

Steinsalzbergbau und Untergrundspeicherung: methodische Ansätze zu einem (modernen) Reservoirmanagement

Stefan Meyer

Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen

Roman Przyrowski Uniper Energy Storage

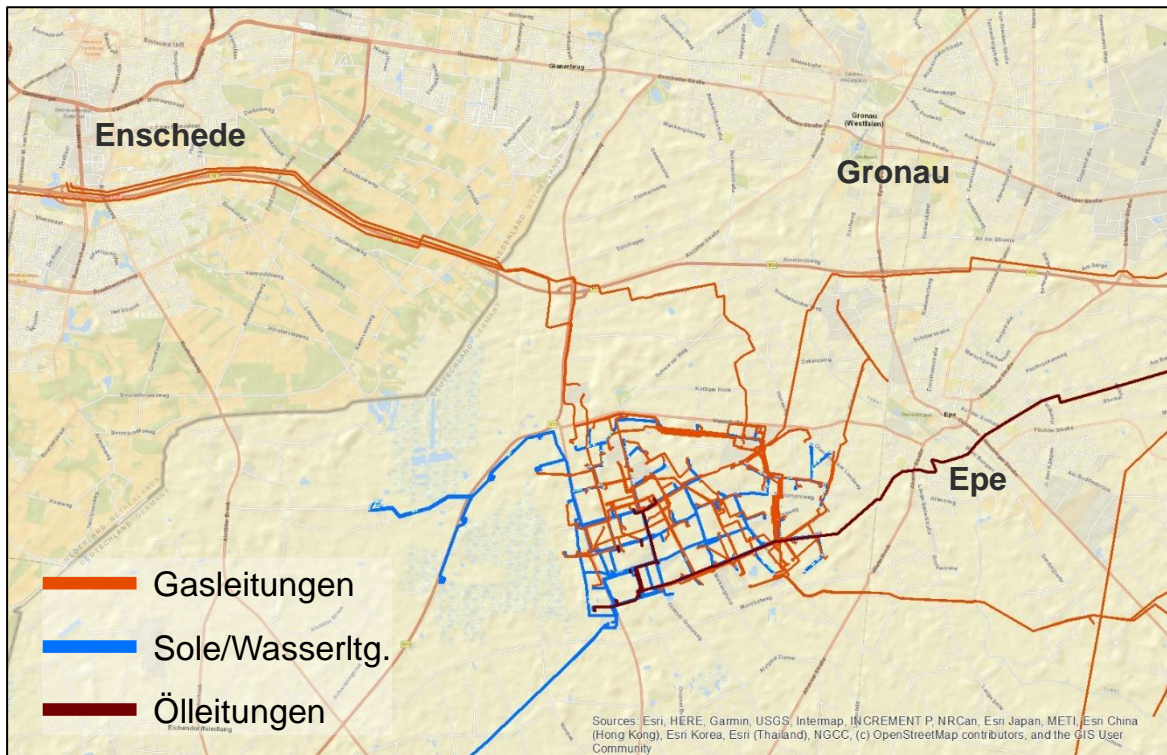
Nachbergbauzeit NRW 2025, THGA Bochum, 20.03.2025



Agenda

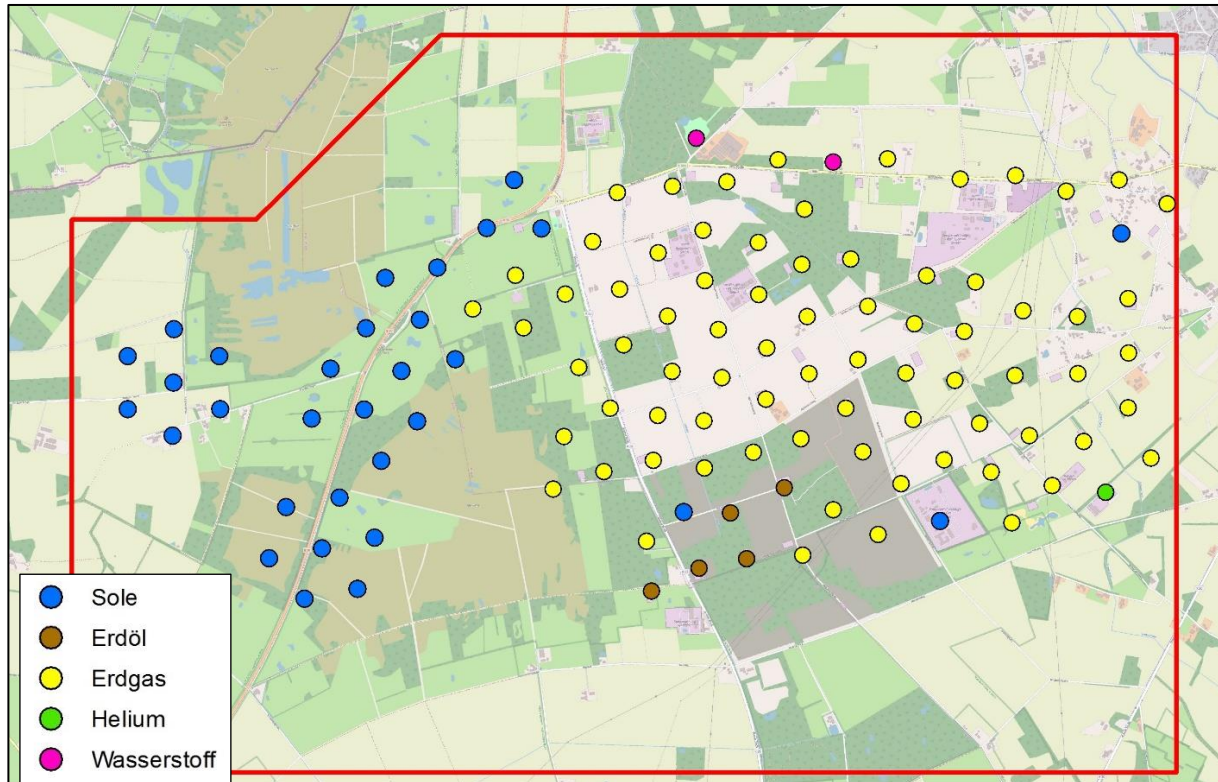
-
- 1 Allgemeines zum Kavernenstandort Epe
 - 2 Geologische Grundlagen
 - 3 Veranlassung für Monitoring
 - 4 Methoden des Monitorings
 - 5 Zusammenfassung und Ausblick
-

