

Wissenschaftliche Ziele der seismischen Messungen

Die Entwicklung hochauflösender seismischer 3D-Bildgebungstechniken für die strukturelle Erkundung von Endlagerstandorten, Tunnel, fluidführenden Strukturen und Bohrlöchern ist das Hauptziel der Forschungsaktivitäten im 3D-Untertage Seismik Lab. Verschiedene bildgebende Verfahren wie die 3-Komponenten-Kirchhoff-Migration oder die Fresnel-Volumen-Migration werden getestet und hinsichtlich ihrer Fähigkeit modifiziert, kleinräumige Strukturen innerhalb des Gneisblocks aufzulösen. Die größte Herausforderung der seismischen Bildgebung im Untergrund ist jedoch die räumliche Mehrdeutigkeit des aufgezeichneten Wellenfelds, aufgrund der begrenzten Apertur der Vermessungsgeometrie der seismischen Quelle und der Empfänger. Die Strecken dienen dabei auch als potenzielle Reflektoren für die seismische Bildgebung. Neue Bildgebungstechniken werden entwickelt, um die räumliche Auflösung von Strukturobjekten zu verbessern. Daher wird die gemessene Polarisationsrichtung der Dreikomponentendaten verwendet, um Reflexionspunkte zu bestimmen und den Migrationsoperator auf den Bereich zu beschränken, der physikalisch zu einem Reflexionsereignis beiträgt (Fresnel-Volumengrenze). Somit können Migrationsartefakte und Effekte durch Übersprechen von konvertierten Wellen im Vergleich zu Standardmigrationsschemata reduziert werden. Die Anwendung von Phased-Array-Quellen zur Richtungsverbesserung der seismischen Wellenenergie ermöglicht eine weitere Einschränkung des Migrationsoperators und führt daher zu einer weiteren Verbesserung der Auflösung. Um das volle Potenzial von Phased-Array-Quellen für die Bildgebung auszuschöpfen, ist es wichtig, den Prozess der Wellenerzeugung und Wellenausbreitung im Raum zu untersuchen. Die Konfiguration der Empfänger im 3D-Untertage Seismik Lab bietet die Möglichkeit, das Strahlungsmuster seismischer Wellen um Bohrlöcher im Nah- und Fernfeldbereich zu untersuchen. So wurden Experimente zur Quantifizierung der spektralen Energie von P- und S-Wellen durchgeführt.

Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt sind seit 2009 tomographische Inversionstechniken. Es wurden Experimente durchgeführt, um die Anwendung von Methoden zur Inversion vollständiger Wellenformen zu analysieren. Die Aufgabe besteht darin, Änderungen der Gesteinsbedingungen zu erkennen und zu lokalisieren, während Bohr- und Bauarbeiten im GFZ-Untertage Seismik Lab durchgeführt wurden. Ein alternativer Ansatz zur Identifizierung von Änderungen des Gesteinszustands ist die Anwendung der Coda-Wellen-Interferometrie. Es wurden mehrere tausend Messungen von seismischen Chirp- und Sweep Signalen mit permanent fixierten magnetostriktiven Aktuatoren durchgeführt, um seismische Wellen durch den Gneisblock zu übertragen.

Technische Entwicklungen

Das GFZ-Untertage Labor wurde 2008 etabliert, aber seit 1998 werden kontinuierliche Messungen durchgeführt. In den ersten Jahren wurden hochauflösende seismische Oberflächenquellen und verschiedene seismische Empfänger für die Anwendung bei untertägigen Bauarbeiten getestet. Die Quellen sind eigene Entwicklungen an pneumatisch angetriebenen Schlaghämmern und magnetostriktiven Vibratoren. Die Signale dieser Oberflächenquellen wurden mit kleinen Ladungen von Sprengstoffen verglichen, die in Bohrlöchern abgefeuert wurden. Verschiedene Geofone, piezoelektrische und optische Empfänger wurden hinsichtlich ihrer Eigenschaften der Signalamplituden und Signalphasen und des Signal-Rausch-Verhältnisses verglichen.

Ziel weiterer Experimente war es zum Beispiel, den Einfluss oberflächennaher Bedingungen, Tests verschiedener Klebstoffe für Geophon-Gesteinsanker sowie mechanischer Kopplungstechniken auf die Signalqualität an der Oberfläche der Strecken und in Bohrlöchern zu untersuchen.

Große Fortschritte für den Einsatz von magnetostriktiven Aktuatoren haben die gleichzeitige Steuerung von Signalamplituden und -phasen mehrerer Vibratoren ermöglicht. Basierend auf dieser Technik wurde eine Phased-Array-Bohrlochquelle entwickelt und in den zwei horizontalen Bohrlöchern getestet. Die Messergebnisse zeigen eine Fokussierung der seismischen Wellenenergie in gewünschte Richtungen, wodurch seismische Erkundungen in Bohrungen zielgenauer umgesetzt werden können.