

Standortcharakterisierung für Dammbauwerke und in situ-Versuchsanordnungen in leichtlöslichen Salzformationen mittels nicht invasiver geophysikalischer Verfahren

Th. Fliß, A. Gessert, Th. Schicht

Kali-Umwelttechnik GmbH, Sondershausen

Zusammenfassung

Zur Sicherung und Verwahrung von Kaligruben werden in bestimmten Fällen Dammbauwerke zur Streckenabdichtung in leichtlöslichen Salzgesteinen wie beispielsweise Carnallit erforderlich. In besonderen Fällen kann der Carnallit die Mineralkomponenten Tachydrit und Kieserit nebeneinander vorliegend enthalten. Für Tachydrit und Kieserit existiert geochemisch keine Gleichgewichtslösung. Weiterhin ist die Genese dieser speziellen Mineralvergesellschaftung nach derzeitigem Kenntnisstand nicht erklärbar. Im FuE-Vorhaben „Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV“¹⁾ gefördert durch Mittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung werden gegenwärtig Möglichkeiten zur Streckenabdichtung unter diesen sehr schwierigen Bedingungen untersucht. Ein wesentlicher Teil der bisherigen Arbeiten beinhaltete die Charakterisierung des Wirtsgesteins sowie erste Untersuchungen zu Transportmechanismen von definierten Salzlösungen. Im folgenden Artikel werden geophysikalische Untersuchungen beschrieben, mit denen die Bestimmung der Tiefenreichweite der deutlich durchfeuchteten konturnahen Zone um die Streckenauffahrung sowie eine Überwachung von Laugeninjektionsversuchen möglich ist. Es werden Ergebnisse von Georadar und Geoelektrik vorgestellt.

¹⁾ Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02C0942 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

1 Einführung

Bei der Sicherung und Verwahrung von Kaligruben ist in bestimmten Fällen die Errichtung von Dammbauwerken in leichtlöslichen Salzgesteinen wie beispielsweise Carnallit notwendig. Carnallit stellt als leicht lösliches Salzgestein besondere Anforderung an die prinzipielle Wirkungsweise und die Konzeption des Dichtungsbauwerkes. In Sonderfällen kann das Salzgestein Carnallit zusätzlich die Minerale Tachydrit und Kieserit als extrem leicht lösliche Mineralkomponenten aufweisen. Für die Mineralkomponenten Tachydrit und Kieserit gibt es geochemisch keine Gleichgewichtslösung. Weiterhin ist die Genese dieser speziellen Mineralvergesellschaftung nicht geklärt. Die Errichtung von Dammbauwerken als Streckendichtung mit Langzeitfunktion in diesem Wirtsgestein stellt daher gegenüber den Bauwerken in weniger sensiblen Salzformationen zusätzliche besondere Anforderungen hinsichtlich folgender Aspekte:

- Beaufschlagung der Dichtung mit einer exakt definierten Salzlösung um Umläufigkeiten infolge von Auflösungsprozessen in der Gebirgskontur zu vermeiden bzw. zu minimieren,
- Charakterisierung der Standorte mittels nicht invasiver Verfahren und Einbau der Dichtungskomponenten ohne größere Schädigung des Wirtsgesteins durch Lösevorgänge bzw. thermische Beeinflussungen infolge des Baustoffeinbaus.

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Abschlussbauwerke (Streckendämme) im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) in UTD und UTV“ erfolgte eine umfangreiche Erkundung und Charakterisierung der konturnahen aufgelockerten und durchfeuchteten Zone einer Streckenauffahrung im Carnallit mit hohen Gehalten an Kieserit und Tachydit.

Die Forschungsarbeiten fanden an einem Versuchsort im Bergwerk Teutschenthal der GTS mbH statt. Bei der Versuchsstrecke handelt es sich um eine Maschinenstrecke mit 3 m Durchmesser und einer Standzeit von mehreren Jahrzehnten. Das Bergwerk Teutschenthal befindet sich ca. 20 km westlich von Halle/Saale und wurde bis 1982 aktiv als Gewinnungsbergwerk betrieben. Die bauwürdigen Kalisalze des Staßfurtflözes wurden hier in Tiefen zwischen 600 m und 900 m gewonnen. Gegenwärtig wird die Grube durch Verwertung bergfremder Abfallstoffe verwahrt. In Abbildung 1 ist ein schematischer geologischer Schnitt durch das Ostfeld der Grube Teutschenthal dargestellt.

