled reactive transport models are thus a useful tool to transfer existing experimental data to possible geological and geochemical CO₂ injection sites. Since the models published so far have focused primarily on hydrodynamic conditions, model development which permits detailed geochemical investigations is necessary.



Zeitschleife und THMC-Prozesskopplung durch objekt- und prozessorientierte Methoden der Software-Entwicklung.

Time loop and THMC process coupling by object and process oriented methods of software development.

Bei der Simulation der CO₂-Injektion zu berücksichtigende Interaktionen thermodynamischer (T), hydraulischer (H), mechanischer (M) und geochemischer (C) THMC-Prozesse. Interactions of thermodynamic (T), hydraulic (H), mechanical (M) and geochemical (C) THMC-processes which have to be considered in simulations of CO₂ injection.

Kontakt / Contact

Prof. Dr. S. Bauer
CAU Kiel, IfG, Geohydrmodellierung
Tel. +49-0431-880-2853
sebastian.bauer@gpi.uni-kiel.de

M1b

Numerische Simulation geomechanischer Prozesse bei der Injektion von CO₂ in den Untergrund

Numerical Simulation of Geomechanical Processes during Injection of CO₂ in the subsurface

Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Zielsetzung des Teilprojektes ist die komplexe numerische Simulation der gekoppelten geomechanischen Prozesse, die bei der Injektion von dichtem CO₂ in tiefe saline Formationen auftreten.

Motivation für die Untersuchungen ist das Auftreten spontaner Deformationsvorgänge im Wirtsgestein und deren zeitliche Evolution. Diese erfolgen im Zusammenhang mit ausgeprägten Wechselwirkungen zu hydraulischen Charakteristika (Porosität, Permeabilität, Kapillardruckänderungen) und zusätzlicher Beeinflussung durch Temperaturfelder.

Zweck der geplanten Methoden- und Softwareentwicklung sind zuverlässige standortbezogene Analysen sowie prädiktive Szenarienberechnungen und Sensitivitätsstudien für Nah- und Fernfeldprobleme (Erfassung der Situation von Bohrlochnähe bis zu den Formationsrändern).

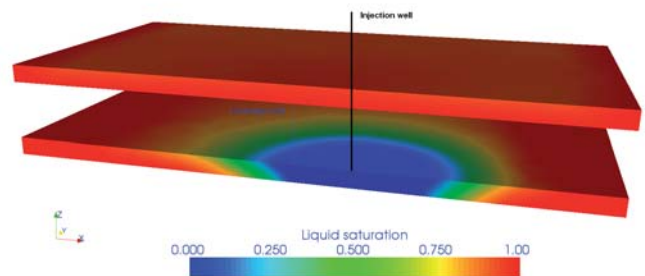
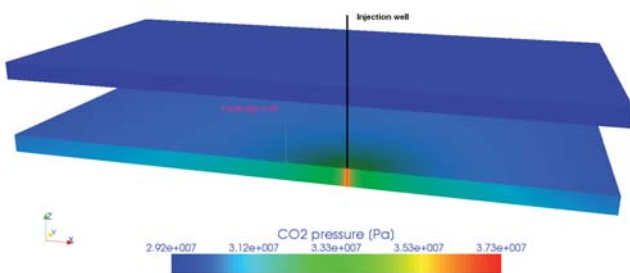
Voraussetzung für eine realitätsnahe Simulation der interessierenden Vorgänge sind die Entwicklung und numerische Umsetzung gekoppelter THM-Modelle zur Erfassung der thermischen (T), hydraulischen (H) und mechanischen (M) Prozesse sowie deren gegenseitiger Wechselwirkungen.

The aim of this subproject is a complex numerical simulation of coupled geomechanical processes, which occur during the injection of dense CO₂ into deep saline formations.

Motivation of the investigations is the occurrence of spontaneous deformation processes in the host rock and their temporal evolution in conjunction with distinctive interactions with hydraulic characteristics (porosity, permeability, capillary pressure changes) and additional impacts by temperature fields.

The planned method and software developments aim to deliver reliable, site-specific analyses as well as predictive scenario simulations and sensitivity studies for near and far field problems (determination of the situation from borehole proximity till formation boundaries).

Realistic simulations of the processes of interest require the development and numerical implementation of coupled THM models, to determine the thermal (T), hydraulic (H) and mechanical (M) processes as well as their mutual interactions.



Zweiphasenströmungsmodell der CO₂-Injektion in einen tiefen Aquifer unter Nutzung paralleler MPI-Strukturen.

Two-phase flow model of the CO₂ injection into a deep aquifer using parallel MPI structures.

Kontakt / Contact

Prof. Dr. O. Kolditz / Dr. W. Wang / Dr. U.-J. Görke
UFZ Leipzig, Depmt. Umweltinformatik

Tel. +49-0341-235-1250 (Sokr.)
olaf.kolditz@ufz.de

M2

Hydrochemische Szenarienmodellierung und Gefährdungsabschätzung für potenzielle CO₂ Einträge in oberflächennahe Grundwasserleiter

Hydrochemical Scenario Modelling and Risk Assessment of Potential CO₂ Leakage into Shallow Aquifers

Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Bei der Sequestrierung von CO₂ in tiefen geologischen Formationen besteht on-shore das Risiko, dass CO₂ gelöst oder als Gas durch nicht erkannte Störungen im Deckgebirge aus dem Speicherhorizont entweicht und in flache Grundwasserleiter gelangt. Das eintretende CO₂ kann im flachen Aquifer geochemische Veränderungen auslösen, die eine Nutzung als Trinkwasserquelle erschweren oder verhindern.

