

ERSTELLUNG EINES GEOLOGISCHEN 3D-UNTERGRUNDMODELLS ZUR ANALYSE NACHBERGBAULICHER WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN UNTERGRUND UND TAGESOBERFLÄCHE AM EHEMALIGEN ZECHENSTANDORT PROSPER-HANIEL



BERGBAULICHE EINFLÜSSE



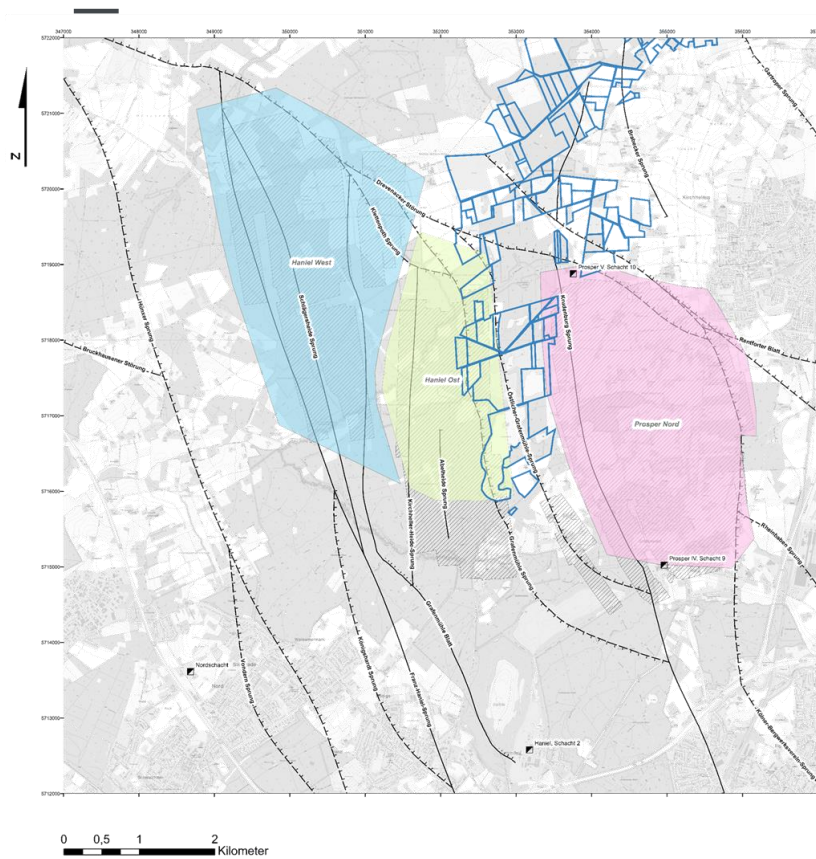
ZIEL DER ARBEIT

—
Aufbau eines Prozessverständnisses wechselseitiger Beziehungen

Spezifisch:

- Erstellung eines geologischen 3D-Untergrundmodells
- Grundlegendes physisches Modell zur Weiterentwicklung eines Digitalen Zwillings Nachbergbau
- Ableitung einer Gefährdungsdarstellung (Nachbergbauliche Risikokarte)
- Fusion über- und untertägiger Daten
- Ganzheitliche Betrachtung

PROJEKTGEBIET



Legende

- Schachtanlagen
- Störungsausbrisse an der Geländeoberkante
- Untersuchungsgebiet
- Aussandungsflächen
- Haniel Ost
- Haniel West
- Prosper Nord
- Abbaugrenzen

- Fläche 10 x 10 km
- Nördliche Betriebsfelder Prosper-Haniel
- Naturwaldzelle Kirchheller Heide
- ➔ Geringe bauliche Überprägung
- ➔ Verschiedene Nutzungsinteressen

DIGITALER ZWILLING

Definition

„Digitale Zwillinge sind die virtuelle Darstellung eines Objekts, eines Prozesses oder eines Systems, das eine Vielzahl von (Geo-) Daten aus unterschiedlichen Quellen seines physischen Gegenstücks vereint. Sie existieren als eigenständige Repräsentation oder sind in bestehenden Systemen zur Steuerung, Analyse und Überwachung integriert. Digitale Zwillinge entstehen auf diversen Plattformen und in den unterschiedlichen Zyklen von Prozessen.“

Digital Twin Consortium

METHODISCHE BESONDERHEITEN

Herausforderungen

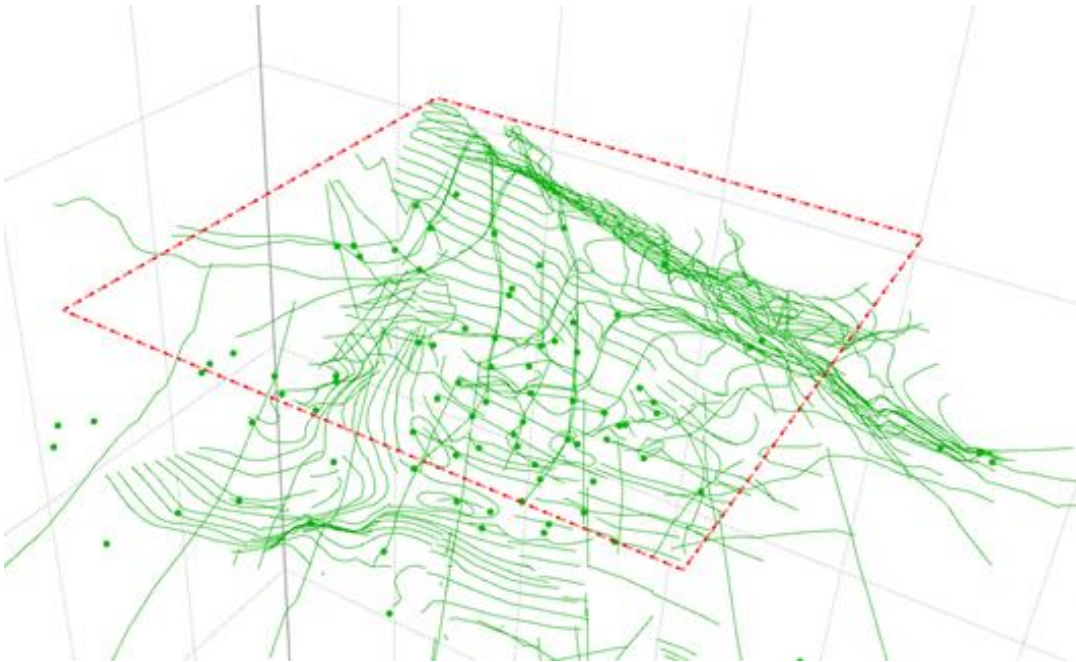
- Inhaltlich/Räumliche Datenselektion
- Vermeidung von Redundanzen
- Erkennen von Inkonsistenzen
- Vorauswahl der Daten
- Keine Gleichverteilung der Datenmenge