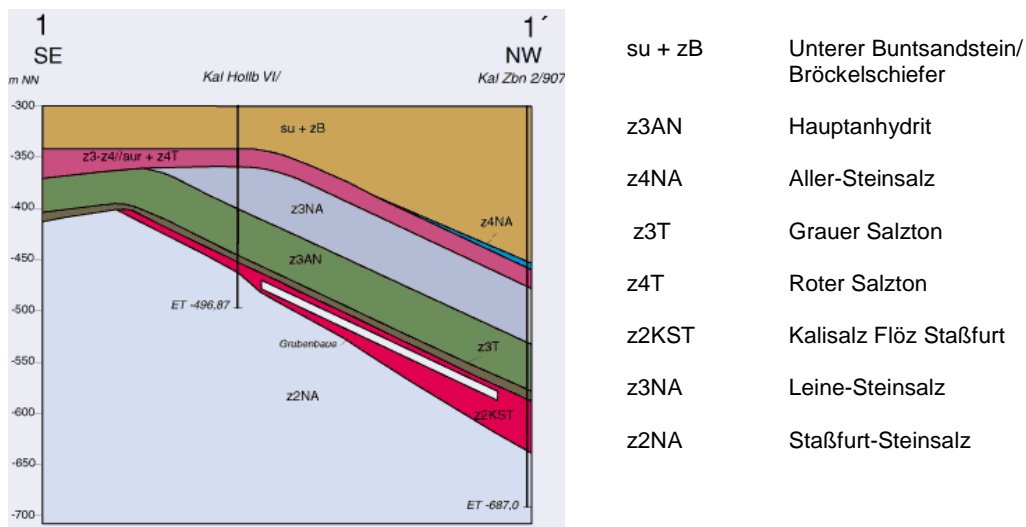


Abbildung 1: Schematischer geologischer Schnitt Ostfeld Grube Teutschenthal (LAGB 2001)

Zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit des Einlagerungsbereiches der Grube Teutschenthal ist es erforderlich, ein Grubenfeld durch laugendichte Streckenabdichtungen vom Versatzbereich zu trennen. Die abzudichtenden Strecken liegen analog dem Versuchsort im Bereich des Mittleren und des Hangenden Lagerteils des Kaliflözes Staßfurt und bilden einen ersten Anwendungsfall für die gewonnenen Forschungsergebnisse.

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens erfolgten durch die Kali-Umwelttechnik GmbH umfangreiche geophysikalische Untersuchungen in Form von Georadaruntersuchungen und Geoelektrikmessungen. Neben den Untersuchungen durch die K-UTEK führte das Institut für Geophysik der Universität Leipzig in Kooperation mit dem Institut für Gebirgsmechanik Leipzig durch (vergleiche dazu JUST ET. AL. 2004).

Auf Grund des großen Umfangs der Untersuchungen, werden in der folgenden Abhandlung ausschließlich Messergebnisse aus zwei Untersuchungsbereichen der K-UTEK am Nord- und am Südstoß beschrieben, die folgende Zielstellungen verfolgten:

- Bestimmung der konturnahen durchfeuchteten Zone um die Streckenauffahrung und
- Überwachung der Ausbreitung definierter Salzlösungen im Wirtsgestein.

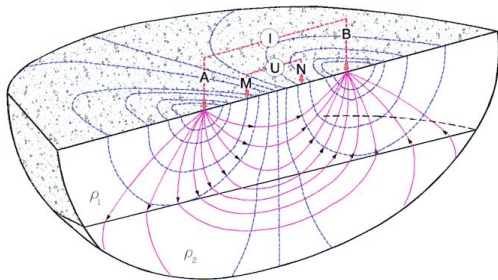
Am Nordstoß erfolgte dabei die Erkundung der durchfeuchteten Zone und die Überwachung eines in situ-Injektionsversuches. Mit der Anordnung am Südstoß wurden die Verhältnisse im Bereich bereits durchgeführter Injektionsversuche erkundet.

Die geophysikalischen Messungen hatten als spezielles Ziel die Bestimmung der Lage und Tiefenerstreckung von Feuchtigkeitszonen im Gestein und die Überwachung der Injektionsversuche ohne größere mechanische Eingriffe in den Untersuchungsbereich. Als Verfahren wurden die 3D-Geoelektrik und das Georadar (GPR) eingesetzt. Um Erkenntnisse über die räumliche Ausbreitung der beeinflussten Zone und den zeitlichen Verlauf der Ausbreitungsfront zu erhalten, wurden die Messungen am Versuchsort in seinem ursprünglichen Zustand sowie im Zustand nach der Injektion mit allen damit verbundenen Veränderungen durchgeführt.

2 Geoelektrische Tomographie

2.1 Verfahrensbeschreibung

Die Methodik der geoelektrischen Widerstandsverfahren besteht darin, dass allgemein die gemessene horizontale bzw. vertikale Verteilung der spezifischen elektrischen Gesteinswiderstände in lithologisch - strukturelle Informationen transformiert werden (Messprinzip siehe Abbildung 2). Diese gestatten eine Analyse des Schichtaufbaus bzw. die Abgrenzung geogen oder anthropogen bedingter Strukturen bzw. Anomaliezonen. In der Regel erfolgt die Interpretation auf der Basis eines Schichtmodells des Untergrundes (wahre spezifische Widerstände), welches mit Hilfe entsprechender Inversionsalgorithmen aus den Messungen (scheinbare spezifische Widerstände) abgeleitet wird. Voraussetzung dafür sind hinreichende Widerstandskontraste zwischen den gegeneinander abzugrenzenden Komplexen.



A, B ... Stromelektroden
M, N ... Spannungssonden
 ρ_1, ρ_2 ... wahre Schichtwiderstände

Abbildung 2: Messprinzip Geoelektrik mit einer Vierpunktanordnung

Als eine Spezialvariante der geoelektrischen Verfahren kombiniert die *Geoelektrische Tomographie* gewissermaßen Tiefensondierung (VES) und Kartierung herkömmlicher Konfigurationen und liefert mit Hilfe moderner 2D-Inversionssoftware einen zweidimensionalen Tiefenschnitt des Untergrundes. Die hohe Informationsdichte gewährleistet insbesondere bei kleinräumiger Variation der Verhältnisse eine höhere Aussagesicherheit.

