

Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie (Koordination)
Geophysik GGD, Leipzig
K-UTECH GmbH, Sondershausen
Dr. A. Schwandt, Erfurt

Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover
Fraunhofer Gesellschaft, EADQ, Dresden

Abschlussbericht

Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien

Forschungsvorhaben

02 C 0851 - Geosonar- und Ultraschallverfahren

(Projektleiter: Dr. H. Kühnicke, EADQ Dresden)

02 C 0861 - Geoelektrik, Seismik, Geologie

(Projektleiter: Prof. Dr. F. Jacobs, Universität Leipzig)

02 C 0871 - Elektromagnetik, Georadar und Quantitative Charakterisierung von
Problemzonen

(Projektleiter: Prof. Dr. R. Schulz, GGA Hannover)

Laufzeit: 1.7.2001 – 31.12.2003

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den oben genannten Förderkennzeichen gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Bearbeiter:

A. Just, Y. Krause, A. Tuch, R. Knieß, F. Jacobs (Uni Leipzig)

A. Schuck, V. Schmidt, F. Rost (Geophysik GGD Leipzig)

U. Lindner, Th. Schicht (K-UTECH GmbH Sondershausen)

A. Schwandt (Erfurt)

G. Kurz, J. Igel, R. Schulz (GGA Hannover)

E. Schulze, H. Kühnicke (EADQ Dresden)

Leipzig, Juni 2004

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Geologie, Geoelektrik, Seismik	6
2.1	Geologische Situation am Referenzstandort Sigmundshall	6
2.1.1	Erkundungs- und Erkenntnisstand	6
2.1.2	Allgemeine geologische Situation	7
2.1.3	Geologische und hydrogeologische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet	8
2.2	Messlokation	9
2.3	Geoelektrik	11
2.3.1	Geoelektrische Untertagemessungen	11
2.3.1.1	Messverfahren	11
2.3.1.2	Messungen am Referenzstandort	13
2.3.1.3	Datenbearbeitung	15
2.3.1.4	Auswertung der Messungen	19
2.3.1.5	Ergebnisse der Untertagemessungen am Referenzstandort	20
2.3.1.6	Messungen an weiteren Standorten (Asse, Teutschenthal)	22
2.3.2	Finite Elemente Modellierungen	31
2.3.2.1	Modellierungsprogramme FEMLAB und ggfem3d	31
2.3.2.2	Halbraum-Vollraum-Übergang	32
2.3.2.3	3D-Effekte durch leitfähige Störkörper	34
2.3.2.4	Einfluss des Grubengebäudes	35
2.3.2.5	Ergebnisse der 3DFE-Modellierungen	37
2.3.3	Labormessungen zur Abhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes von Salzgestein vom Wassergehalt	38
2.3.3.1	Wassergehaltsbestimmung mit dem Karl-Fischer	38
2.3.3.2	Wassergehalt und Dichte von Proben aus dem Stoß der Referenzmessstrecke	39
2.3.3.3	Simultane Karl-Fischer-Wassergehalts- und Widerstandsmessungen	40
2.3.4	Zusammenfassung	46
2.4	Seismik	49
2.4.1	Messverfahren	49
2.4.2	Messungen am Referenzstandort	50
2.4.2.1	Technische Übertragbarkeit	50
2.4.2.2	Messkonfiguration	51
2.4.2.3	Messdaten	54
2.4.3	Datenbearbeitung	56
2.4.4	Ergebnisse	57
2.5	Literatur	60
3	Elektromagnetik, Georadar	62
3.1	Elektromagnetik	62

