3D Modelle des Untergrundes von Schleswig-Holstein für geothermische Potenzialstudien

Fabian Hese, Reinhard Kirsch

Geologischer Landesdienst Schleswig-Holstein

SH
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Outline

- Einleitung
- Daten
- Workflow
- Interreg 4a Projekt GeoPower
- Verbundprojekt StörTief
- Ausblick

SH
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Einleitung

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Manfred Wuttke LIAG
Numerische Modellierung als Werkzeug der Angewandten Geophysik
DGG-Seminar Oberflächennahe Erkundung, Neustadt/Weinstr. Oktober 2013

Was ist ein Modell?

Ein **Modell** ist ein beschränktes Abbild der Wirklichkeit.

Dies kann gegenständlich (analog) oder theoretisch (mathematisch) geschehen.

Wesentliche Merkmale von Modellen:

- Abbildung
- Verkürzung
- Pragmatismus

Bei der **Simulation** werden Experimente an einem Modell durchgeführt, um Erkenntnisse über das reale System zu gewinnen.

Einleitung

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Bezogen auf die Untergrundmodelle für geothermische Potenzialstudien bedeutet dies:

- Abbildung — Lagerungsverhältnisse des Untergrundes
- Verkürzung — Schwerpunkt liegt auf hydrothermalen Reservoirfomationen
- Pragmatismus — Interessenslage des Nutzers im Blick

Simulation: z.B. Abkühlung eines Reservoirs durch die Nutzung

Einleitung

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Wie nutzt der Nutzer ein hydrothermales Modell?

Erste Informationen über die Eignung eines Standortes zur hydrothermalen Nutzung

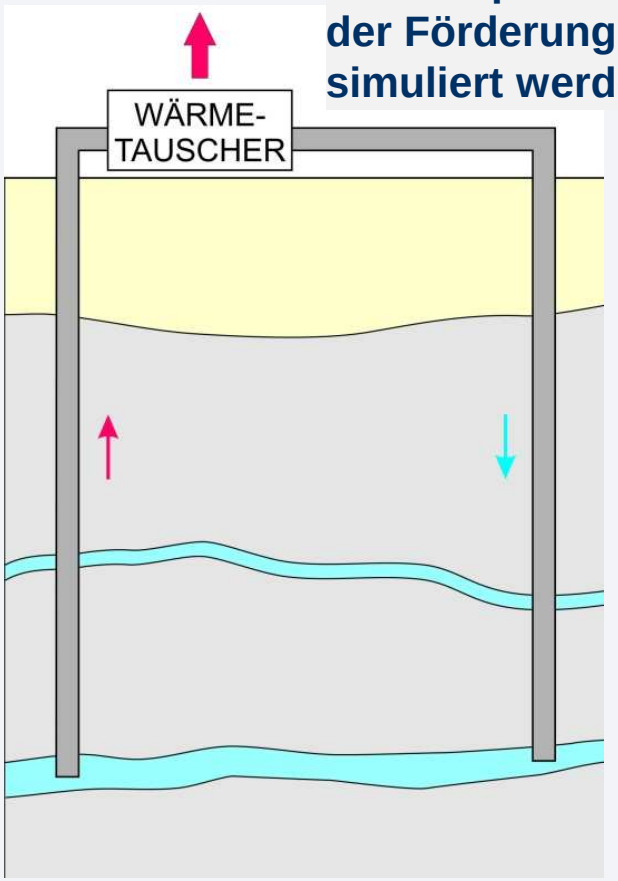
Eingangsgeometrie für eine numerische Simulation des Temperaturverhaltens bei der Soleförderung

Einleitung

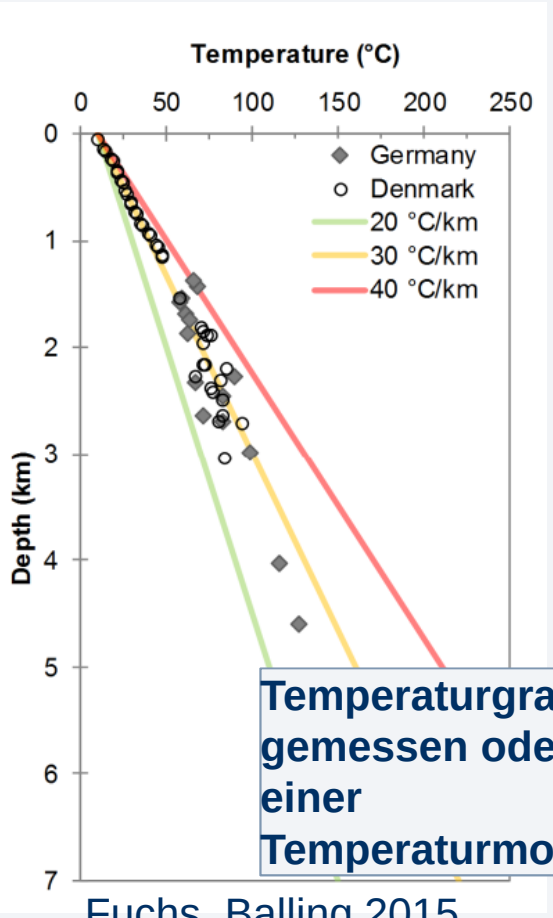
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Das Modell liefert Tiefenlage und Mächtigkeit des Reservoirs

die Entwicklung der Soletemperatur während der Förderung soll simuliert werden



Ableitung weiterer Simulationsparameter: Temperatur bei Beginn der Förderung



Temperaturgradient: gemessen oder Ergebnis einer Temperaturmodellierung

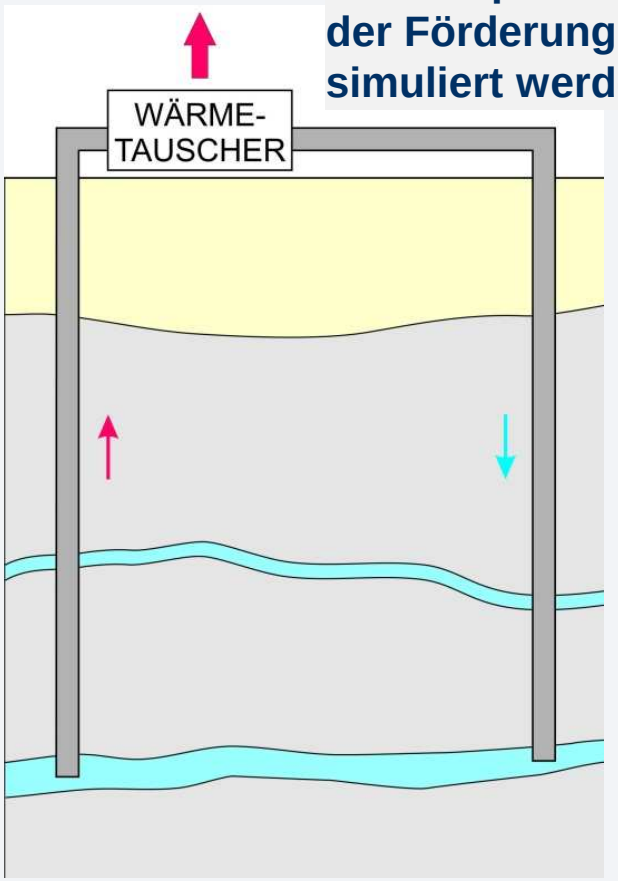
Fuchs, Balling 2015

Einleitung

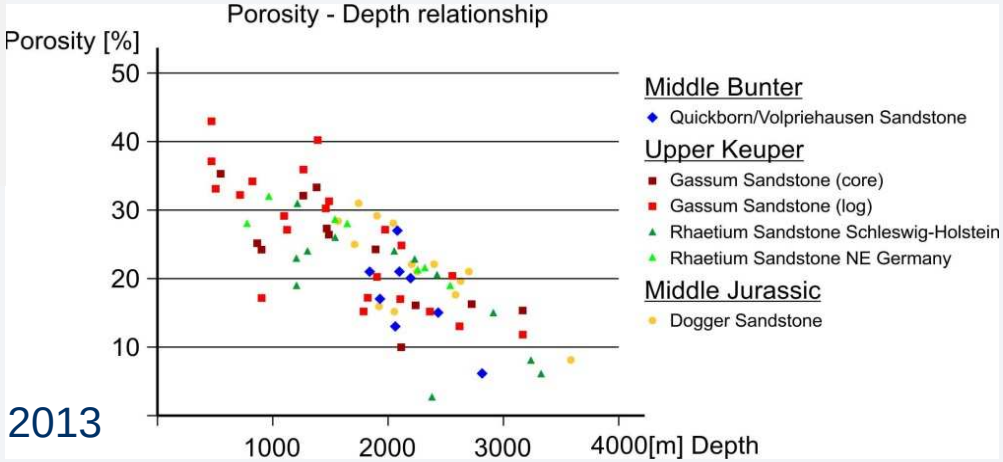
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Das Modell liefert Tiefenlage und Mächtigkeit des Reservoirs

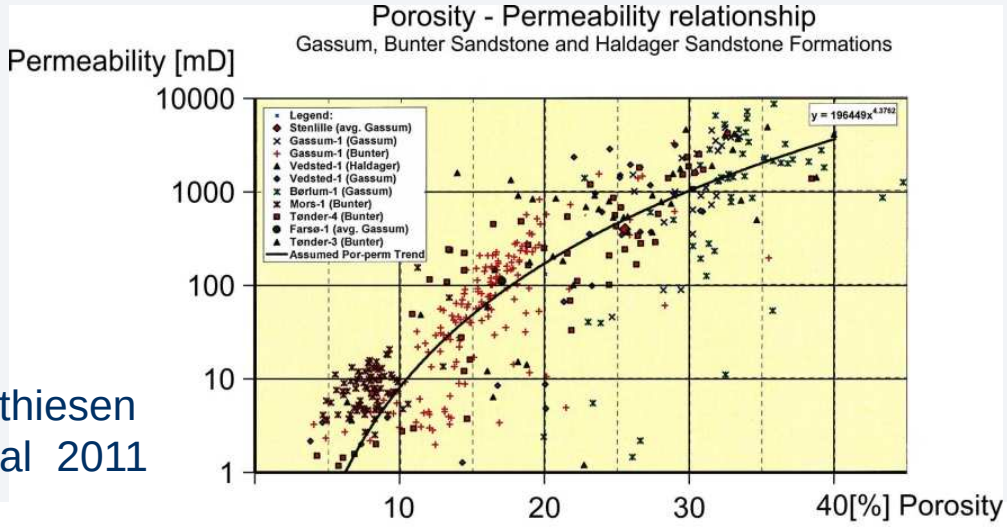
die Entwicklung der Soletemperatur während der Förderung soll simuliert werden



Ableitung weiterer Simulationsparameter:hydraulische Eigenschaften des Reservoirs



Thomsen 2013

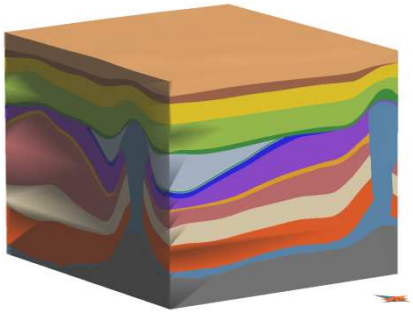


Mathiesen et. al 2011

Einleitung

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Daher also: Einsatz geologischer 3D Modelle



Einschätzung von geometrischen Unsicherheiten

Bestimmung von Parametern – z.B. Temperatur oder Volumina

Numerische Simulationen – z.B. Druck- oder Fluidausbreitung

Online GeoInformationssysteme – z.B. GeotIS

Räumliche Abfragen

Ableitung von thematischen Karten

Potenzialstudien

Risikoabschätzungen

Outline

- Einleitung
- Daten
- Workflow
- Interreg 4a Projekt GeoPower
- Verbundprojekt StörTief
- Ausblick

SH
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Daten

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

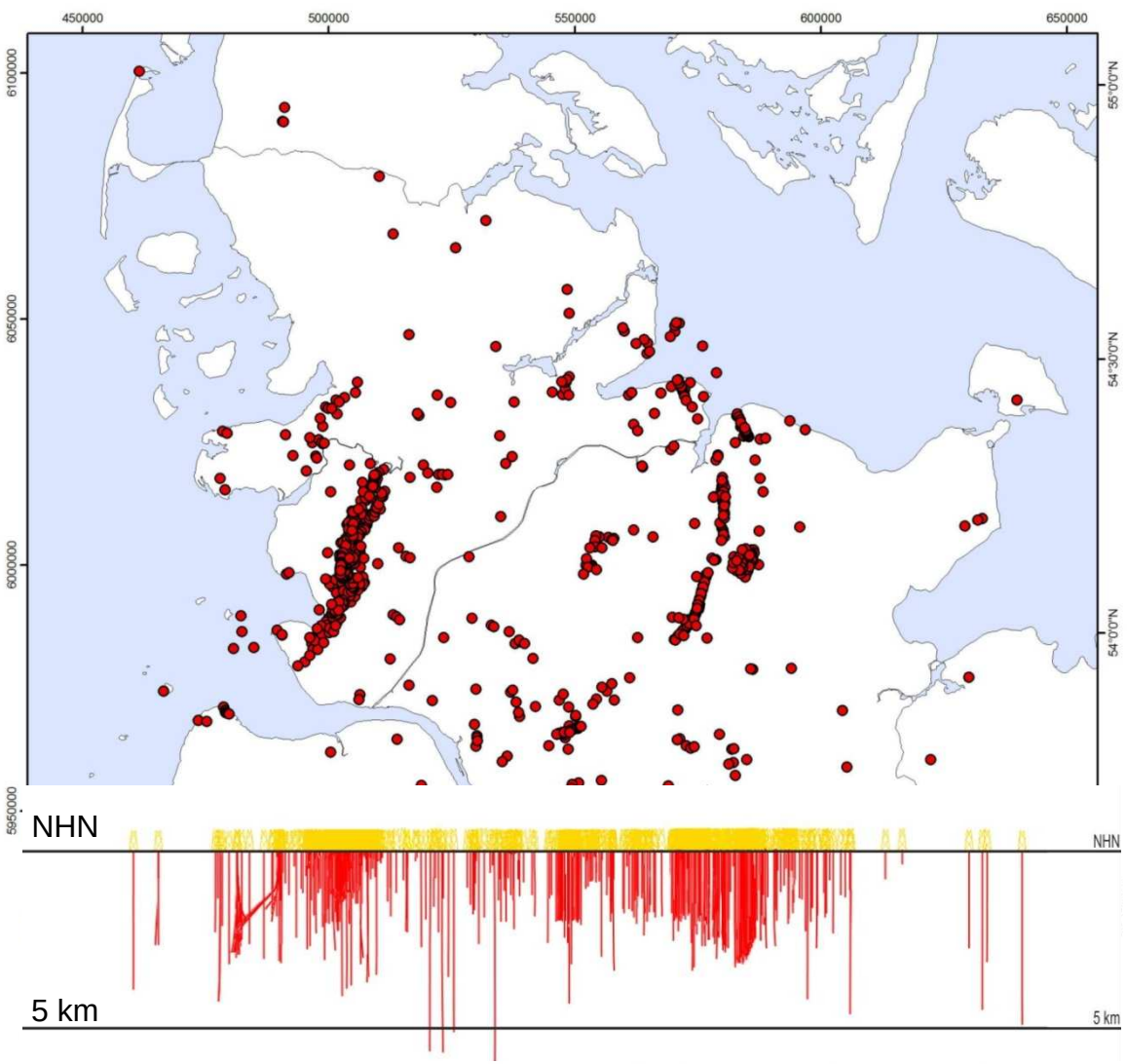
Bohrungen

Onshore SH: ~1600 (1870 – 2002)

Geophon Versenkmessungen
Vertikale seismische Profile
Temperatur
SP, elektrischer Widerstand,
Gamma Ray, Sonic, Dichte, Kaliber

