

Datenakquisition und Processing von mehrfachüberdeckenden Georadardaten

D. Eisermann¹, P. Schikowsky²

¹ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Sektion Hydrogeologie, Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle

² Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie Talstr. 35, 04103 Leipzig

Einleitung

Das Georadarverfahren beschränkt sich im allgemeinen bei der Datenaufnahme auf einen Sendepunkt und einen Empfangspunkt. Befinden sich Sende – und Empfangsantenne in einem Gehäuse, handelt es sich um eine monostatische Messanordnung, sind Sender und Empfänger in getrennten Gehäusen untergebracht, spricht man von der bistatischen Messmethode. Bei beiden Messanordnungen werden kurze elektromagnetische Impulse mit einer Länge von wenigen Nanosekunden ausgesendet und nach der Reflexion bzw. Streuung an Schichtgrenzen oder Einlagerungen wieder empfangen. Die somit erzielte Einfachüberdeckung des Untergrundes besitzt den Vorteil einer relativ schnellen Datenaufnahme. Dadurch ist es jedoch nicht möglich, die Ausbreitungsgeschwindigkeiten in der Tiefe aus dem Wellenfeld zu bestimmen. Weiterhin können bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im heterogenen Medium Effekte auftreten, die sich durch die einfache Überdeckung des Untergrundes nur schwer interpretieren lassen.

Die durchgeführten Untersuchungen beschäftigten sich mit der Frage, inwieweit eine durch bistatische Messanordnung erreichte Mehrfachüberdeckung des Untergrundes im Gegensatz zur herkömmlichen Einfachüberdeckung den Informationsgehalt des registrierten Wellenfeldes sowie das Signal/Rausch – Verhältnis verbessert.

Die geologische Situation des Messgeländes stellte für Radarmessungen, aufgrund des zunehmenden Anteils bindiger Materialien im Untergrund, ein für den mitteldeutschen Raum praxisnahes Problem dar.

Als nützlich für die Untersuchungen erwiesen sich die vorhandenen Bohrungen und Rammsondierungen auf der Messfläche, welche es ermöglichten, konkrete Vergleiche zwischen dem bekannten Schichtprofil im Untergrund und den Ergebnissen der Georadardaten zu ziehen.

Datenakquisition

Bei der Constantoffsetmessung werden Sende – und Empfangsantenne in einen gleichbleibenden Abstand um ein gewisses Inkrement schrittweise bewegt, was zu einer Einfachüberdeckung des Reflektors führt.

Die Grundidee der Multioffsetmessung beim Georadarverfahren ist aus der Seismik übernommen und besteht darin, einen Reflektorpunkt in der Tiefe unter verschiedenen Winkeln zu treffen. Dadurch kommt es zu einer Mehrfachüberdeckung der einzelnen Schichtgrenze. Nach der NMO – Laufzeitkorrektur lassen sich dann die Spuren eines gemeinsamen Mittelpunktes (CMP – Punkt) stapeln und die Reflexionseinsätze werden gegenüber den inkohärenten Störsignalen verstärkt. Die Aufstellungsgeometrie ist ähnlich wie in der Reflexionsseismik. Die Sendeantenne befindet sich an einem festen Ort während die Empfangsantenne in einem bestimmten Abstand schrittweise entlang des Profils bewegt wird. Dabei registriert der Empfänger an jedem Messpunkt eine Spur. Werden alle Spuren, welche zu einem Sendepunkt gehören zusammengefasst, erhält man ein Einzelradargramm.

Die wichtigsten Messparameter der Datenakquisition sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

	40 MHz	80 MHz
Länge der Dipolantennen	2,4 m	1,2 m
constant offset - Messung	S – E Abstand: 2,5 m	S – E Abstand: 1,0 m
Offsetbereich der Multioffsetmessung	2,1 m – 4,8 m	1 m – 3,7 m
Sender/ Empfänger Inkrement	0,1 m	0,1 m
Anzahl der Sendepunkte	201	201
Anzahl der Empfangspunkte pro Schuss	28	28
Überdeckungsgrad	14	14
Zeitbereich (Tiefe)	260 ns	160 ns
Profilänge	20,0 m	20,0 m

Bei der Durchführung der verschiedenen Messanordnungen ist mit folgenden zeitlichen und personellen Aufwand zu rechnen.

