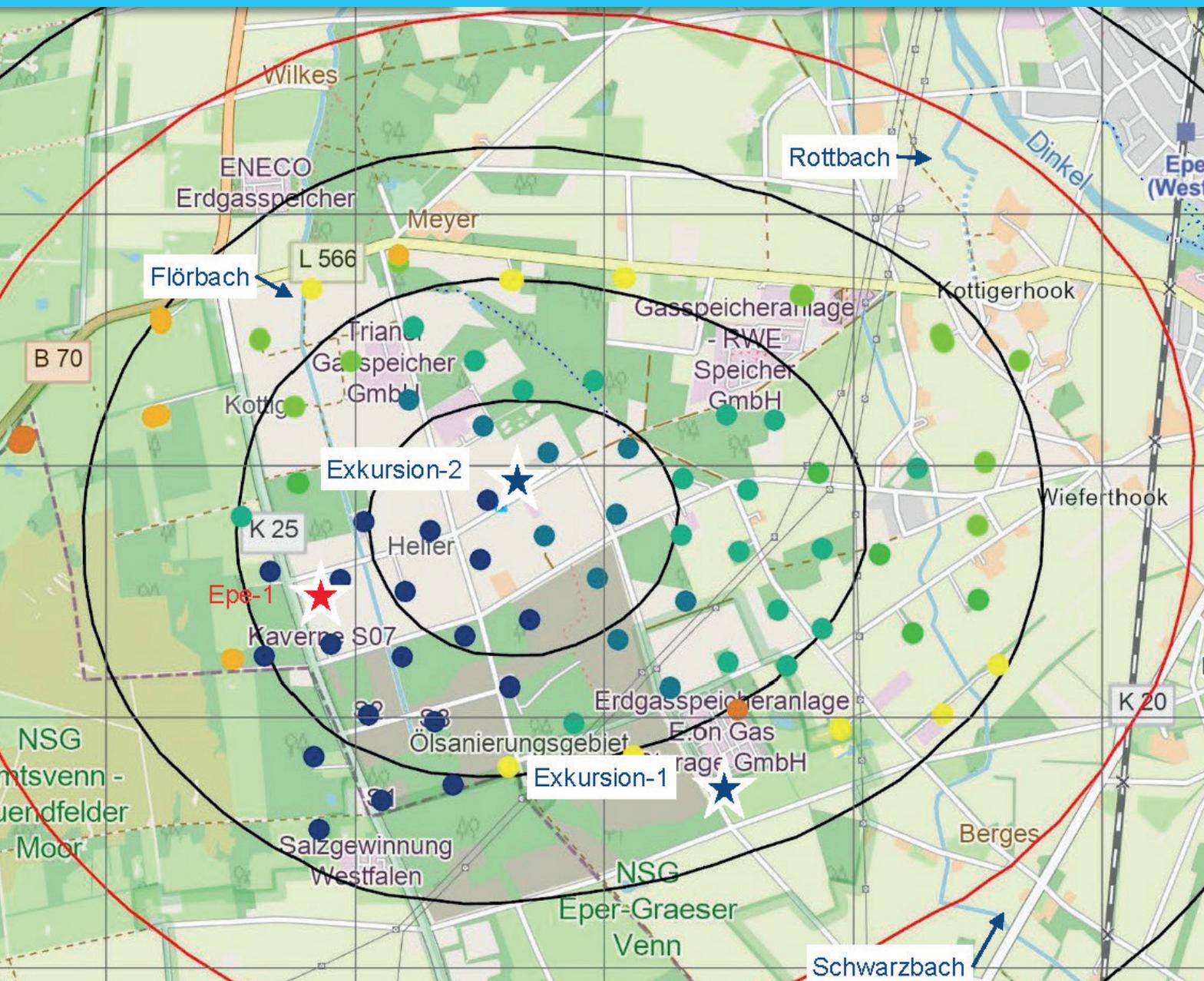


Tobias Rudolph, Peter Goerke-Mallet,
Andreas Mütterthies, Carmen Tomlik,
Sebastian Teuwsen, Chia-Hsiang Yang

Monitoring von Bodenbewegungen

Das große Puzzle am Kavernenspeicher Gronau-Epe



Inhalt

Kurzfassung	3
Einführung	3
Das Kavernenfeld Epe	3
Einführung in den Kavernenbetrieb	4
Der Kavernenspeicher Epe	6
Der Forschungsverbund Epe	6
Die Arbeit am Vertrauen	6
Exkursion	6
Ergebnisse	9
Zusammenfassung	9
Danksagung und Interessenerklärung	11
Literatur	12

Abbildung auf dem Titelbild: Ausschnitt aus Karte des Kavernenfeldes Epe mit der Darstellung der Entwicklung der Kavernenbohrungen und der Darstellung von Isokatabasen (Linien gleicher Senkung) in der Senkungsmulde



Für die Menschen.
Für Westfalen-Lippe.

Herausgeber: Geographische Kommission für Westfalen
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL)
Dr. Rudolf Grothues, Prof. Dr. Karl-Heinz Otto
Layout: Dr. Rudolf Grothues
Druck: LUC GmbH Selm

ISSN 1869-4861
Schutzgebühr: 2,50 Euro

Nachdruck, Funksendung, Entnahme von Abbildungen, Wiedergabe auf fotomechanischem Weg oder Speicherung in DV-Anlagen sind bei ausdrücklicher Quellenangabe erlaubt. Belegexemplar/Link erbeten: geko@lwl.org oder per Post.

GeKo Aktuell ist das offizielle Mitteilungsorgan der Geographischen Kommission für Westfalen. In lockerer Folge werden aktuelle, von der Kommission oder ihren Mitgliedern durchgeführte bzw. angeregte Forschungen und deren Ergebnisse sowie die neuesten Veröffentlichungen der Kommission in Kurzbeschreibungen vorgestellt.

GeKo Aktuell kann unter folgender Adresse kostenlos in gedruckter Form bestellt und abonniert werden:

Geographische Kommission für Westfalen
Heisenbergstraße 2, 48149 Münster
Tel.: 0251/8339-222, Fax: 0251/8339-221
E-Mail: geko@lwl.org

Unter www.geographische-kommission.lwl.org stehen PDF-Dateien aller bisherigen **GeKo Aktuell**-Ausgaben zum kostenfreien Download zur Verfügung.

Monitoring von Bodenbewegungen

Das große Puzzle am Kavernenspeicher Gronau-Epe

Kurzfassung

Die Überwachung eines unterirdischen Gasspeichers ist komplex und anspruchsvoll. Bildlich gesprochen handelt es sich um ein Puzzle, bei dem nicht alle Teile vorhanden sind, und nicht ganz klar ist, welches Motiv entstehen wird. Gleichzeitig ist es notwendig, das Motiv zu erklären.

Dieser Prozess ist bereits für Fachleute eine Herausforderung, stellt aber auch eine große Anzahl lokaler Akteure vor große Probleme, den Prozess zu verstehen. Der Forschungsverbund Epe hat sich zum Ziel gesetzt, die Bodenbewegung am Kavernenspeicher Epe (NW-Deutschland) erklärbar und transparent zu machen. Zu diesem Zweck wurde der Forschungsverbund von der Stadt Gronau, der Bürgerinitiative Kavernenfeld Epe e.V., der EFTAS GmbH, Münster, und dem Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola, Bochum, gegründet. Auch die Betreiber im Kavernenfeld unterstützen mit operativen Daten und Wissen.