Das Kavernenfeld Epe



- SGW solt die Kavernen und produziert ca. 2 Mio. t Salz (~7 Mio. m³ Sole p.a.)
- Transport der Sole via Pipeline, dient der Versorgung der heimischen Chemieindustrie
- Öl- und Gaskavernen sind ebenfalls über Pipelines mit dem Netz verbunden

Kavernennutzung



114 Kavernen gesamt

- 31 Produktionskavernen
- 75 Erdgaskavernen
- 5 Erdölkavernen
- 1 Heliumkaverne
- 2 H₂-Kavernen (geplant)

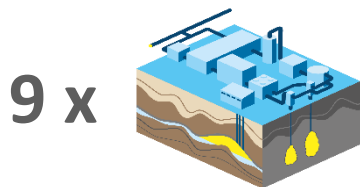
Gasspeicherung:

- Arbeitsgaskapazität: ca. 3,4 Mrd. Norm-m³
- 23 % der Kavernen in BRD
- 16 % des Gesamtspeichervolumens

Uniper Energy Storage – auf einen Blick



Energy Storage



Gasspeicher-Anlagen



Marktgebietsanschluss

>



Gesamtkapazität

Marktführer:

Wir sind das **größte Gasspeicherunternehmen Deutschlands** und eines der leistungsstärksten Europas.

Energiewende:

Wir spielen eine wichtige Rolle die **Energiewende**, weil wir die **erforderliche Flexibilität** für das erneuerbare Energiesystem garantieren.

Wasserstoff:

Uniper Energy Storage verfügt **europaweit** über das **größte Potenzial**, Wasserstoff in Kavernen zu speichern.

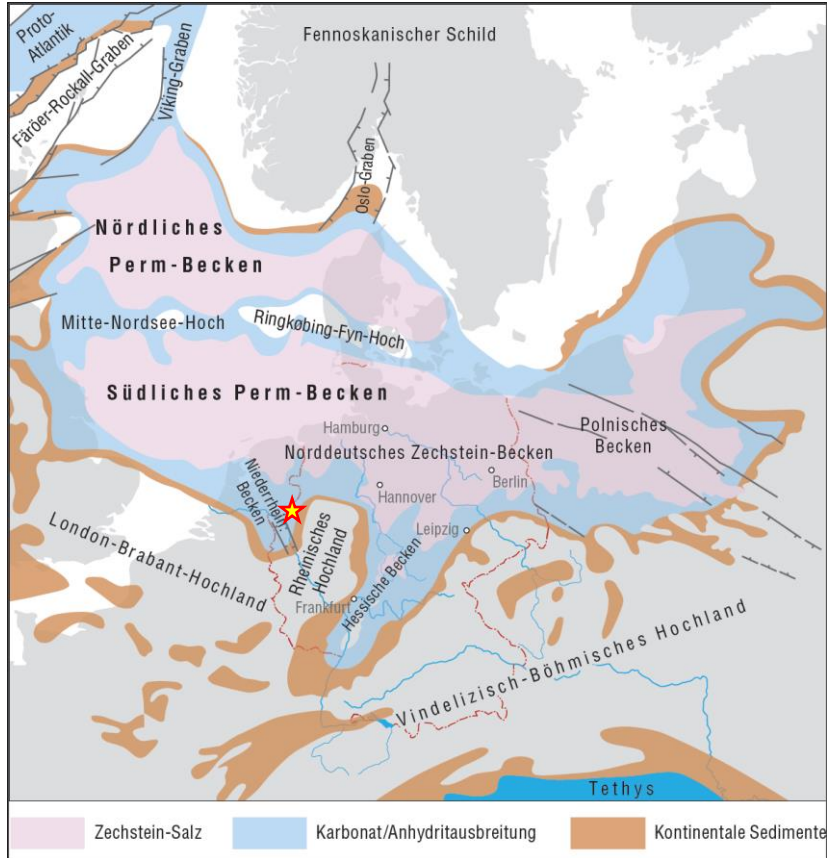
Versorgungssicherheit:

Wir glauben Erdgasspeicher sind ein **unverzichtbarer Baustein** für die Versorgungssicherheit - heute und in der Zukunft.

