

# In-situ-Verfahren zur nichtinvasiven Ermittlung des Porenanteils $n$ in setzungsfließgefährdeten Kippen –

## „IDENT-PORE“

(Poster-Nr.: GE-P.02)

Wondrak, J.<sup>1</sup>, Schicht, EurGeol. Th.<sup>1</sup>, Rücker, Dr. C.<sup>2</sup>, Branka, D.<sup>2</sup>, Börner, Prof. F.<sup>2</sup>, Bergmann, Chr.<sup>3</sup>, Werner, A.<sup>3</sup>, Katzenbach, Prof.-Dr.-Ing. R.<sup>3</sup>, Reinhardt, K.<sup>4</sup>, Sommer, B.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen; <sup>2</sup>Technische Universität Berlin, Berlin; <sup>3</sup>Ingenieursozietät Prof.-Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, Darmstadt; <sup>4</sup>BIUG Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH, Freiburg

Kontakt: carsten.ruecker@tu-berlin.de; julia.wondrak@k-utec.de

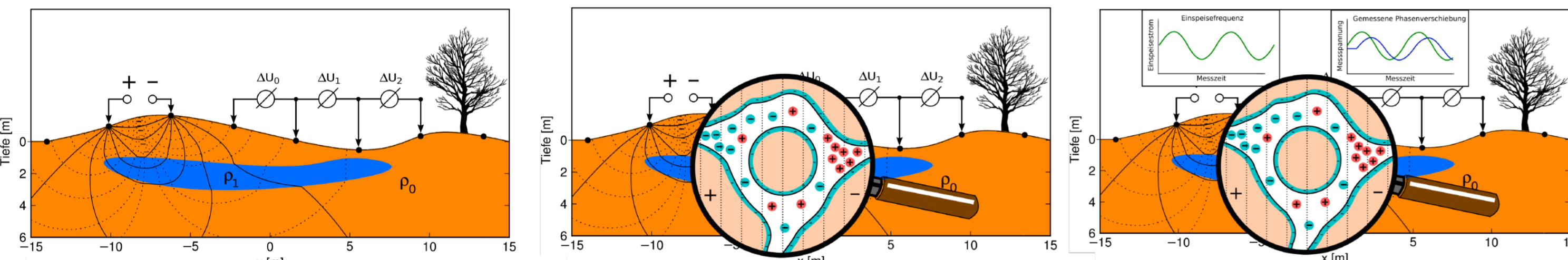


In stillgelegten Braunkohletagebauen kommt es infolge von Grundwasseranstiegen vermehrt zu großflächigen Standsicherheitsproblemen im Bereich der Abraumkippe. Die anthropogenen Ablagerungen sind teilweise locker gelagert und unzureichend konsolidiert. Im Rahmen der Sanierung werden Restlöcher geflutet, wodurch der Grundwasserspiegel im Umkreis stark ansteigt, eine Aufsättigung dieser Bereiche stattfindet und folglich zur Bodenverflüssigung führt. Ergebnis dieser Verflüssigungen sind spontane Massenbewegungen und die Zerstörung großer Nutzflächen.

Das Gesamtziel des FuE-Projektes besteht in der Entwicklung eines Verfahrens zur flächenhaften Quantifizierung des Porenanteils in setzungsfließgefährdeten Kippen, die im selben Zuge praxistauglich ist. Mit Messungen der Porosität mit dem SIP-Verfahren vor und nach einer Verdichtungsmaßnahme soll in situ eine flächenhafte Bestimmung der tatsächlichen Verdichtungsentwicklung und folglich eine Erfolgskontrolle möglich sein.

### Methodik und Prinzip SIP

Das Verfahren der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) ist ein innovatives, nichtinvasives Messverfahren, welches Informationen über die Art, die Struktur und den Zustand des Untergrundes sowie die Lagerungsdichte des Materials liefert. Die SIP bestimmt die komplexe elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes, die wiederum den Stromfluss und die Form des elektrischen Feldes bestimmt. Über verteilte Spannungsdipole wird das elektrische Feld vermessen. An Porenhälsen kommt es zum Stau (Ladungskonzentration) und beeinflusst so die Mobilität der Ladungsträger. Infolge der Konzentrationserhöhung wird ein elektrisches Gegenfeld induziert. Es kommt zur Signalverzerrung in der Zeitbereichsmessung und zur frequenzabhängigen Phasenverschiebung im Frequenzbereich.