Mittels Radar-Fernerkundung (InSAR) werden die Bodenbewegungen, die durch den Kavernenbetrieb verursacht werden können, analysiert. Die InSAR-Ergebnisse werden mit den verfügbaren öffentlichen Geodaten und Vermessungsdaten des Kavernenspeichers zusammengeführt.

Alle Arbeiten werden von einem öffentlichen Beteiligungsprozess begleitet. Die Kooperation führt erstmals zu einem direkten Austausch verschiedener Beteiligter an einem Bergbauprojekt, um ein gemeinsames Verständnis des Prozesses der Bodenbewegungen zu schaffen. Im Rahmen der Jahrestagung 2022 der Geographischen Kommission für Westfalen wurden das Kavernenfeld befahren und ausgewählte Punkte begangen.

Einführung

Die Bereitstellung von Georessourcen stellt einen Eingriff in Natur und Umwelt dar, bei dem der Eingriff und die Folgen an der Oberfläche sichtbar werden. Insbesondere bei der Bereitstellung von untertägigen Georessourcen, z.B. im Bohrlochbergbau, ist der eigentliche Gewinnungsprozess nur teilweise sichtbar und nachvollziehbar. In Deutschland ist der gesamte Lebenszyklus des Bergbaus durch das Bundesberggesetz rechtlich geregelt, das auch Umwelt- und Geomonitoringmaßnahmen beinhaltet.

Dies dient zum einen der technischen Überwachung des Bereitstellungsprozesses, zum anderen aber auch dem Aufbau eines Verständnisses für den Prozess. Eine transparente Interaktion mit der Öffentlichkeit geht über eine einfache Kommunikation hinaus und bedeutet eine bilaterale oder sogar multilaterale Beteiligung der verschiedenen Akteure.

Der Partizipationsprozess dient dazu, die verschiedenen Verständnisebenen und die unterschiedlichen Themen zusammenzuführen. Das bedeutet, dass ein gemeinsames technisches

Verständnis zwischen den beteiligten Parteien geschaffen wird, um eine Vertrauensbasis herzustellen. Gerade in der aktuellen Energiewende, der Frage der nachhaltigen Energieversorgung mit Wasserstoff und der Problematik der Versorgungssicherheit ist es notwendig, dass die Möglichkeiten und Herausforderungen durch verschiedene Beteiligungsformate dargestellt werden.

Das Kavernenfeld Epe

Das Kavernenfeld Epe befindet sich im Nordwesten Nordrhein-Westfalens im deutsch-niederländischen Grenzgebiet zwischen Gronau (D) und Enschede (NL) und erschließt die Steinsalzfolgen des Zechsteins, einer lithostratigraphischen Gruppe im Perm (begann vor 298,9 Mio. Jahren, endete vor 251,9 Mio. Jahren) (Abb. 1). In diesem Zeitraum stellten die heutige Nordsee und Ostsee ein großes (Binnen-)Meer dar, das auch auf das heutige Niedersachsen und das nordwestliche Nordrhein-Westfalen ausgebreitet war (Wittkamp 2014). Im Bereich des heutigen Grenzgebietes zwischen den Niederlanden und Deutschland hatte sich ein lokales Nebenbecken gebildet, welches nach Süden bis in den Bereich Xanten/Niederrhein reichte. Im Zeitraum des Zechsteins herrschte ein sehr arides und heißes Klima, das dazu führte, dass das Wasser im Zechstein-Meer verdunstete und die im Meerwasser gelösten Minerale ausgefällt wurden. Über mehrere Millionen von Jahren konnten so mehrere hundert Meter mächtige Salinarabfolgen entstehen. Hierbei handelt es sich um die Abfolge der Gesteinsschichten aus bituminösen Gesteinen, Kalksteinen, Sulfatgesteinen und Steinsalzen. Am Standort Epe ist vor allem der erste

¹ Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola (THGA), Herner Str. 45, 44787 Bochum, www.nachbergbau.org, tobias.rudolph@thga.de

² EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2, 48145 Münster, www.eftas.com

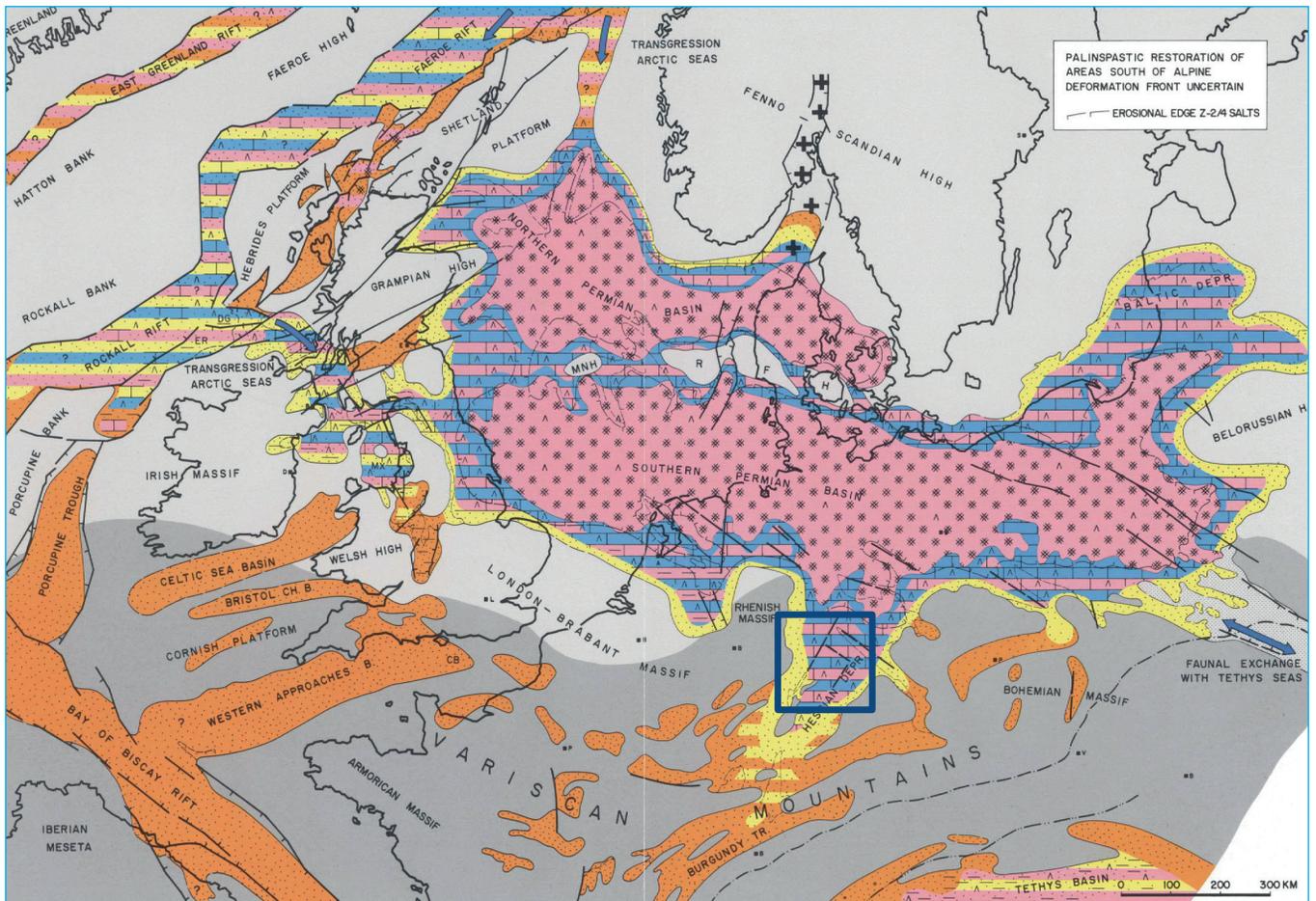


Abb. 1: Karte der Paläogeographie des Zechsteins (Blauer Rahmen = Lage des Kavernenfeldes) (Ziegler 1990)