During CO₂ sequestration in deep geological formations onshore there is the risk that dissolved or gaseous CO₂ escapes through not detected leakages from storage reservoirs and reaches shallow aquifers. This CO₂ can cause geochemical changes in the shallow aquifer which complicate or inhibit its use as a source of drinking water.

Mit Hilfe numerischer Modellrechnungen werden für die Norddeutsche Tiefebene typische Szenarien simuliert. Diese demonstrieren, welche Konsequenzen ein CO₂ Eintrag haben kann, wie die geochemischen Veränderungen nach der Trinkwasserverordnung zu bewerten sind, welche Messmethoden als Frühwarnsystem zur Detektion eines CO₂-Austritts geeignet sind und welche Aquifertypen eine hohe Rückhaltekapazität besitzen und als sekundäre Barriere gegen einen CO₂-Austritt in die Biosphäre geeignet sind.

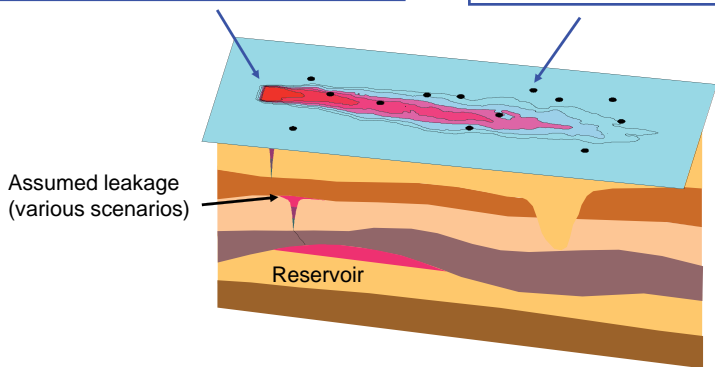
Using numerical model calculations, typical scenarios for the North German Lowlands are simulated. These demonstrate possible consequences of CO₂ intrusion, how geochemical changes are to be evaluated according to the drinking water ordinance, which measuring methods are suitable as early warning systems for the detection of CO₂ leakage, and which aquifer types possess high retardation capacities and, thus, are suitable as secondary barrier against CO₂ leakage into the biosphere.

Expected impacts:
 Advective / dispersive transport of dissolved CO₂ in connection with geochemical reactions:

- Carbonate reactions
- Acidification
- Precipitation / Weathering
- Dissolution of arsenic & heavy metals

Aims:

1. Assessment of monitoring scenarios of geochemical changes:
 - Definition of suitable indicator parameters
 - Definition of suitable monitoring networks
2. Assessment of retardation capacities of secondary geological barriers



Schematische Darstellung der erwarteten Folgen eines CO₂-Eintrages in oberflächennahe Aquifere durch nicht erkannte Störungen im Deckgebirge sowie der damit verbundenen Forschungsziele des Teilprojektes M2.
Schematic illustration of the assumed impact of CO₂ intrusion into near-surface aquifers through not detected leakages in the cap rock and the corresponding research aims of the project M2.

Kontakt / Contact

PD Dr.-Ing. D. Schäfer / Dipl.-Geoök. S. Fahrner
 CAU Kiel, IfG, Angewandte Geologie

Tel. +49-0431-880-4361 (Schäfer) / -3917 (Fahrner)
 ds@gpi.uni-kiel.de / fahrner@gpi.uni-kiel.de

Modellrelevante Parameteridentifikation,
Validierung und Visualisierung

Parameter Identification for Modelling -
Validation and Visualization

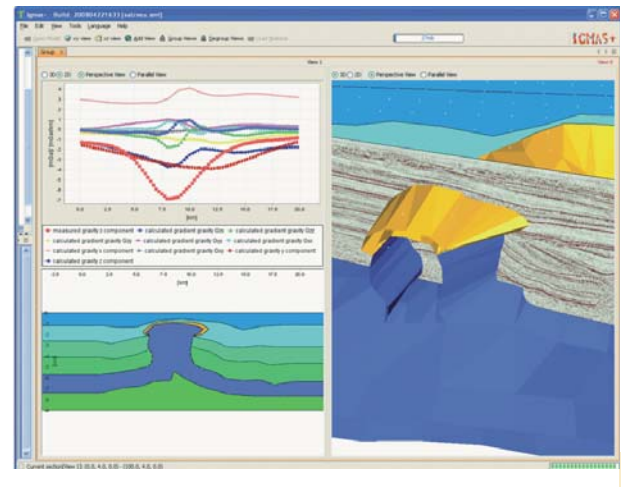
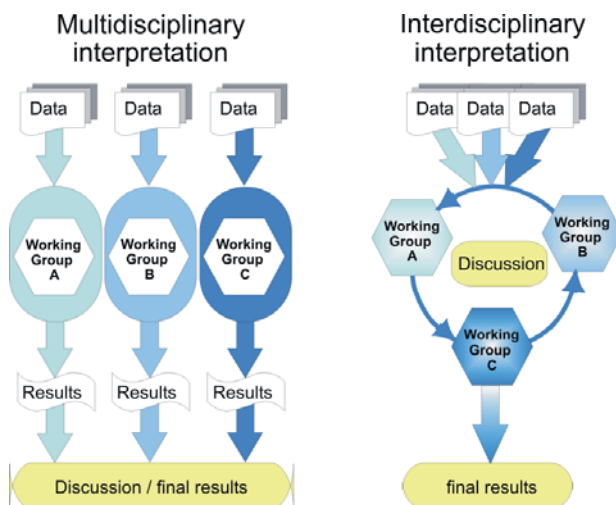
Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Ziel des Teilprojektes M3 ist die räumliche und zeitliche Integration von geowissenschaftlichen Daten und ihrer Meta-Informationen in einem synoptischen Modell. Die im heterogenen multidisziplinären Gesamtprojekt gesammelten bzw. erzeugten Daten aus Geologie, Geochemie, Geophysik, Sedimentologie und Modellierung sind räumlich, zeitlich und inhaltlich breit gefächert und stehen auf sehr unterschiedlichen Skalen zur Verfügung.