Schwierigkeiten

- Berücksichtigung geowissenschaftlicher Vorgaben
- Unveränderbarkeit der Bohrdaten
- Dynamisch (wachsene) Datenmenge

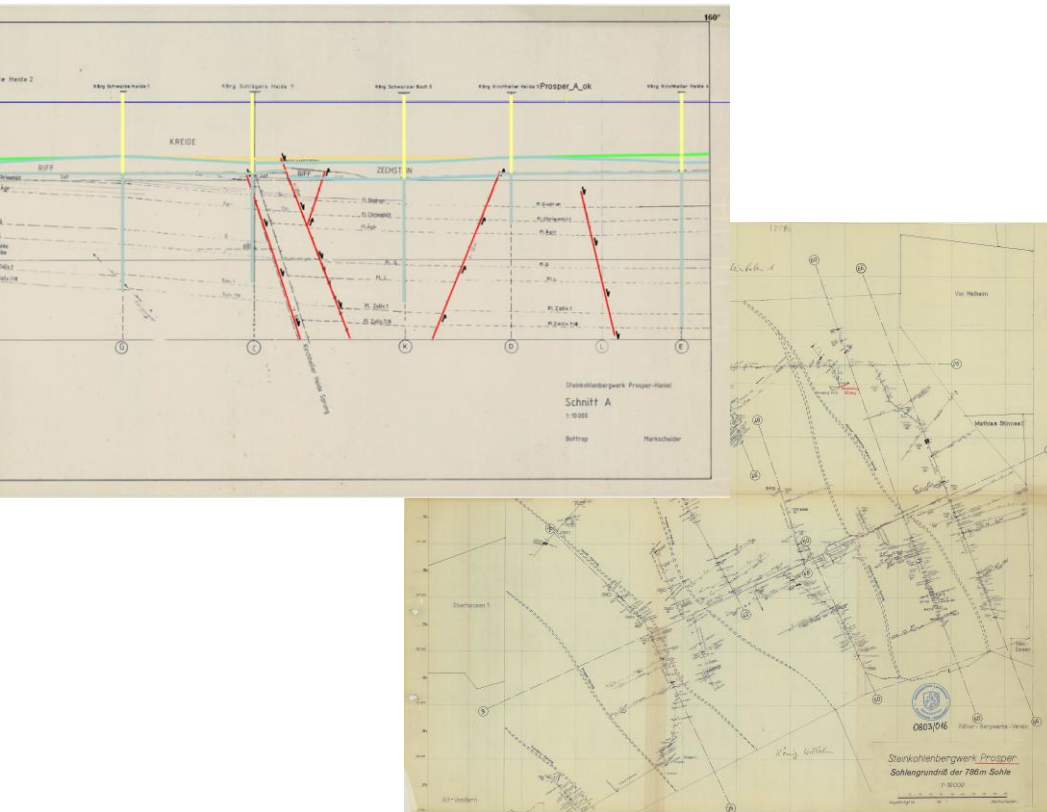
```
/* SELECT-Anweisung
*****
SELECT a.bnum, b.utm_east-32000000 "UTM_EAST", b.utm_north,
b.hoehe "DABO_HOEHE", e.dighoehe "PRJ_HOEHE", count(a.bnum)
"ANZAHL_BOT_SCHICHTEN", z.DGM_HOEHE_2020 "DGM2020",
max(c.urand)-min(c.orand) "BOT_MAE",
z.DGM_HOEHE_2020-max(c.urand) "BOT_NN", b.endteufe "ET_STAMM",
e.proj_id, v.v "VERSION", v.master, v.suid "BENUTZER",
'xrcabo' as "HORIZON"
/* Tabellendefinitionen
*****
FROM dabo.dabostamm a, dabo.dabostamm_v b, dabo.daboschicht c,
dabo.daboschicht_v v, dabo.projekt_bohrungen e, DISS_HOEHEN z
/* Tabellenverknüpfungen
*****
WHERE a.bnum = b.bnum AND a.bnum = c.bnum AND a.bnum = v.bnum
AND a.bnum = e.bnum AND v.v = c.v AND a.bnum = z.bnum
/* Regionalstratigraphie
*****
AND c.reg LIKE 'BOT'
/* Projektdefinition
*****
AND e.proj_id IN (...
```

DATENHANDLING



- Ausgangsdaten mit interaktiv/interpretativem Charakter
- Einbeziehung „harter“ und „weicher“ Daten
- Modellierung geologischer Schichtunterkanten
- Anwendung unterschiedlicher Algorithmen
- Ordinary Kriging
- Linear

STRUKTURGEOLOGISCHE KONSTRUKTION

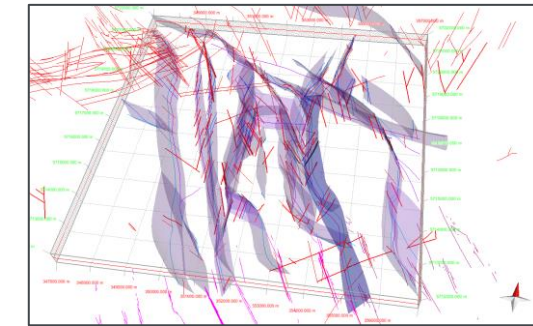
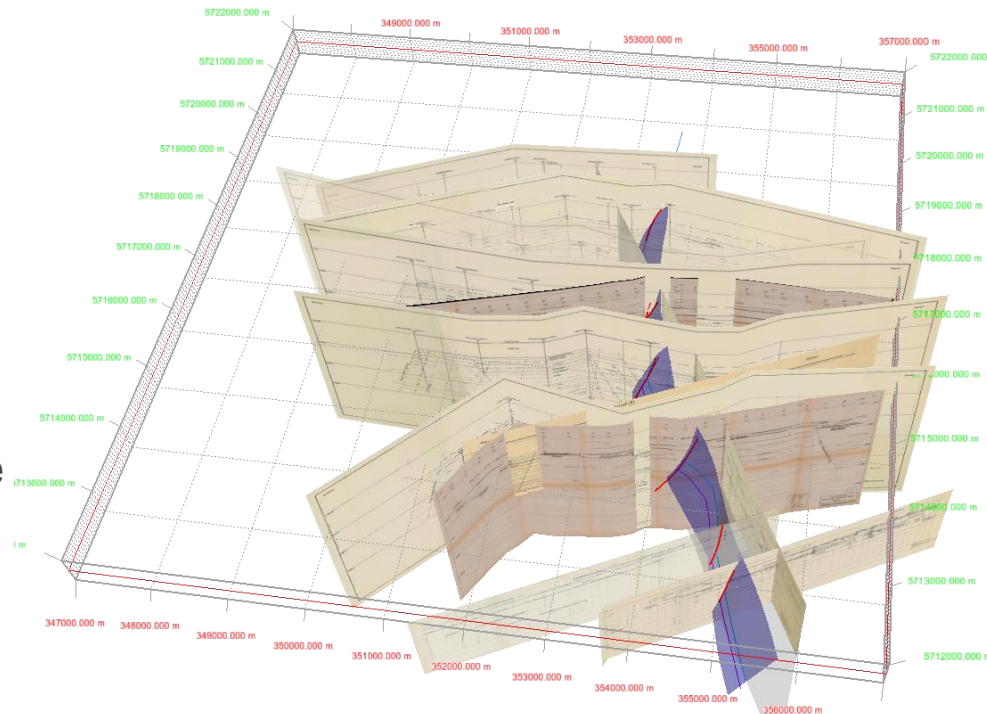