Messmodus	Constantoffsetmessung	Multioffsetmessung
zeitlicher Aufwand für ein 20,0 m Profil	ca. 30 min – 45 min	ca. 10 Stunden
personeller Aufwand	2 Personen	2 Personen

Processing

Die Bearbeitung der Felddaten beider Messmoden erfolgte mit dem Softwaresystem ProMAX. Das Ziel des Processings der Multioffsetmessung bestand darin, die Rohdaten so aufzubereiten, dass eine Stapelung der zu einem gemeinsamen Mittelpunkt zwischen Sender und Empfänger gehörenden Spuren eine Verbesserung des Signal/Rausch – Verhältnisses bewirkt. Da die Stapelung bei der Einfachüberdeckung entfällt, beschränkte sich die Bearbeitung der Constantoffsetmessung auf das Preprocessing.

Das Preprocessing beinhaltete die Anhebung des Nutzsignalanteils im Frequenzspektrum (Spectral Whitening), eine Bandpassfilterung und $f - k$ – Filterung. Außerdem wurden die Daten einen automatischen Amplitudenausgleich längs der Laufzeitachse (AGC) unterzogen. Dies führt zu einer Amplitudenerhöhung im unteren Laufzeitbereich (zwischen 80 ns und 160 ns) bei den 80-MHz-Radargrammen in der Abb. 2 und 3.

Die Stapelgeschwindigkeiten für die dynamische Korrektur stammen aus der Geschwindigkeitsanalyse. Hierfür wurde das Modul „Semblance Velocity Analysis“ verwendet.

Nach der Wandlung der Stapelgeschwindigkeiten in Intervallgeschwindigkeiten, erfolgte die Erstellung eines Intervallgeschwindigkeits – Tiefenmodells (Abb. 1). Die erzielte Übereinstimmung zwischen dem synthetisch berechneten Zeitschnitt und den reell gemessenen Radardaten bildete die Grundlage der geologischen Interpretation.

Auswertung und Interpretation

Aus dem Vergleich zwischen den Ergebnissen der Constantoffsetmessung und der Multioffsetmessung für die Frequenzen 80 MHz (Abb. 2 und 3) und 40 MHz lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die aus den geotechnischen Untersuchungen bekannte Schichtfolge des Untergrundes sich in beiden Radargrammen widerspiegelt. Durch die Stapelung der Georadardaten wurde das Signal/Rausch – Verhältnis im Radargramm zwar verbesserte, aber nicht entscheidend beeinflusst. Dieser Sachverhalt wird zum Beispiel beim speziellen Betrachten des Verlaufs des zweiten Reflektors bei ca. 42 ns in Abb. 2 und 3 deutlich.

Das Verhältnis zwischen Offsetbereich/ Ausbreitungsgeschwindigkeit und Reflektortiefe bei der Radarmessung bewirkte eine minimale Krümmung der Reflexionshyperbel. Außerdem ist die Periode des Signals (trotz Spectral Whitening) aufgrund der begrenzten Eindringtiefe von maximal 10 m im Verhältnis zur Spurlänge relativ groß. Bedingt durch die geringe Laufzeitverschiebung bei der dynamischen Korrektur kommt es zu keiner entsprechenden asynchronen Verteilung der kohärenten Störsignale im CMP – Gather. Diese Tatsache verhindert teilweise die destruktive Interferenz. Bei der Stapelung kam es zu einer Verstärkung der phasengleichen Nutzinformation, aber es erfolgte keine optimale Abschwächung der Störwellen.

Die Anwendung der Multioffsetmessung zur Erkundung des Untergrundes schafft eine Möglichkeit, die geologischen Verhältnisse in der Tiefe aufgrund des höheren Informationsgehaltes sicherer zu interpretieren. Im konkreten Fall der 80 MHz Messung führte die synchrone Stapelung der Nutzsignale zur Eliminierung eines Artefaktes (Vergleich zwischen Abb. 2 und Abb. 3 bei ca. 100 ns), welcher beim einfach überdeckten Radargramm leicht zur Fehlinterpretation der geologischen Verhältnisse führen kann. Weiterhin ist es möglich, anhand der Laufzeithyperbeln, die aus der Mehrfachüberdeckung der Georadardaten resultieren, Aussagen über die Geschwindigkeitsverteilung im Untergrund zu treffen. Dies bildet die Grundlage für eine tiefengerechte Interpretation der Reflektoren im Radargramm und lässt Rückschlüsse auf die elektrischen Kenngrößen der einzelnen Schichten zu.