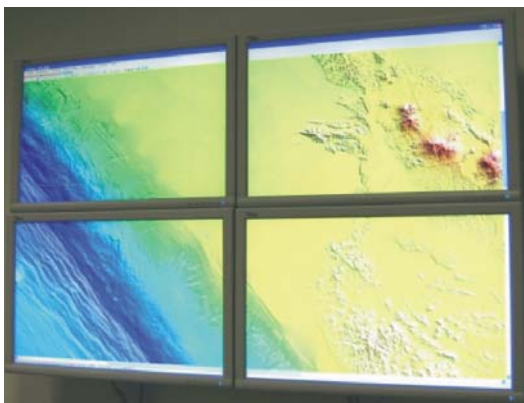
Eine interdisziplinäre Interpretation, gestützt auf eine digitale Nutzung der verschiedenen Daten durch eine Vielzahl unterschiedlicher Software, erfordert für den Datenaustausch eine detaillierte Definition der Datenstruktur sowie eine strukturelle Validierung mit Mitteln der Geoinformatik. Hierbei spielt die Visualisierung z.B. mittels sogenannter „Graphic Caves“, oder hochauflösender „2D-Walls“ („GeoWall“) eine wichtige Rolle.

The aim of subproject M3 is the spatial and temporal integration of geoscientific data and their meta-information in a synoptic model. The geological, geochemical, geophysical, sedimentary and modelling data collected and generated for the heterogeneous multidisciplinary joint project are extremely variable spatially, temporally and in content, and are often at various scales.

An interdisciplinary interpretation, based on the digital analysis of the various data by a multiplicity of different software, requires a detailed definition of data structure as well as a structural validation with geo-informatic tools. In this context visualization plays an important role, e.g. using so-called „graphic caves“, or high-resolution „2D-walls“ („GeoWalls“).



Beispiel gravimetrische Modellierung mit IGMAS.
Example gravimetric modelling with IGMAS.



Visualisierung mit hochauflösender 2D-WALL.
Visualisation using high resolution 2D-WALL.

Kontakt / Contact

A. Thomsen / Dr. S. Schmidt / Prof. H.-J. Götze
CAU Kiel, IfG, Geophysik und Geoinformation

Tel. +49-0431-880-3915
athomsen@geophysik.uni-kiel.de

Modellierung der Veränderung der seismischen und geoelektrischen Eigenschaften des Gesteins durch die Injektion von CO₂

Modelling of Seismic and Geoelectric Rock Property Changes due to CO₂ Injection

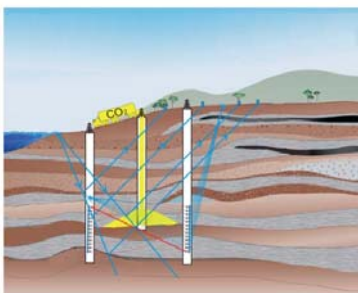
Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Die Einbringung von CO₂ in tiefe saline Formationen erfordert die Erarbeitung einer Strategie für die Überwachung der Ausbreitung des CO₂ im Sediment und der langfristigen Entwicklung des künstlichen CO₂-Reservoirs. Dafür kommen wegen der Dreidimensionalität des Vorganges hauptsächlich seismische Reflexionsmessungen sowie ergänzende geoelektrische Bohrloch-Messungen in Frage.

The injection of CO₂ in deep saline formations requires the development of a strategy for monitoring the propagation of CO₂ within sediments and the long-term development of an artificial CO₂ reservoir. Because of the three-dimensionality of the process, seismic reflection measurements and additional geoelectric borehole measurements are primarily regarded as appropriate.

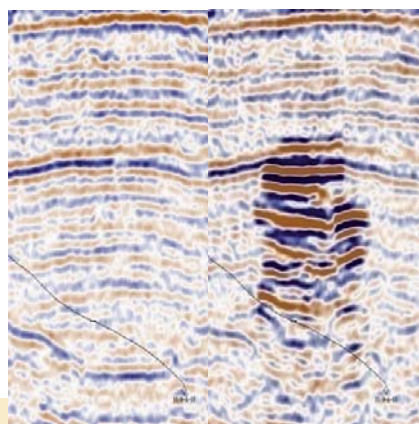
Ziel ist die Abschätzung der Sensitivität und des Auflösungsvermögens reflexionsseismischer und geoelektrischer Wiederholungsmessungen zur Ermittlung der Verteilung von injiziertem CO₂ im Untergrund. Zu diesem Zweck sollen (1) realistische numerische Modelle in Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten erstellt werden. Diese basieren auf petrophysikalischen Parametern und Gesteinsmodellen sowie auf hypothetischen Szenarien von CO₂-Migration in geologischen Speicherstrukturen unterschiedlicher Komplexität. Weiterhin werden (2) numerische Simulationen seismischer und geoelektrischer Wiederholungsmessungen zur Abbildung dieser Szenarien durchgeführt und (3) Aussagen über die Sensitivität der Messverfahren in Bezug auf eine quantitative Beurteilung der Entwicklung der künstlichen Reservoirs abgeleitet.