- Störungsmodell ist wesentliche Modellgrundlage
- Einbeziehung (Auswertung) markscheiderischer Archivdaten
- Profilschnitte 1 : 5.000 / 1 : 10.000
- Sohlenrundrisse
- Natürliche Modellbarrieren
- Versatzlücke
- Räumlich-Topologische Beziehung

STRUKTURGEOLOGISCHE KONSTRUKTION

- Störungsverläufe aus der Tiefe
- Datenintegration:
 - IGL-Daten
 - Markscheiderische Archivdaten
- Erhöhung der Modelldatendichte
 - Vektorisierung der Schnittlagen
 - Vektorisierung der Störungsverläufe
 - Korrelation der Daten

Beispiel: Krudenburg-Sprung



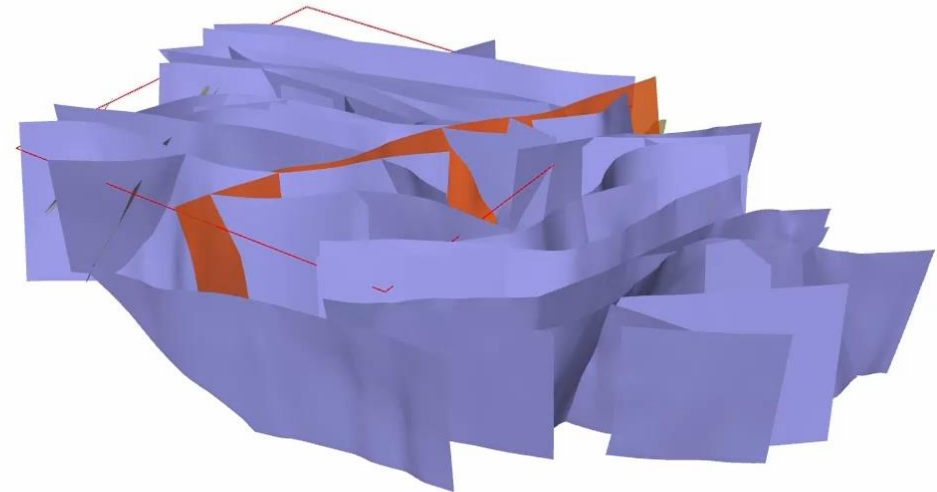
Rote Linien = Vertikaler
Störungsverlauf

Blaue Linien = Horizontaler
Störungsverlauf

STRUKTURGEOLOGISCHE KONSTRUKTION

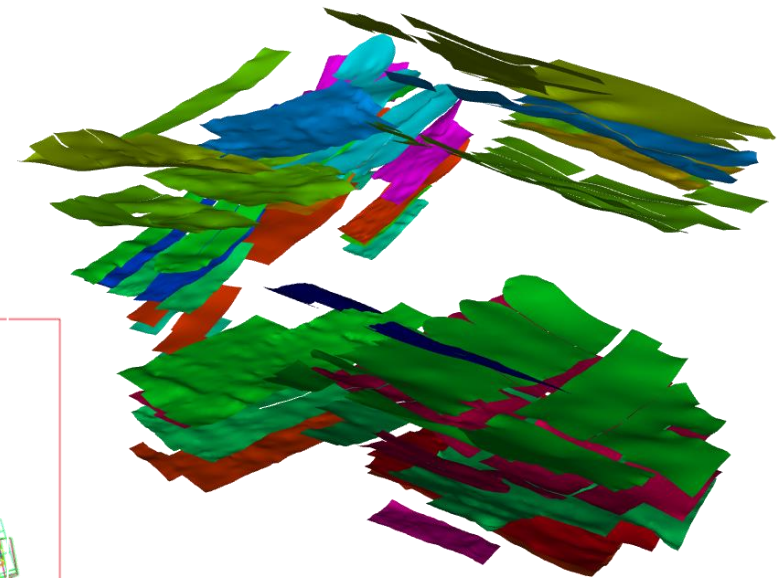
– Ergebnis

- Modellierung des tektonischen Inventars
- 47 Störungs- und 22 Überschiebungsflächen
- Zusammenhang Störungslagen - Unstetigkeiten
- Störungsausbiss = Sensibler Bereich des Geo- und Umweltmonitorings