Zusätzlich wird an der TU Berlin eine Messzelle entwickelt, mit der Proben aus Seese-Ost, Sandproben mit definierten Korngrößenverteilungen und den Darmstädter Modellsand im Labor untersucht, ausgewertet und mit den Ereignissen aus den Feldmessungen verglichen werden können.

### Methodik und Prinzip Tauchwellentomographie

Um eine Referenz zu erhalten, kam neben dem Messverfahren der SIP die Tauchwellentomographie zum Einsatz. Die seismische Tauchwellentomographie eignet sich sehr gut, um die Verdichtung von Kippenflächen nachzuweisen. Sie wurde im Auftrag der LMBV wissenschaftlich erforscht und ist in dem Bericht „Flächenhafte Ermittlung der Verdichtung stabilisierter Kippen und Kippenböschungen“ [U1] ausführlich beschrieben.

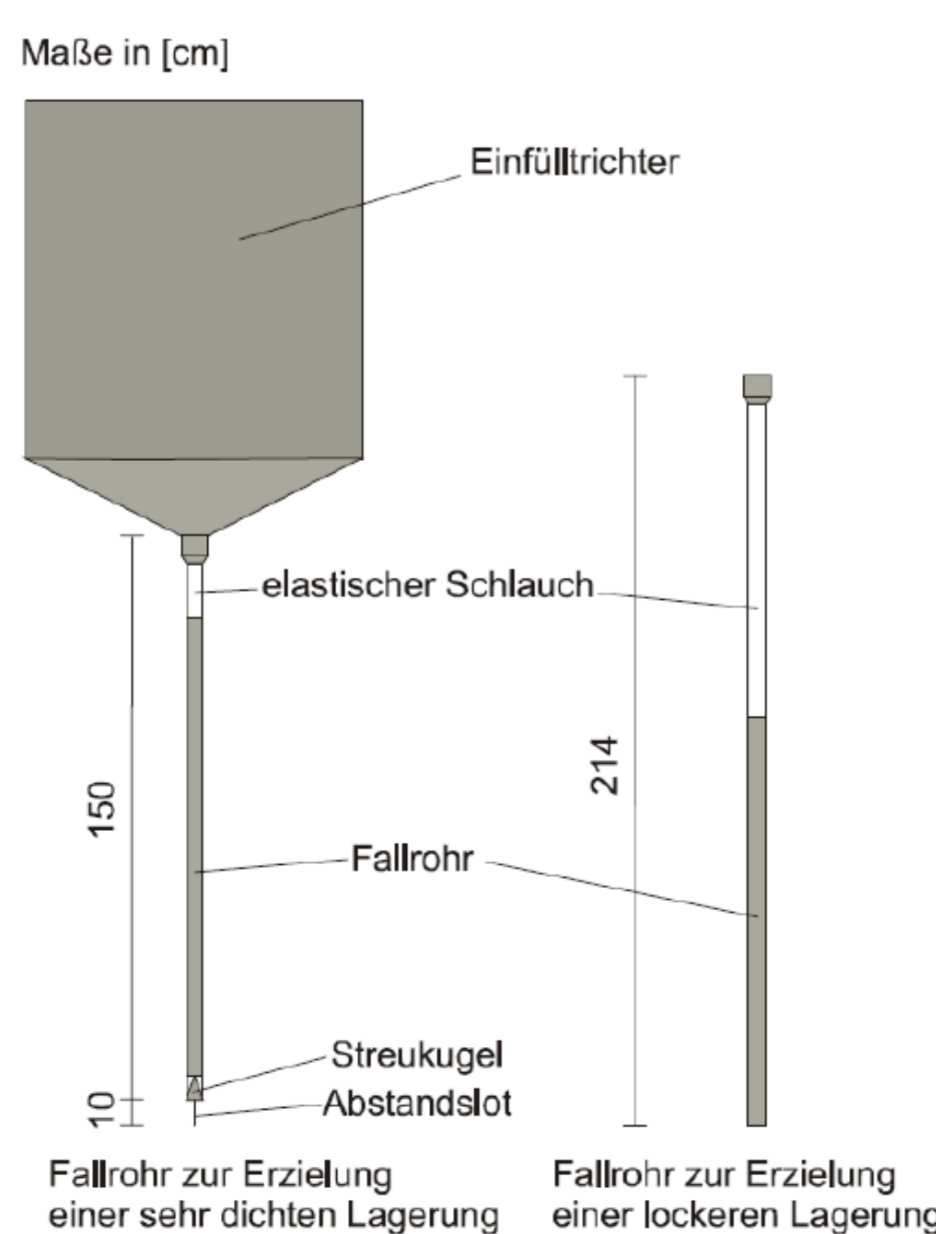
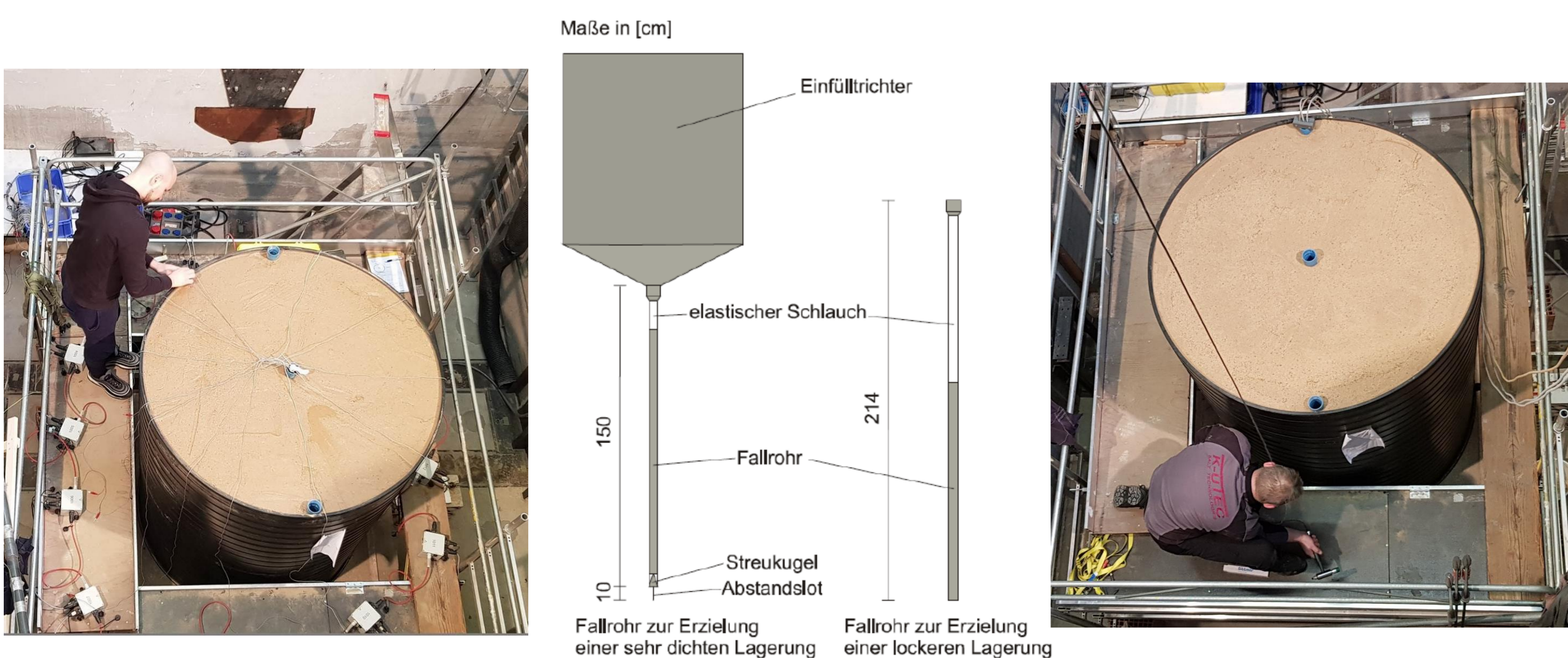
Für die Energieanregung wurde das Fallgewicht vom Typ EWG III benutzt, das auf einem Traktor montiert ist. Das Fallgewicht hat eine Masse von 240 kg und wird auf eine 60 x 60 cm große Stahlplatte beschleunigt fallengelassen. Die Fallhöhe beträgt 60 cm, kann aber durch das Einsinken infolge mehrmaligen Schlagens (Energistapelung) leicht variieren.