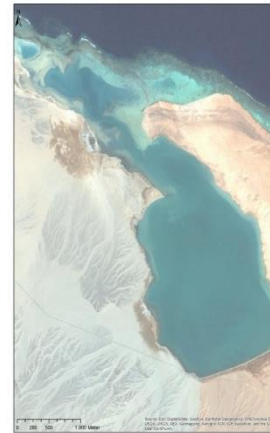
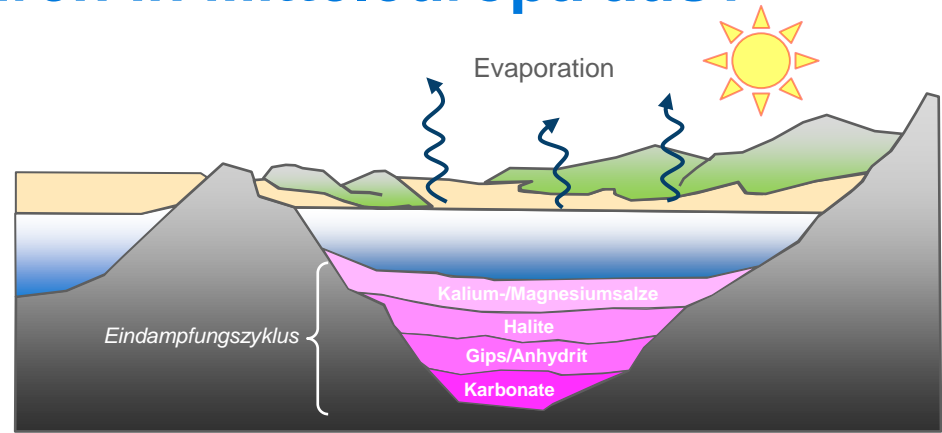
Klimaneutralität:

Wir **entwickeln proaktiv** unseren Betrieb, unsere Anlagen sowie unsere Produkte in Richtung Klimaneutralität.

Wie sah es vor 250 Mio. Jahren in Mitteleuropa aus?



Land-/Meerverteilung im unteren Zechstein (nach Paul et al. 2020)



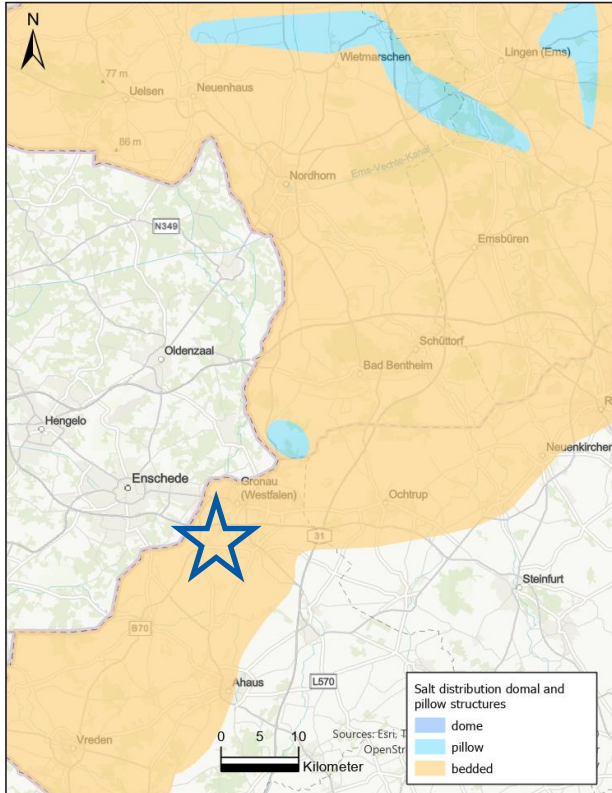
Heutiges Analog.

z7		Fulda-Formation / Friesland-Formation
z4/z5/z6	Aller-Sulfat	Ohre-Formation
z3		Leine-Formation / Aller-Formation
z2		Stäufurt-Formation
z1	Kupferschiefer	Werra-Formation

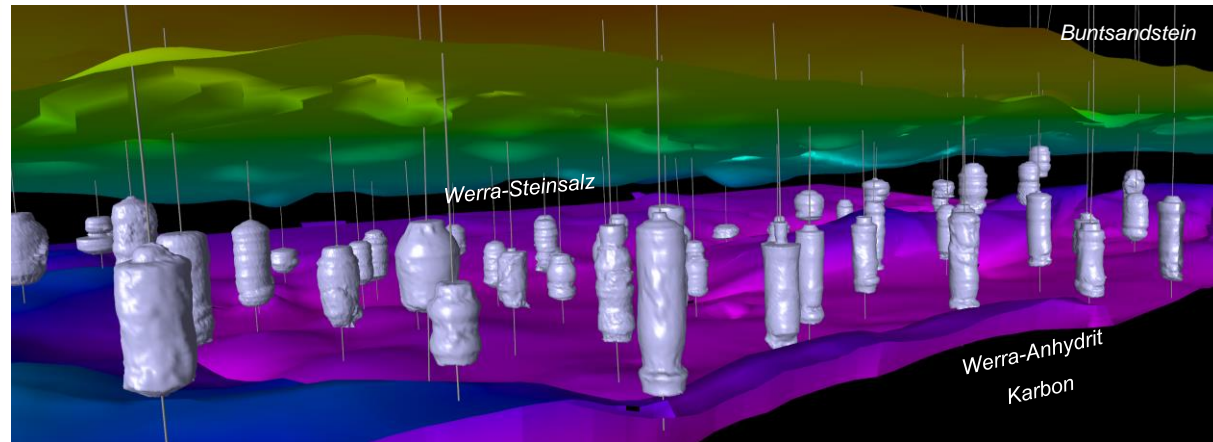
Insgesamt 7 Zyklen von Meeresvorstößen und chemischer Ausfällung von Gesteinen

Lagerstätte Epe: reich an Salz

- Schichtsalz, d.h. horizontal liegendes Salz
- geringfügig kompressiv kissenförmig gestaucht
- 200-400 m mächtiges Steinsalz (Halit)
- Kavernengeometrie: \varnothing ca. 70 m, Höhe ca. 120-180 m



Verbreitung von Schicht-/Struktursalz



3D-Blick in die Salzlagerstätte mit Darstellung der Kavernen und Bohrungen

Warum Monitoring eines Kavernenfeldes?