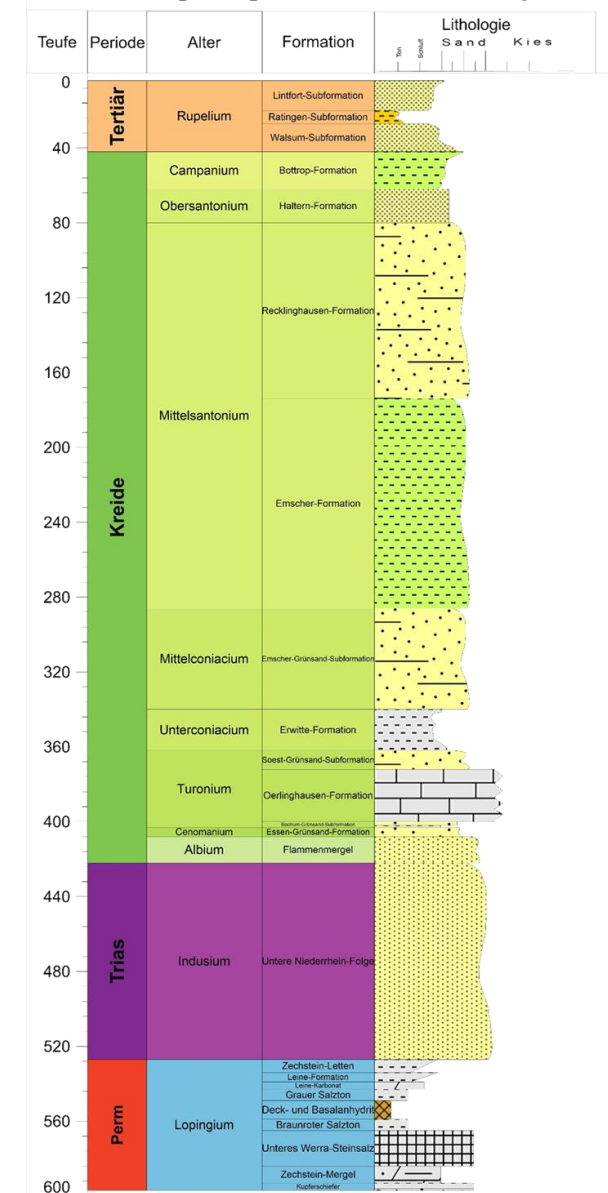
BERGBAULICHE (RE-)KONSTRUKTION

- Extraktion der Bauhöhen (OpenData, BID RAG)
- Datenabgleich Digitales Flözarchiv GD NRW
- Interpolation der Flöze
- Projektion zu 3D-Meshes
- Rekonstruktion der Streckenführung (6./7. Sohle)



STRATIGRAPHISCHE KONSTRUKTION

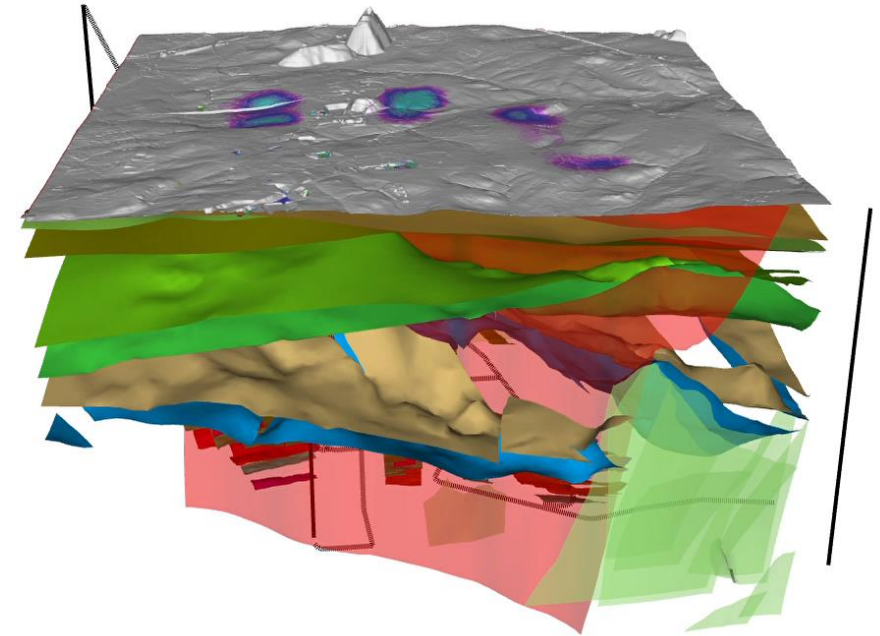
- Stratigraphische Modellflächen abhängig vom Informationsgehalt
- Mächtigkeit
- Abnahme der Bohrinformationen mit zunehmender Teufe
- Ausmodellierung von Schichtunterkanten
- Horizontflächen (kein Volumenmodell)
- Priorisierung bei Inkonsistenzen
- Einbindung bergbaulicher Profilschnitte



STRATIGRAPHISCHE KONSTRUKTION

– Ergebnis

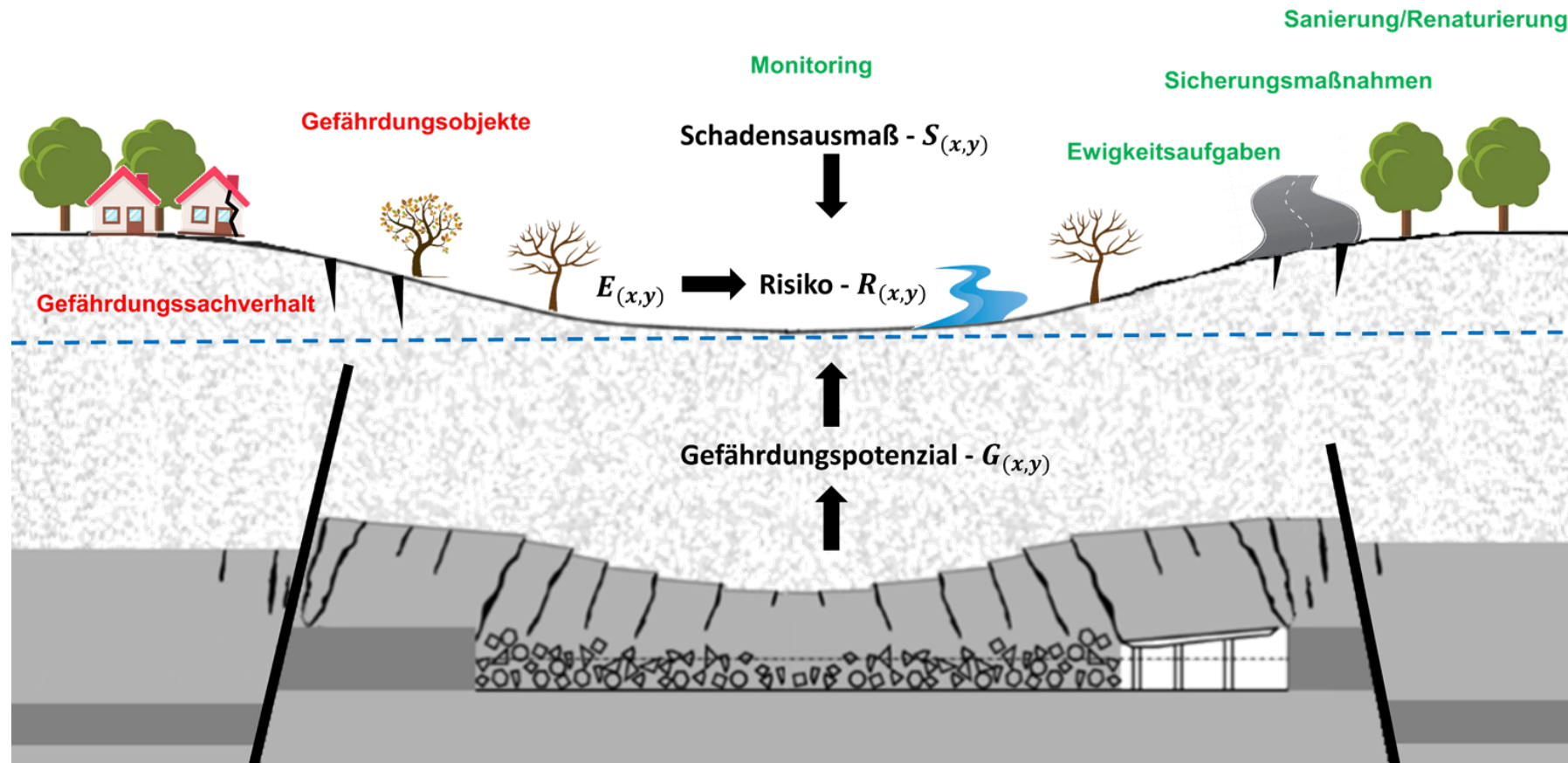
- Ausmodellierung der Deckgebirgsstratigraphie
- Auswertung aller verfügbaren geologischen Daten
- Grundlage eines Digitalen Zwillings
- Detaillierte Abbildung der Oberkreide
 - Bottroper Kreidemulde
 - Kirchhellener Kreidesattel