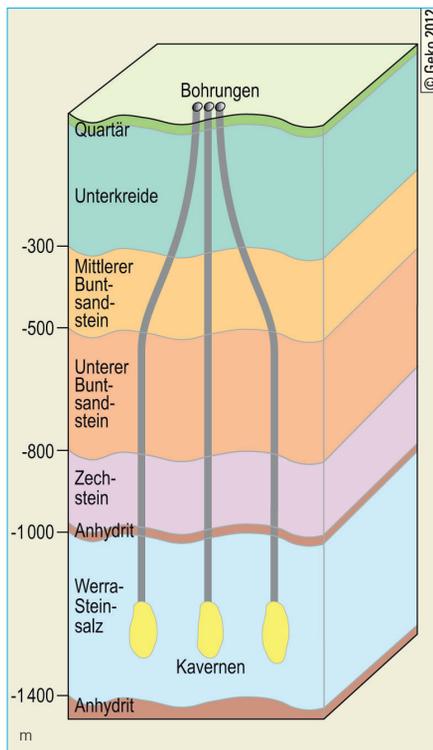


Abb. 2: Schematische Abfolge der lithostratigraphischen Einheiten im Kavernefeld Epe unter Angabe der Tiefe und mit der Darstellung eines Sammelbohrplatzes mit den Bohrungen (grau) und Kavernen (gelb) (Wittkampff 2014)

salinare Zyklus, das Werra-Steinsalz, sehr mächtig ausgebildet, und es ist eine bis zu 400 m mächtige, fast reine Steinsalzfolge anzutreffen. Aufgrund der Nebenbeckenlage sind spätere saline Abfolgen noch teilweise und unvollständig ausgebildet. Überlagert werden die Abfolgen des Zechsteins, von den lithostratigraphischen Abfolgen des Buntsandsteins, der Unter- und Oberkreide und vom Quartär.

Am 24. Juli 1964 wurde die Bohrung Epe-1 niedergebracht, um nach Erdgas zu suchen, aber stattdessen wurde Halit (Steinsalz) gefunden, der zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt war (Abb. 2). Wegen seiner großen Reinheit ist der Halit für die chemische Industrie sehr wertvoll, ermöglicht aber auch den Bau von Kavernen (Wittkampff 2014; Hilden 1995). So wurden seit der Erkundungsbohrung Epe-1 im Kavernefeld bis heute mehr als 100 Bohrungen niedergebracht und etwa 100 Kavernen im Solungsbergbau erschlossen.

Einführung in den Kavernebetrieb

Der Aufbau einer Kaverne erfolgt über den Prozess des Bohrlochbergbaus, auch Lösungsbergbau genannt. Hierzu wird eine Bohrung in die Salzformation geteuft, oberhalb der Salzformation verrohrt und nach Stand der Technik ausgebaut. Im Bereich der Salzformation werden Bohrkerne entnommen und mittels Laborversuchen geomechanisch untersucht. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden die Größe der Kaverne und spätere operative Parameter festgelegt. Im Teufenbereich der zukünftigen Kaverne bleibt die Bohrung unverrohrt und das Salzgebirge offen. Im folgenden Arbeitsschritt werden in die Bohrung zwei ineinander gestaffelte Steigleitungen eingebaut (Abb. 3). Über eine Steigleitung wird Frischwasser in die Bohrung eingepresst. Das Frischwasser löst im Untergrund das Salz, welches sich dann wiederum im Frischwasser anreichert. Die nun entstehende Sole wird dann

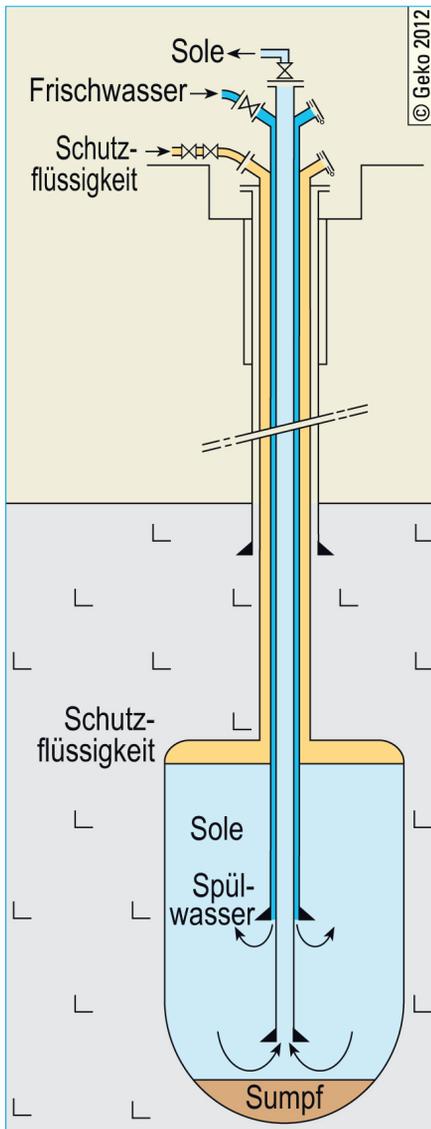


Abb. 3: Schematische Darstellung der Solung einer Kaverne (Wittkampff 2014)

über die zweite Steigleitung zu Tage gefördert. Die Geometrie der langsam entstehenden Kaverne lässt sich nun über den Abstand der Enden der Steigleitungen zueinander, die Teufenlage und die Fließrichtungen steuern. Der Prozess der Kavernenentstehung dauert mehrere Monate bis Jahre (Wittkampff 2014). Hier muss unterschieden werden, ob eine hoch konzentrierte Sole gewonnen werden soll, dann dauert der Prozess lange, oder ob die Hohlraumnutzung im Vordergrund steht, dann geht der Prozess schnell. Damit ein sicherer Abstand der Oberkante der Kaverne, auch Kavernendach genannt, von der Oberkante des Salzes eingehalten wird, ist es notwendig, einen Aufstieg des eingepressten Frischwassers entlang der Bohrung zu verhindern. Hierzu wird initial eine