Schichtenverzeichnisse

Angaben zur Porosität und
Permeabilität



Daten

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

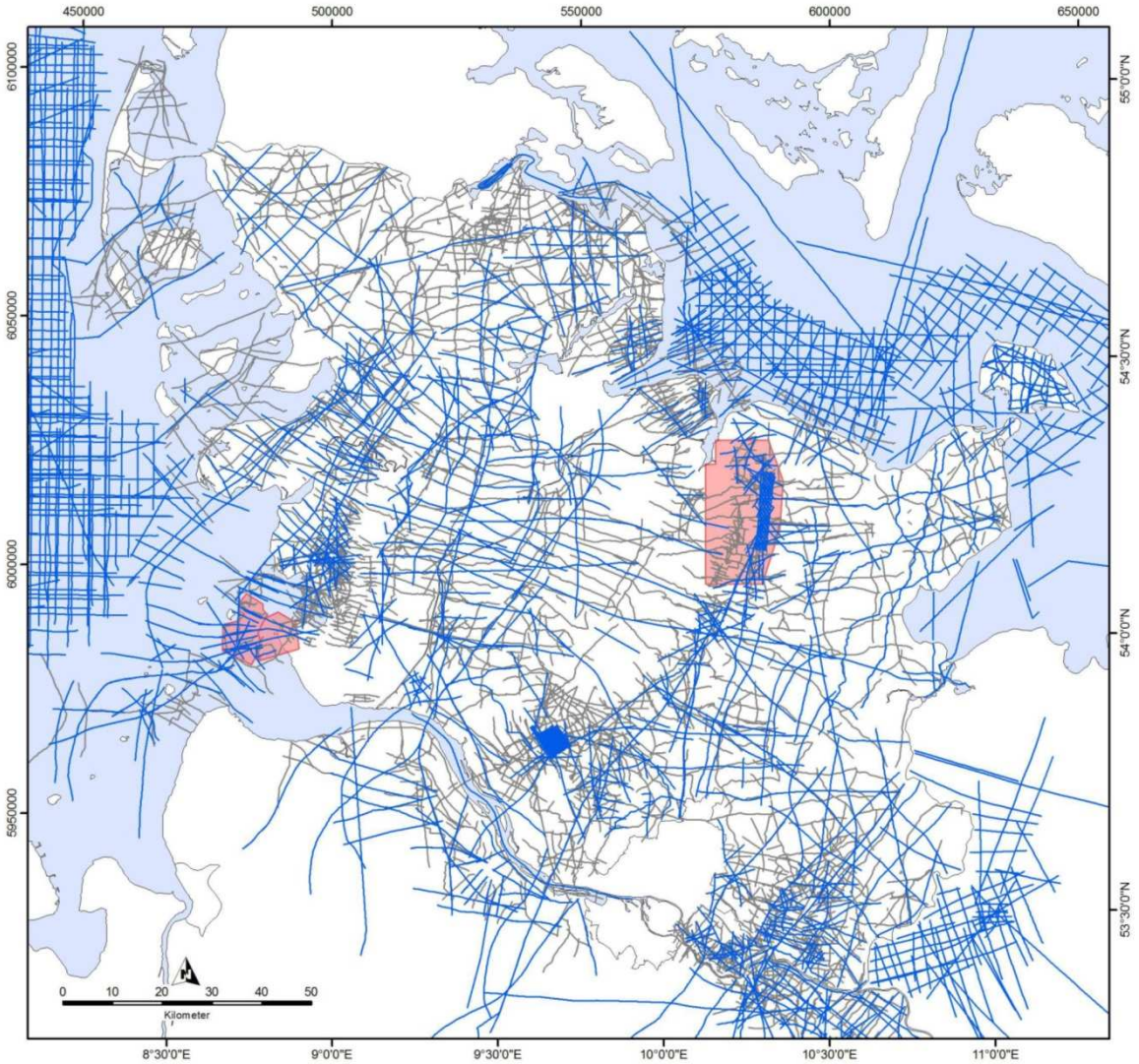
Bohrungen

Onshore SH: ~1600 (1870 – 2002)

Seismische Profile

Onshore SH: ~3234 (1940 – 2007)

vor 1965: 2253
nach 1965: 981



Daten

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland
(Baldschuhn et al. 2001, BGR)

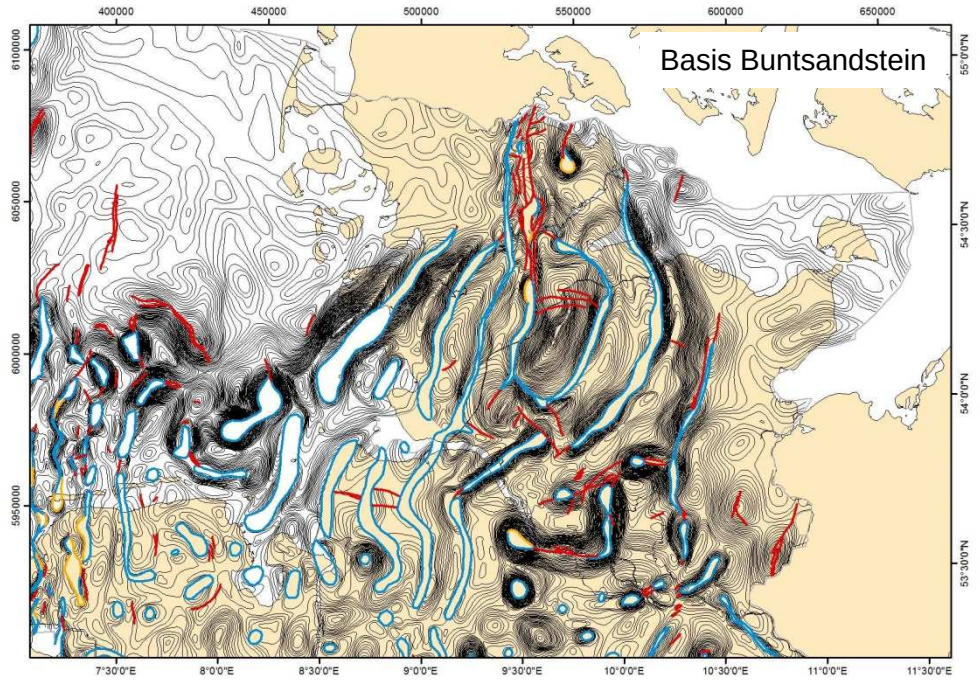
1 : 300 000 / 1 : 100 000

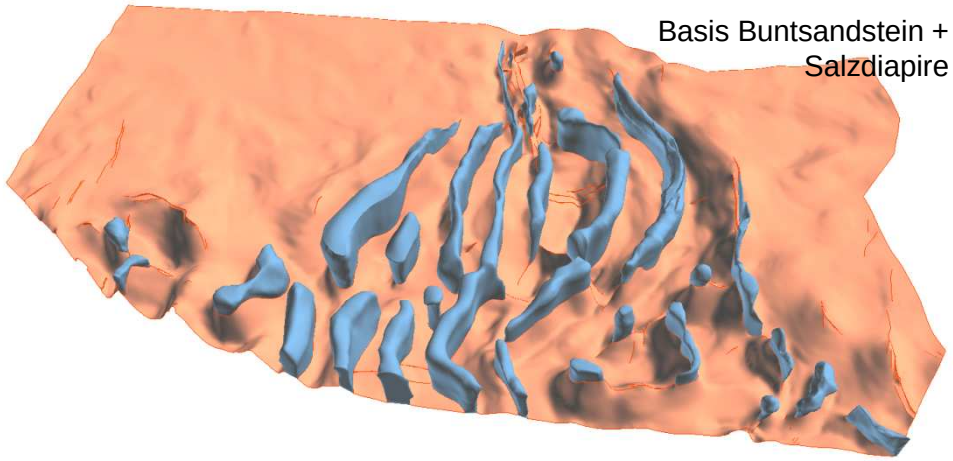
- 14 Tiefenlinienpläne lithostratigraphischer Horizonte (Miozän – Zechstein)
- Verbreitungsgrenzen und Störungsspuren
- Restmächigkeitskarten
- GeologischeKarten und Profile
- Berichte

3D Basismodel SH
(Hese 2012, LLUR SH 2012)

3D Darstellung des GTA-NW

Publikationen, Potenzialstudien, …





Outline

- Einleitung
- Daten
- Workflow
- Interreg 4a Projekt GeoPower
- Verbundprojekt StörTief
- Ausblick

SH
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

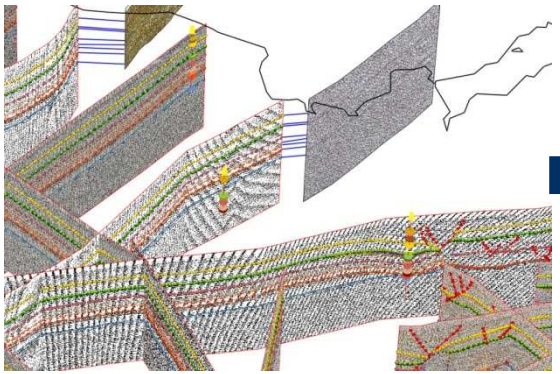
Workflow

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

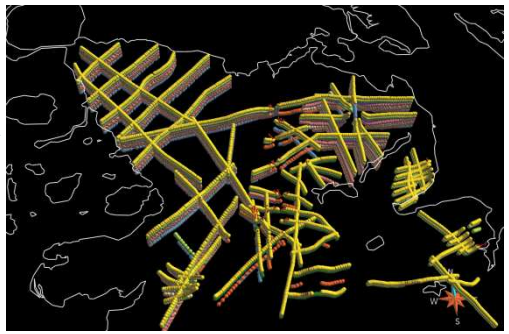
Geotektonischer Atlas

Zeit-Domäne

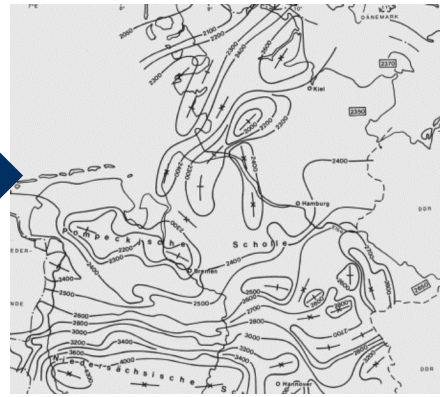
Interpretation von seismischen Profilen Bohrdaten GVM Daten



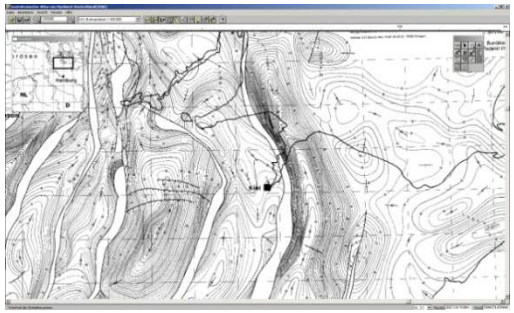
Reflektoren



Geschwindigkeitsmodell Jaritz et al. 1990



Tiefen-Domäne



Erstellung von Tiefenlinienplänen

Zeit – Tiefen Konversion

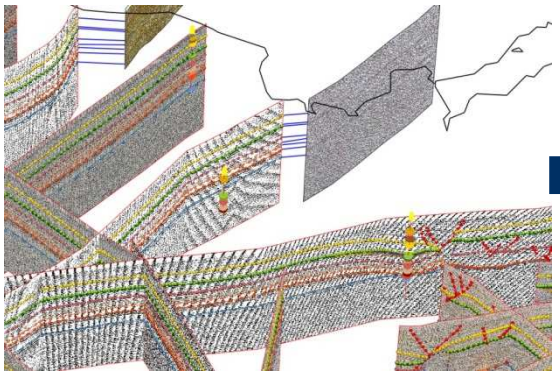
Workflow

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

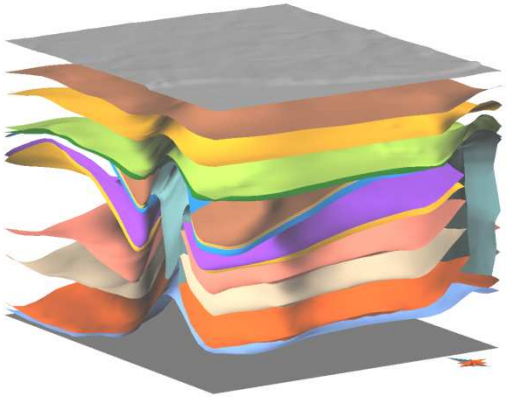
3D

Zeit-Domäne

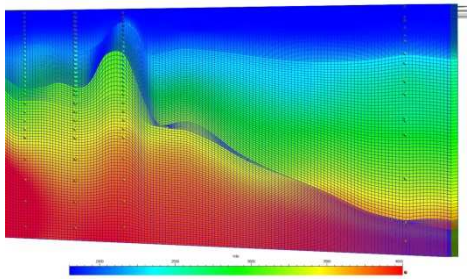
Interpretation von seismischen Profilen Bohrdaten GVM Daten



Geologisches 3D Modell

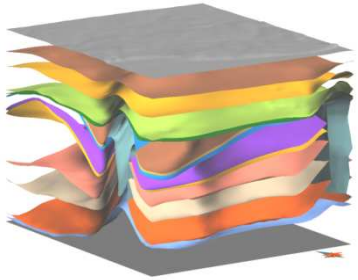


Geschwindigkeitsmodell



Zeit – Tiefen Konversion

Tiefen-Domäne



Weitere Bearbeitung / Korrektur des 3D Modells

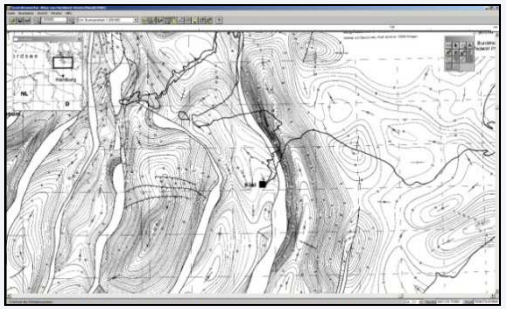
Workflow

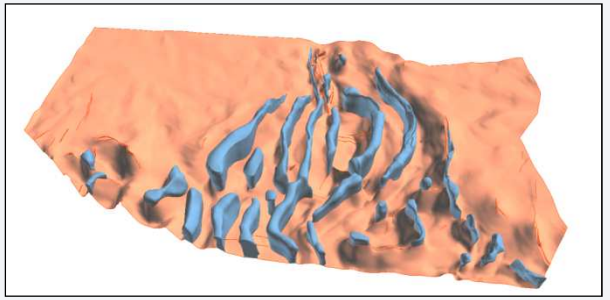
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

In Zukunft: Ergänzung und weitere Entwicklung des Geotektonischen Atlas durch seismische Auswertungen

- **Rekonstruktion des GTA Geschwindigkeitsmodell (Jaritz 1990)**
- Zeit – Tiefen Konversion von eigenen Auswertungen
- Alternativ: Konversion von einem GTA 3D Modell von Tiefe in die Zeit-Domäne zur weiteren Entwicklung durch eigene Auswertungen

Momentan: landesweites 3D Modell auf Grundlage des GTA, Einbezug von Bohrdaten, Vergleiche mit Seismik Daten