RISIKOMANAGEMENT

- Ewigkeitslasten = Resultierende Folgeaufgaben aus dem Steinkohlenbergbau
 - Grubenwasserhaltung
 - Oberflächenwasser (Poldermaßnahmen)
 - Grundwasserhaltung
- Betreiberverantwortung zur Umsetzung langfristiger Vorkehrungen zum Umgang mit den Bergbaufolgen
- Kein etabliertes RMS für den Tiefbergbau vorhanden
- Ergänzung der bestehenden Systeme des oberflächennahen Bergbaus

NACHBERGBAULICHE WECHSELWIRKUNGEN



RISIKOMANAGEMENT

Bestimmung des Risikos

- Berechnung des nachbergbaulichen Risikos nach Arbeitskreis Altbergbau von DGGT & DMV

SCHADENSPOTENZIAL

Klassifizierte Nutzungsflächen
an der Tagesoberfläche



GEFÄHRDUNGSPOTENZIAL

Klassifizierte Einwirkung
des Tiefbergbaus
an der Tagesoberfläche



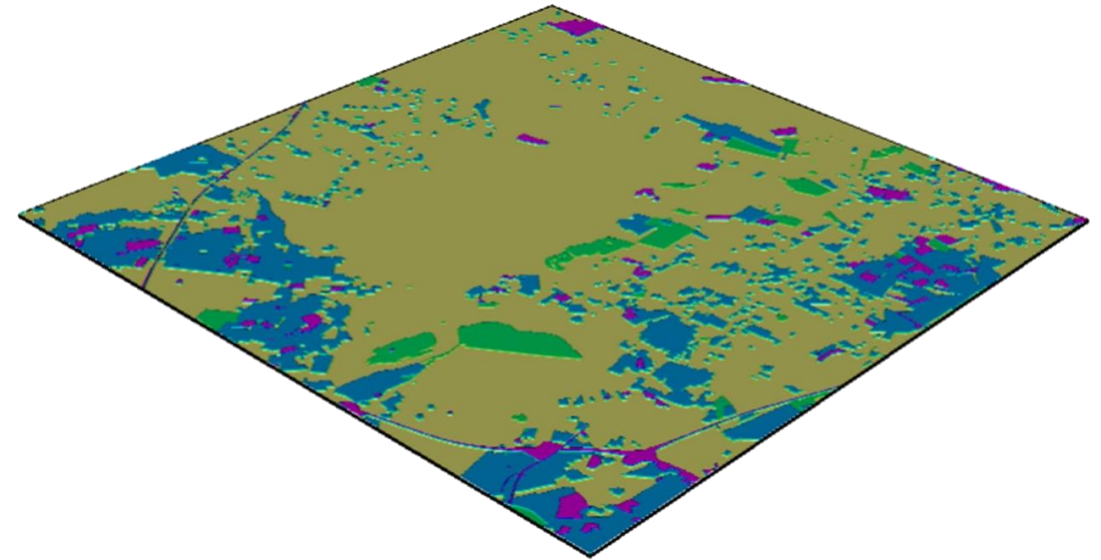
EINFLUSSFAKTOREN

Risikorelevante Faktoren
Mit Einfluss auf das
Gesamtrisiko

RISIKOMANAGEMENT

Schadenspotenzial und Klassifizierung

- Klassifizierung potenziell betroffener Werte
- Grundlage: Oberflächennutzung (ALKIS)
- Statische Nutzungswerte, keine Mobilität
- Klassifizierung nach *CLOSTERMANN, 2010*