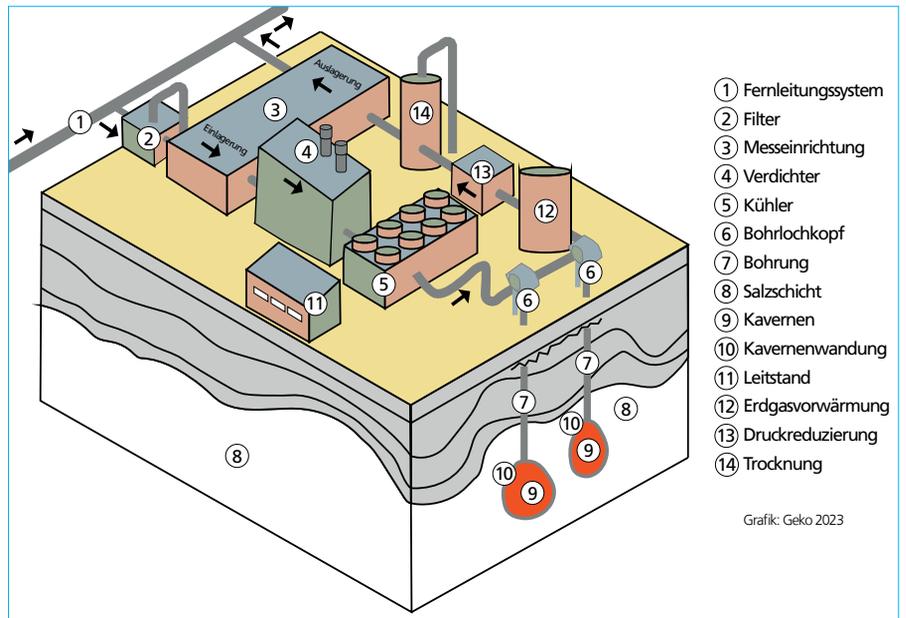


Abb. 4: Schematische Darstellung der Ein- und Ausspeicherung von Erdgas in Kavernenspeichern (eigene Darstellung)

Schutzflüssigkeit (Blanket) zugeführt, die aus Rohöl und/oder Stickstoff besteht und somit auf dem Frischwasser bzw. der Sole schwimmt. Aufgrund des langwierigen Prozesses der Kavernenentstehung ist es gesetzlich vorgeschrieben, den Prozess zu überwachen. Hierzu werden sowohl im Prozess der Entstehung als auch später im Betrieb Sonarvermessungen durchgeführt, bei denen die Kavernenform und die Veränderung über die Zeit dokumentiert werden. Hat die Kaverne die Zielgröße (Höhe, Durchmesser, Form, Volumen) erreicht, werden die Steigleitungen zur Solung für die Gaserstbefüllung umgebaut. So kann die Kaverne mit Gas befüllt und gleichzeitig die Sole ausgepresst werden. Im Kavernensumpf bleiben Restmengen an Sole zurück, die mit unlöslichen Mineralen (u.a. Karbonatgesteine, Sulfate) angereichert sind. Mit dem Beginn der Solung der Kaverne beginnt die natürliche Konvergenz der Kaverne. Hierbei handelt es sich um das Schrumpfen der Kaverne, ausgelöst durch den umlagernden Gebirgsdruck der Gesteine. Dieser Prozess überträgt sich über das Salz ins Deckgebirge und die Deckschichten bis an die Tagesoberfläche und zeigt sich hier als Bodenbewegung. Die Konvergenz der Kaverne und damit die Bodenbewegung endet erst, wenn die Kaverne durch eine Flutung mit Sole am Ende der Betriebsdauer endverwahrt wird.

Im Betrieb des Kavernenspeichers (Abb. 4) wird das zu speichernde Gas durch die überregionalen Transportleitungen mit einem Druck von ca. 60–80 bar angeliefert. Für den Prozess der Einspeicherung im Frühjahr/Sommer wird in einem ersten Schritt das Gas mittels Filtern gereinigt und die Gasmengen sowie die Gaszusammensetzung gemessen. Danach erfolgt die Verdichtung des Gases auf die notwendigen Drücke zur untertägigen Speicherung. Diese Drücke betragen bei Kavernenspeichern um 200–220 bar. Nach der Verdichtung ist die Abkühlung des Gases auf die Temperaturen im Untergrund notwendig. Über verschiedene Feldleitungen, den Bohrlochkopf und die Bohrung wird im letzten Schritt das Gas im Untergrund eingespeichert. Im Herbst/Winter erfolgt die Ausspeicherung des Gases, und der Prozess wird in Teilen umgekehrt. Hierzu fließt das Gas durch die Bohrung und den Bohrlochkopf an die Tagesoberfläche. Danach erfolgt die Vorwärmung des Gases, denn die folgende Druckreduzierung verursacht eine Abkühlung des Gases. Aufgrund der Feuchtigkeit des Gases würde eine direkte Druckreduzierung ohne Vorwärmung zur Eisbildung und Verstopfung führen. Nach der Druckreduzierung schließt sich die Trocknung an, und die Feuchtigkeit des Gases wird reduziert. Im letzten Schritt wird final die Gasmenge und

die Gaszusammensetzung bestimmt und das ausgespeicherte Gas wieder der Transportleitung zugeführt.

Der Kavernenspeicher Epe

Oberirdisch ist das Gebiet des Kavernenspeichers Epe im östlichen Teil durch landwirtschaftliche Nutzung und durch die Streusiedlung Kottighook geprägt. Zwischen dieser Streusiedlung und dem Stadtteil Gronau-Epe fließt die Dinkel, die der überregionale Vorfluter für die kleinen Flüsse (Flörbach, Schwarzbach, Rottbach) im Kavernenfeld ist. Zwei Moore (Amtsvenn, Hündfelder Moor) und ein Naturschutzgebiet prägen den westlichen Teil des Gebietes. Die Moorflächen haben nicht mehr ihre ursprüngliche, natürliche Ausdehnung und werden derzeit wiedervernässt und damit renaturiert.

Aufgrund der unterschiedlichen Betreiber der Kavernen und der damit verbundenen eingelagerten Produkte ist der Betrieb der Kavernen innerhalb des Kavernenfeldes räumlich und zeitlich sehr unterschiedlich (Abb. 5) (AGSI+ 2023). Die Betriebs-schemata zeigen den jahreszeitlichen Einfluss (Sommer-/Winterverbrauch) und insbesondere auch den Einfluss des Klimawandels mit den Warmjahren 2018, 2019, 2020 (Abb. 5). Dies führt zu lokal sehr unterschiedlich ausgeprägten Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche. Gleichzeitig kommt es hier zu einer Überlagerung von Prozessen aus dem Untergrund mit Prozessen an der Tagesoberfläche.

Um ein weiteres Verständnis für die Bodenbewegungen und die verschiedenen Einflussfaktoren im Kavernenfeld zu erlangen, wurde die Verwaltung der Stadt Gronau mit Ratsbeschluss vom 7. Oktober 2020 aufgefordert, eine unabhängige Bodenbewegungsmessung durchzuführen (SGW 2018).