Der Anregungs- und Geophonpunktstand belief sich auf 4 m innerhalb und außerhalb der Profile, wobei die Energieanregung neben den jeweiligen Geophonpunkten stattfand. Das seismische Verfahren erlaubt eine gesicherte Aussage des Untergrundes in einer Tiefe zwischen 5 – 10 m zur Scherwellengeschwindigkeit. Aufgrund der petrophysikalischen Verhältnissen wurden primär die Scherwellen für die Auswertung genutzt. Die Auswertung der P-Wellen ist in Bearbeitung.

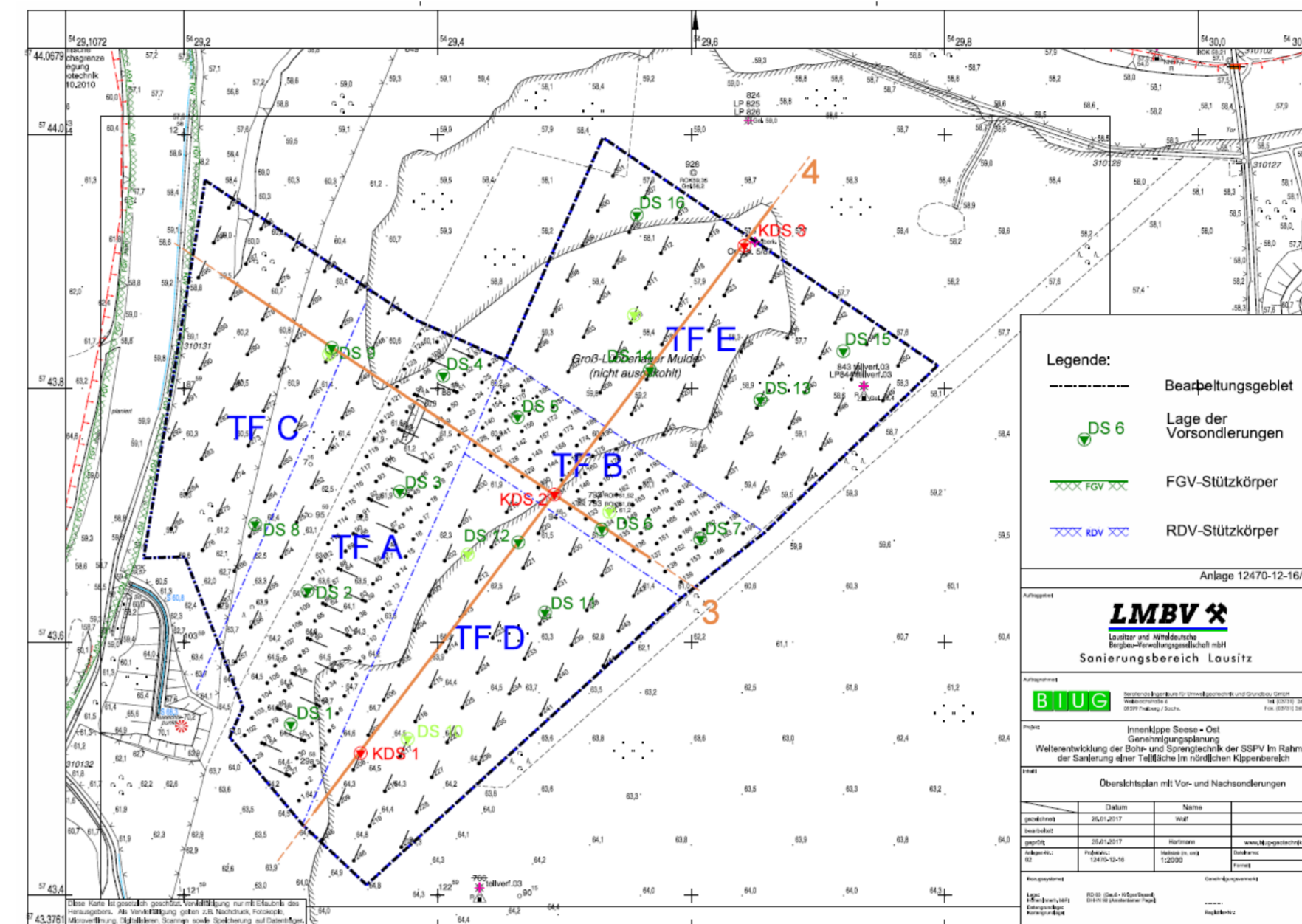


### Großversuch Darmstadt

Zwischen Dezember 2018 und Februar 2019 fanden in der Versuchsanstalt der TU Darmstadt seismische und geoelektrische (SIP) Versuchsmessungen mit unterschiedlichen Lagerungen (locker, mittel, dicht und geschichtet) statt. Der Versuchsaufbau besteht aus einem 2 m hohen PE-Wickelrohr mit einem Durchmesser von 1,5 m. In diesem wurden 3 Filterrohre eingebaut und die Messapparaturen eingelassen. Als seismische Quelle kam ein Impulshammer zum Einsatz. Die Aufnehmer waren in 3 Kombi-Sonden eingebaute 3D-Beschleunigungsaufnehmer, die zusätzlich Luftdruck- und Porenwasserdruckwerte aufzeichneten.