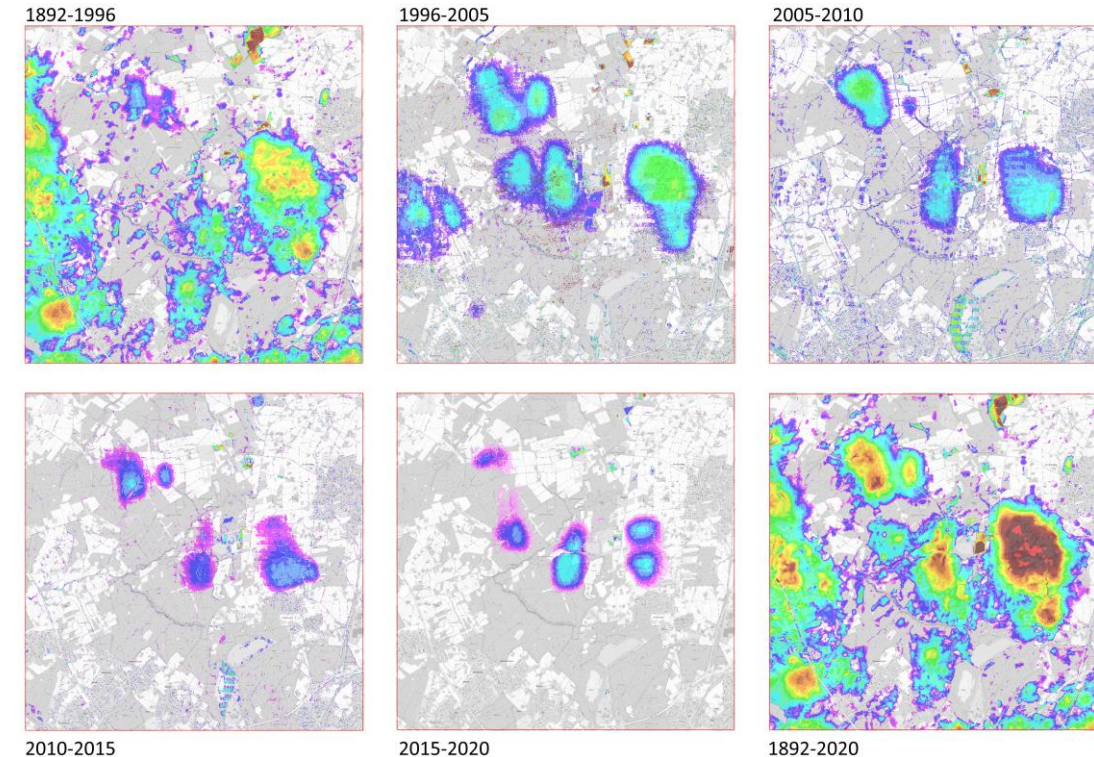


NUTZUNG	KLASSE
Öffentliche Gebäude & Plätze	4
Wohn-, Gewerbe- und Industrieflächen	3
Gewässer, Unland, sonst. Freiflächen	2
Land- und forstwirtschaftliche Flächen	1

RISIKOMANAGEMENT

Gefährdungspotenzial und Klassifizierung

- Bestimmung des untertägigen Gefährdungspotenzials
 - Grundlage: Extrahierte Bauhöhen
 - Berechnung der aufsummierten Abbaumächtigkeiten
- Bestimmung des übertägigen Gefährdungspotenzials
 - Erfassung des Urzustandes nach *HARNISCHMACHER, 2012*
 - Berechnung der Gesamtsenkungen und zeitlich differenzierter Senkungsfortschritte



RISIKOMANAGEMENT

Gefährdungspotenzial und Klassifizierung

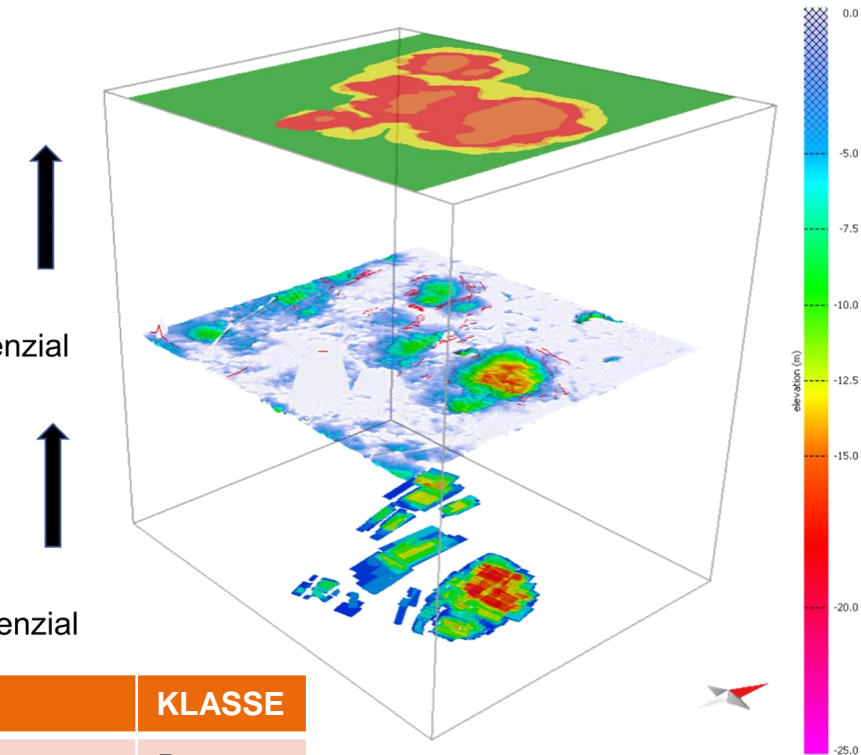
- Erfassung sichtbarer Unstetigkeiten
- Berechnung des Bruchwinkels β
- Bestimmung des Schadenpunktes (10 mm)
- Untergliederung der Senkungsmulden in unterschiedliche Regime

Zonierung

Übertägiges
Gefährdungspotenzial

Absenkungsfaktor a

Untertägiges
Gefährdungspotenzial

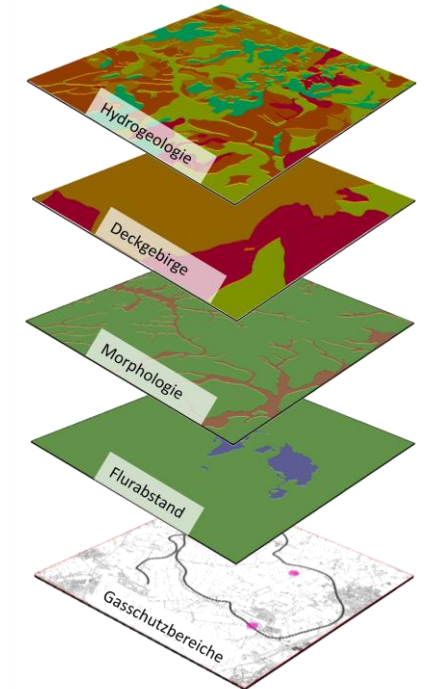


ZONE	KLASSE
Bruchzone (rot)	5
Maximalsenkungszone (orange)	4
Schadenszone (hellorange)	3
Mögliche Schadensereigniszone (gelb)	2
Schadensfreie Zone (grün)	1

RISIKOMANAGEMENT

Einflussfaktoren und Klassifizierung

- Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren
- Hydrogeologische Ableitungen nach Gesteinsgruppen gemäß ISO14688 + DIN18130
- Oberflächengeologie + Präquartärgeologie (3D Modell)