3.1.1	Messprinzip der elektromagnetischen Induktion	62
3.1.2	Durchführung der Messungen und Datenbearbeitung	62
3.1.3	Eindimensionale Interpretation	63
3.1.4	Dreidimensionale Modelle	64
3.1.5	EM-Messungen in Bischofferode	68
3.1.6	Zusammenfassung	71
3.2	Georadar	72
3.2.1	Messprinzip	72
3.2.2	Strukturerkundung und Richtungsortung	74
3.2.3	Detektion von Feuchtezonen durch pseudotomographische Messungen	77
3.2.4	Frequenzabhängiges Reflexionsverhalten von Feuchtezonen	79
3.2.5	Zusammenfassung	83
3.3	Literatur	83
4	Sonar	85
4.1	Verfahren	85
4.1.1	Grundlagen	85
4.1.2	Sende- und Empfangsprüfköpfe	85
4.1.3	Datenakquisitionssystem AE.engine	87
4.1.4	Bewertungsalgorithmen	89
4.1.5	Laborversuche zur Optimierung des Messsystems	89
4.2	Messkampagnen am Referenzmessort	93
4.3	Aufbereitung der Messdaten	94
4.3.1	Überblick	94
4.3.2	Normierung der Messdaten	95
4.3.3	Bildung der Hilbert-Envelope	97
4.3.4	Rekonstruktion	99
4.4	Rekonstruktionsergebnisse	101
4.5	Schlussfolgerungen, Ausblick	108
4.6	Literatur	109
5	Komplexe Auswertung und Interpretation	110
5.1	Geophysikalisches Modell	112
5.2	Charakterisierung von Problemzonen	116
5.2.1	Streckennaher Bereich um 0 m	116
5.2.2	Anhydritscholle	120
5.2.3	Laugenvorkommen in der Horizontalbohrung HB1	121
5.2.4	Kombination der Methoden	123
5.2.5	Anomalieindex	124
5.2.6	Literatur	125
5.3	Geologische Interpretation	126
6	Zusammenfassung und Ausblick	129

Anhang: Photographische Stoßaufnahmen

1 Einleitung

Ehemalige Bergwerke, insbesondere Salzbergwerke mit ihren großen Abbaukammern und Schächten im bis zu 800 m mächtigen Hauptsalz des Zechsteins, werden genutzt, um gefährliche chemisch-toxische oder radioaktive Abfälle in Endlagern oder Untertagedeponien (UTD) zu verwahren. Ein Multibarrieresystem aus technischer, geotechnischer und geologischer Barriere (Gestein) muss hierbei die Kontamination der Umgebung verhindern.

Die untertägige Erkundung der geologischen Barriere, insbesondere die Detektion von Klüftzonen, Laugentaschen, Feuchtezonen und Schichtgrenzen sowie ihre möglichst genaue Vermessung und Bewertung sind wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Langzeitsicherheitsnachweise von Endlagern und Untertagedeponien.

Da ein Eingriff in das Gebirge durch Bohrungen wegen der irreparablen Folgen im wesentlichen ausgeschlossen werden muss, kommen für die Aufgabe geophysikalische Messverfahren in Frage, die zerstörungsfrei eine Erkundung in das Unverritzte hinein ermöglichen. Bei der untertägigen Lagerstätten erkundung im laufenden Betrieb von Bergwerken tragen geophysikalische Methoden gemeinsam mit gezielt niedergebrachten Bohrungen zur Kostenreduktion und zu einem Gewinn an Sicherheit bei.

Allerdings sind die Bedingungen für die Anwendung geophysikalischer Methoden untertage im Salzgestein nicht günstig:

- durch den Streckenverlauf der Schächte sind bestimmte Messanordnungen vorgegeben,
- die Messanordnung befindet sich im Vollraum, dadurch ergibt sich eine größere Mehrdeutigkeit der Messsignale als an der Erdoberfläche, und die Interpretation ist erschwert (Einflüsse aus allen drei Raumrichtungen),
- untertage herrschen schwierige Umgebungsbedingungen.

Die Aussagesicherheit kann einerseits durch die Optimierung der Einzelverfahren und andererseits vor allem durch den kombinierten Einsatz mehrerer Verfahren mit unterschiedlichen physikalischen Wechselwirkungsmechanismen erhöht werden.

Mit dieser Zielstellung wurden drei miteinander gekoppelte Ausgangsvorhaben (Fkz. 02C0558, 568, 578, Laufzeit 1998 bis 2001) durchgeführt, an denen

- das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) Hannover (Georadar und elektromagnetische Methoden),
- das Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig (Goelektrik) und den Firmen Geophysik GGD Leipzig und K-UTEC Sondershausen (seismische Methoden) sowie dem Ingenieurbüro Dr. Arnold Schwandt, Erfurt (Geologie) als Unterauftragnehmer,
- die Fraunhofer-Einrichtung für Akustische Diagnostik und Qualitätssicherung (EADQ) Dresden (Sonar)

beteiligt waren. Es wurde ein komplexes Mess- und Auswertinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar entwickelt und erfolgreich erprobt (KULENKAMPPF et al. 2002, KURZ et al. 2002).

Mit Hilfe der Kombination leistungsstarker geophysikalischer Verfahren (Seismik, Goelektrik, Georadar, Elektromagnetik und Sonar) konnte im ehemaligen Kali-Bergwerk Bischofferode (Südharz) eine bisher unbekannte laugenführende Störungszone im Hangenden einer Abbaustrecke detektiert und charakterisiert werden.