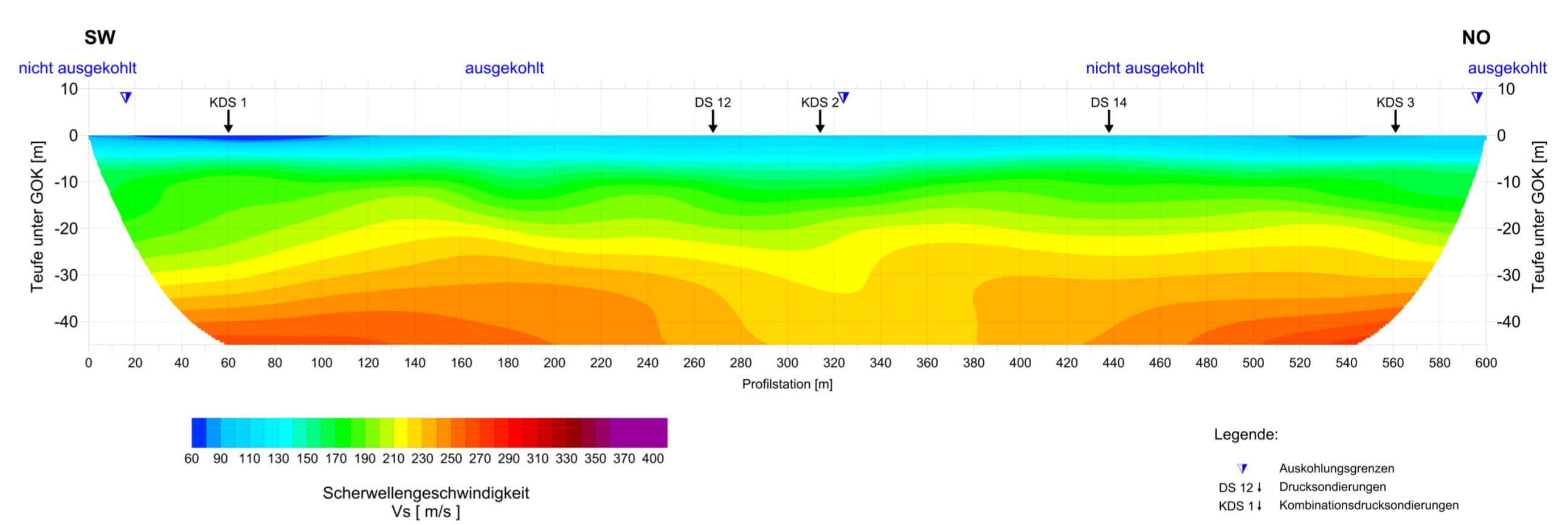
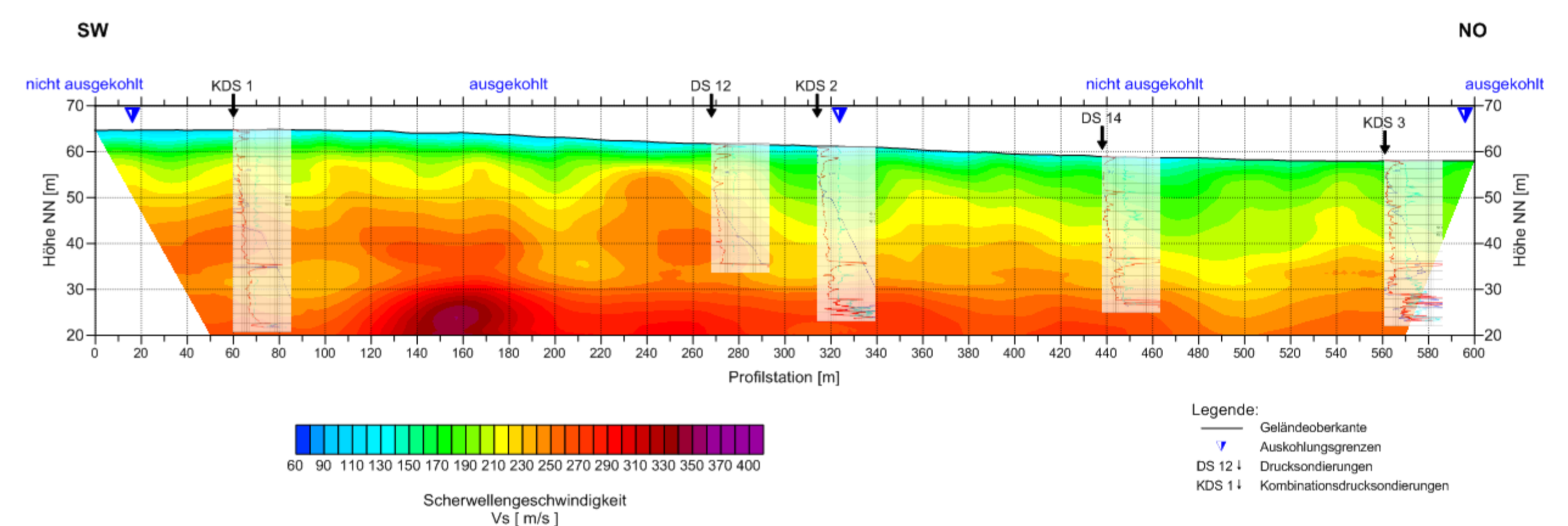
### Ergebnisse Feldmessung SIP und Tauchwellentomographie