Die Messung erfolgt mit einem Multielektroden-Spezialmesskabel und einer rechnergesteuerten Geoelektrikapparatur. In diesem Fall wurde die schwedische Apparatur Terrameter SAS 4000 der Firma ABEM mit dem Switchsystem ES10-64 verwendet.

2.2 Messergebnisse

In den Untersuchungsbereichen am Nord- und Südstoß wurden verschiedene Messkonfigurationen angewendet. Verwendet wurden die Dipol-Dipol-, Wenner-, Gradient- und Schlumberger-Konfiguration. Bei der Auswertung erster Ergebnisse wurde festgestellt,

dass die drei letztgenannten weniger sensibel auf die verschiedenen Anomalien reagierten, weshalb bei späteren Messungen lediglich die Dipol-Dipol-Anordnung für die differenzierte Auswertung der Anomalien verwendet wurde.

Zunächst wurde am Südstoß das Profil 3 angelegt. Am Nordstoß wurde das Profil 4 vermessen. Die Profile bestehen aus jeweils 64 Elektroden und haben bei einem Elektrodenabstand von 20 cm eine Länge von je 12,60 m. Die Abbildung 3 zeigt die Geoelektrikanordnung und die Versuchseinrichtung zur Laugeninjektion (Institut für Bergbau, TU Bergakademie Freiberg) im Profil am Nordstoß.



Abbildung 3: Messapparatur am Nordstoß und Vorrichtung zur Laugeninjektion

Das Profil 3 wurde in einem Bereich angelegt, in dem höhere Gehalte Carnallit (etwa 60 %) sowie Kieserit (15 – 20 %) und Halit (15 %) festgestellt wurden. Der Tachyditgehalt in diesem Bereich liegt etwa bei 3 %. Die Eindringtiefe wurde auf 1,35 m begrenzt, da die Einflüsse aus dem Vollraum, die vor allem bei großen Elektrodenabständen (Spacings) auftreten, beschränkt werden sollten. Solche Einflüsse führen zu schwer interpretierbaren Ergebnissen, da die geologischen Formationen inhomogen sind. Bei der hier durchgeführten Messung können die gemessenen Effekte als gering eingestuft werden, da die erhaltenen Anomalien sehr gut zur bekannten Geometrie der Versuchsanordnungen zugeordnet werden konnten.

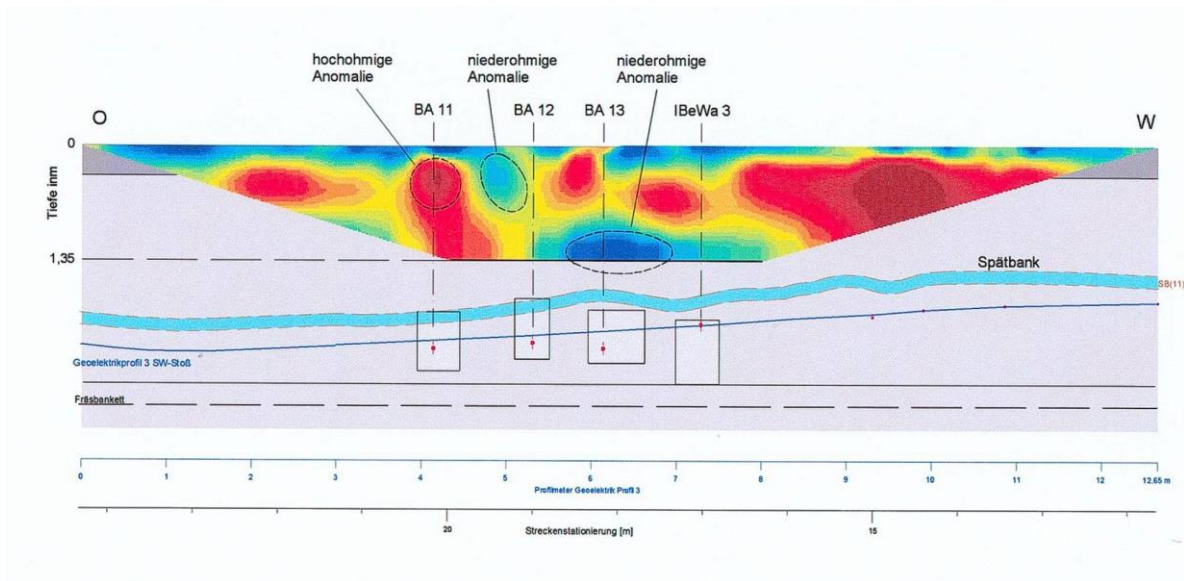


Abbildung 4: Geoelektrikprofil 3 am Südstoß mit den detektierten Anomalien im Bereich der Bohrlöcher (oberer Bildausschnitt), sowie Lage der Bohrlöcher auf dem Stoß (unterer Bildausschnitt)