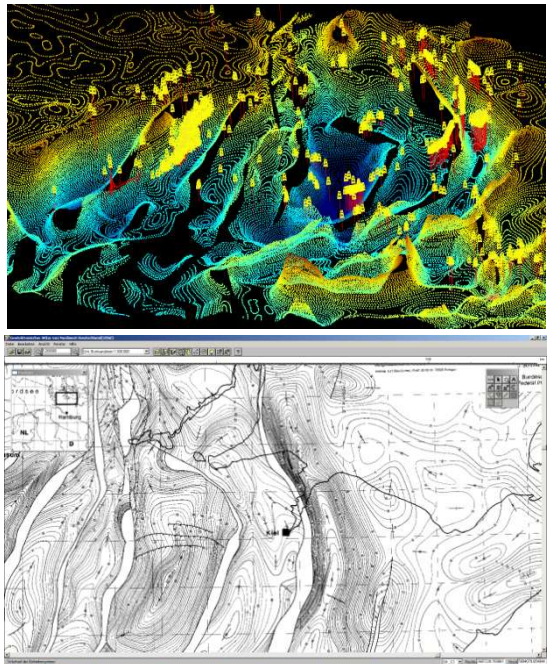




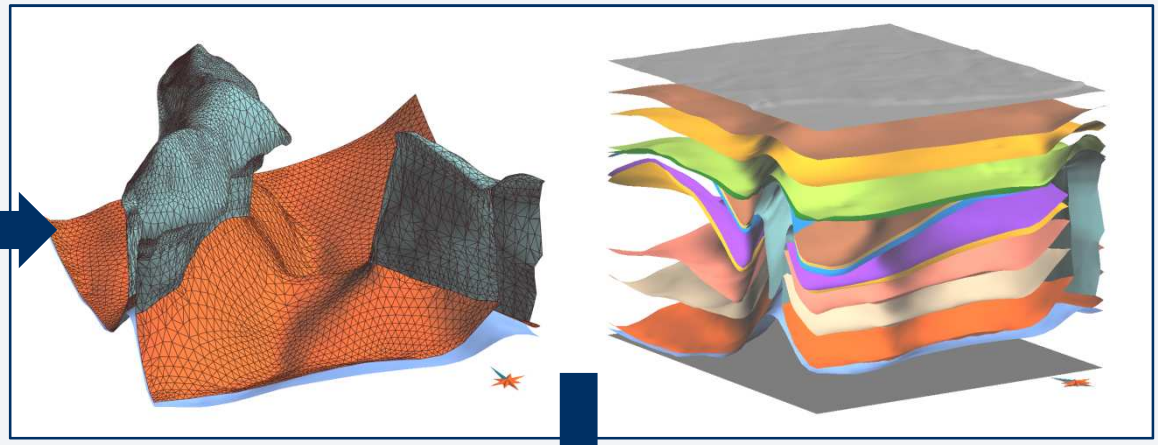
Workflow

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

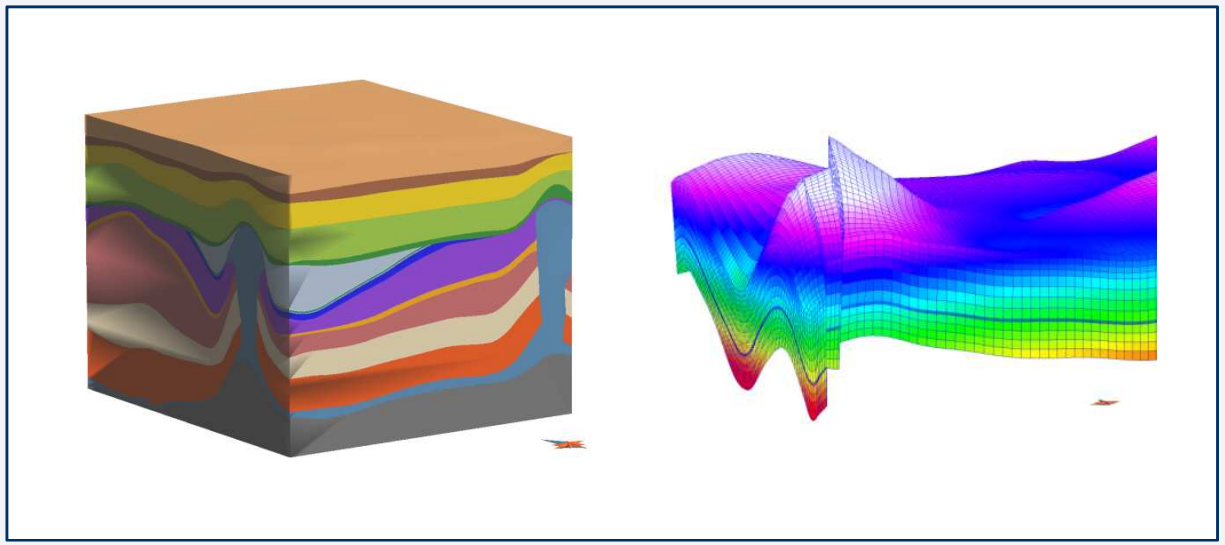
Geotektonischer Atlas
Bohrdaten



konsistentes Grenzflächenmodell



Volumenmodell: 3D Voxet, stratigrafisches Gitter, Tetraedergitter



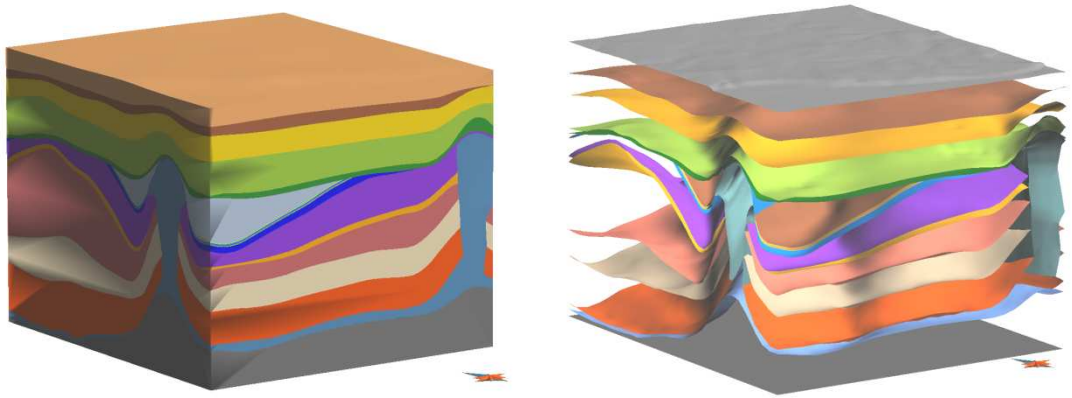
Workflow

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Lithologische und petrophysikalische Eigenschaften

Problem:
Räumliche Kartierung von punktuellen Informationen

Geometrie 2.5D / 3D



Definition von Kriterien

Ableitung von Potenzialräumen

Projekte

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

GeoPower **2012 - 2014**	GEOPOWER	**Grenzübergreifende Planungsgrundlagen zur geothermischen Nutzung des Untergrundes von Süd Jütland und Nord Schleswig-Holstein**
StörTief **2013 - 2016**	GeotIS StörTief	**Die Rolle von tiefreichenden Störungszonen bei der geothermischen Energienutzung**
TUNB **SH: ab 2015**	TUNB	**Modellierung und Parametrisierung des Norddeutschen Beckens**

Outline

- Motivation
- Daten
- Workflow und Methoden
- Interreg 4a Projekt GeoPower
- Verbundprojekt StörTief
- Ausblick

SH
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Interreg-Projekt GeoPower

- **Projektlaufzeit:** Mitte 2012 – Anfang 2015
- **Förderung:** Europäischer Fonds für regionale Entwicklung - Interreg IVa
- **Institutionen:** LLUR SH Flintbek, GEUS Kopenhagen, Universität Kiel, Universität Aarhus
- **Ziel:** Entwicklung von Planungsgrundlagen für die geothermische Nutzung des tieferen Untergrundes und für die Speicherung von regenerativer Energie im Norden Schleswig-Holsteins und Süden Dänemarks

Projektpartner und Themen

Geologischer Dienst SH
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume Schleswig-Holstein

Parametrisierung von Reservoirformationen
Interpretation von seismischen Profilen
Geologische 3D Modellierung

GEUS
De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland

Parametrisierung von Reservoirformationen
Interpretation von seismischen Profilen

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Geowissenschaften
Abteilung Geophysik

Geophysikalische Feldarbeiten

Prof. Götze und Prof. Rabbel et al.

Aarhus Universitet
Institut for Geoscience
Geologi

Temperaturmodellierung

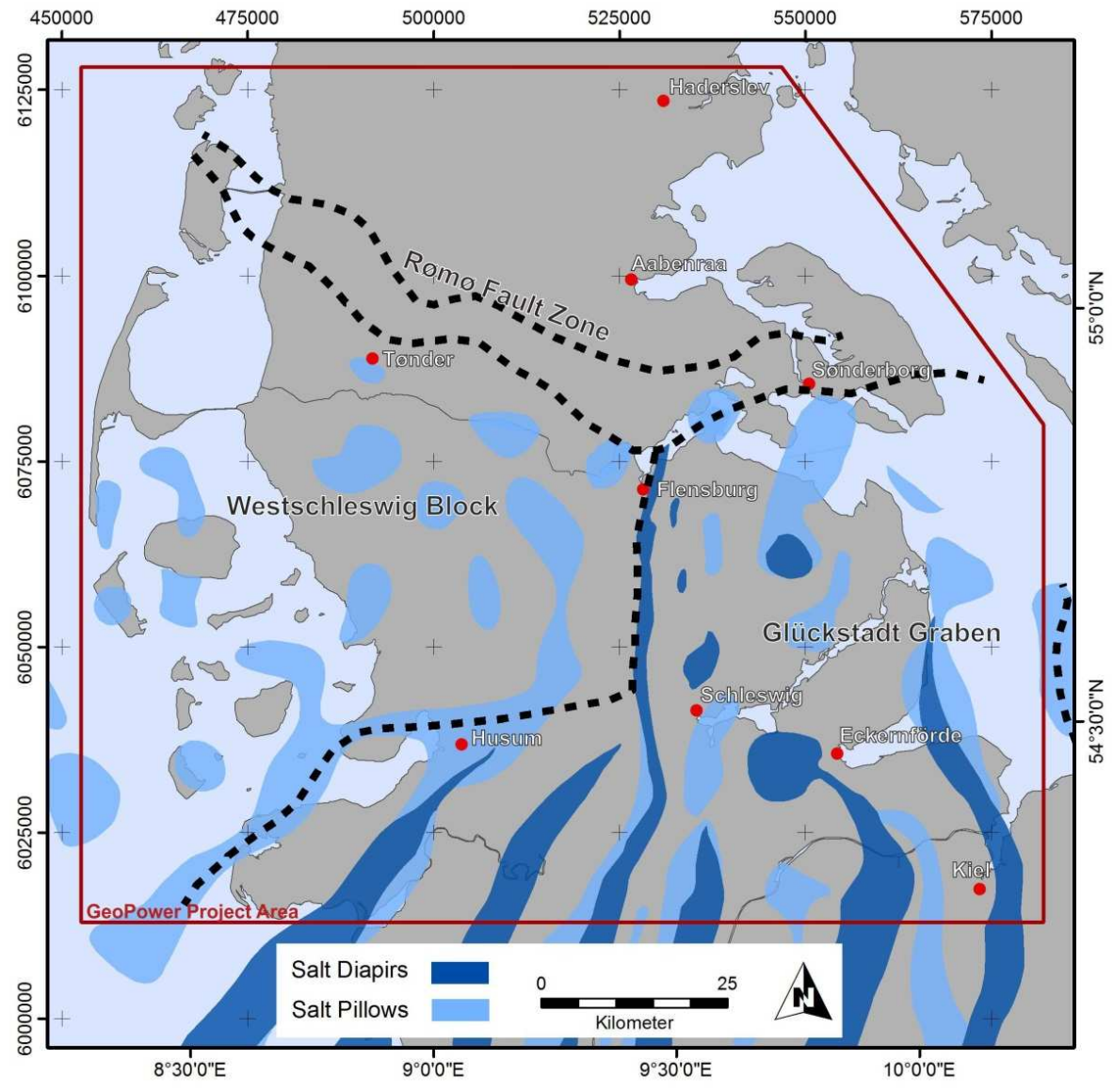
Prof. Balling et al.

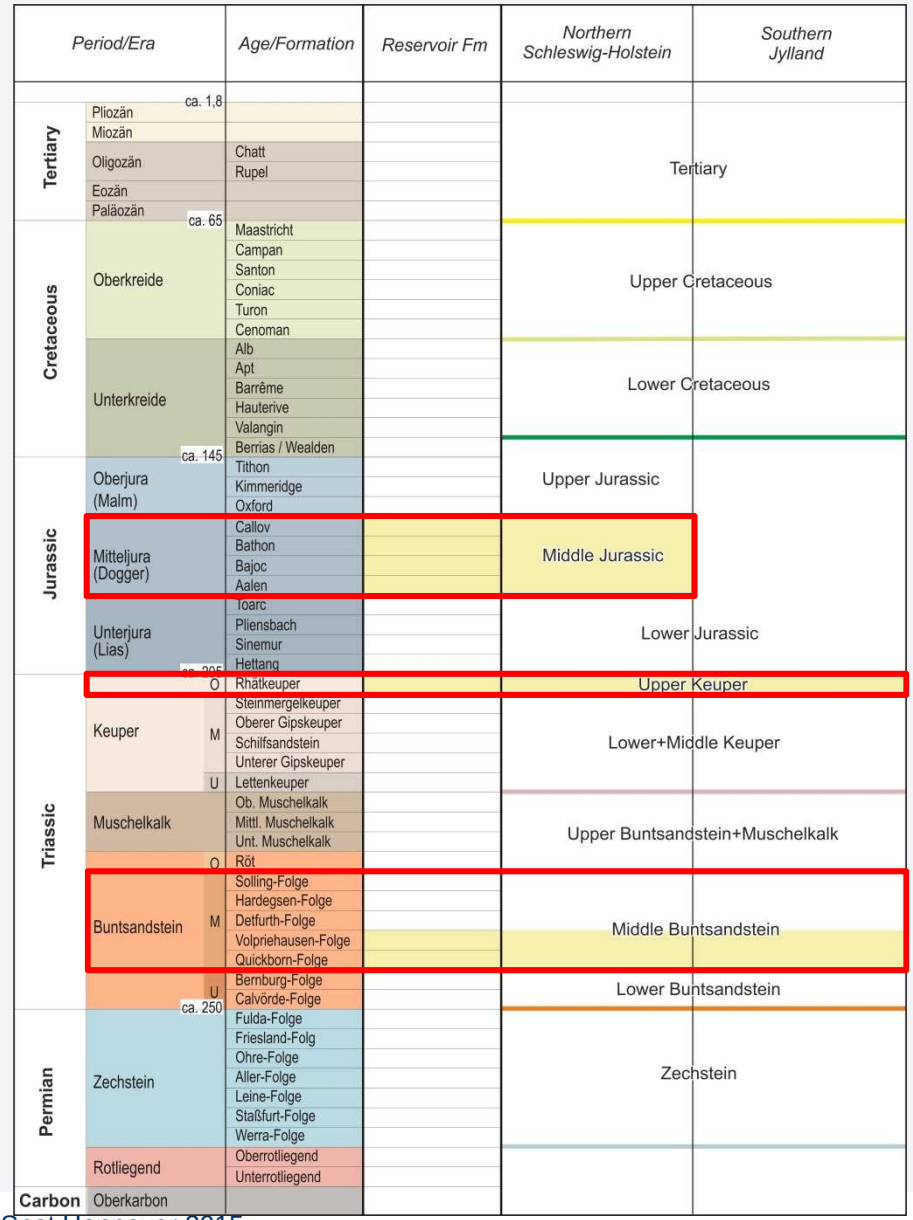
GeoPower

SH Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Untersuchungsgebiet

Schleswig – Süd Jütland





Basis Tertiär

Basis O. Kreide

Basis U. Kreide

Basis O. Jura (nur SH)

Basis M. Jura | Haldager Sand Fm. (nur SH)

Basis U. Jura | Fjerritslev Fm.

Basis O. Keuper | Gassum Fm.