Ausgangssituation

- Existenz von Kavernen (keine Hohlräume i.e.S., da Kavernen jederzeit gefüllt sind!)

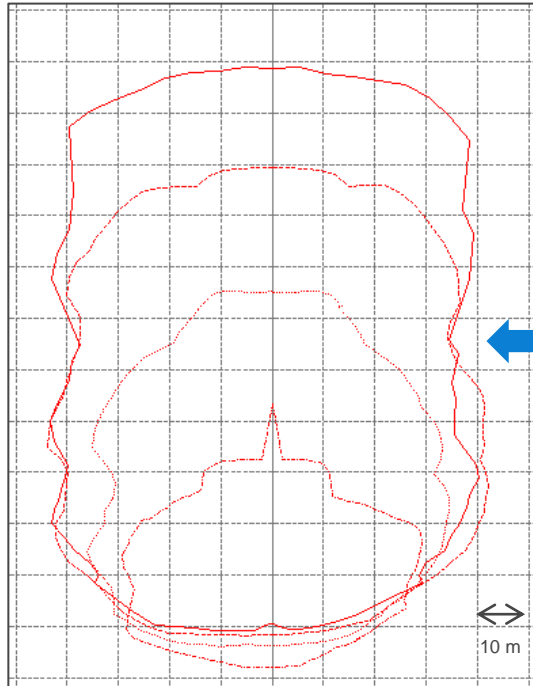
Konsequenzen

- Veränderung des Spannungszustands innerhalb der Kruste
- Salz reagiert plastisch auf Druckveränderungen unter den gegebenen Bedingungen (Epe)
- Kavernen-Konvergenz ca. 1 %/Jahr
- Übertragung der Konvergenz als Bodenbewegung durch das Deckgebirge an die Oberfläche

Zusätzliche individuelle Faktoren

- Fluktuierende/saisonale/verbrauchsabhängige Speicher-/Druckzustände (Betreiberabhängig, variierende Verteilung im Feld)
- Vorgezeichnete Bewegungsbahnen // Störungen

Kavernengeometrie: Hohlraumvermessungen



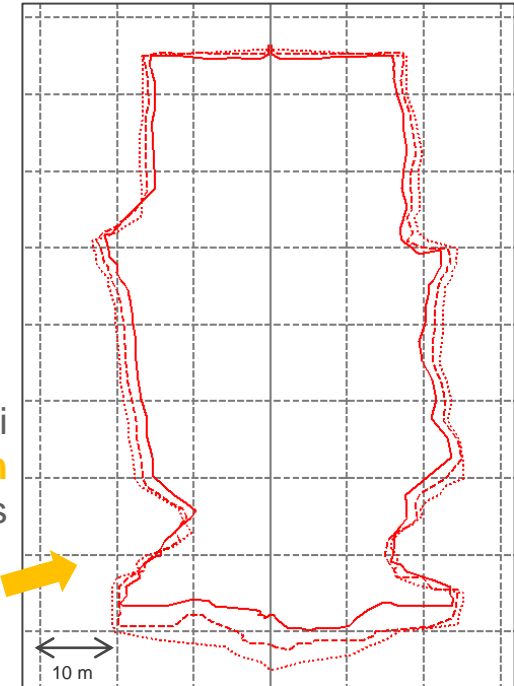
regelmäßige Hohlraumvermessungen
durch Ultraschall

bei
Produktionskavernen
jährlich

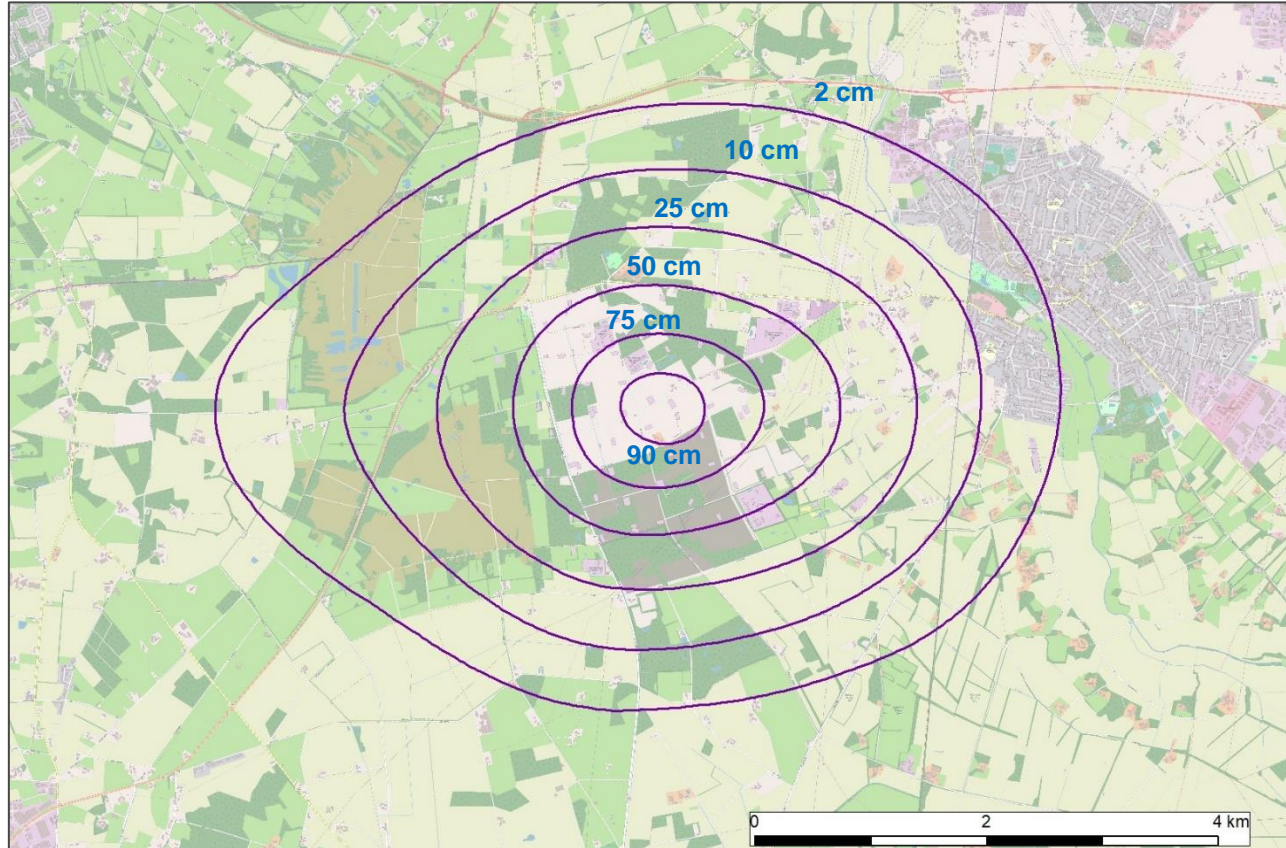
Beispiel:
05/2012: 67k m³
02/2015: 156k m³
04/2020: 394k m³
11/2024: 565k m³