Mit Profil 3 wurden vier Versuchseinrichtungen (Bohrungen) gequert, die im Messergebnis deutlich als Anomalien erkennbar sind (vergleiche Abbildung 4). Zunächst ist im Bereich des Packers der Bohrung BA11 ein höherohmiger Bereich aufgetreten. Die Ursache dieser Anomalie liegt mutmaßlich in der Verpressung eines so genannten zwei Komponenten Bitumens, welches hier als Isolator fungiert. Die Tiefe der Bohrung BA11 beträgt 0,60 m. In Richtung des Nullpunktes des Profils ist eine niederohmige Zone (Widerstände kleiner als $200 \Omega\text{m}$) vorhanden, bei der es sich um den Bereich handeln könnte, wo sich die in Bohrung BA11 vor der Bitumeninjektion verpresste R-Lösung befindet. Im Bereich der Bohrung BA12 tritt deutlich eine niederohmige Anomalie bis in etwa 0,80 m Tiefe hervor. Die Tiefe der Bohrung BA12 beträgt 0,60 m. In diese Bohrung wurde R-Lösung verpresst. Nach dem Versuchsende wurde die Bohrung mit dem Kaliber 150 mm überbohrt. Bei Bohrung BA13 werden in einer Tiefe von ca. 0,90 m niedrige Widerstände kleiner $100 \Omega\text{m}$ gemessen. Hier befindet sich die Druckkammer dieser Bohrung zur Injektion von CaCl_2 -Lösung. Die Bohrung BA12 wies dabei eine Gesamttiefe von 1,20 m auf. In Folge der CaCl_2 -Injektion wurde mutmaßlich im gesamten Bereich um das Bohrloch tiefste eine niederohmige Anomalie (Abbildung 4) erzeugt, wobei eine bevorzugte Ausbreitung in westlicher Richtung erkennbar wird. Die Widerstände in der konturnahen durchfeuchteten Zone sind mit $<200 \Omega\text{m}$ über das gesamte Profil sehr gering. Die Tiefenerstreckung dieser Zone variiert im vermessenen Profil zwischen etwa 0,2 und 0,4 m.

Das Profil am Nordoststoß (Profil 4) des Versuchsbereiches wurde in Verbindung mit einem Laugeneinpressversuch (Bentonitversuch 2 durchgeführt vom Institut für Bergbau, TU Bergakademie Freiberg) gemessen (siehe Abbildung 5).

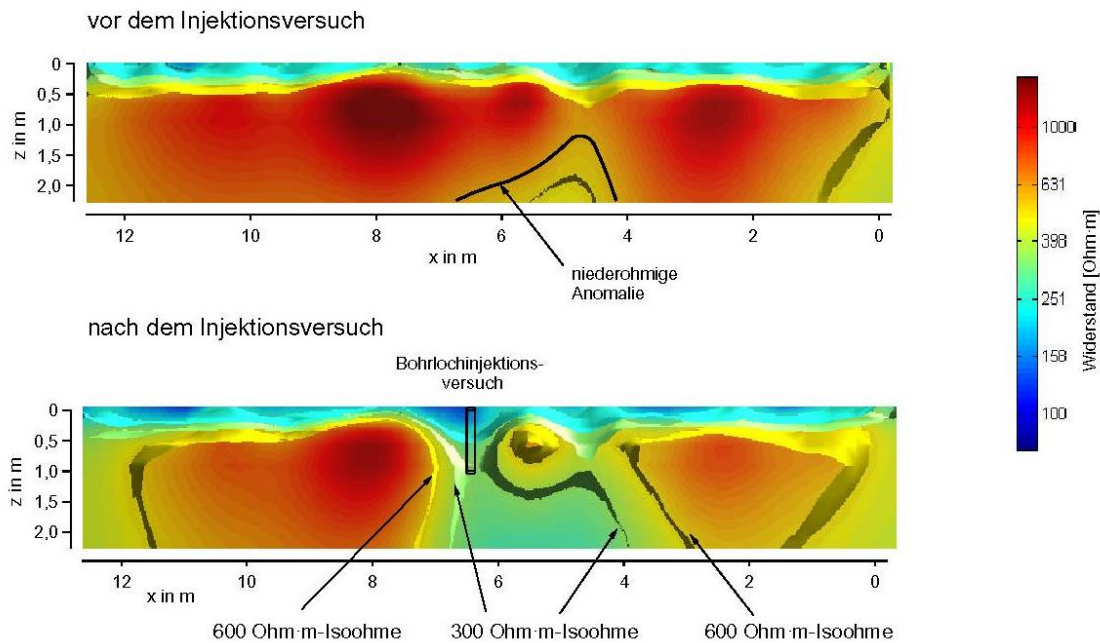


Abbildung 5: 3D-Inversion vor und nach dem Injektionsversuch; Schnittbene Profil 4.1 (Niveau der Injektionsbohrung)

Zunächst wurde eine orientierende Untersuchung zur Festlegung der Versuchsanordnung durchgeführt. Die dabei erkundeten Bereiche einer niederohmigen Anomalie (Abbildung 5, obere Darstellung vor dem Injektionsversuch) führten zu einer Präzisierung des Bohrortes für die Injektionsbohrung. Auf Grund dieser orientierenden Messung wurde die Lage einer Injektionsbohrung für den Bentonitversuch 2 festgelegt. Um die Einflüsse der niederohmigen Anomalie besser erkunden zu können, wurden zwei zusätzliche Profile angelegt. Die zu erwartenden Seiteneffekte (feuchter Sohlenbereich) sollten mit Hilfe einer 3D-Interpretation minimiert werden. Dazu wurden die genannten drei Einzelprofile mit je 64 Elektroden und einem Abstand zwischen 0,2 und 0,4 m voneinander installiert. Die Profile wurden mit einer optimierten Dipol-Dipol-Anordnung vermessen. Danach wurden die Messwerte numerisch mit Hilfe einer 3D-Inversionssoftware invertiert.