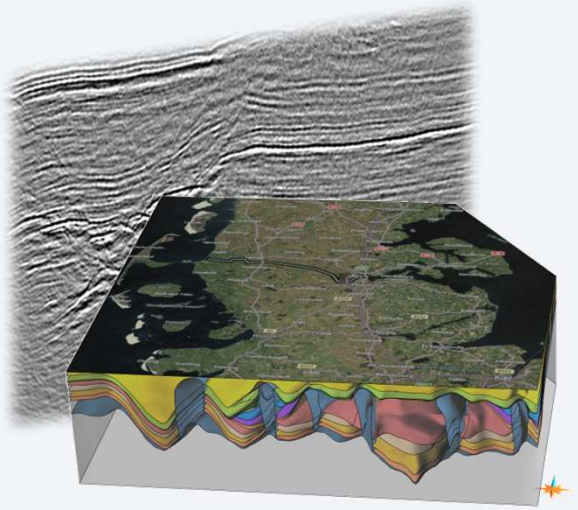
Basis Keuper | Oddesund Fm.

Basis O. Buntsandstein | Ørslev Fm.

Basis M. Buntsandstein | Bunter Sandstone Fm.

Basis U. Buntsandstein| Bunter Shale Fm.

Basis Zechstein

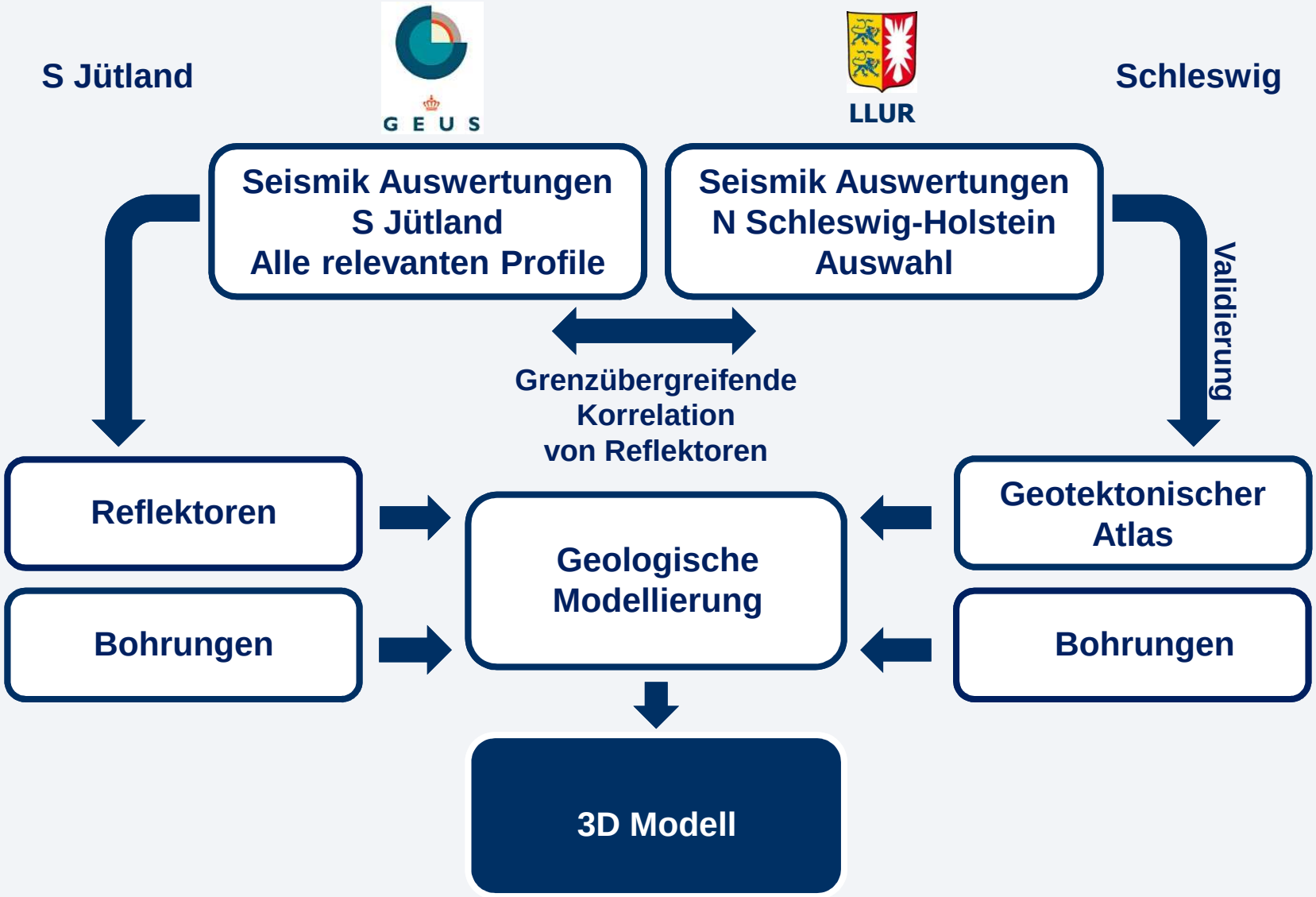


LLUR SH, GEUS DK, CAU Kiel

Seismik Auswertungen
Geologisches
3D Modell

- Karten der Verbreitung, Tiefenlage und Mächtigkeit von Reservoirkomplexen
- Temperaturkarten
- Lithologie
- Mächtigkeit Sandsteine
- Sandstein - Tonstein Verhältnis
- Porosität / Permeabilität

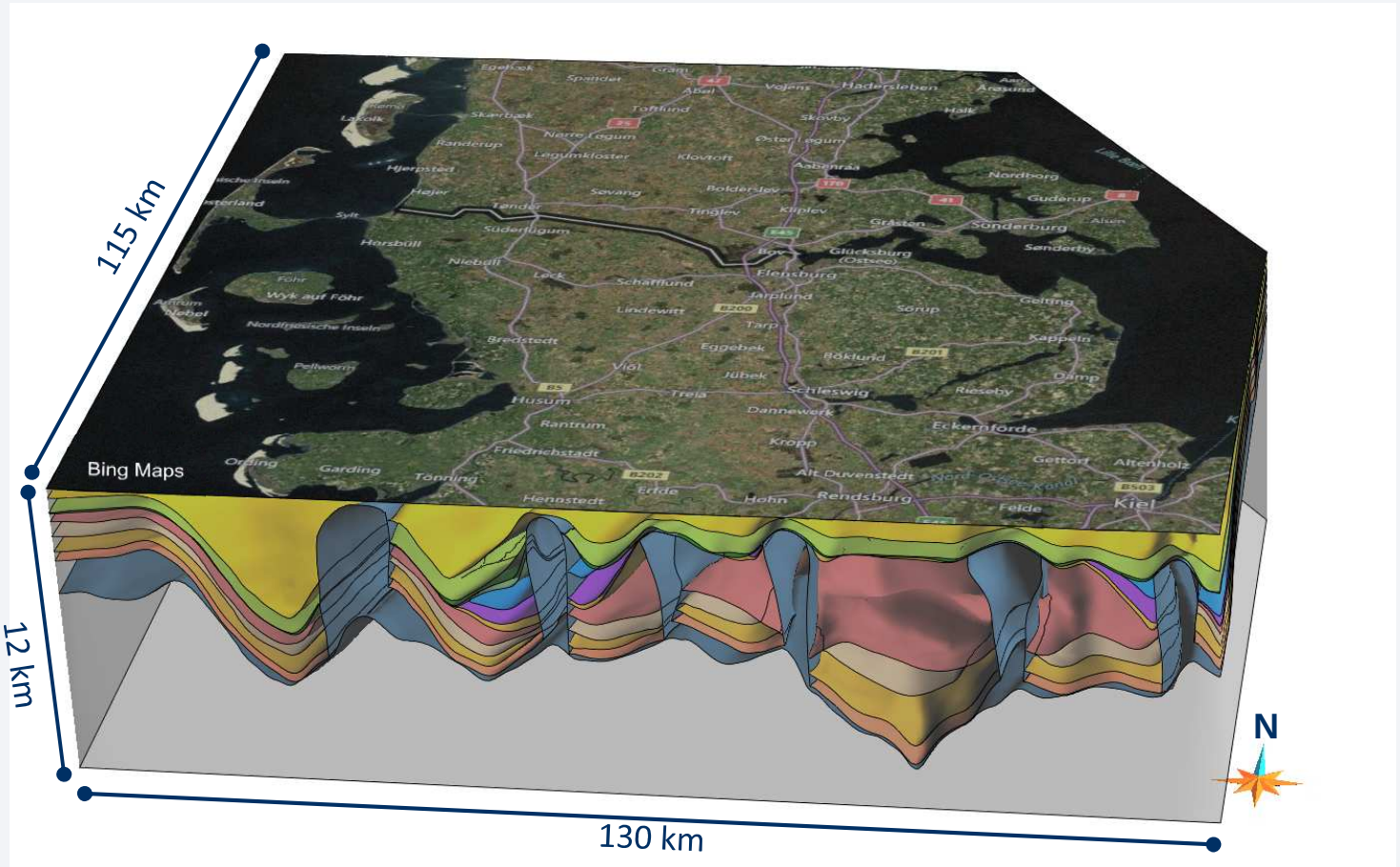
Workflow

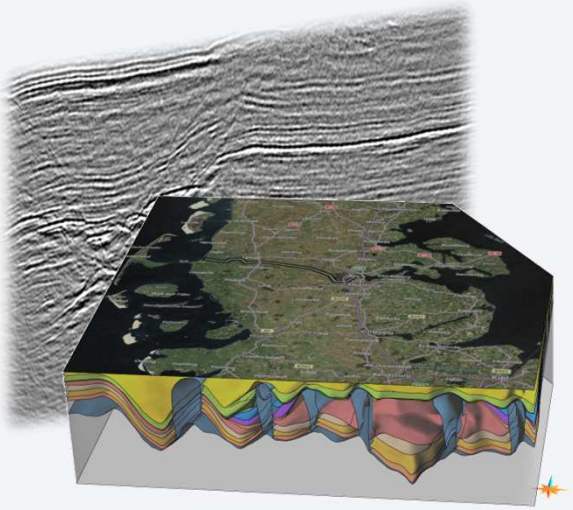

S Jütland
GEUS
LLUR
Schleswig
Seismik Auswertungen
S Jütland
Alle relevanten Profile
Seismik Auswertungen
N Schleswig-Holstein
Auswahl
Validierung
Grenzübergreifende
Korrelation
von Reflektoren
Reflektoren
Bohrungen
Geologische
Modellierung
Geotektonischer
Atlas
Bohrungen
3D Modell

abgebildete Formationen:

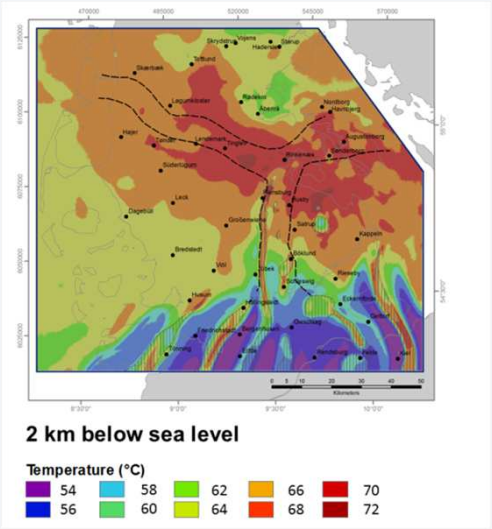
T
KrO
KrU
JO
JM
JU
KO
K
SO
SM
SU
Z

Modellbasis: Top Rotliegend





LLUR SH, GEUS DK, CAU Kiel



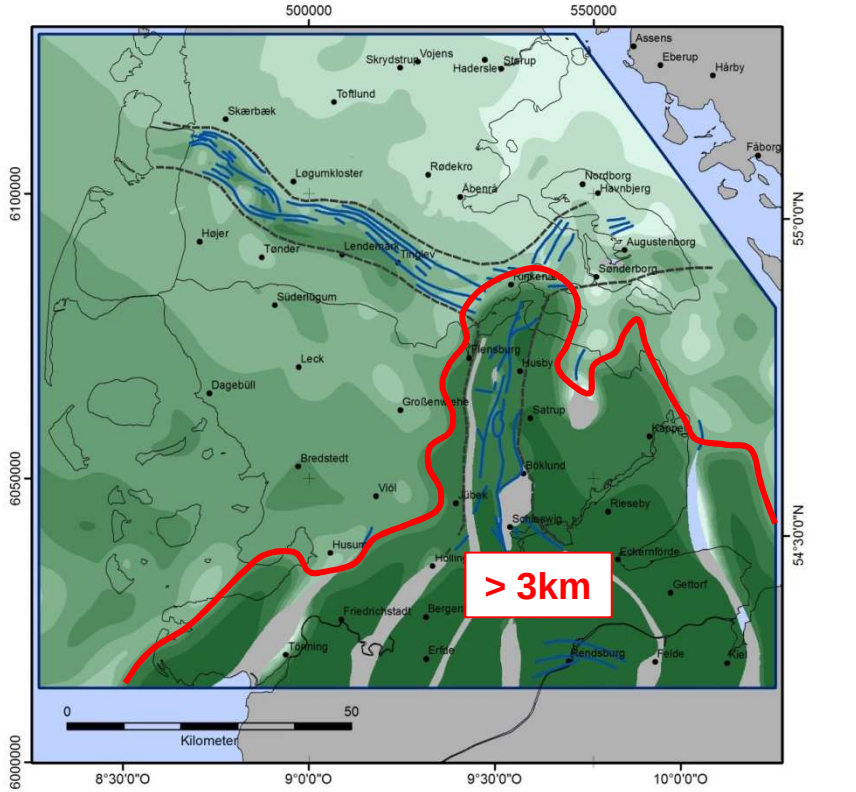
Uni Aarhus, Fuchs et al. (2015)

LLUR SH, GEUS DK

Seismik Auswertungen Geologisches 3D Modell → **3D Temperaturmodell** → **Lithologische und petrophysikalische Eigenschaften**

- Karten der Verbreitung, Tiefenlage und Mächtigkeit von Reservoirkomplexen
- Temperaturkarten
- Lithologie
- Mächtigkeit Sandsteine
- Sandstein - Tonstein Verhältnis
- Porosität / Permeabilität

Tiefe - Top Mittlerer Buntsandstein



Mittlerer Buntsandstein

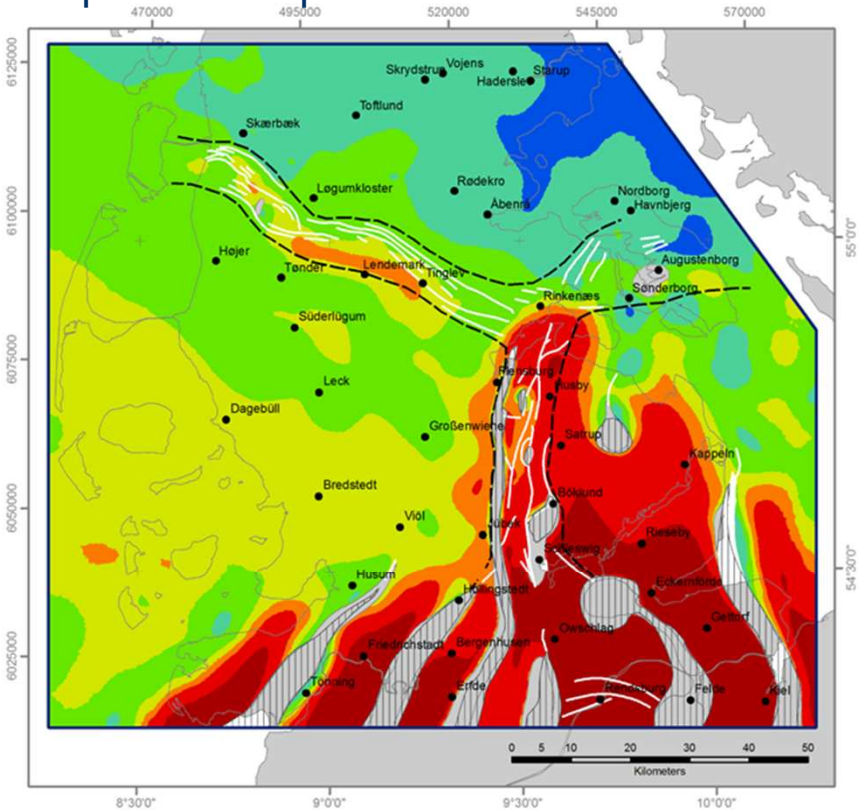
Top (m)