bei
(Gas-)Speicherkavernen
im mehrjährigen Rhythmus

Beispiel:
3 Vermessungen (Abstand 9 Jahre),
Konvergenz ca. 1,3 %
Bewegung der Kavernenwand: 0,8 bzw. 1,2
m

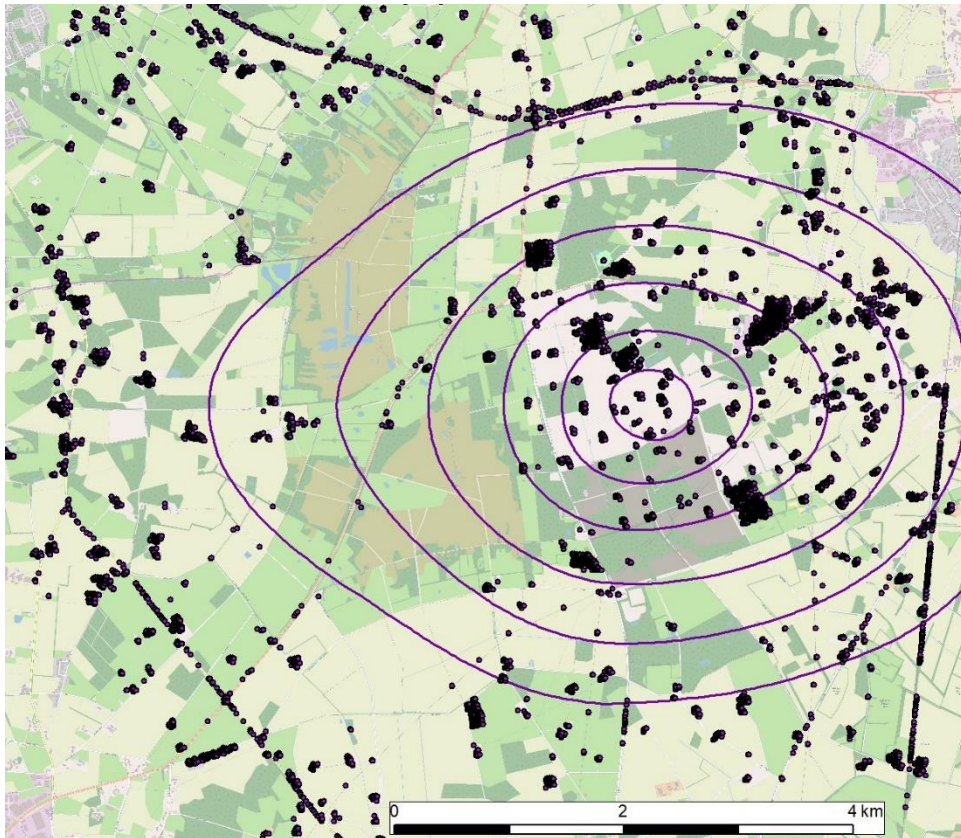


Senkungsmulde: Terrestrisches Nivellement

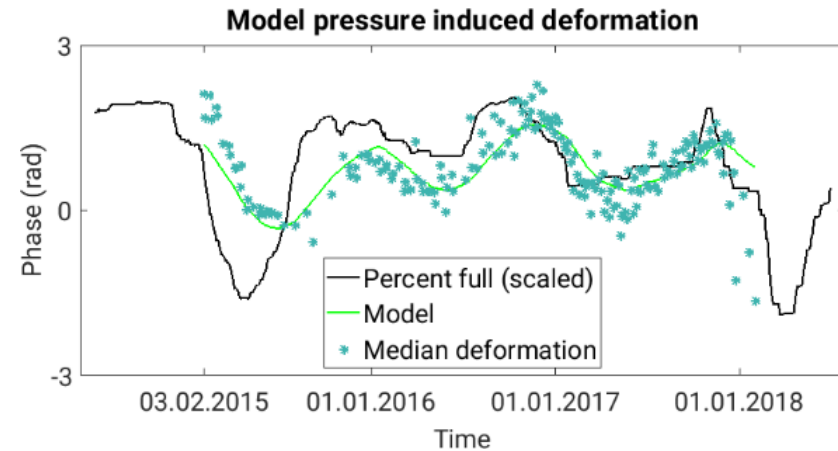


- Maximalsenkung 2023: 95 cm
- jährliche Erstellung eines Gesamt- und Teilsenkungsplanes („Bodenbewegungsriß“)
- Nivellement seit 1973
- ca. 850 Festpunkte, 10 Anschlusspunkte im Bergfreien
- ca. 130 km Liniennivellement
- jährliche Messung
- seit 2021: Erweiterung in die Niederlande