Das Ergebnis ist eine Schnittdarstellung (Abbildung 6), bei der die 350 Ω m-Isoohmen (Linien gleichen Widerstands) dargestellt wurden. Dieser Wert wurde als Grenzwert für durchfeuchtete Bereiche angenommen.

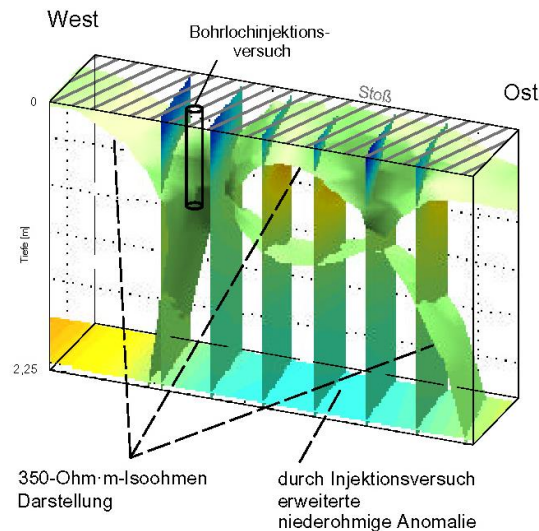


Abbildung 6: 3D-Inversion Profil 4 mit 350 Ω m-Isosohmen und Lage der Versuchsbohrung

Um die Beeinflussung des Gebirges durch die Injektion sichtbar zu machen, wurden Messungen vor und nach dem Versuch durchgeführt. Das Ergebnis der 3D-Inversionen beider Messungen wurde in der Abbildung 6 dargestellt. Die Lage des Bohrlochs ist bei $x = 6,3$ m deutlich zu sehen. Insgesamt wurde der Bereich zwischen Profilmeter $x = 4$ und $x = 7$ durch die Injektion deutlich beeinflusst (durch Injektionsversuch erweiterte niederohmige Anomalie in Abbildung 6). An dieser trichterförmigen Anomalie sind die Widerstände kleiner als 350Ω m. Es ist anzunehmen, dass die Erstreckung des beeinflussten Bereiches über die Erkundungstiefe hinausgeht. Auf Grund der Ausbildung des niederohmigen Bereiches sowie von Messwerten aus den benachbarten Gebieten kann dieser Schluss gezogen werden.

Um die Aussagesicherheit erhöhen zu können, wurden Gesteinsproben entnommen und im Institut für Geophysik der TU Clausthal durch Prof. Weller untersucht. Die Proben wurden einem durch das Institut für Gebirgsmechanik Leipzig gewonnenen Großblock entnommen (Tiefe ca. $0,8$ m). Diese orientierenden Messungen ergaben Widerstände nach Probenentnahme von ca. 2800Ω m. Die Widerstandswerte einer an der Luft gelagerten Probe fielen sehr rasch auf etwa $<250 \Omega$ m ab. YARAMANCI, 1994 gibt in Auswertung von Versuchsergebnissen für Carnallit in trockenem Zustand Widerstände zwischen 9000 und 16000Ω m und in nassem Zustand zwischen 110 und 200Ω m an.

Die niederohmigen Bereiche in den Versuchsbereichen können besonders stark durchfeuchteten Bereichen zugeordnet werden. Die Auswirkungen der Injektionsmaßnahmen können in den Profilen deutlich sichtbar gemacht werden.

3 Georadar (GPR) Methodik und Ergebnisse

Das Georadar (auch Gesteins- oder Bodenradar genannt) gehört zu den Impuls-Echolot-Verfahren und arbeitet mit elektromagnetischen Wellen im Hochfrequenzbereich zwischen 10 MHz und $2,5$ GHz. Das zerstörungsfreie Messprinzip beruht darauf, dass von einer Sendeantenne (Transmitter) kurze elektromagnetische Impulse mit einer Länge von wenigen Nanosekunden in den Untergrund abgestrahlt werden. Trifft die sich im Gesteinsmedium ausbreitende Welle auf eine elektrische Diskontinuitätsfläche, so wird ein Teil der Energie reflektiert und zur Empfängerantenne (Receiver) zurückgestrahlt (siehe Abbildung 7). Über eine Steuereinheit wird das Signal verstärkt, aufbereitet und registriert. Aus der gemessenen Laufzeit des Signals vom Startzeitpunkt bis zum Eintreffen der reflektierten Welle kann bei Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium auf die Tiefe des nachgewiesenen Reflektors geschlossen werden.