One objective of the subproject is the estimation of the sensitivity and the resolution of reflection seismic and geoelectrical time-lapse measurements in order to determine the underground distribution of CO₂ injected into deep saline aquifers. For this purpose, we must establish: (1) realistic numeric models based on petrochemical parameters and rock models as well as hypothetical CO₂ migration scenarios in reservoir structures of various complexity in collaboration with other subprojects, (2) numerical simulations of seismic and geoelectrical time-lapse measurements to image these scenarios and (3) a determination of the sensitivity of the measuring procedures regarding the quantitative evaluation of the development of the artificial reservoir.

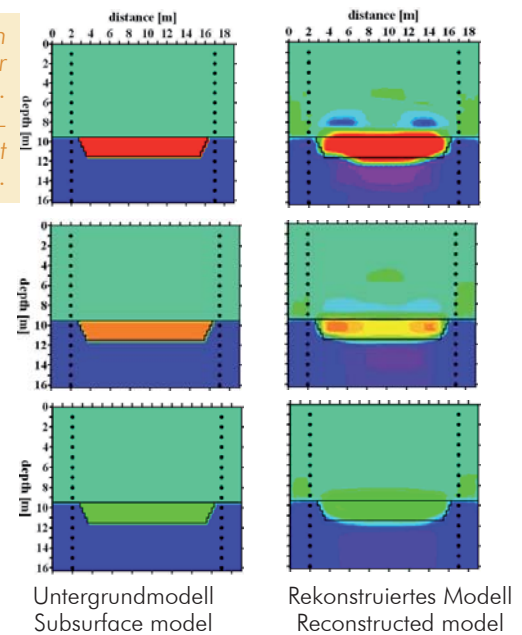


Untergrundmodell mit seismischem und geoelektrischem Messaufbau.
Subsurface model with seismic and geoelectric measuring setup.

Simulation geoelektrischer Messungen von CO₂-Plumes verschiedener Konzentrationen (Hagrey 2008).
Simulation of geoelectrical measurements of CO₂ plumes of different concentrations (Hagrey 2008).



Reflexionsseismischer Tiefenschnitt durch das Sleipner-Reservoir, Nordsee (Skov et al. 2002) vor (linke Abb.) und nach (rechte Abb.) der CO₂-Injektion.
Reflection seismic depth-cross-section of the Sleipner reservoir, North Sea (Skov et al. 2002) before (left Fig.) and after (right Fig.) CO₂ injection.



Kontakt / Contact

Dr. S. A. al Hagrey / Prof. W. Rabbel
CAU Kiel, IfG, Umweltgeophysik
Tel. +49-0431-880-3787
sattia@geophysik.uni-kiel.de

Geochemische Modellierung: Datenrecherche, Datenhaltung, Validierung und Modellbenchmarking

Geochemical Modelling: Data research, Management, Validation and Model Benchmarking

Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Bei der bestehenden Datenvielfalt ist heute nicht zu entscheiden, welche thermodynamischen, reaktionskinetischen, petrologisch-mineralogischen und hydrodynamischen Parametersätze geeignet und notwendig sind, um angemessene geochemische Modellierungen durchzuführen.

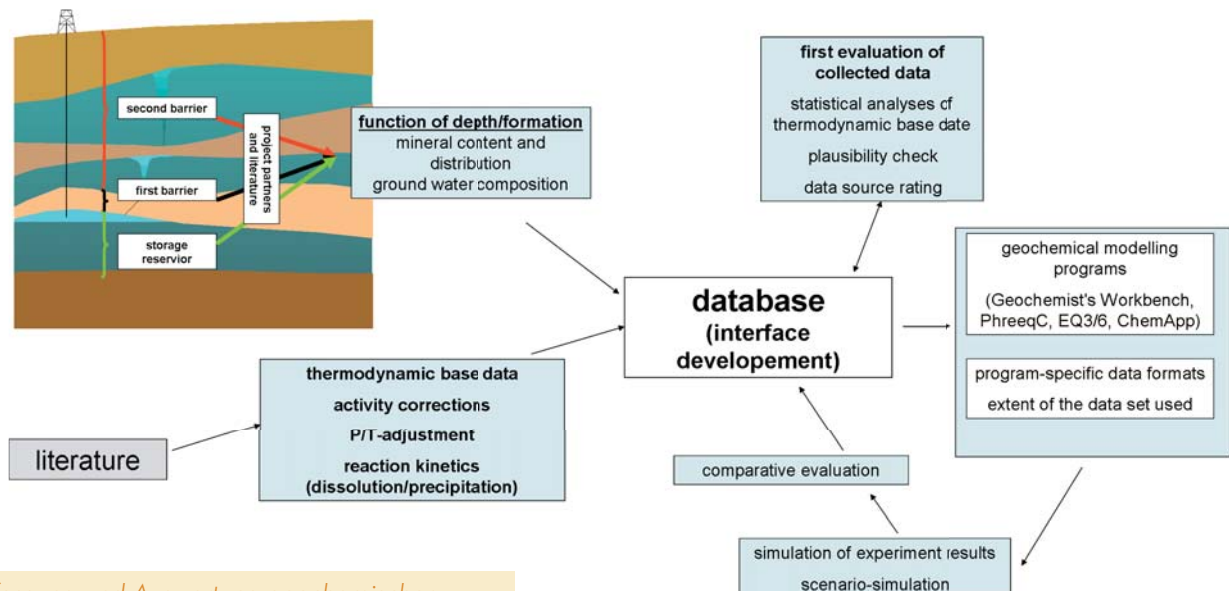
In view of the variety of data sets available, any decision regarding the thermodynamic, kinetic, petrologic/mineralogical, and hydrodynamic parameter sets which are suitable and required for reasonable geochemical modelling is difficult.