Bodenbewegung: Radarinterferometrie

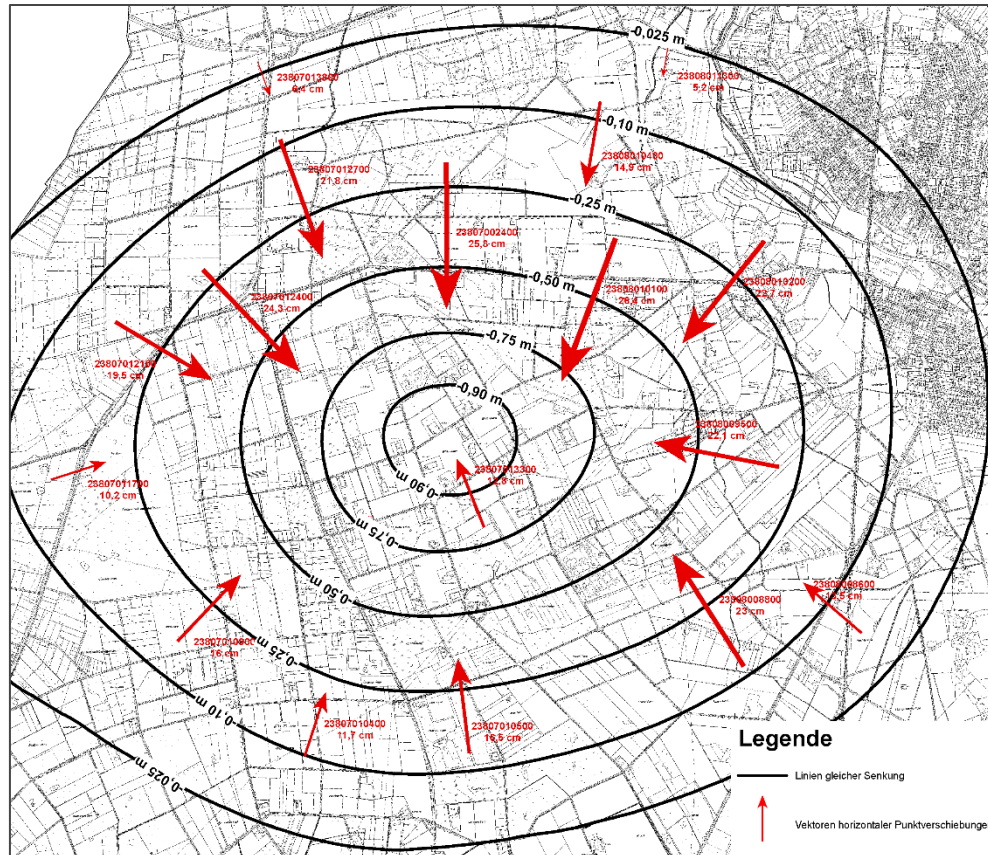


- Radarinterferometrie (TerraSar-X) liefert gute flächige Abdeckung, analog dem Nivellement
- Zusatznutzen möglich, z.B. messtechnisches Erfassen des „Zeitfaktors“ (für Epe determiniert mit 84 Tagen)