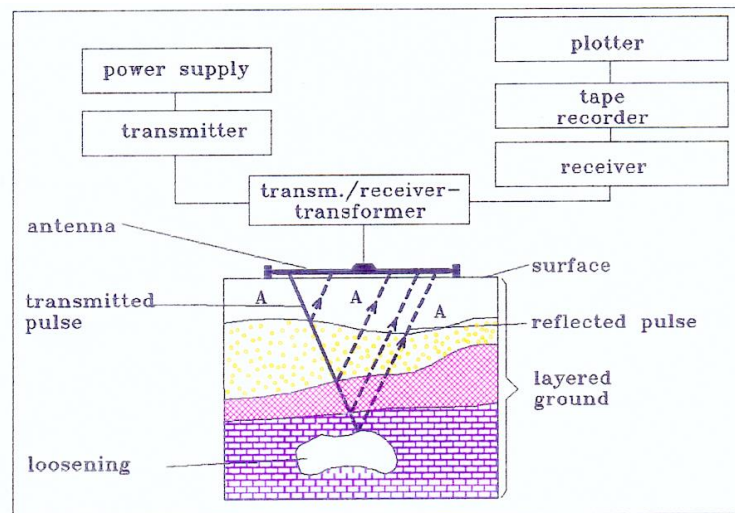


Abbildung 7: Messprinzip des Georadar

Das Hochfrequenzverfahren ist insbesondere in hochohmigen, elektrisch sehr gering leitenden Gesteinen optimal einzusetzen. Die elektromagnetischen Wellen werden in diesen Medien nur gering gedämpft, so dass große Erkundungsreichweiten von mehreren Dekametern erreicht werden können. Verschiedene kristalline (z. B. Granit) und Sedimentgesteine (z. B. Salt, Kalkstein) bieten mit elektrischen Widerständen im Kilo- oder Megahombereich gewöhnlich sehr gute petrophysikalische Voraussetzungen für die Anwendung dieses Verfahrens. Erkundungsreichweiten von bis zu 100 m können unter günstigen Voraussetzungen erzielt werden. Begrenzend für den erfolgreichen Einsatz des Verfahrens wirken sich insbesondere tonige, tonhaltige und damit bindige Schichten oder Bestandteile im Gestein, die einen geringen elektrischen Widerstand besitzen, aus. Infolge der guten Leitfähigkeit wird die elektromagnetische Welle in diesen Medien stark gedämpft. Gut leitfähige Schichten wirken für die elektromagnetische Energieausbreitung abschirmend und reduzieren die maximal erzielbare Erkundungstiefe entscheidend. Gleiches gilt auch für stark mineralisierte Wässer. Es können unterschiedliche Messantennen zum Einsatz kommen, welche auf Grund der verwendeten Frequenz unterschiedlich in Eindringtiefe und Auflösungsvermögen sind.

Das Radarverfahren erreicht eine hohe Auflösung (im dm bis cm Bereich) und kann bei Objekten, die kleiner als das Auflösungsvermögen sind, immer noch Indikationen aufzeigen, welcher ein erfahrener Geophysiker zur Auswertung nutzen kann. In diesem Fall wird die räumliche Kontur nicht mehr vollständig abgebildet, aber z. B. Rohrleitungen, Stollen oder Kellermauern können als Diffraktionselemente und auch als fortlaufende Diffraktionshyperbeln bei einer flächenhaften Darstellung erkannt werden. Voraussetzung ist dabei hauptsächlich ein Kontrast zwischen der Dielektrizitätszahl der Objekte zum umgebenden Gestein.

Ein weiteres Einsatzgebiet des Georadars ist die Bauwerksdiagnostik. Darunter sind Untersuchungen an Wänden, Decken, Böden oder auch Straßengrund zu verstehen, welche mit einer sehr hochfrequenten Antenne durchgemessen werden. Das Ziel dieser Untersuchungen sind meist, Rissbildungen zu detektieren, Schicht- und Wanddicken zu bestimmen oder die Lage von Metallarmierungen zu ermitteln.

Für die Untersuchungen am Versuchsort wurde die SIR-10A Apparatur der Firma GSSI mit einer 400 MHz sowie einer 900 MHz-Antenne eingesetzt. Die Datenverarbeitung der Messwerte wurde über eine Nullpunktkorrektur, Filterung und eine Lage- und Tiefenskalierung durchgeführt. Die durch viele Beispielmessungen belegte Geschwindigkeit von 0,124 m/ns wurde für die Tiefenskalierung verwendet. Die graphische Darstellung der

Ergebnisse erfolgt in so genannten Radargrammen oder auch Laufzeitdiagrammen. Das sind Abbildungen der gemessenen Laufzeiten der reflektierten Radarwellen. In den Darstellungen wurde eine Blau/Rot-Farbskala verwendet, die Minima bzw. Maxima kennzeichnet. Als weitere Abbildungsvariante wurden Hüllkurven über Maxima und Minima verwendet, mit der reflexionsarme Zonen besser dargestellt werden können.

In verschiedenen Bereichen an der Firste, am Süd- und am Nordstoß des Versuchsortes wurden Georadarmessungen ausgeführt. Bei den Messungen konnten zwei markante Reflektoren, die mit A und B bezeichnet wurden, detektiert werden. Der erste Reflektor wird durch den Übergang des stoßnahen stark durchfeuchteten Bereiches mit sichtbaren Reflexionen in einen reflexionsarmen Bereich gekennzeichnet. Der Reflektor B kennzeichnet den Übergang dieser reflexionsarmen Zone in eine Zone mit deutlichen Reflexionen. Dieser Grenzbereich korreliert mit dem Anstieg der Ultraschallgeschwindigkeiten (gemessen durch das Institut für Gebirgsmechanik Leipzig). Als Ursachen für das Auftreten dieser Reflektoren werden primär Veränderungen von Materialparametern diskutiert. Im Fall der Reflexion der Radarwellen ist primär die Änderung von Leitfähigkeit und Dielektrizitätszahl entscheidend. Im Rahmen weiterführender Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet sind Untersuchungen zur Klärung der petrophysikalischen Ursachen für die detektierten Reflektoren erforderlich.