Im Rahmen einer Datenerhebung und Bewertung mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen und verschiedenen geochemischen Modellprogrammen werden referenzierte und bewertete Parametersätze sowie ein Ranking der Modellprogramme erstellt, so dass sich für zukünftige Arbeiten das erforderliche Werkzeug zur Simulation geochemischer Wechselwirkungen begründet auswählen lässt.

This project conducts data research and evaluation using sensitivity analyses and various models. The aim is a ranking of model programs and the development of referenced and evaluated parameter sets in order to develop a decision tool which provides a choice of options between the appropriate approaches in future geochemical modelling.

Die vergleichende Bewertung soll, immer mit Hinblick auf die Relevanz für die Fragestellung der CO₂-Sequestrierung, dabei den Zusammenhang zwischen der Variationsbreite der Ausgangsparameter (Gleichgewichtskonstanten, Ratenkonstanten, Mineralgehalten, u.a.) und den Simulationsergebnissen quantifizieren.

By means of the comparative assessment - considering its relevance for the investigation of CO₂ storage - correlations between the variability range of the input parameters (equilibrium constants, rate constants, mineral contents, etc.) and simulation results will be quantified.



Erfassung und Auswertung geochemischer Basisdaten und Feldbefunde mit Hilfe verschiedener Modellprogramme.

Compilation and assessment of geochemical base data and field results by means of different model programmes.

Kontakt / Contact

PD Dr. M. Ebert
CAU Kiel, IfG, Angewandte Geologie

Tel. +49-0431-880-4609
me@gpi.uni-kiel.de

M6

Geologische Modelle der Deck- und Speichergesteine Schleswig-Holsteins (Strukturgeologie, Petrographie, Hydraulische Parameter)

Geological Modelling of Sealing and Storage Formations of Schleswig-Holstein (Structural Geology, Petrography, Hydraulic Parameters)

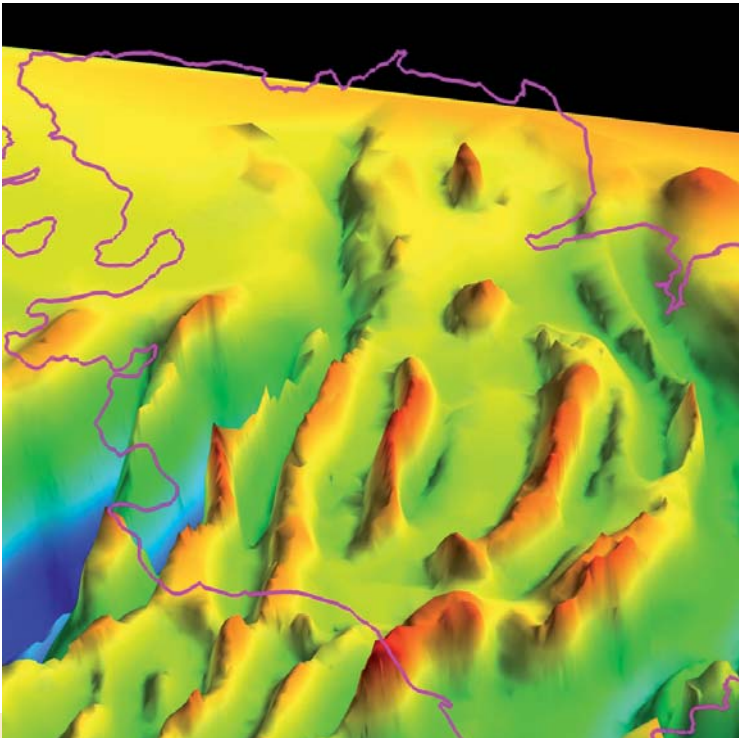
Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Im Rahmen des Teilprojektes sollen geologisch h6ffige Strukturen zur Speicherung von CO₂ im tiefen Untergrund von Schleswig-Holstein - als Pilotgebiet - mit Hilfe eines geologischen 3-D-Basismodells ermittelt und dargestellt werden. Die nach einer Risikoabschätzung identifizierten Strukturen werden mit 3-D-Teilgebietsmodellen belegt. Die Teilgebietsmodelle umfassen sowohl den tieferen Untergrund mit seiner strukturgeologischen und lithofaziellen Ausbildung als auch den oberfl6chennahen Untergrund mit seinen spezifischen hydrogeologischen Gegebenheiten.

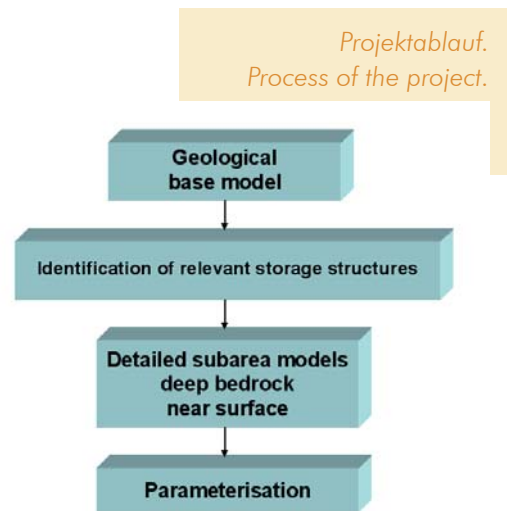
The aim of the project is the identification of deep favourable formations for CO₂ storage based on a structural analysis of Schleswig-Holstein - as a pilot region - by means of a 3D base model which describes basic geological conditions and structures. Considering different risk factors, potential storage structures will be selected and further analysed by detailed 3D subarea models. These geological models will include the deeper subsurface and its structural and petrophysical parameters as well as the near-surface subsurface and its specific hydrogeological conditions.