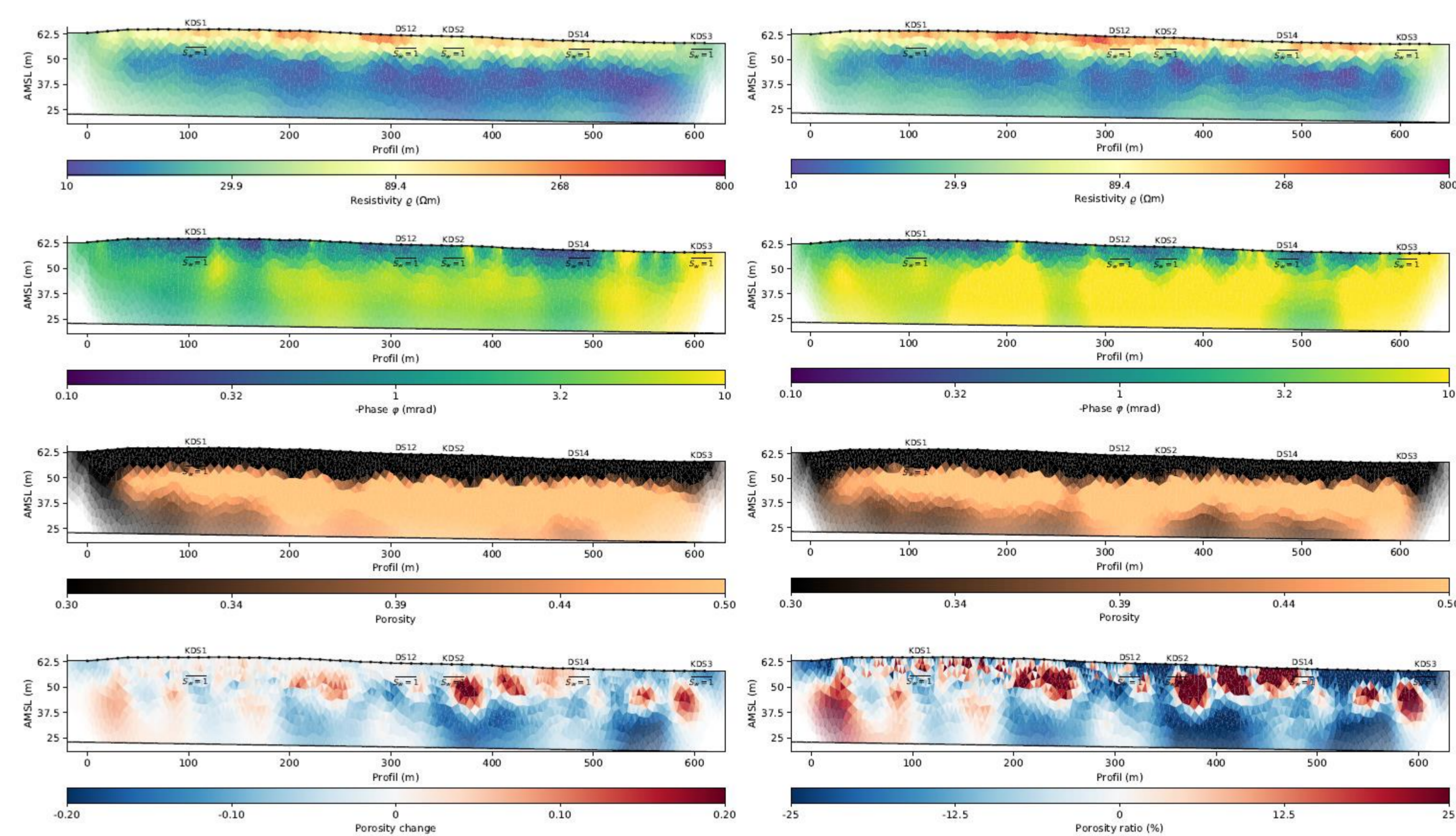
Die hier präsentierten Ergebnisse ergaben sich aus den Feldmessung auf dem Nullprofil 4 in der Bergbaufolgelandschaft Seese-Ost. Das Nullprofil 4 hat eine Länge von 600 m.

Die dargestellten Messergebnisse sind vorläufige Resultate und wurden noch keiner Topografiekorrektur unterzogen. Zwischen den Vor- und Nachmessungen wurde eine Liegezeit der Sprengflächen eingehalten.

### Vorläufiges Ergebnis der Tauchwellentomographie ohne Topografiekorrektur



### Vorläufiges Ergebnis der SIP-Messung ohne Topografiekorrektur



### Ausblick

Nach der Beendigung der Messungen im Großversuch (Darmstadt) werden die gewonnenen Ergebnisse mit denen aus dem Feld und im Labor verglichen. Die Auswertung der seismischen Nacherkundung in Nachterstedt sowie der SIP-Daten von Seese-Ost sind noch in Bearbeitung. Am Ende der Projektlaufzeit entwickeln die Projektpartner eine Toolbox, die als Handwerkszeug für spätere Einsätze dient und typische geotechnische Parameter (u.a. Porosität, Dichte, Sättigungszahl) vereint, die für den Verdichtungsnachweis und die Erfolgskontrolle wichtig und auf andere Kippenflächen anwendbar sind.

[U1] Glockel, Klapperich, Förster, Schreyer, Friedrich: Flächenhafte Ermittlung der Verdichtung stabilisierter Kippen und Kippenböschungen, Juni 2002