Der Forschungsverbund Epe

Der Ratsbeschluss führte zur Gründung der „Forschungskoope-ration Epe“ mit den Partnern Stadt Gronau, Bürgerinitiative Kavernenfeld Epe

e.V. (BI-K), EFTAS GmbH, Münster, und dem Forschungszentrum Nach-bergbau (FZN) an der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum. Die Ziele sind:

1. Vertiefung des technischen Ver-ständnisses des Bohrlochbergbaus und der Untergrundgasspeiche- rung im Zusammenhang mit Bodenbewegungen und der Be- stimmung des Einflussbereiches,
2. Einsatz von Radar-Fernerkundung zur Erhöhung der flächenhaften Überwachungsfrequenz und re- trospektiven Zeitreihenanalyse (Anwendung von EU-Copernicus- Datensätzen des Radarsatelliten Sentinel-1),
3. Aufbau eines Prozessverständnis- ses für die Bodenbewegung am Rand der Senkungsmulde,
4. Aufbau eines Verständnisses der hydro-(geo-)logischen Situation (Sümpfe, Bäche, Flüsse),
5. Konsolidierung von Kompetenzen bei Interessenvertretern und -ver- treterinnen sowie Bürgerinnen und Bürgern für die Analyse vor Ort,
6. Wissenschaftliche, technische und unabhängige Beratung.

Die Arbeit am Vertrauen

Gesellschaftliches Vertrauen insbe- sondere in die Wissenschaft ist ein wertvolles Gut, das aufgebaut und kontinuierlich gepflegt werden sollte. Dies gilt insbesondere für Projekte im Lebenszyklus des Bergbaus, bei denen ein Eingriff in Natur und Umwelt mit einer gleichzeitigen Veränderung der gesellschaftlichen Wahrneh- mung einhergeht. Dies machte es notwendig, aktiv wissenschaftliche Transfermaßnahmen einzubauen, um einerseits Verständnis für die wissen- schaftliche Arbeitsweise und die er- zielten Ergebnisse zu erzeugen und andererseits dadurch das soziale und subjektive Vertrauen der Bürgerinnen und Bürger im Untersuchungsgebiet zu erhalten.

Zu den ersten Schritten des Projekts gehörte die Schaffung einer ge- meinsamen, wissenschaftlichen Basis, eines sogenannten Wissenskopus. Dazu wurden in öffentlichen Infor- mationsveranstaltungen die Aspekte

des Lebenszyklus des Bergbaus, des Kavernenbetriebs und der Methoden des Geomonitorings einschließlich der Radarsatellitenfernerkundung er- läutert.

Darüber hinaus wurde eine Projekt- website (www.monitoring-epe.de) eingerichtet, um mit der inte- ressierten Öffentlichkeit offen zu kommunizieren. Diese Website ist das wesentliche Bindeglied für die Beteiligung und ermöglicht den Kon- takt mit dem Projektteam. So sind beispielsweise die Ergebnisse der öf- fentlichen Umfrage und die Projekt- dokumentation hier verfügbar. Als wichtiges Instrument für die Beteili- gung enthält die Website ein Web- GIS mit öffentlich zugänglichen und offiziellen Geodaten (Abb. 6 A–O). So kann die interessierte Öffentli- cheit die Ergebnisse selbständig nach- vollziehen und sich einen eigenen Eindruck von der Situation vor Ort verschaffen. Die veröffentlichte Um- frage dient dazu, zusätzlich die Inte- ressen und Bedürfnisse, die Ängste und Sorgen, aber auch die Ideen ab- zufragen und so direkt in das Projekt einzubinden.

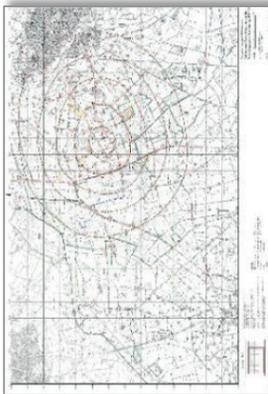
Exkursion

Bei der Exkursion im Rahmen der Jah- restagung der Geographischen Kom- mission des Kavernenfeldes wurden zwei Punkte angefahren:

- 1.) Speicherstation Uniper Energy Storage (Abb. 5, Exkursion-1) und
- 2.) Senkungsmaximum (Abb. 5, Ex- kursion-2).

Der erste Exkursionshaltepunkt zeigte die technische Herausforderung der Gasverarbeitung für die untertägige Speicherung (Abb. 4). Anhand des Blickes von außen wurde dargestellt, wie die Prozesskette der Gasverarbei- tung zur Gasspeicherung aus der Fernleitung in die Kaverne und der umgekehrte Weg zur Ausspeiche- rung aus der Kaverne erfolgt. Hierbei wurde auch gezeigt, dass die Unter- grundgasspeicherung ein zentrales Element der deutschen Energiever- sorgung ist, um so die Versorgungs- sicherheit und die Unterschiede im Verbrauch zwischen Sommer und Winter sicherzustellen.

A: Höhenfestpunktriss (SGW)



B: Nivellement (Kr. Borken)

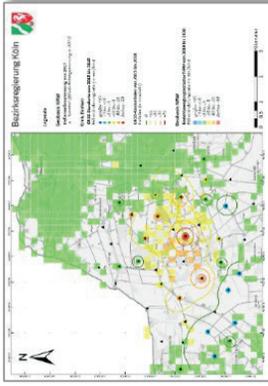


C: Bodenbewegungsdienste

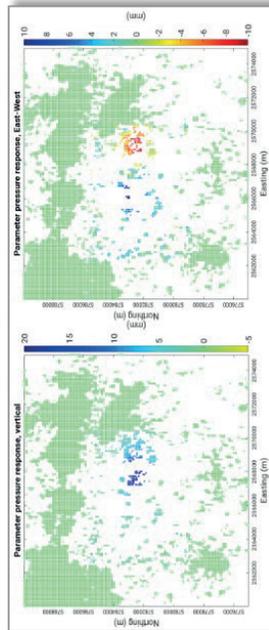


- BBD (D)
- EGMS (EU)
- Bodemalingskaart (NL)

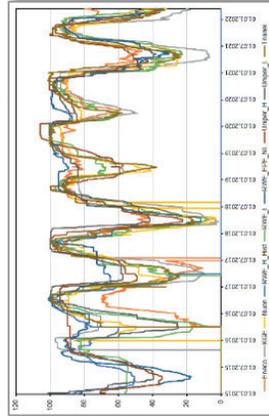
D: GNSS-Messung (NRW)



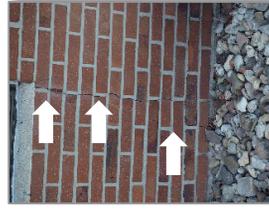
E: Bodenbewegungen (Forschung)