- -1.250 - -1.000
- -1.500 - -1.250
- -1.750 - -1.500
- -2000 - -1.750
- -2.250 - -2.000
- -2.500 - -2.250
- -3.500 - -2.500
- >-7.200 - -3.500

Top SM Störungsspuren

Trend der Störungen

Temperatur - Top Mittlerer Buntsandstein



Top Bunter sandstone

Temperature (°C)

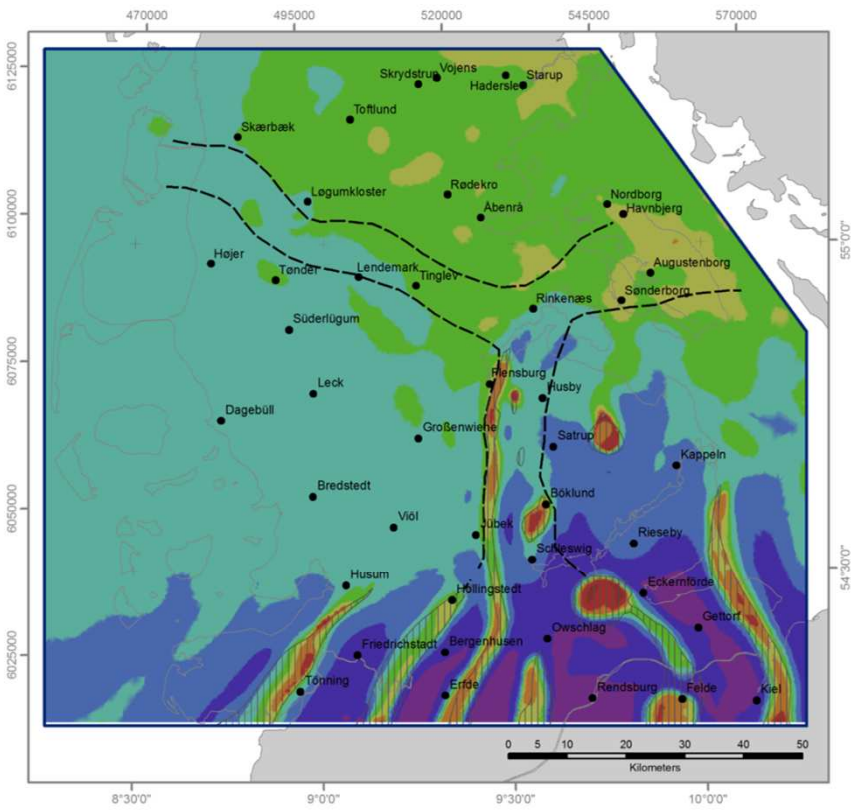
- < 40
- 40-50
- 50-60
- 60-70
- 70-80
- 80-90
- 90-120
- > 120

Trend of fault system

Salt diapir and salt wall

Fuchs et al. (2015)

Niveauschnitte des Temperaturmodells



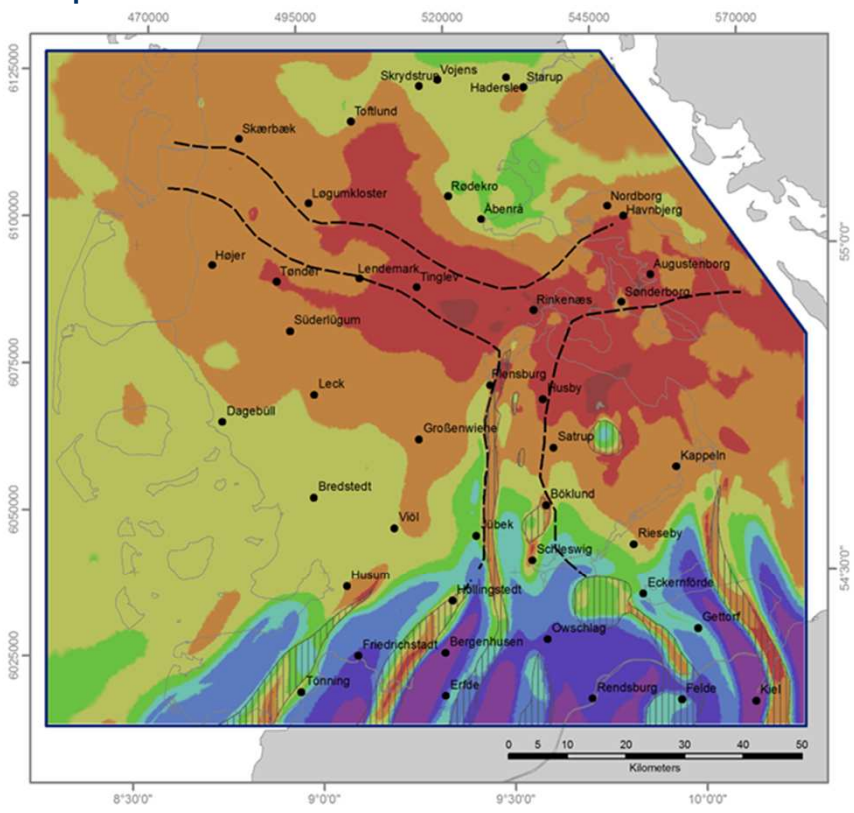
1 km below sea level

Temperature (°C)

28 32 36 40 44
30 34 38 42 46

Trend of fault system

Salt diapir and salt wall



2 km below sea level

Temperature (°C)

54 58 62 66 70
56 60 64 68 72

Trend of fault system

Salt diapir and salt wall

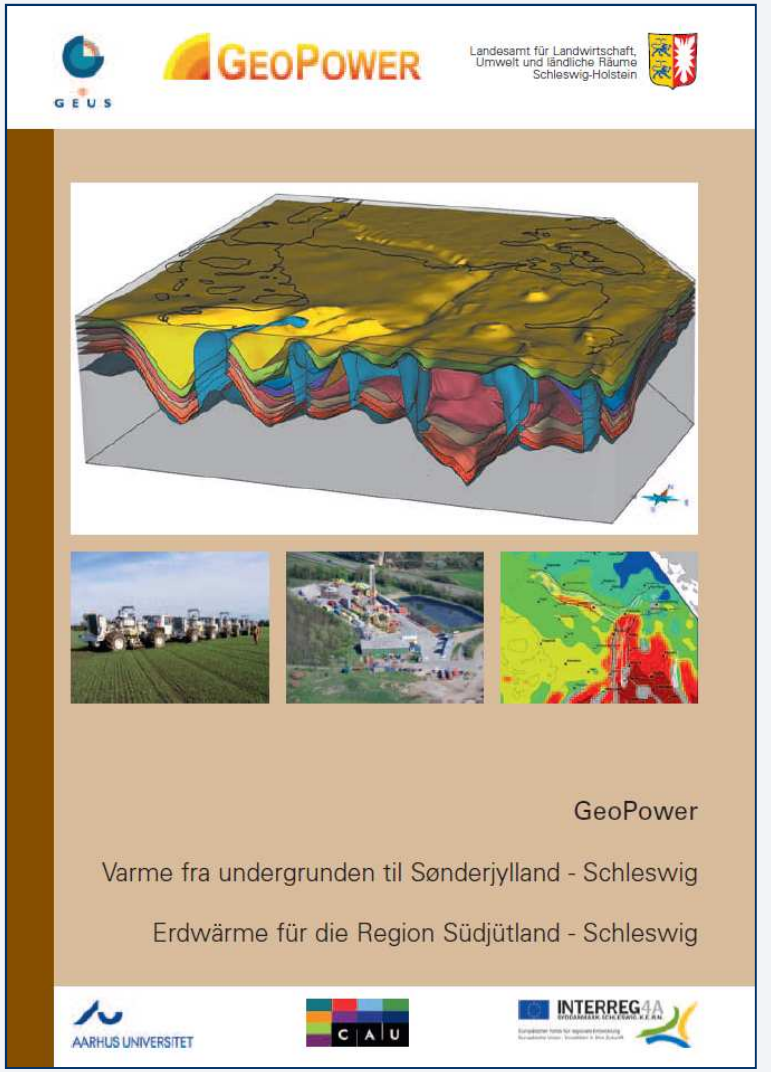
Fuchs et al. (2015)

Broschüre für die Öffentlichkeit
(Kontakt: Reinhard.Kirsch@llur.landsh.de)

3D-Modell in GeotIS verfügbar

Vorträge,
Publikationen in Vorbereitung

Beratung im Einzelfall auf Grundlage des Modells



Outline

- Motivation
- Daten
- Workflow und Methoden
- Interreg 4a Projekt GeoPower
- Verbundprojekt GeotIS – StörTief
- Ausblick

SH
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

GeotIS // StörTief

SH Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Verbundprojekt GeotIS - StörTief

Die Rolle von tiefreichenden Störungszonen bei der geothermischen Energienutzung

- **Projektlaufzeit:** Mitte 2013 – Mitte / Ende 2016
- **Förderung:** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (0325623A)
- **Institutionen:** LIAG Hannover, LLUR SH Flintbek, KIT Karlsruhe

LIAG

KIT Karlsruher Institut für Technologie

SH Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

PtJ Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich

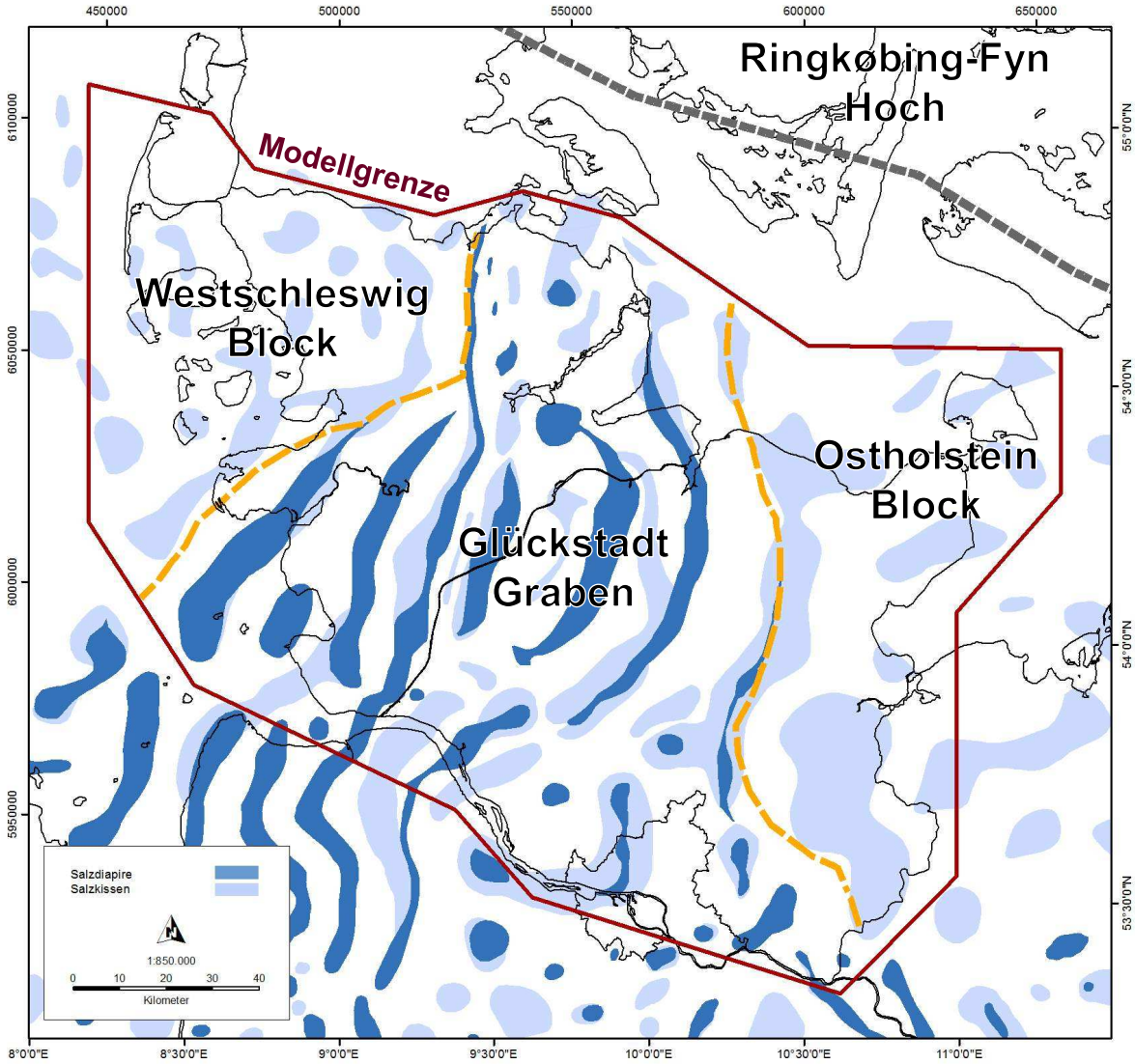
Teilprojekt LLUR SH

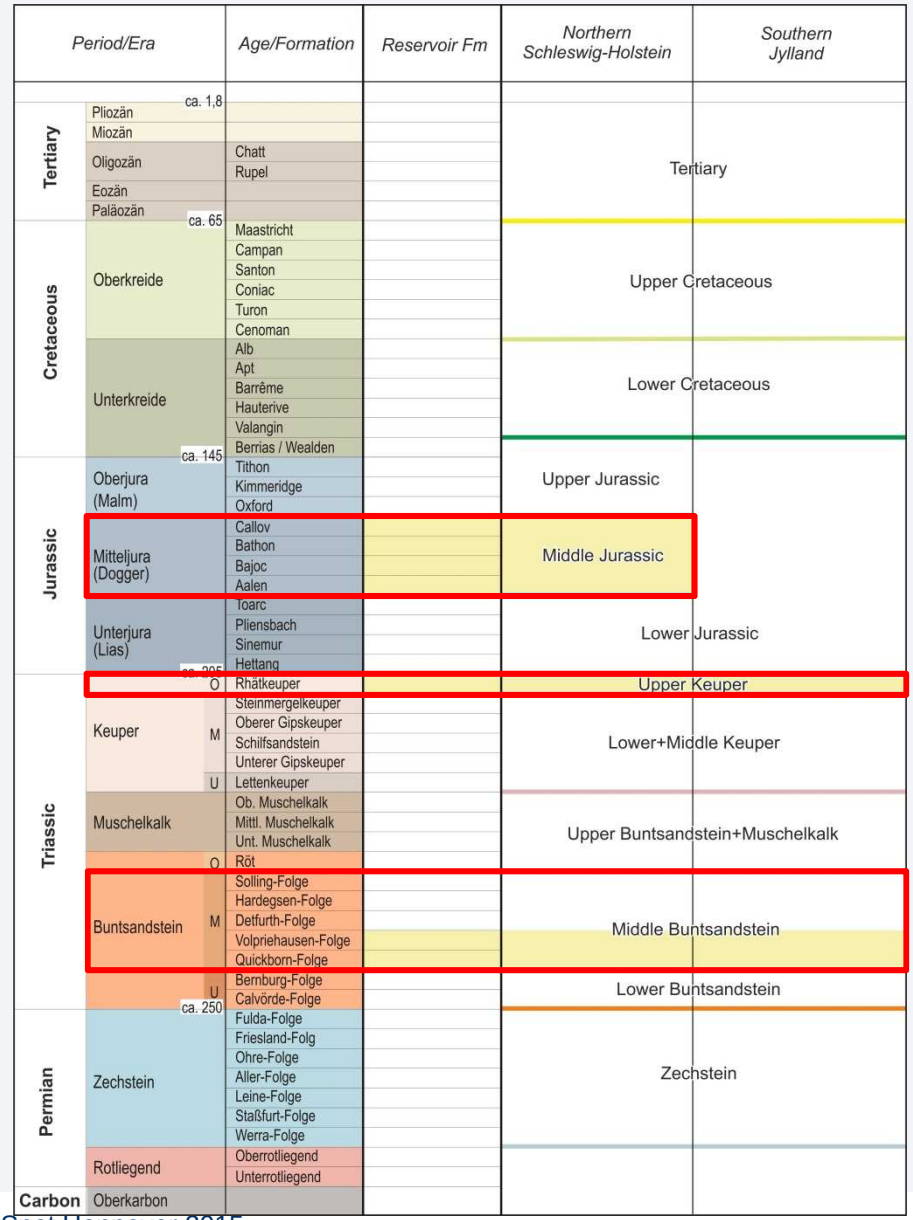
- Entwicklung eines konsistenten Strukturmodells des Glückstadt Grabens
- Modellierung von geothermisch relevanten Reservoirformationen und Störungszonen
- Lithologische und petrophysikalische Charakterisierung von Reservoirformationen und Störungszonen