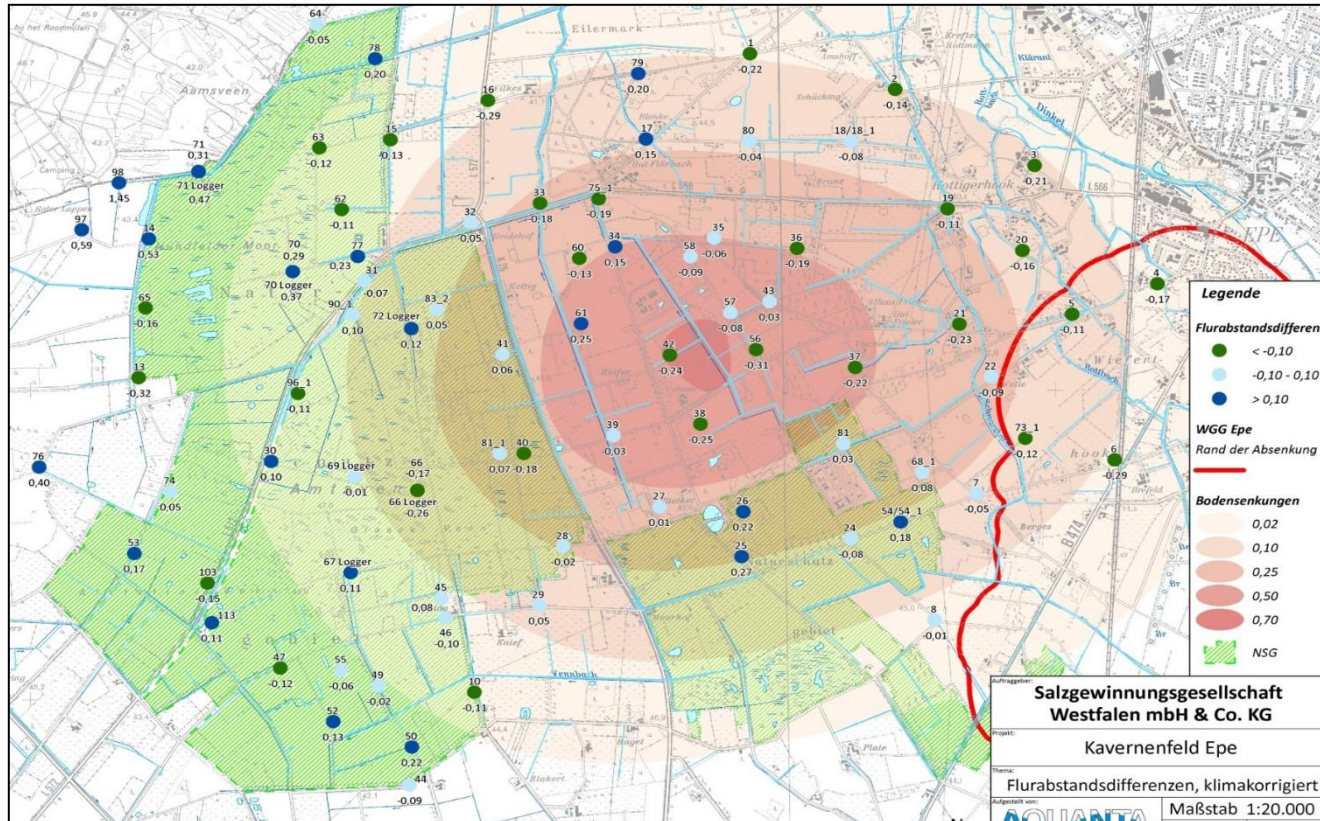
Quelle: Even et al. 2020

Horizontale Bodenbewegung



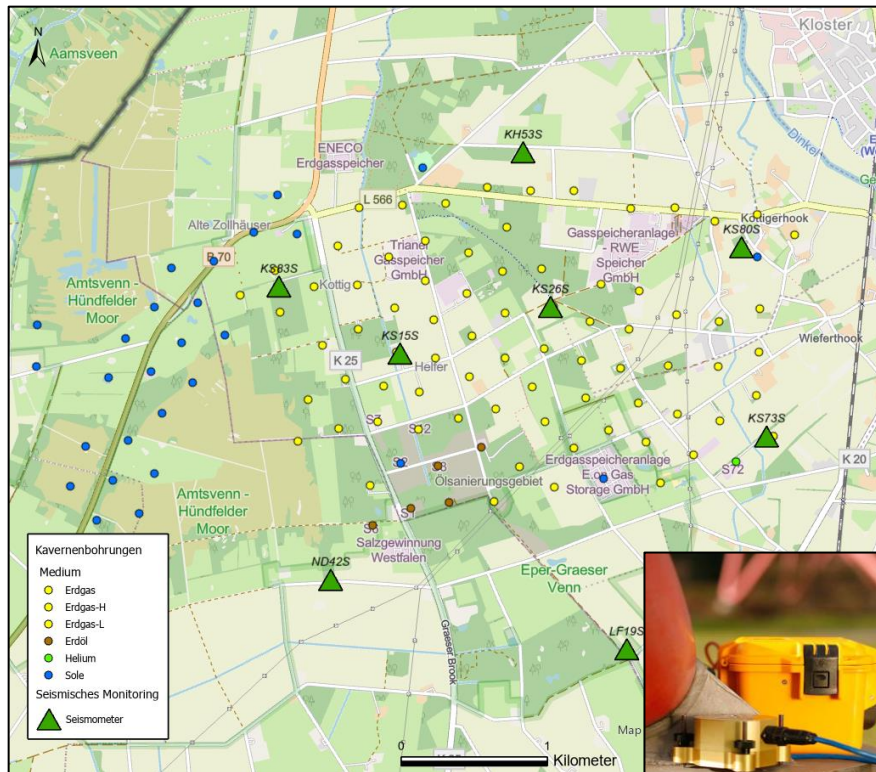
- Bodenbewegung immer auch mit horizontaler Komponente verbunden
- in Epe stehen flächig GNSS-Messungen seit 2000 zur Auswertung zur Verfügung
- Verschiebung bewegt sich innerhalb mathematischer Modellgrenzen
- Beeinflussung von z.B. Leitungsinfrastruktur vorhanden, aber beherrschbar

Entwicklung des Grundwasserspiegels



- seit Mai 1989 freiwilliges Grundwasser-Monitoring
- knapp 90 GWM (tlw. mit Loggern)
- Entwicklung des GW-Flurabstandes ableitbar
- nahezu keine Veränderung des Flurabstandes (außer in NSG!)
- Bergensenkungen deutlich überlagert durch Kompensationsmaßnahmen und Drainagen
- Ergo: so lange Vorflut intakt, dann keine Vernässungen