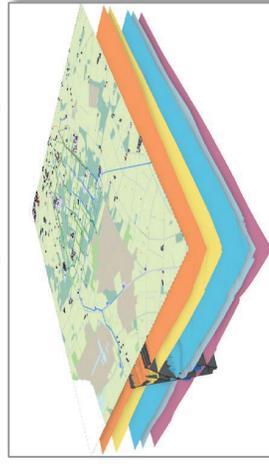
F: Füllstände von Speichern



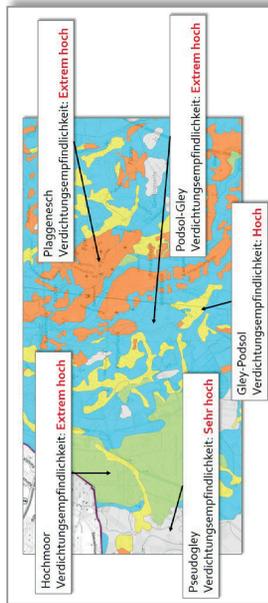
G: Gebäude



H: 3D-Untergrundanalyse



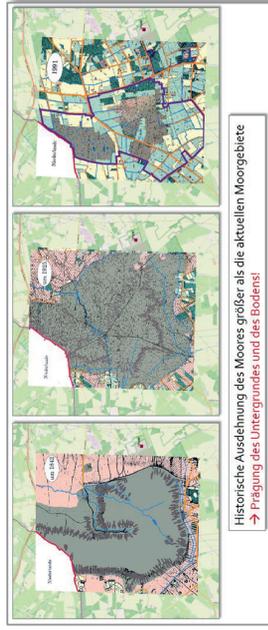
I: Bodentypen und Setzungen



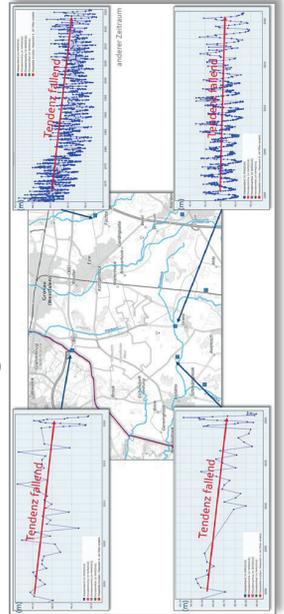
J: Setzungsempfindlichkeit



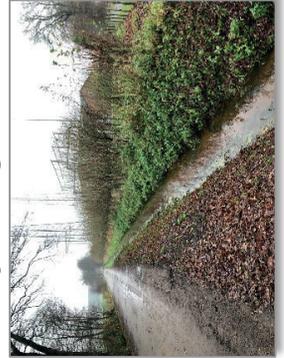
K: Ausbreitung des Mooregebietes



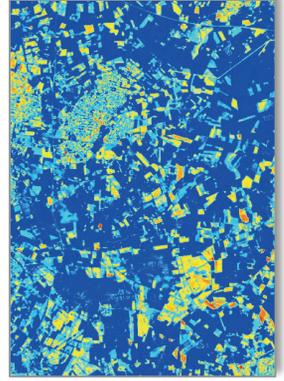
L: Schwankungen des Grundwassers



M: Hydrologie



N: Bodenfeuchte



O: Hochwasseranalysen



Abb. 6: Darstellung der Ergebnisse der Geodatenfusion (AGSI+ 2023; SGW 2018; ELWAS 2023; Geobasis NRW 2023; SUBI 2023; Theis 2020; EO Browser 2022; Biolog. Station Zwillbrock 2010; Haske, B. u.a. 2022)

Der zweite Befahrungspunkt stellt das Senkungsmaximum im Kavernenfeld dar. Nach über 46 Jahren Betrieb ist es an dieser Stelle zu etwa -85 cm Bodenbewegung (Stand 2018) gekommen (SGW 2018). Somit ergibt sich eine gemittelte Bodenbewegung von 2 cm/Jahr, die damit deutlich langsamer und gleichmäßiger ist als Bodenbewegungen in anderen Bergbaugebieten (bspw. ehemalige Steinkohlenförderung im Ruhrgebiet mit bis zu 2 cm/Tag). Der Exkursionshaltepunkt zeigt, dass es zu keiner sichtbaren Ausbildung einer Muldenstruktur mit Zerrungs- und Pressungsrisse in den umliegenden Straßendecken gekommen ist. Der im Senkungsmaximum angetroffene kleine Vorfluter zeigte ein normales Abflussverhalten nach Norden in Richtung Dinkel.

Ergebnisse

Aufgrund dieses Zusammenspiels der unterschiedlichen Komponenten der Bodenbewegung wurden in der Forschungskooperation Epe die verfügbaren, öffentlichen Geodaten als Zeitreihe ausgewertet und fast monatliche Befahrungen durchgeführt. Sämtliche Daten wurden in einem geographischen Informationssystem (GIS) umgesetzt. Somit wurden in einem ersten Schritt auf Basis des Höhenfestpunktrisses alle verfügbaren geodätischen Datensätze zusammengeführt und bewertet (Abb. 6, A–E). Neben der Auswertung der Füllstände des Untergrundspeichers wurde eine bergschadenkundliche Befahrung durchgeführt, um die Effekte an der Tagesoberfläche zu verstehen (Abb. 6, F u. G). Für die ausgewählten Objekte wurde eine Dokumentation und Einschätzung der Bodenbewegungen sowie der Interaktion mit der Gebäudeinfrastruktur vorgenommen. Die drei Objekte sind durch die BI-K ausgewählt worden: Einerseits ein Gebäudekomplex im Senkungsmaximum, zweitens ein Gebäude im Senkungsrandbereich, an der 10 cm Senkungslinie und drittens ein Gebäude im Senkungsrandbereich, aber im Auenbereich des großen Vorfluters Dinkel (Abb. 7). Zusätzlich wurde ein einfaches Untergrundmodell aufgebaut, um den

Einfluss der Kavernen, der tieferen geologischen Schichten und der Tektonik auf die Tagesoberfläche bewerten zu können (Abb. 6, H). In der weiteren raumzeitlichen Auswertung wurden die Ergebnisse zu den Deckschichten insbesondere auf Ausbreitung des ehemaligen Mooregebietes, Bodentypen, Bodeneigenschaften und zur Hydro-(geo-)logie sowie Bodenfeuchte ausgewertet (Abb. 6, I–N). Auch erfolgte eine Bewertung der verfügbaren Geodaten zu Hochwasserereignissen (Abb. 6, O).

Die Auswertung der verfügbaren, öffentlichen Geodaten zeigte, dass es im Bereich des Kavernenfeldes Epe zu einer Überlagerung verschiedener Einwirkungen kommt, die eine Bodenbewegung auslösen können. In diesem Zusammenhang spielen auch die Auswirkungen des Klimawandels eine wichtige Rolle. Die Auslöser von Bodenbewegungen und möglichen Schäden an Gebäuden sind:

1. der unterirdische Kavernenbetrieb,
2. die räumliche Ausdehnung der ehemaligen Moore und organischen Böden sowie die landwirtschaftliche Nutzung,
3. starke Schwankungen des Grundwasserspiegels,
4. ehemalige Auenbereiche entlang von Vorflutern mit Wasserstandsschwankungen,
5. örtlich sehr unterschiedlich entwickelte, verdichtungsempfindliche Böden mit starker Neigung zur Staunässebildung,
6. alte Streusiedlungen mit einem Baualter von teilweise >60 Jahren und einer modernen Aufwertung von Bauwerken und Anbauten.

Die Gesamtauswertung der kartierten geologischen, bodenkundlichen und hydro-(geo-)logischen Verhältnisse zeigte, dass die Bodentypen an der Tagesoberfläche in ihrem Verhalten sehr stark vom Wassergehalt abhängig sind und auch von den bergbaubedingten Bodenbewegungen entkoppelt sind. Die Auswertung der Radar-Fernerkundungsdaten lieferte erstmals eine räumliche Auswertung der Bodenbewegung für das Kavernenfeld für den Zeitraum 17.1.2016 bis 26.12.2021. Diese Auswertung

(Abb. 7) stellt eine deutliche Erweiterung der bereits verfügbaren, öffentlichen Bodenbewegungsdaten dar.