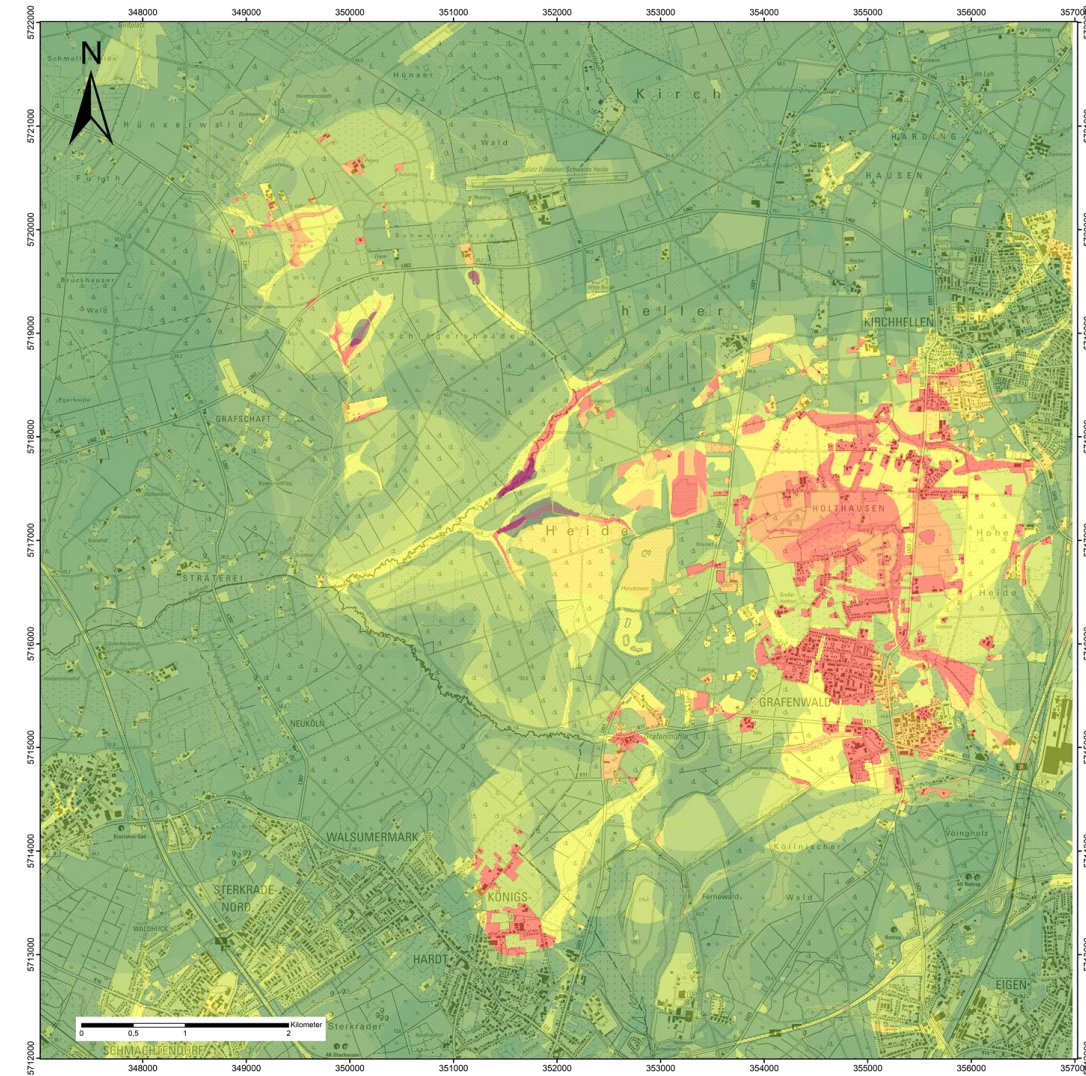
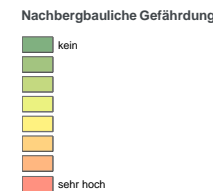


DURCHLÄSSIGKEIT	KLASSE
$k_f < 10^{-9}$	7 – äußerst gering
$k_f = 10^{-7} - 10^{-9}$	6 – sehr gering
$k_f = 10^{-5} - 10^{-7}$	5 – gering
$k_f = 10^{-4} - 10^{-5}$	4 – mäßig
$k_f = 10^{-3} - 10^{-4}$	3 – mittel
$k_f = 10^{-2} - 10^{-3}$	2 – hoch

RISIKOMANAGEMENT

Ergebnis

- Schaffung einer gemeinsamen Datenbasis
- Berechnung des Risikos durch (superpositionelle) Rasteraddition
- Status Quo → keine zeitliche Entwicklung
- Prototypische Planungskarte
- Risikokarte = Wechselwirkende Gefährdungsdarstellung



Hintergrund: Topographische Karte 1 : 25.000, Web Map Service, Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW, Datenlizenz Deutschland – Zero – Version 2.0 bzw. „dl-de/zero-2.0“, 2023