Untersuchungsgebiet

Glückstadt Graben und angrenzende Gebiete

W – E:	200 km
N – S:	150 km
Vertikal:	10 km





Abfolge des Modells

Basis Tertiär

Basis O. Kreide

Basis U. Kreide

Basis O. Jura

Basis M. Jura

Basis U. Jura

Basis O. Keuper

Basis Keuper

Basis O. Buntsandstein

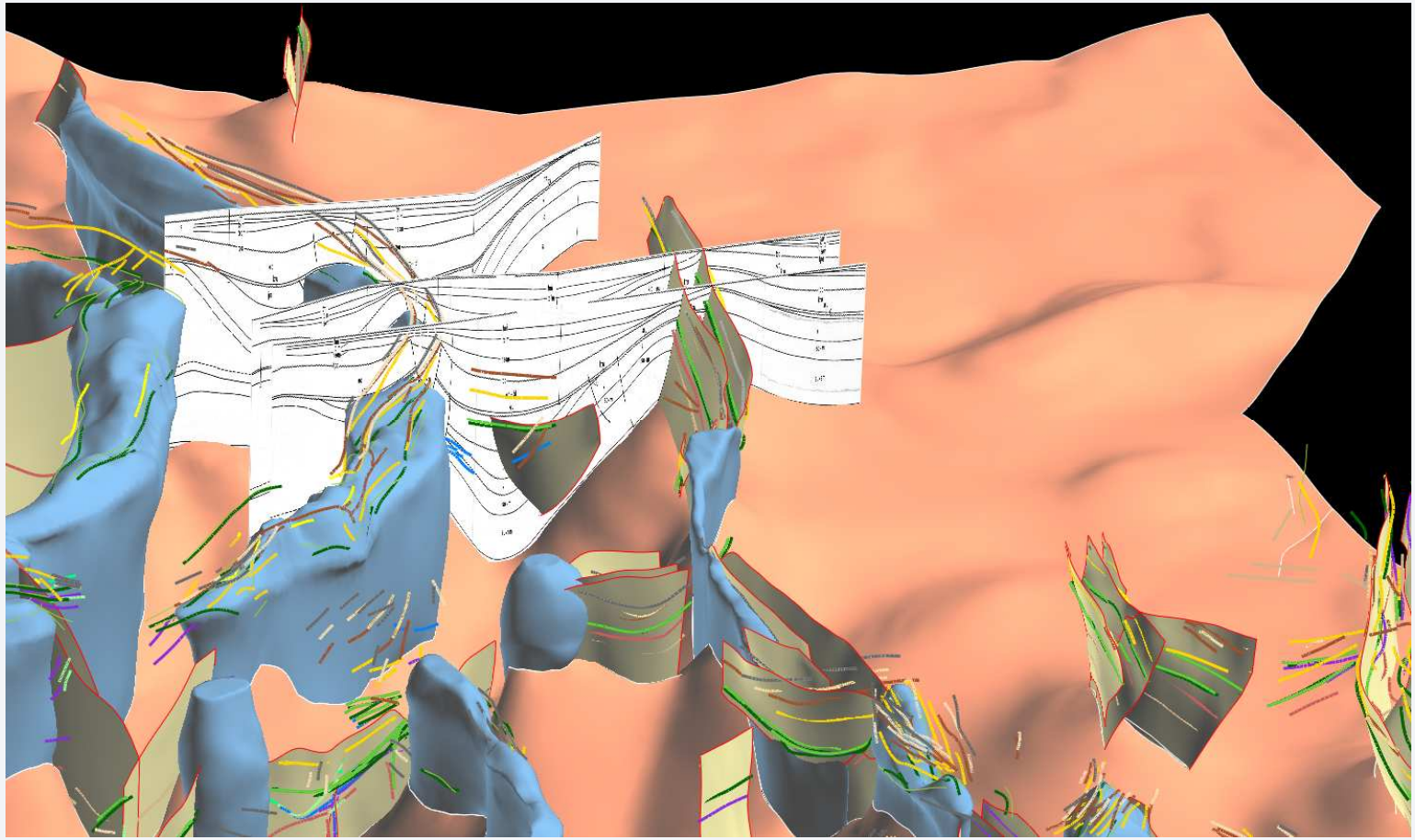
Basis M. Buntsandstein

Basis U. Buntsandstein

Basis Zechstein

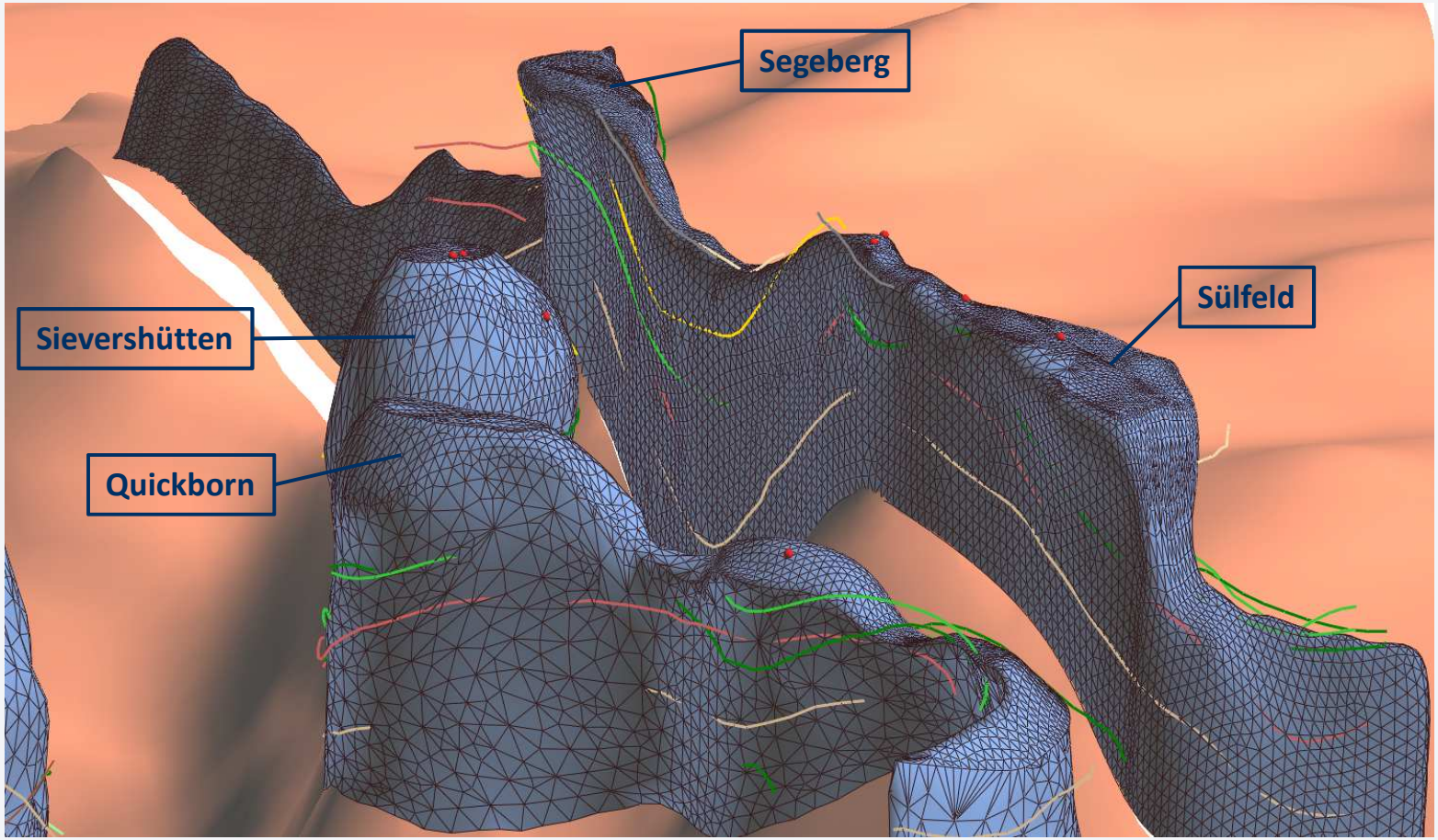
Modellierung von Störungsflächen

- Störungsspuren der Strukturkarten des GTA
- Geologische Profile
- In einzelnen Bereichen: Einbezug von Seismik



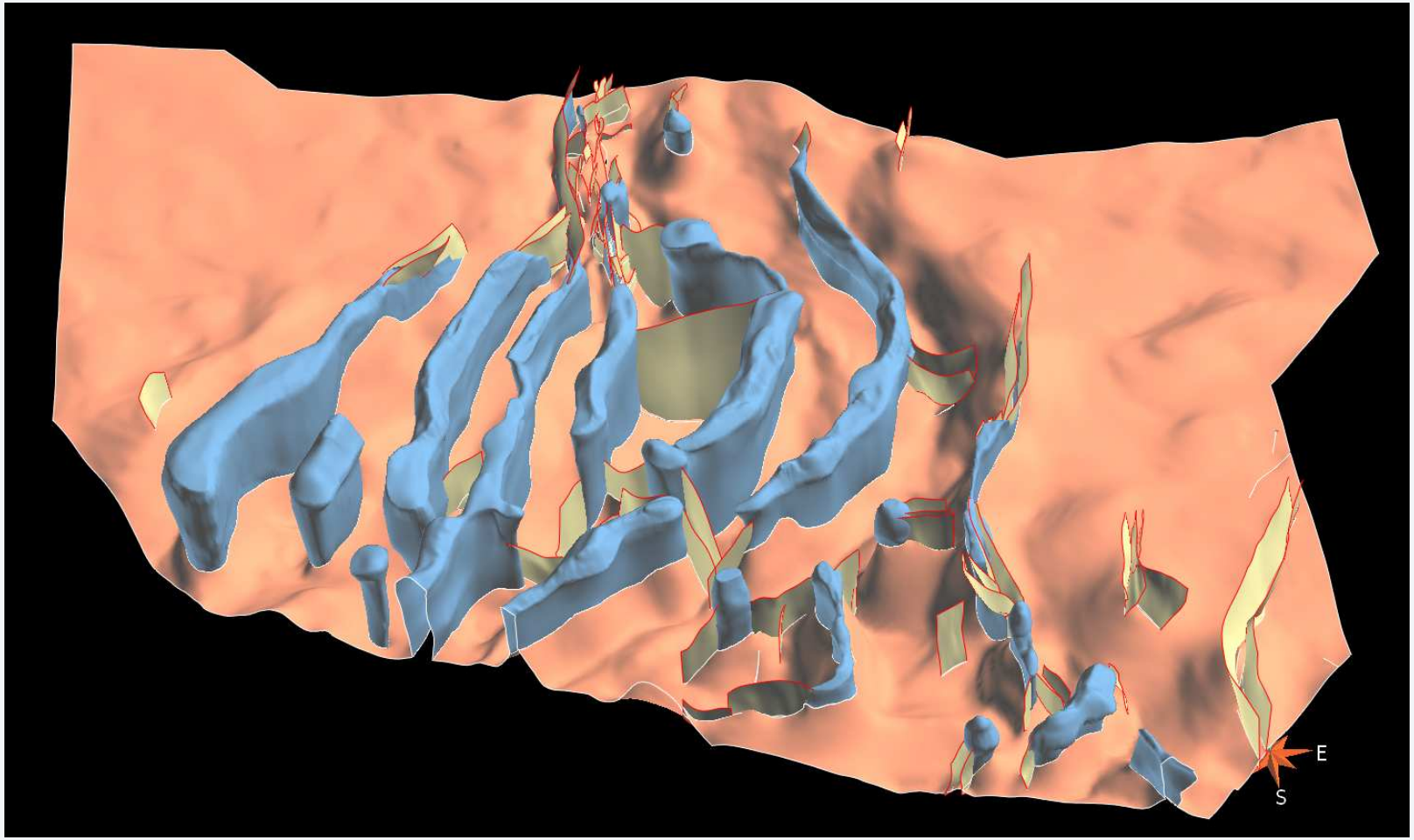
Modellierung von Salzdiapiren

- Salzstockgrenzen der Strukturkarten des GTA
- Bohrmarker
- Dach: u.a. Basis Kreide, Miozän (GTA), Basis Quartär (LLUR SH, Dez. 61)