Ziel des Projektes ist die Erfassung geeigneter Untergrundstrukturen in der Pilotregion Schleswig-Holstein, als Teil des Norddeutschen Sedimentbeckens, die eine sichere CO₂-Speicherung erm6glichen k6nnten. Die Ergebnisse des Projektes sind als Bindeglied zwischen regionaler Geologie und numerischer Simulation zu sehen.

The aim of the project is the acquisition of appropriate subsurface structures in the pilot region Schleswig-Holstein as a part of the Northern Germany Sediment Basin that can allow a secure CO₂ storage. The results of this project can be seen as a link between regional geology and numerical simulation.



3D Darstellung der Basis Unterkreide in Schleswig-Holstein (GOCAD), erstellt aus Daten des Geotektonischen Atlas (Baldschuh et al. 1996).
3D picture of the basement of Lower Cretaceous in Schleswig-Holstein (GOCAD), based on data from the geotectonic atlas (Baldschuh et al. 1996).



Kontakt / Contact

Dr. S. Christensen
LANU Schleswig-Holstein

Tel. 04347-704-500
schrste@lanu.landsh.de

Experimentelle Simulation chemischer Wechselwirkungen zwischen injiziertem CO₂, salinen fluiden Phasen und Speichergestein und daraus bedingter Veränderungen der Mikrostruktur des Speichergesteins

Experimental Simulations of Chemical Interactions between injected CO₂, Saline Fluids, and Reservoir Rocks as well as Influence of these Chemical Interactions on the Micro-Texture of Reservoir Rocks

Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Ausgangsparameter jeder Studie zur Güte eines potentiellen Untertagespeichers für Kohlenstoffdioxid sind neben gesteinsphysikalischen Daten auch Informationen über sowohl chemische als auch physikalische Wechselbeziehungen des injizierten CO₂ mit den zirkulierenden salinen fluiden Phasen und dem Speicher- und Deckgestein.

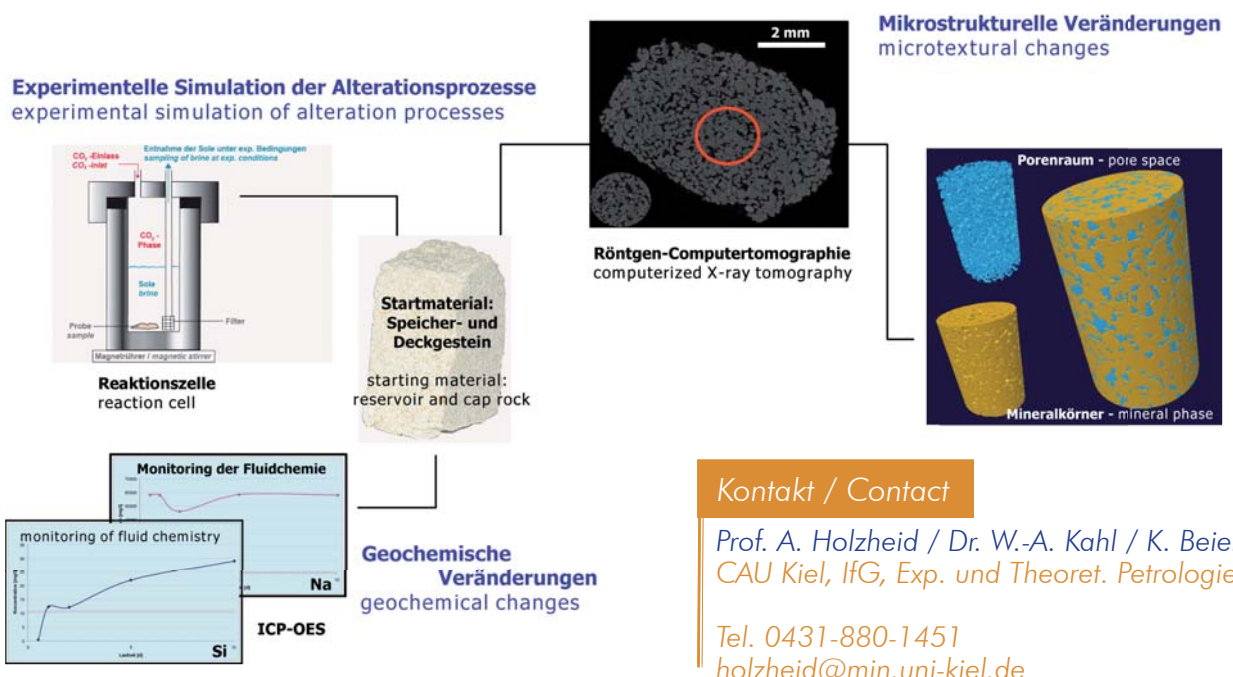
In drei miteinander verknüpften experimentellen Studien wird (1) die Reaktion des injizierten CO₂ mit den zirkulierenden salinen fluiden Phasen und dem Wirtsgestein, (2) die Alteration des Deckgesteins aufgrund der perkolierenden CO₂-haltigen salinen fluiden Phasen und (3) die Veränderung der Mikrostruktur des Mineralverbandes aufgrund der Alterationsprozesse unter realistischen Druck- und Temperaturbedingungen untersucht.