Bei orientierenden Messungen im Firstbereich wurden die Reflektoren in Teufenlagen von ca. 0,1 m (Reflektor A) und etwa 0,1 bis 0,3 m (Reflektor B) mehr oder weniger deutlich sichtbar. Es erfolgten Profilmessungen normal und parallel zur Streckenachse. Bei den Messungen parallel zur Streckenachse wird aus der Radargrammen das schwache Einfallen der geologischen Schichten von West nach Ost im Streckenverlauf sichtbar (Abbildung 8).

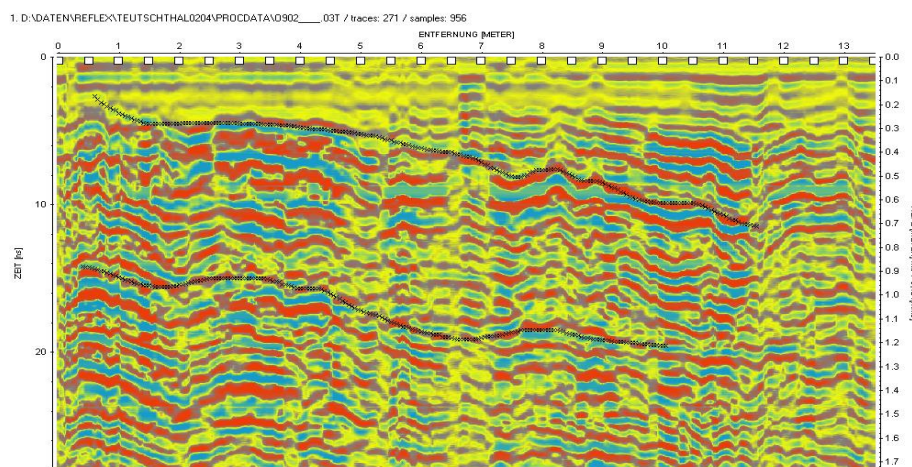


Abbildung 8: Profil o902 als Laufzeitdiagramm (Darstellung spiegelverkehrt E – Links, W - Rechts)

Nach den orientierenden Messungen wurden verschiedene Versuchsorte am Süd- und Nordstoß ausgewählt und mit dem Georadar vermessen. Am Nordoststoß wurden insgesamt acht Profile von westlicher in östlicher Richtung in ungestörten Verhältnissen aufgenommen. In Abbildung 9 ist das streckenparallel gemessene Profil T008 dargestellt.

Der Reflektor A wurde bei diesen Untersuchungen bei etwa 0,14 m detektiert, Der Reflektor B konnte in einer durchschnittlichen Teufe von 0,5 m festgestellt werden.

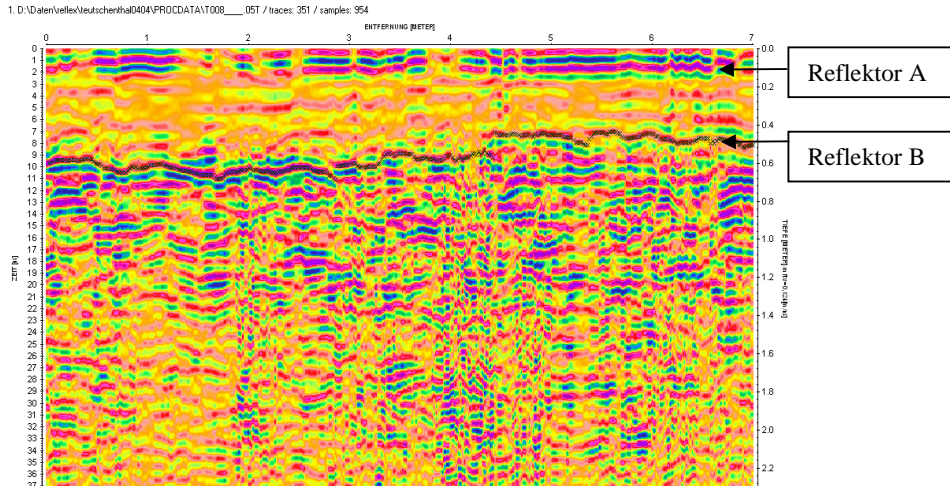


Abbildung 9: Profil T008 als Laufzeitdiagramm

4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Am Nord- und Südstoß des Versuchsortes wurden mit Hilfe der geoelektrischen Tomographie und des Georadar mehrere Profile vermessen und ausgewertet.