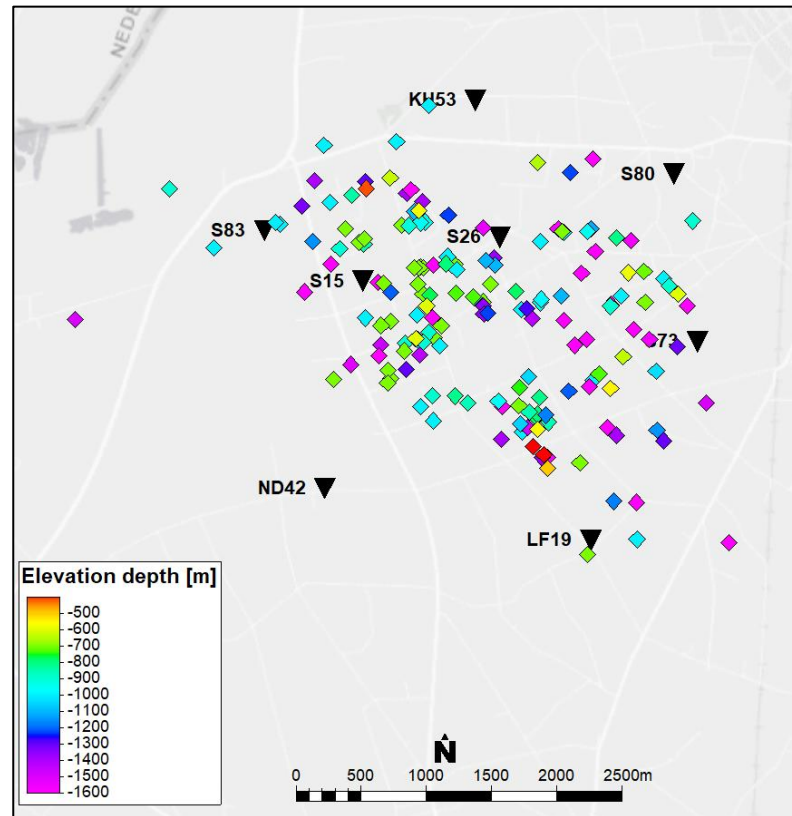
Induzierte Seismizität: Monitoring v. Erschütterungen



Kaverenfeld mit Aufstellungsorten der Seismometer

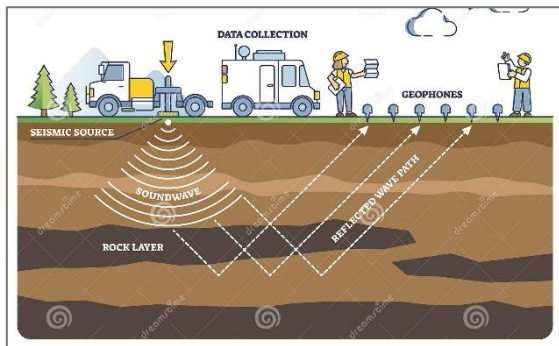


Bewegungssensor mit
Registriereinheit

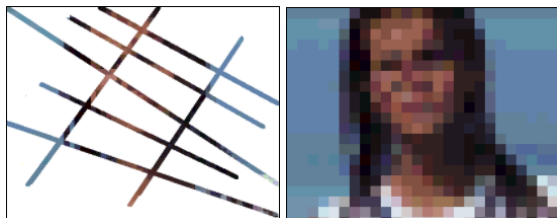


Induzierte seismische Ereignisse im Zeitraum 2019-2025

Geologisches Strukturmodell: 3D-Seismik (2024)



Prinzip der Seismik

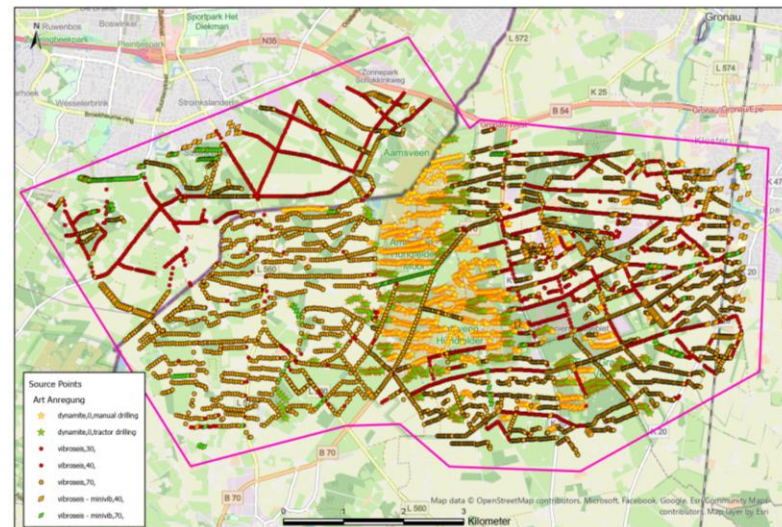


Unterschied zwischen 2D- (oben) und 3D-Seismik (unten)



Geophone (oben), Vibrotuck (unten)

- 60 km², kombinierte Anregung mit Spreng- und Vibroseismik
- 7.500 Vibropunkte, 1.800 Sprengpunkte
- 31.000 Geophonpunkte mit 21.000 Geophonen im Einsatz
- Ziel: hochauflösende Darstellung der Oberfläche Salz und Geometrie des Deckgebirges



Messgebiet mit Darstellung der Anregungspunkte

Zusammenfassung und Ausblick

- Bohrlochbergbau und Untertagespeicherung erzeugen Bodenbewegungen
- Neben bergrechtlicher Verpflichtung zum Monitoring auch Wahrnehmung der „license-to-operate“
- Analyse und Bewertung der Standortintegrität gegeben
- Individuelle Nachweismethoden stellen für sich einen Teil der Analyse dar
- Inwertsetzung der Methoden durch Kombination und Integration in ein Raummodell
- Nutzung neuer Methoden (z.B. Radarinterferometrie) und Aktualisierung von Modellen (z.B. 3D-Seismik) sind wesentliche Werkzeuge für Verständnis des Gesamtsystems

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!