Die experimentellen Ergebnisse erlauben Aussagen über die Kinetik der stattfindenden Reaktionen (Fluid-Fluid, Mineralseparat-Fluid, Mineralverband-Fluid) und über die mikrostrukturelle Veränderung des Gesteinsgefüges als Funktion der Zeit. Die Verwendung dieser Ergebnisse bei rechnergestützten Prozesssimulationen führen zu einer Formulierung von günstigen bzw. ungünstigen Formationsseichereigenschaften und zur Festlegung von Grenzwerten für potentielle CO₂-Speichergesteine.

Important input parameters of studies that evaluate potential risks created by underground storage of injected CO₂ are, in addition to physical properties of rocks, also information about the physical and chemical interactions between pressed-in CO₂, circulating saline fluids, and the reservoir's host rock and cap rock.

These interactions will be experimentally investigated in three cross-linked studies: (1) determination of the chemical reactions of pressed-in CO₂ with circulating saline fluids and host rock, (2) alteration processes of cap rock textures due to percolating CO₂-enriched brines, and (3) microtextural changes of reservoir rocks due to alteration processes at realistic pressure and temperature conditions.

Information about the kinetics of the studied reactions (i.e., interactions between fluid-fluid, mineral-fluid and mineral assemblage-fluid phases) will be derived from the experimental data. Furthermore, the alteration of rock textures as a function of time can be deduced. The use of these data as input parameters for computational simulations will facilitate decisions concerning the favourable and unfavourable characteristics of underground deposits and textural limit values of potential CO₂ reservoir rocks.



E2

Geomechanik der CO₂-Speicherung in porösen Festgesteinen - Petrophysikalische Laborstudie

Geomechanics of the Storage of dense CO₂ in Porous Rocks - a Petrophysical Laboratory Study

Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Ziel des Teilprojekts E2 ist es, Interpretationshilfen für die seismische in-situ-Überwachung der geomechanischen Integrität von Speicher- und Deckgesteinen während und nach CO₂-Injektionen zu liefern. Das Ergebnis soll in einem Verfahrenskatalog münden, welcher eine optimale Ausnutzung der Reservoirs unter Einhaltung von Sicherheitsgrenzen bezüglich des Injektionsdrucks ermöglicht.

The development of geomechanical interpretation aids for seismic in situ monitoring during and after the sequestration of CO₂ under high pressure and temperature is considered to be the objective of the subproject E2. We will focus on the maximum fluid-pressure formation which can securely be sustained in a storage site and on the maximum utilization of reservoir capacity.

Grundlage des Verfahrenskatalogs werden petrophysikalische Laborexperimente sein, mit welchen Zusammenhänge gefunden werden sollen zwischen

Petrophysical laboratory experiments simulating CO₂ injection under real in situ conditions will be run to map the basic interrelationships between

- seismischem Verhalten
P-S-Wellengeschwindigkeiten, Scherwellen-Doppelbrechung, Dämpfung und
- mechanischem Verhalten
Entwicklung der Spannungsanisotropie, Dilatanz, Festigkeit, Permeabilität, Speichervolumen

- seismic behaviour
P and S wave velocity, shear-wave splitting, attenuation and the
- mechanical behaviour of potential reservoir rocks
Anisotropic stress field, dilatancy, strength, permeability.

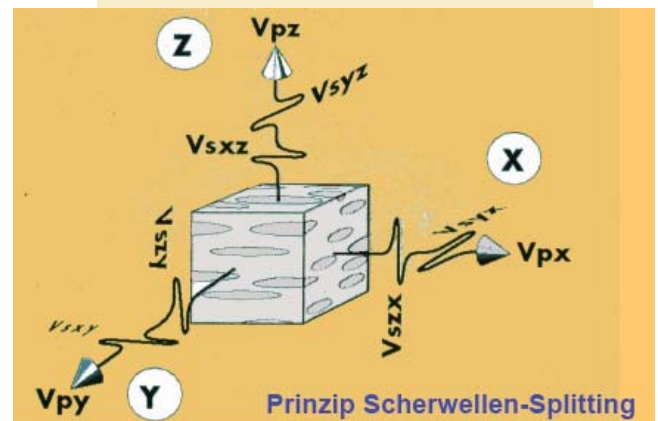
Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Konformität zwischen in-situ und Versuchsrandbedingungen gelegt bezüglich anisotroper Gesteinsspannung, Porendrücken, Temperatur sowie auf Spannungspfade mit effektiver Gesteinsentlastung bei Zunahme des deviatorischen Spannungsanteils, wie sie bei Injektionsvorgängen auftreten.

In doing so, great importance will be attached to the conformity between in situ and test boundary conditions, concerning anisotropic stress, pore pressure, temperature, as well as stress paths simulating effective rock unloading by increasing the deviatoric stress ratio.