Die bei den Radarmessungen detektierten Reflektoren A und B können in ihrer Tiefenlage bei anderen Untersuchungen beobachteten Phänomenen zugeordnet werden. Der erste Reflektor befindet sich in einer Tiefe von etwa 0,14 m und korreliert mit der beobachteten stark durchfeuchteten Zone in Konturnähe. Reflektor B wird in einer Tiefe zwischen 0,44 m und 0,60 m beobachtet und korrespondiert mit dem Anstieg der gemessenen Ultraschallgeschwindigkeiten in dieser Tiefe. Die Versuchsanordnungen zur Laugeninjektion am Südstoß ergaben bei den Radarmessungen nur ein diffuses Reflektorenbild. Zur Klärung der petrophysikalischen Ursachen für die beobachteten Reflektoren sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Mit den Geoelektrikuntersuchungen konnte eine detaillierte Abbildung der konturnahen durchfeuchteten Zone um die Streckenkotnr im Bereich der Stöße der Versuchsstrecke dargestellt werden (vergleiche Abbildung 10). Die Anwendung des vorgestellten Messverfahrens erfolgt nicht invasiv ohne wesentlichen Eingriff in den Gebirgsverband. Damit werden jegliche negative Beeinflussungen der Gebirgskotnr als Folge der Erkundung ausgeschlossen. Das Verfahren kommt ohne größeren materiellen und zeitlichen Aufwand aus.

Mit der angewendeten Methode ist es weiterhin möglich, eine nicht invasive Überwachung von Injektionsversuchen durchzuführen. Durch die Messanordnung konnten die Versuchsanordnungen über die detektierten Anomalien in ihrer geometrischen Lage identifiziert werden. Da das Verfahren nicht invasiv und zerstörungsfrei arbeitet, ist es besonders zur Überwachung von in sensiblen situ-Versuchen geeignet, mit denen beispielsweise Transportmechanismen von Lösungen im Bereich des Wirtsgesteins beobachtet und untersucht werden. Durch den geringen materiellen und zeitlichen Aufwand sind Wiederholungsmessung in verschiedenen Versuchsstadien problemlos möglich (Monitoring). Weiterhin kann das Verfahren zur Standortauswahl bei in situ-Untersuchungsprogrammen eingesetzt werden. Bei Messungen in dieser Salzformation ist es dringend zu empfehlen, eine 3D-Geoelektrikmessung zur Reduktion von auftretenden Seiteneffekten anzuwenden.

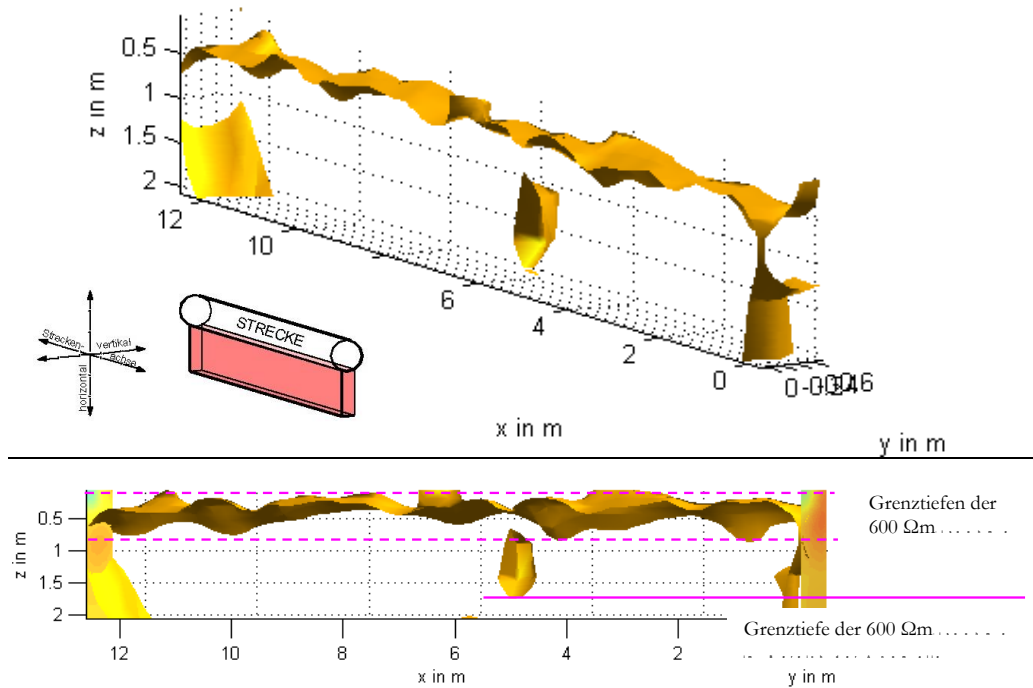


Abbildung 10: Verlauf der 600 Ωm -Isoohme im Bereich des Profils am Nordstoß vor dem Injektionsversuch

Mit den aufgezeigten geophysikalischen Methoden, speziell der Geoelektrik, kann die Erstreckung von Feuchtezonen im Stoßbereich des beschriebenen Versuchsortes nicht invasiv und zerstörungsfrei bestimmt werden. Die Verfahren eignen sich damit gut zur Standortcharakterisierung von Dammkomponenten im untersuchten Wirtsgestein und zur Überwachung von in situ-Versuchen.

Literaturverzeichnis

YARAMANCI, U. (1994): Relation of in situ resistivity to water content in rock salts, Geophysical Prospecting 41

LAGB (2001): Geologisch-geotechnische Probleme und Wege zur langzeitsicheren Gestaltung des Versatzbergbaus in der gebirgsschlaggefährdeten ehem. Kaligrube Teutschenthal. Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt 11.2001

JUST, A.; KRAUSE, Y. & JACOBS, F. (2004): Möglichkeiten und Grenzen untertägiger Geoelektrikmessungen im Salz.