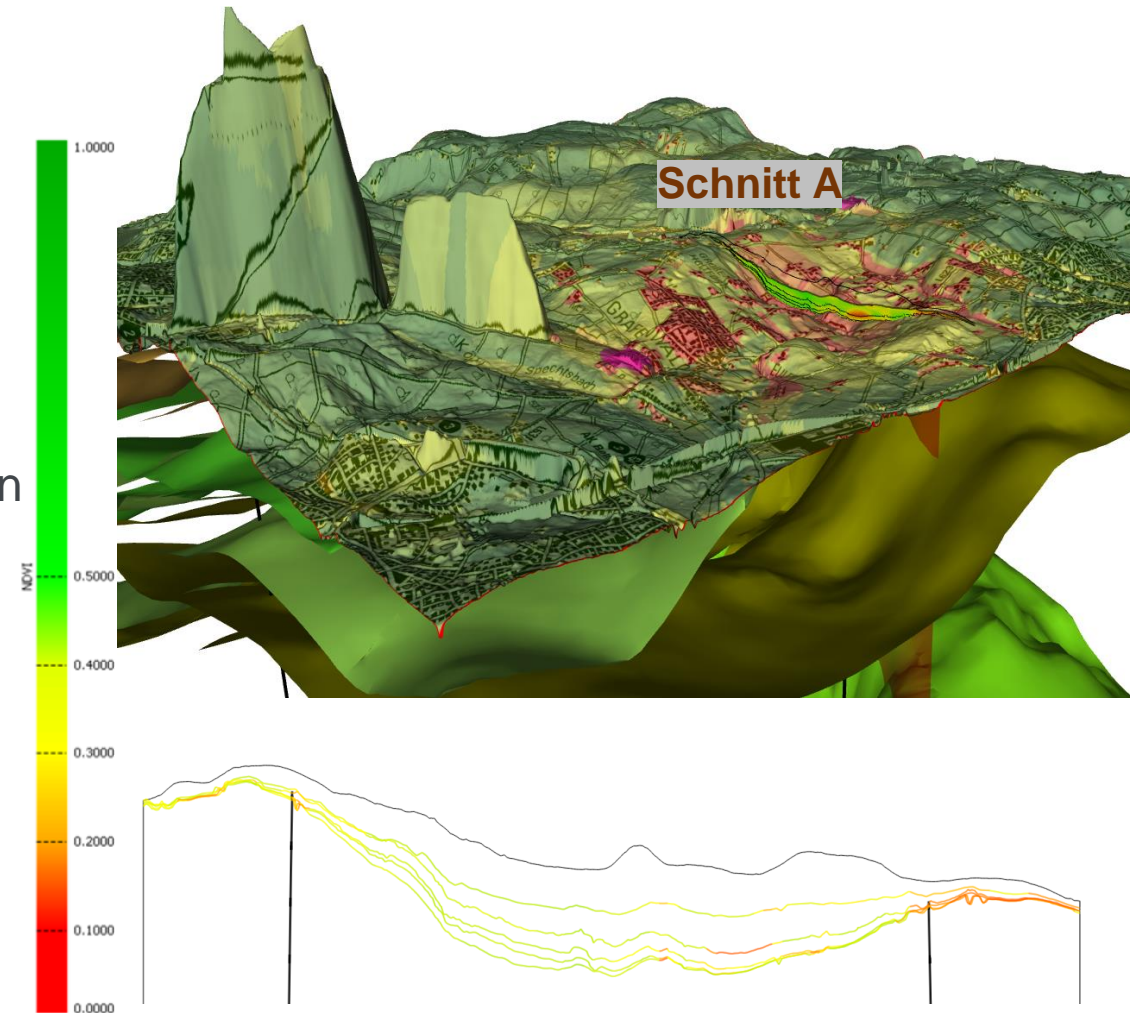
DATENFUSION

Kopplung über- und untertägiger Daten

- Räumliche Darstellung von LiDar-Daten und Modelldaten
 - Projektion und vertikale Interpolation der NDVI-Zeitreihen
 - Klassifizierung von Stau- und Vernässungsbereichen
- Digitaler Zwilling

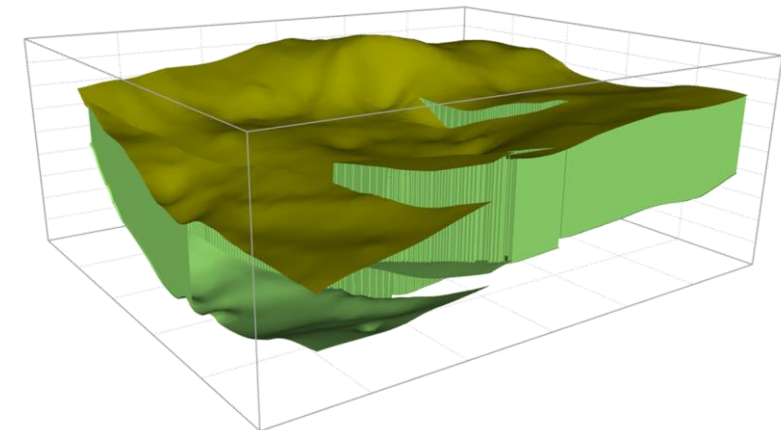
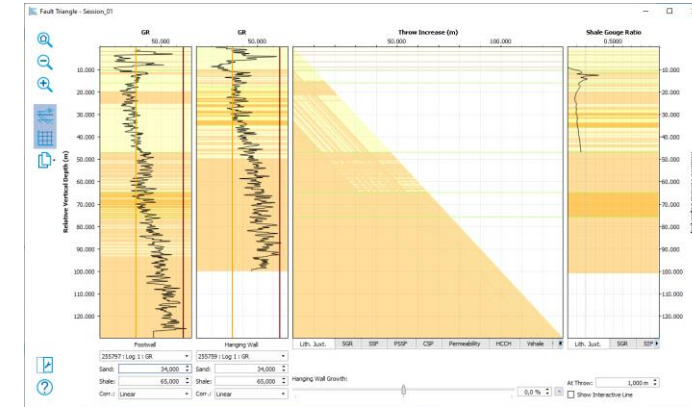
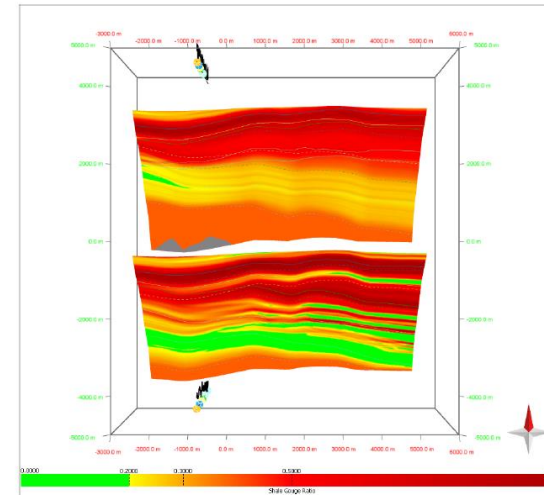
$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}$$

30-fache Überhöhung



AUSBLICK

- Weiterentwicklung des Modells
- Eigenschaftsmodell (Petrophysik)
- THMC-Modell
- Voxel
- Einbeziehung bodenkundlicher Kennwerte
- Störungsvalidierung (2D/3D-Decompaction/Unfolding)
- Störungseigenschaften (Shale-Gouge-Ratio)
- Einbindung von Sensordaten (Feuchtemessstationen)





Clostermann, M. (2010, Februar). Handbuch zur Festlegung der Sanierungspriorität. Clostermann Markscheiderisch-Geotechnisches Consulting. Dortmund.

Harnischmacher, S. (2012). Bergsenkungen im Ruhrgebiet- Ausmaß und Bilanzierung anthropogeomorphologischer Reliefveränderungen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, 261.