Störungsflächen + Salzdiapire

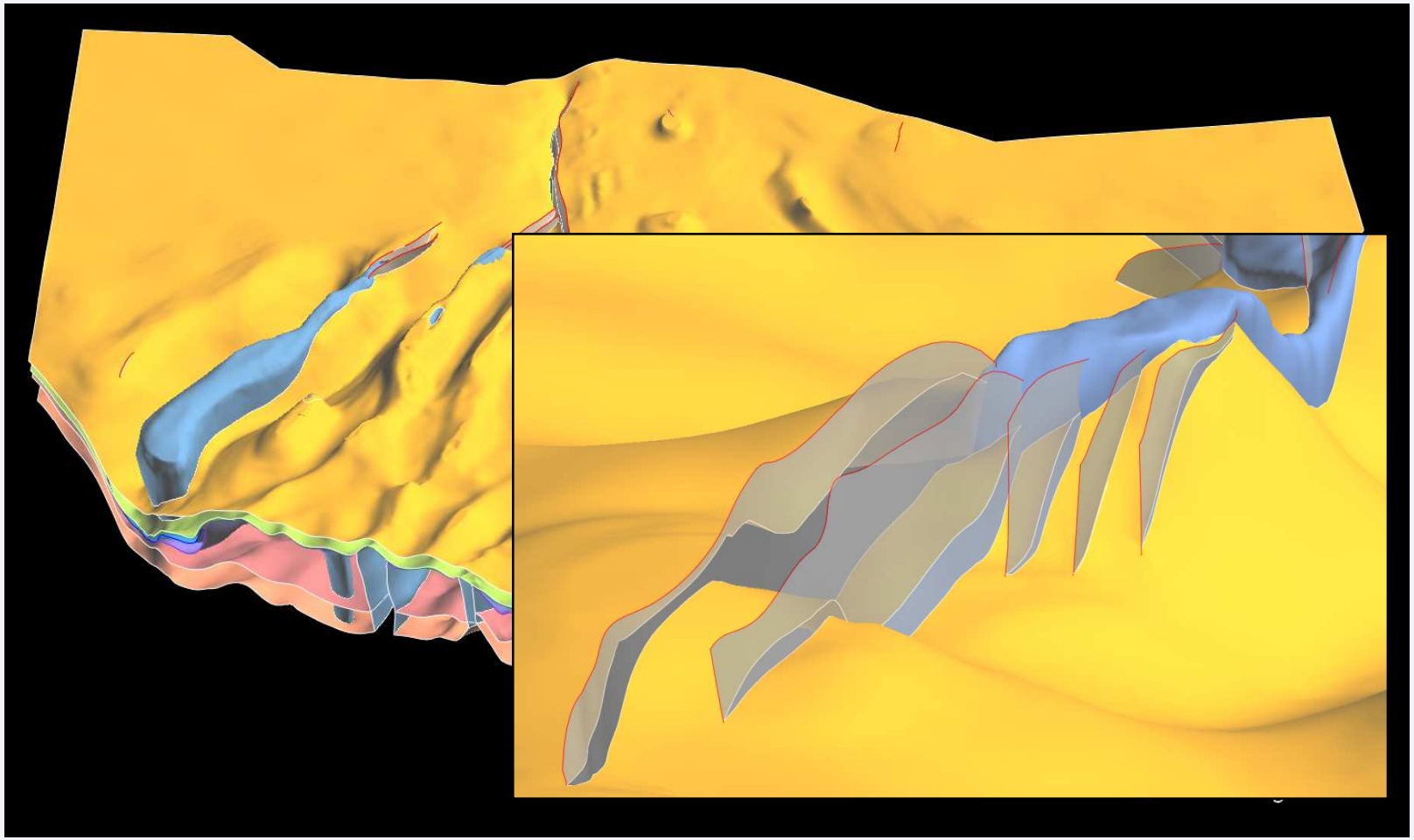
Basis Buntsandstein



Modellierung von lithostratigraphischen Horizonten

- Strukturkarten des GTA
- Bohrmarker

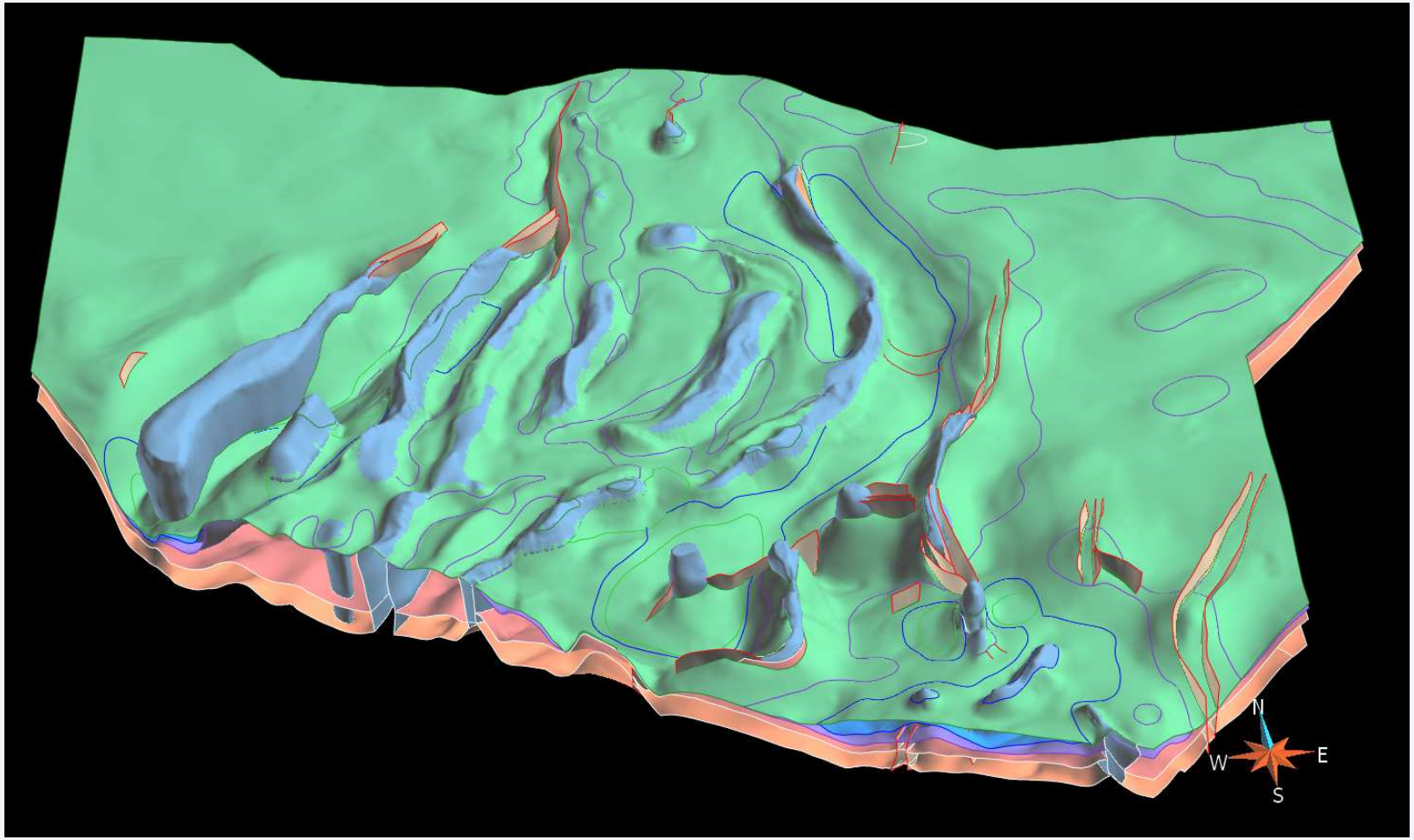
Basis Tertiär



Modellierung von lithostratigraphischen Horizonten

- Strukturkarten des GTA
- Bohrmarker

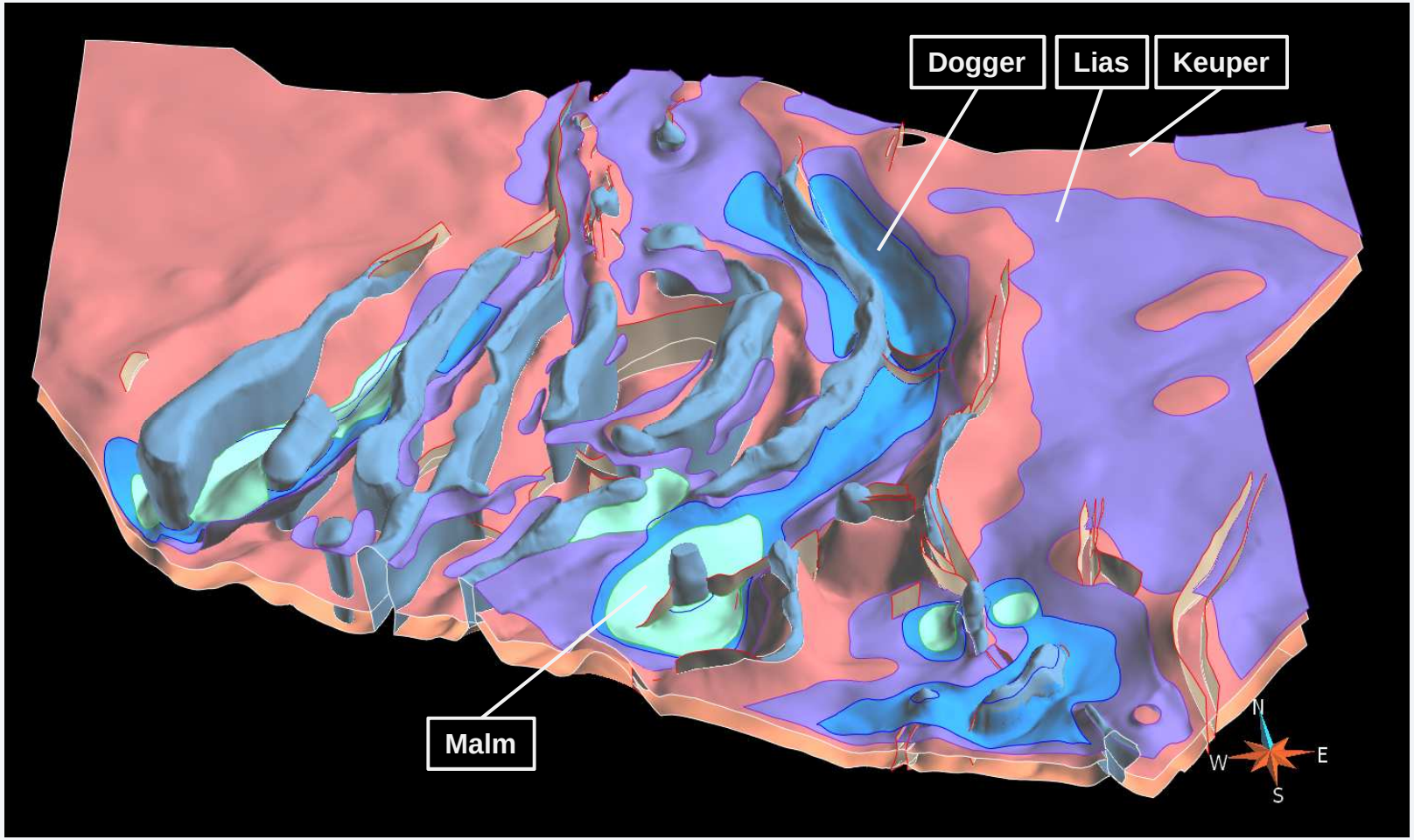
Basis O. Kreide
Basis U. Kreide



Modellierung von lithostratigraphischen Horizonten

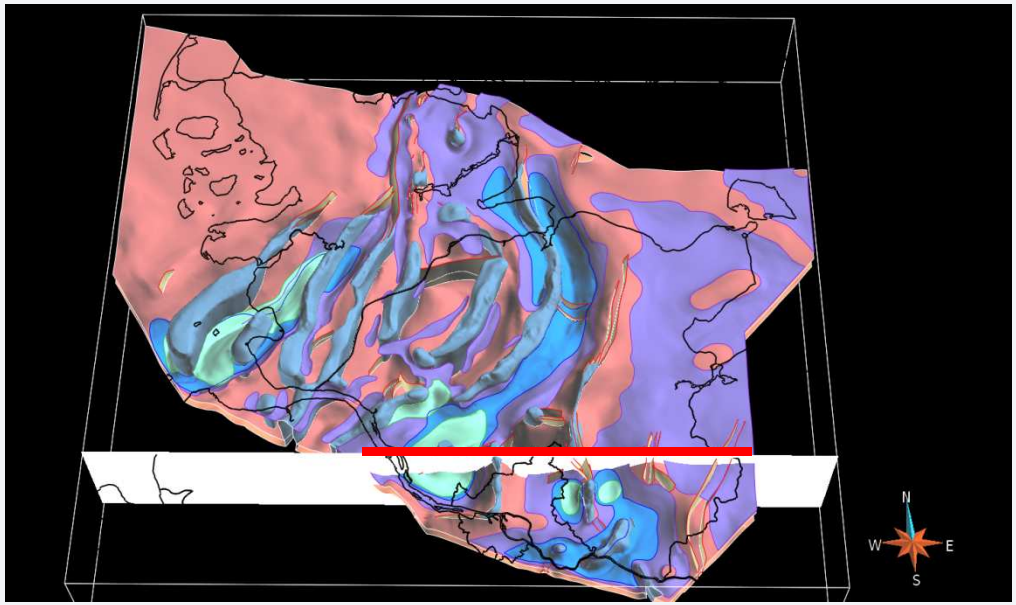
- Strukturkarten des GTA
- Bohrmarker

Basis O. Jura bis Basis Keuper

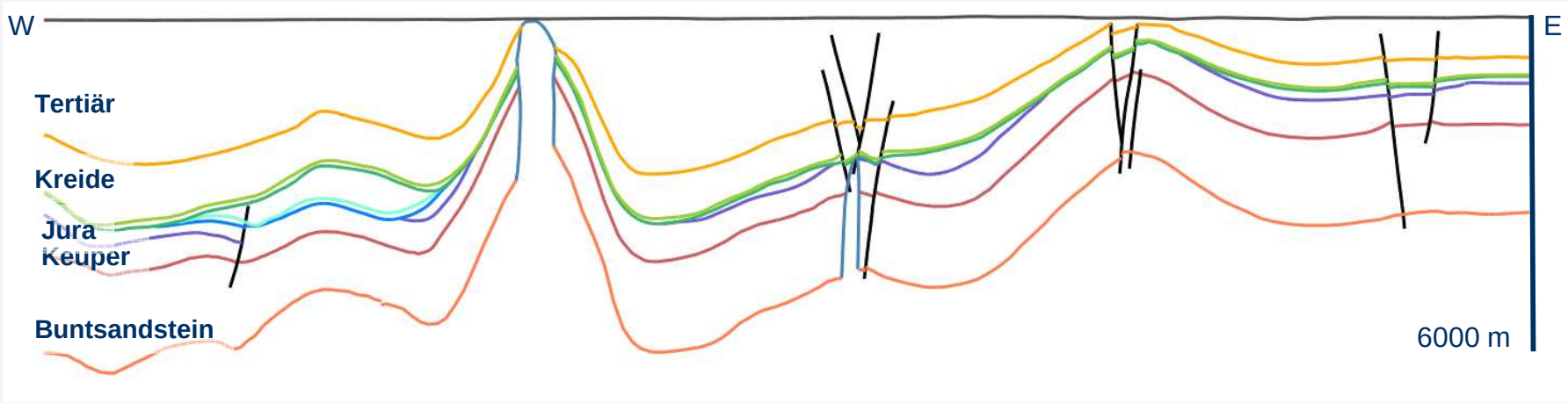


Modellierung von lithostratigraphischen Horizonten

- Strukturkarten des GTA
- Bohrmarker



Modellschnitt nördl. von Hamburg



Work in Progress

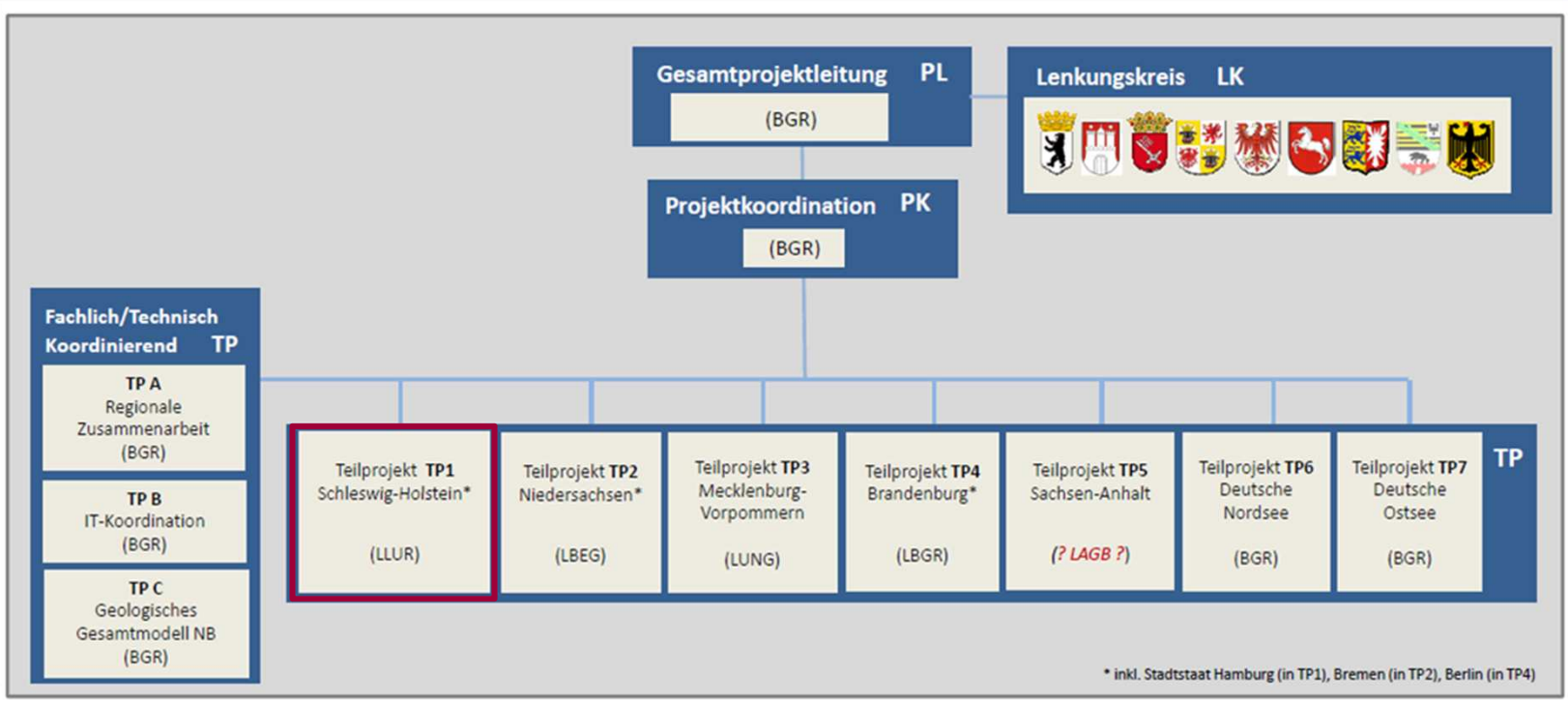
- Fertigstellung des geologischen Modells (Keuper bis Zechstein)
- Abschluss und Visualisierung der lithologischen und petrophysikalischen Auswertungen
- Charakterisierung von Störungszonen und geothermischen Reservoirformationen in ausgewählten Gebieten
- Ableitung des geothermischen Potenzials