Die Bodenbewegungen zeigen im Wesentlichen die für einen Kavernenspeicher typische, treppenförmige Bodenbewegung (Abbildung 8, A1, A2). Dabei handelt es sich um die Absenkung während des Zeitraums der Erdgasentnahme im Herbst/Winter und die Verlangsamung der Absenkung während des Zeitraums der Erdgaseinspeicherung im Frühjahr/Sommer. In den Sommerperioden 2017 und 2018 ist die treppenförmige Struktur nicht so deutlich, und die Bodenbewegung ist kontinuierlicher (Abb. 4). Die Korrelation mit den Bodenkarten und Klimadaten zeigt hier eine direkte Abhängigkeit (Abb. 8, B1, B2).

Die Abb. 8 zeigt auch, dass eine Vorhersage der Bodenbewegung und damit die Konstruktion eines Modells schwierig ist, da eine Vielzahl von unbekanntem Faktoren einen Einfluss haben. So spielen z.B. die Betriebsweisen (Tagesgänge, Füllstände, Drücke) und gleichzeitig auch die Veränderungen in verdichtungsempfindlichen Böden und im Grundwasser eine Rolle.

Die Integration der dokumentierten Bodenbewegungen in die Niederschlagsdaten zeigt, dass es sich um niederschlagsarme Perioden (Sommer 2018, 2019) handelt, die zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels führten (Abb. 8).

Zusammenfassung

Die Gewinnung von Sole und die unterirdische Speicherung von Gasen stellen einen Eingriff in die Natur und die Umwelt dar und haben somit direkte Auswirkungen auf die Umweltbedingungen und deren öffentliche Wahrnehmung. Die Untertagebetriebe wie der Bohrlochbergbau stellen in diesem Zusammenhang einen Sonderfall dar, da die Prozesse unter Tage stattfinden und daher nicht direkt sichtbar sind. Lediglich die Auswirkungen an der Oberfläche, z.B. Bodenbewegungen, stellen eine sichtbare Auswirkung dar, da hier

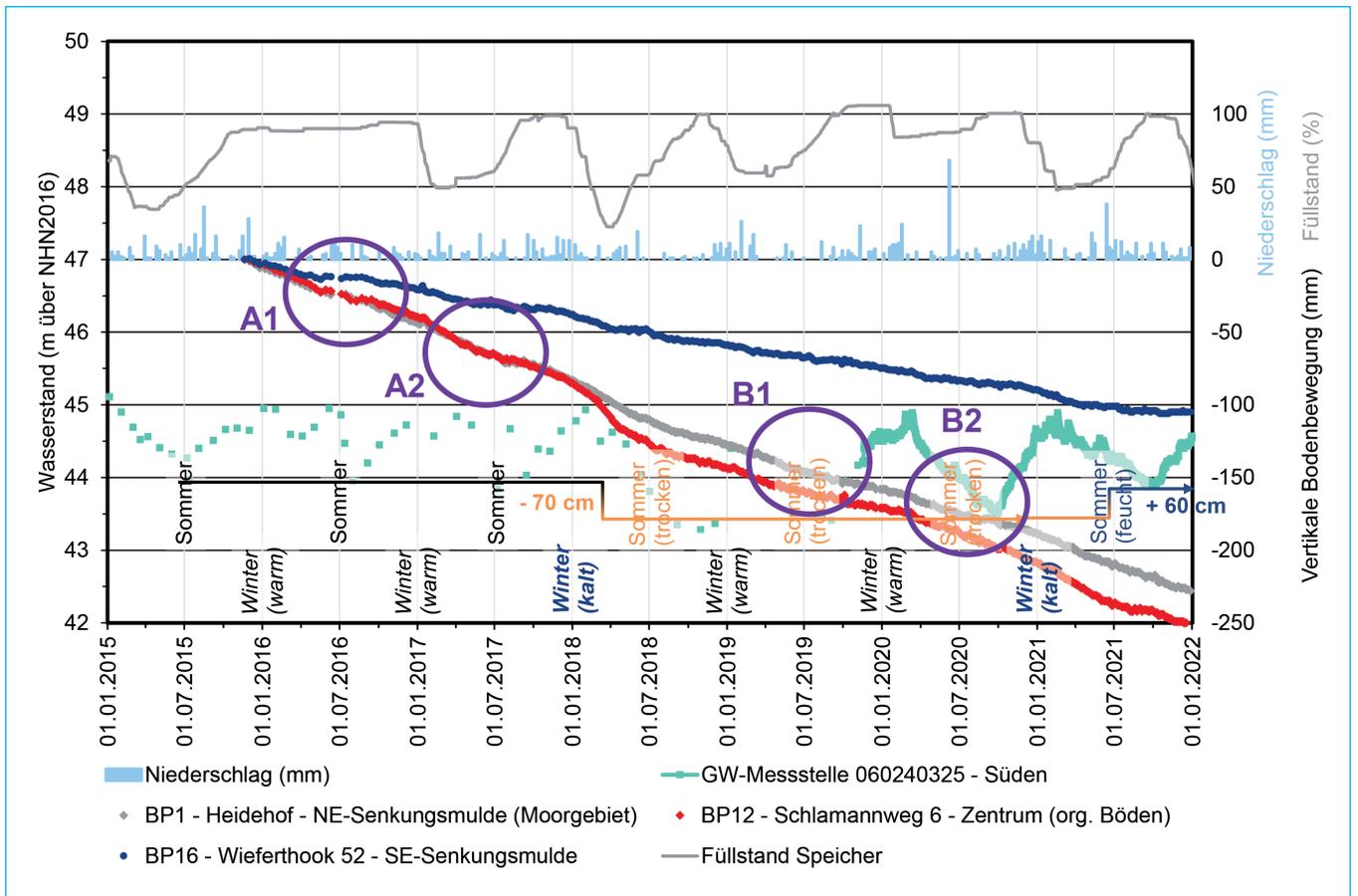


Abb. 8: Plot der vertikalen Bodenbewegung an ausgewählten Punkten im Kavernenfeld im Vergleich zu einer Grundwasserganglinie (Standorte siehe Abbildung 2) (ELWAS 2023).

vorliegt. Ein Teil des Kavernenfeldes ist mit einer Moorfläche und Böden mit hohem organischen Anteil bedeckt. Die Böden sind daher sehr empfindlich gegenüber Verdichtungen. Zugleich ist der Abstand zum Grundwasserspiegel sehr gering. Das führt zu einer Beeinflussung der Bodenbewegung.

Die Forschungskoooperation Epe mit seinen Partnern stellt im deutschen Bergbau ein modernes und innovatives Format zur Vertrauensbildung dar. Nur durch die direkte und offene sowie wissenschaftlich-neutrale Zusammenarbeit konnte hier ein vertieftes Verständnis bei allen Beteiligten im Bereich des Bohrlochbergbaus am Kavernenstandort Epe erzielt werden. Diese Fusion der markscheiderischen Überwachung, der Nutzung der Radarinterferometrie, von Geodaten und Erfahrungen hin zu einem integrierten Geo- und Umweltmonitoring konnte den Prozess der Bodenbewegung am Kaver-

nenstandort Epe erklärbar machen. Die Komplexität und die Herangehensweise an die Bearbeitung zeigen, dass eine zukünftige Weiterführung der Fragestellungen auch an anderen Standorten, an denen Georessourcen bereitgestellt werden, für die Entwicklung der gesellschaftlichen Betreiberverantwortung notwendig ist.