*Hochdruck-Triaxial-Versuchsanlage mit Ultraschall-Messeinrichtung.
High pressure triaxial testing facility with integrated ultrasonic measuring device.*



*Prinzip der Scherwellendoppelbrechung.
Principles of shear wave splitting.*



Kontakt / Contact

Prof. V. Feeser / Dr. K. Hoffmann / R. Hinkes
CAU Kiel, IfG, Ingenieurgeologie

Tel. 0431-880-2570
vf@gpi.uni-kiel.de

Koordination, Erstellung eines Leitfadens und rechtliche Bewertung

Joint Project Coordination, Conception of a Guideline and Legal Assessment

Ziele und Aufgaben / Aims and Tasks

Die Verbundkoordination beinhaltet das fachliche und organisatorische Management innerhalb des CO₂-MoPa-Verbundes sowie die übergeordnete Koordination der Außendarstellung. Die wesentlichen Ziele des Projektes beinhalten die wirtschaftliche und fachliche Verwertung der übergeordneten Ergebnisse:

- Erarbeitung und Redaktion eines Leitfadens, in dem die übergeordneten Ergebnisse des Verbundprojektes zur Dimensionierung und Risikoanalyse von CO₂-Speicherung in tiefen, salinen Formationen zusammengefasst sind
- Aufbau einer Literatur-Datenbank
- Öffentlichkeitsarbeit (Homepage, Erstellung von Broschüren, Pressearbeit, Organisation von Tagungen, Repräsentation des Verbundes auf Tagungen, Messen, etc.)

Im Rahmen der Koordination erfolgt in Form eines Unterauftrages eine rechtswissenschaftliche Begleitung des Verbundprojektes. Ziel und Aufgabe ist es, ein juristisches Instrumentarium zu schaffen, das an konkreten Werten bzgl. der potenziellen Gefahren einer CO₂-Speicherung oder der Zeitdauer der Maßnahmen orientiert ist, die anhand der virtuellen CO₂-Speicherszenarien untersucht werden sollen. Dies ist wesentlich angesichts der anstehenden nationalen rechtlichen Umsetzung und Ausgestaltung der europäischen CCS-Richtlinie¹⁾. Die einzelnen Aufgaben umfassen:

- Grundlagenforschung zum rechtlichen „Ist-Bestand“
- Befassung mit den sogenannten „Ewigkeitsschäden“ im Rahmen der Haftung
- Erörterung der Möglichkeiten zur Festlegung eines sogenannten „Benutzungszwanges“

The responsibilities of the joint project coordination group comprise both the internal technical and organizational management of the CO₂-MoPa consortium and the overall external coordination with regard to public relations. Main objectives of the subproject are the economic and scientific utilization of the overall results of the joint project:

- Conception and editorial of a guideline, which comprises the overall project results about dimension and risk analyses of CO₂ storage in deep saline formations
- Compilation of a literature data base
- Public relations (Homepage, Design of information brochures, media relations, organisation of conferences, presentation of the joint project at exhibitions, conferences, etc.)

By means of a subcontract, questions concerning the design of approval procedures and liabilities will be treated. The aim is to develop jurisprudential instruments, which are aligned with concrete values regarding potential risks of CO₂ storage or duration of such measures, which will be investigated by means of the virtual scenario studies. Such considerations are important given the upcoming national implementation of the European CCS Directive¹⁾. Topics of research will be:

- Investigation on current jurisprudential status
- Investigation of the so-called „eternal damages“ in the context of liabilities
- Discussion about options to establish a so-called „compulsory use“

Kontakt / Contact

Dr. S. Grandel / Prof. A. Dahmke
CAU Kiel, IfG, Angewandte Geologie

Tel. 0431-880-2875
sg@gpi.uni-kiel.de

Dr. A. Leppin / Prof. W. Ewer
Rechtsanwaltskanzlei Weißleder & Ewer

Tel. 0431-97436-0
leppin@weissleder-ewer.de

1) Vorschlag für eine Richtlinie des Europ. Parlaments und des Rates über die geologische Speicherung von Kohlendioxid und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG, 96/61/EG, 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG und der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 KOM(2008) 18.
Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide and amending 85/337/EWG, 96/61/EG, 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG und der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 KOM(2008) 18.

Adressen der Forschungspartner / Adress of Research Partners

- Institut für Geowissenschaften der CAU Kiel / Institute of Geosciences, CAU Kiel*
Abteilungen Physik und Chemie der Minerale und Angewandte Geowissenschaften /
Departments Physics and Chemistry of Minerals and Applied Geosciences
Ludewig-Meyn-Str. 10
24118 Kiel M1a, M2, M5, E1, E2, K
- Abteilung Geophysik / Department Geophysics
Otto-Hahn-Platz 1
24118 Kiel M3, M4
<http://www.ifg.uni-kiel.de>
- Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ) / Helmholtz Centre for Environmental Research*
Department für Umweltinformatik / Department Environmental Informatics
Permoserstr. 15
04318 Leipzig M1b
Postanschrift: Postfach 500136, 04301 Leipzig
<http://www.ufz.de>
- Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau / University of Stuttgart, Institute of Hydraulic Engineering*
Abteilung Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung /
Department of Hydromechanics and Modeling of Hydrosystems
Pfaffenwaldring 61
70569 Stuttgart M1c
<http://www.iws.uni-stuttgart.de/index.html>
- Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein / State Office for Nature and Environment*
Schleswig-Holstein
Abteilung Geologie und Boden / Department Geology and Soils
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek M6
<http://www.lanu.schleswig-holstein.de>
- Weißleder & Ewer, Notar und Rechtsanwälte / Lawyers*
Walkerdamm 4-6
24103 Kiel K
<http://www.weissleder-ewer.de>

Verbundkoordination / Joint Project Coordination

Prof. Andreas Dahmke
Phone: +49-0431-880-2858
Fax: +49-0431-880-7606
Email: ad@gpi.uni-kiel.de

Herausgeber / Editor

Institut für Geowissenschaften
S. Grandel (Inhaltliche Koordination)