TUNB

SH Schleswig-Holstein
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume

Tiefer Untergrund Norddeutsches Becken

- **Projektlaufzeit:** 2014 – 2020
- **Förderung:** BGR / Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- **Institutionen:** BGR, SGDs Norddeutschland
- **Ziel:** 3D Modellierung und Parametrisierung des Norddeutschen Beckens



Outline

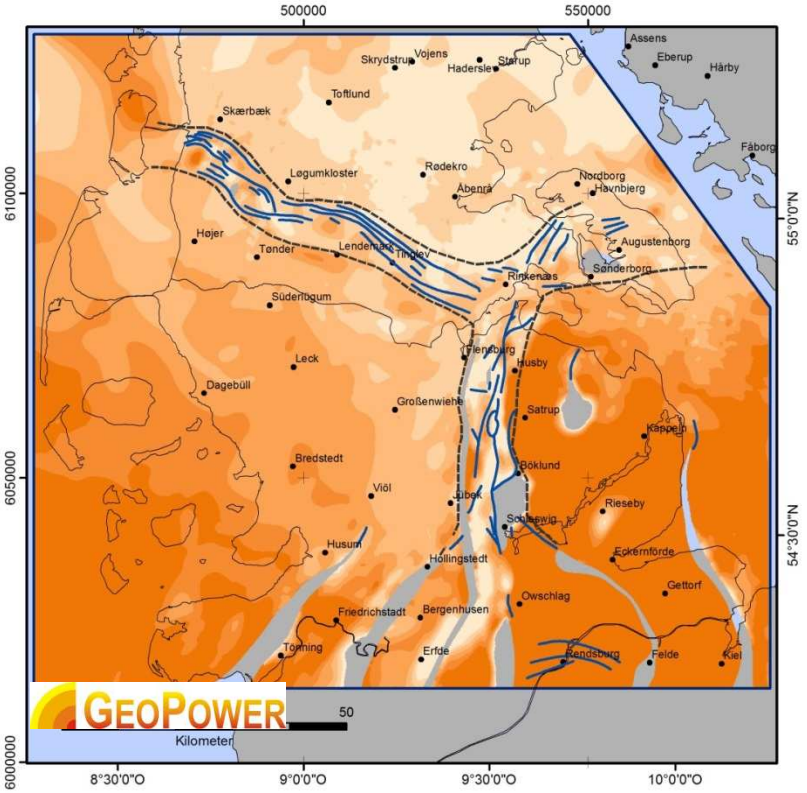
- Motivation
- Daten
- Workflow und Methoden
- Interreg 4a Projekt GeoPower
- Verbundprojekt GeotIS – StörTief
- Ausblick

SH
Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Ausblick

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

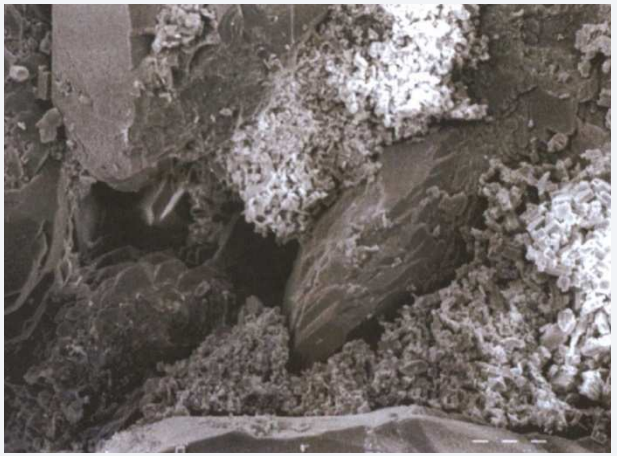
Die Modelle liefern einen guten Überblick über Verbreitung, Tiefenlage und Mächtigkeit der Reservoirformationen, es bleiben aber Unsicherheiten bei der Bewertung



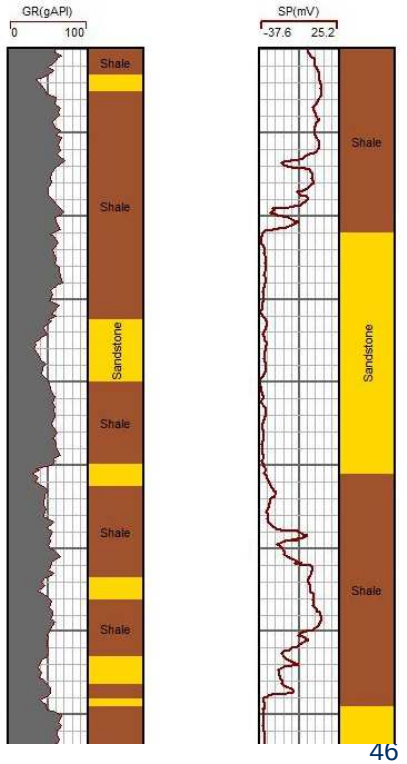
Middle Bunter

Thickness (m) < 100 | 100 - 200 | 200 - 300 | 300 - 400 | 400 - 500 | >500

Problem 1:
Zementation des Porenraums möglich, dadurch starke Reduktion von Porosität und Permeabilität
Beispiel Hamburg-Allermöhe



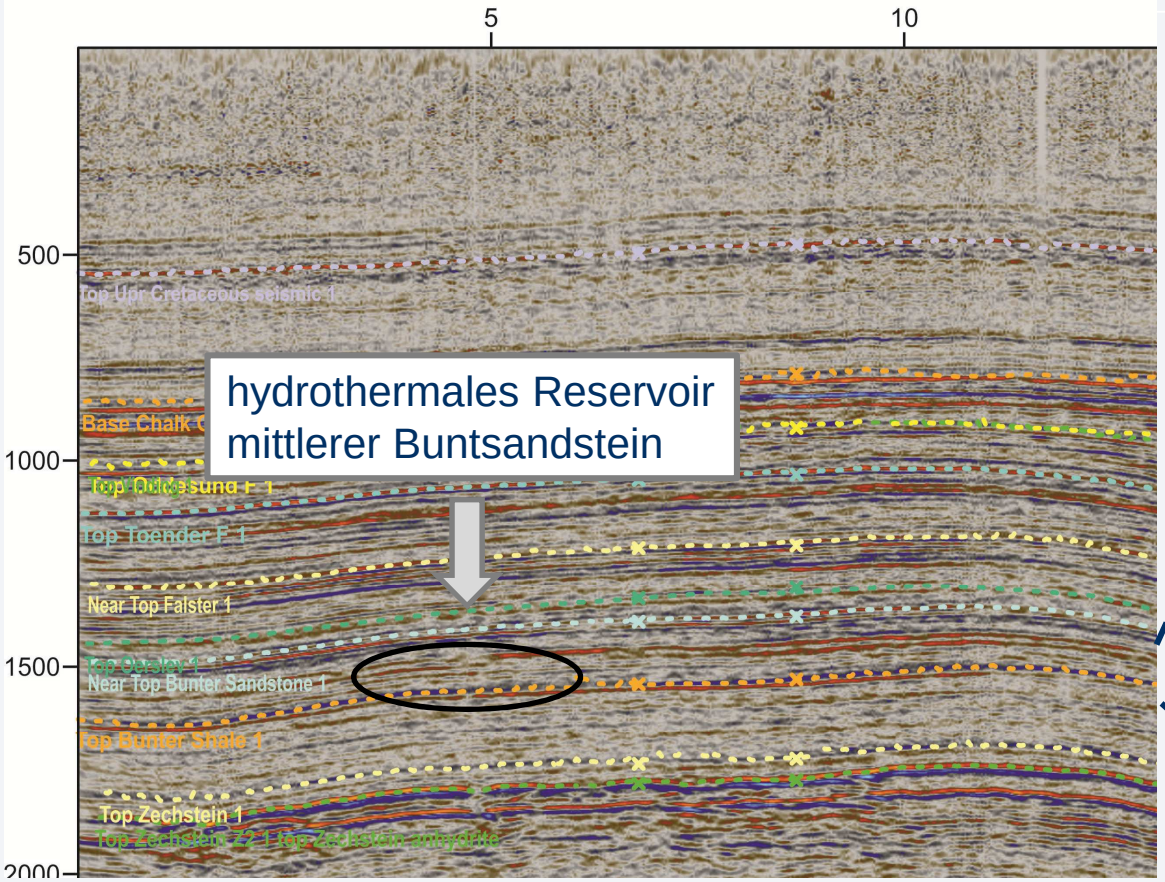
Problem 2:
Die Reservoirformationen haben zwar häufig eine hohe Mächtigkeit, sie bestehen aber aus einer **Sand-/Tonstein-Wechsellagerung.**
Hydrothermal nutzbare Sandsteinlagen innerhalb der Formation können teilweise nur eine geringe Mächtigkeit haben.

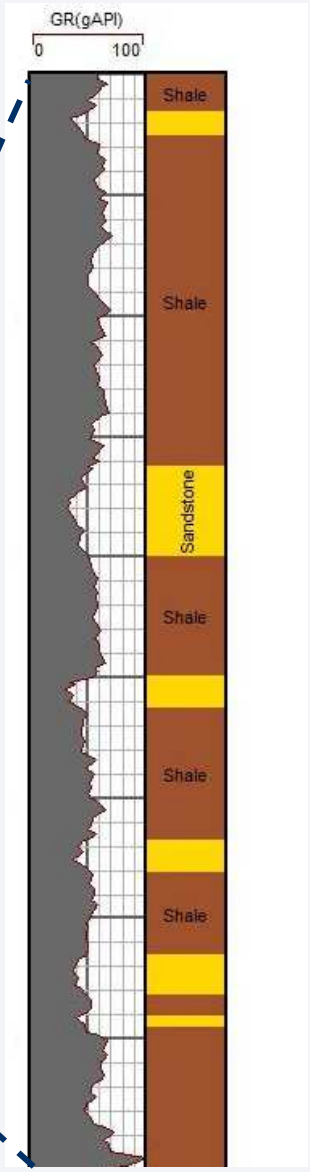


Ausblick

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Porenraumzementation und Feinschichtung zeigen sich in den Bohrlochlogs, werden bei herkömmlichen reflexionsseismischen Stapelsektionen nicht abgebildet, sind zumindest nicht erkennbar





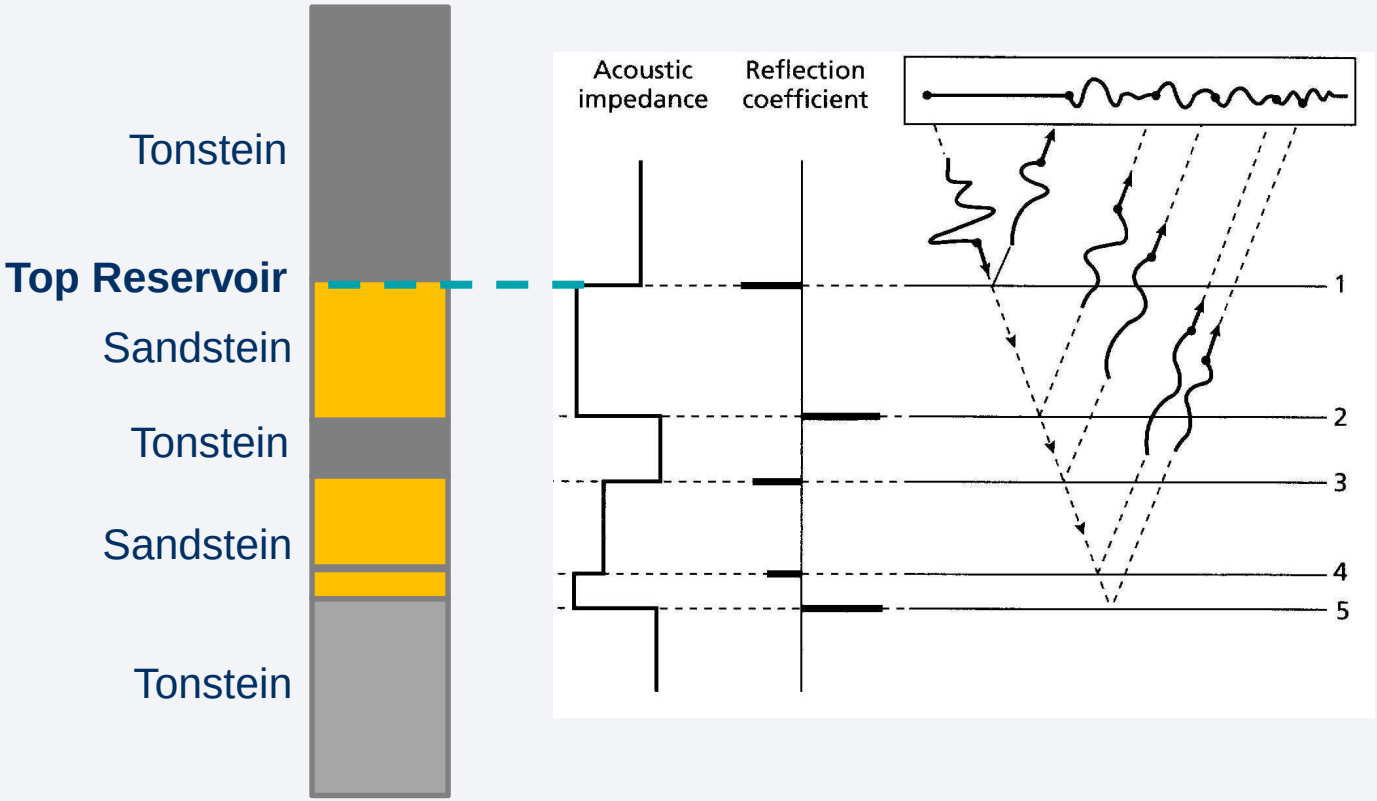
trotzdem wirken sich Zementation und Feinschichtung auf das seismische Wellenfeld aus……

Ausblick

Schleswig-Holstein
Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume

Seismische Modellierung als Ergänzung des Geologischen Modells

Der Einfluss von Zementation und Feinschichtung ist eventuell durch *FD-Simulation* modellierbar und nach Durchführung reflexionsseismischer Messungen durch eine *full waveform inversion* nachweisbar.



Basierend auf dieser Modellierung ist eventuell ein seismisches Erkundungsverfahren ableitbar, das eine bessere Auflösung der Reservoirfeinstruktur ermöglicht.