Danksagung

Das Autorenteam dankt der Stadt Gronau, hier insbesondere dem Bürgermeister Herrn Rainer Doetkotte, dem Stadtbaurat Herrn Ralf Groß-Holtick und den weiteren Mitarbeitenden in der Verwaltung und im Rat für die Unterstützung und den fachlichen Austausch. Der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 6, Bergbau und Energie in NRW, der Bezirksregierung Köln, GeoBasis NRW sowie dem Kreis Borken – FB62 Geoinformation und Liegenschaftskataster sei für die Begleitung im Prozess gedankt. Dem Vorsitzenden des

Ausschusses für Mobilität, Umwelt und Klimaschutz im Rat der Stadt Gronau, Herrn Josef Krefter, und dem stellvertretenden Vorsitzenden, Herrn Wolfgang Rövekamp sei für die Zusammenarbeit im Lenkungsausschuss gedankt. Ein besonderer Dank gilt Herrn Markscheider Stefan Meyer von der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH für den fachlichen Austausch, die Bereitstellung von Datensätzen und die Befahrung der Anlage. Den verschiedenen Betreibern der Gasspeicher im Kavernenfeld und ihren Mitgliedern in der Betreiberrunde sei ebenfalls für die vielfältigen Diskussionen gedankt. Insbesondere gilt hier der Dank Herrn Jost Müller und seinen Kollegen und Kolleginnen von Uniper Energy Storage GmbH für die Möglichkeit der Befahrung der Kavernenanlage.

Interessenerklärung

Die Autoren erklären, dass sie keine konkurrierenden Interessen haben.

Literatur

- WITTKAMPF, P. (2014): „Salzbergbau sowie Öl- und Gasspeicher im westlichen Münsterland,“ Westfalen Regional, p. 2
- ZIEGLER, P. A. (1990) (Hg.): Geological Atlas of Western and Central Europe, 2. Auflage, Den Haag: Shell, p. 239
- HILDEN, H. (1995): Geologie im Münsterland, Krefeld: Geologischer Dienst NRW
- AGSI+ (2023): Aggregated Gas Storage Inventory – Remit Storage Data. Online: <https://agsi.gie.eu/#/> [Zugriff am 20.3.2023]
- SGW (2018): Salzbergwerk Epe / Untertagespeicher – Bodenbewegungsrisso Gesamtsenkung 1972–2018. Karte im Maßstab 1:10.000. Gronau-Epe
- RAT DER STADT GRONAU, 72. RATSSITZUNG (2023): Online: <https://gronau.ratsinfoma->

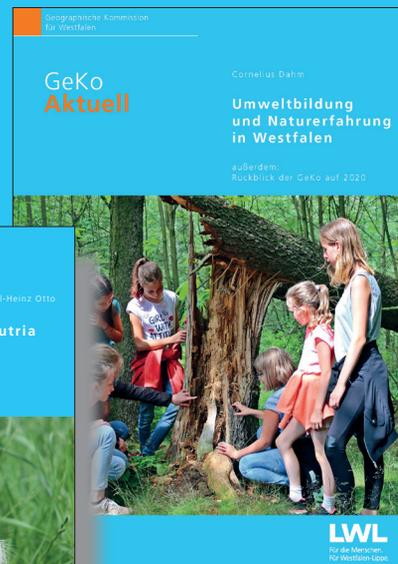
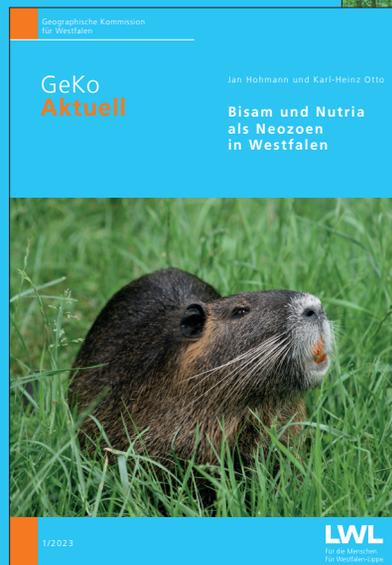
[nagement.net/tops/?__=UGhVM0hpd2NXNfFcExjZXWoAEFGHzy81QgR412T2Yc](https://gronau.ratsinfomanagement.net/tops/?__=UGhVM0hpd2NXNfFcExjZXWoAEFGHzy81QgR412T2Yc). [Zugriff am 20.3.2023]

- ELWAS, FACHINFORMATIONSSYSTEM FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFTSVERWALTUNG (2023): Online: <https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.xhtml> [Zugriff am 20.3.2023]
- GEOBASIS NRW (2023): Webservice Geodaten NRW. Online: <https://www.geoportal.nrw/>. [Zugriff am 20.3.2023]
- SUBI Safety of Underground Gas Storage Sites - Sicherheit von Untertagespeichern bei zyklischer Belastung (2022): Funktionalität, Integrität und Überwachung von Speichern und Bohrungen. Online: <https://www.subi-ugs.de/index.php> [Zugriff am 3.1.2023]
- THEIS, K.-P. (2020): Bodenbewegung im Bereich der SGW in Gronau Epe. Ausschuss für Verkehr, Energie und, Tier-schutz der Stadt Gronau 2020. Online: https://gronau.ratsinfomanagement.net/tops/?__=UGhVM0hpd2NXNfFcExjZX-c0a0x5EAoMcl7Mb_AOOg [Zugriff am 3.1.2023]
- EO BROWSER SENTINEL HUB (2022): Online: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

[Zugriff am 3.1.2023]

- BIOLOGISCHE STATION ZWILLBROCK (2010): „Schutz für Moor und Heide – Die Naturschutzgebiete Amtsvenn und Hünfelder Moor. Online: <https://www.bsZWILLbrock.de/fileadmin/dateiverzeichnis/wir/publikationen/amtsvennflyer.pdf> [Zugriff am 17.3.2010]
- B. HASKE, T. RUDOLPH, B. BERNSDORF UND J. BENNDORF (2022): Sustainability in Energy Storage - How Modern Geoscience Concepts can Improve Underground Storage Monitoring,“ Int J Earth Environ Sci, Bd. 199
- ESA Copernicus Open Access Hub (2023): Online: <https://scihub.copernicus.eu/> [Zugriff am 20.3.2023]
- GEOBASIS NRW (2023): Produkte und Dienstleistungen. Online: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/wir-ueber-uns/index.html [Zugriff am 20.3.2023]

GeKo Aktuell



kostenfrei unter
geko@lwl.org

Im Mittelpunkt der Untersuchungen der Geographischen Kommission für Westfalen stehen die Region Westfalen und ihre Teilregionen mit ihren typischen oder auch individuellen Eigenschaften, ihrer natur- und kulturräumlichen Vielfalt. Forschungsschwerpunkte sind Landesnatur, Ökologie und Umweltschutz, regenerative Energien, Siedlung, Kultur, Wirtschaft, Verkehr und Tourismus.

www.geographische-kommission.lwl.org
www.facebook.com/geographische.kommission
www.westfalen-regional.de
www.webgis-westfalen.de
www.instagram.com/leben.in.westfalen

GeKo Aktuell

Herausgeber: Geographische Kommission für Westfalen
Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL)
ISSN 1869-4861