Aus Abb. 1 ist zu erkennen, dass sich in den Ergebnissen der Georadarmessung die geologische Schichtfolge der Bohrung 1 widerspiegelt. Die erste Reflexion bei einer Laufzeit von ca. 23 ns entspricht im Geschwindigkeitsmodell einer Tiefe von ungefähr 2,0 m und wird als die Unterkante der anthropogenen Auffüllung gedeutet. Der in Abhängigkeit vom Pegelstand der Saale schwankende Grundwasserstand bildet sich im Radargramm bei einer Laufzeit zwischen 40 ns und 50 ns ab. Die lateralen Schwankungen beim Übergang vom wasserungesättigten Bereich zum wassergesättigten Bereich des sandigen Auelehms deuten auf unterschiedliche Porositäten innerhalb der Auelehmschicht hin.

Der Reflektor bei der Laufzeit von ca. 70 ns stellt eine markante Grenze in der wassergesättigten Auelehmschicht dar. Dieser Reflexionshorizont trennt den stärker sandigen Anteil des Auelehms vom tonig geprägten Auelehm in einer Tiefe von 4,5 m.

Die Oberkante des Terrassenschotter, spiegelt sich im Radargramm (Abb. 1) bei 180 ns wieder. Der Übergang vom Auelehm zum Terrassenschotter ist gekennzeichnet durch einen unterschiedlichen Verlauf des Reflexionshorizontes entlang des Profils. Für die Oberkante des

Terrassenschotter wurde eine Anfangstiefe von 7,8 m berechnet, welche bis zum Ende des Profils auf knapp 9,0 m abfällt.

Die erreichte Eindringtiefe von maximal 9,0 m ließ keine Rückschlüsse auf die Grundgebirgsoberkante zu. Im Radargramm sind bei ca. 220 ns noch Reflexionen zu erkennen, die jedoch hauptsächlich durch die Wirkung der AGC verstärkt wurden. Eine geologische Zuordnung kann somit leicht zu Fehlinterpretationen führen.

Zusammenfassung

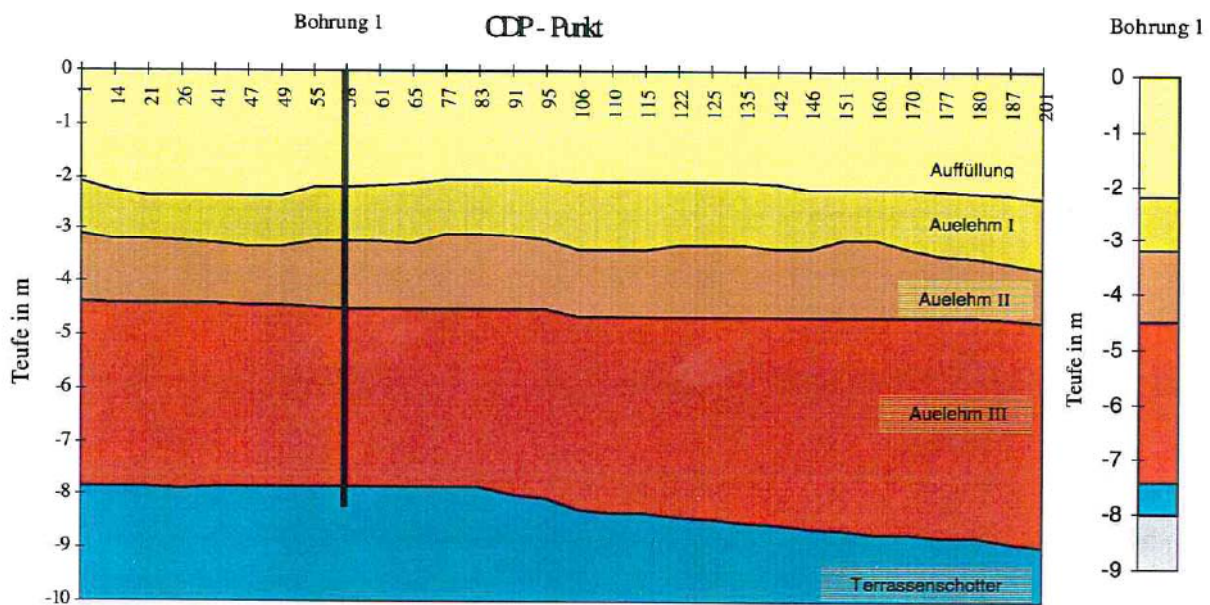
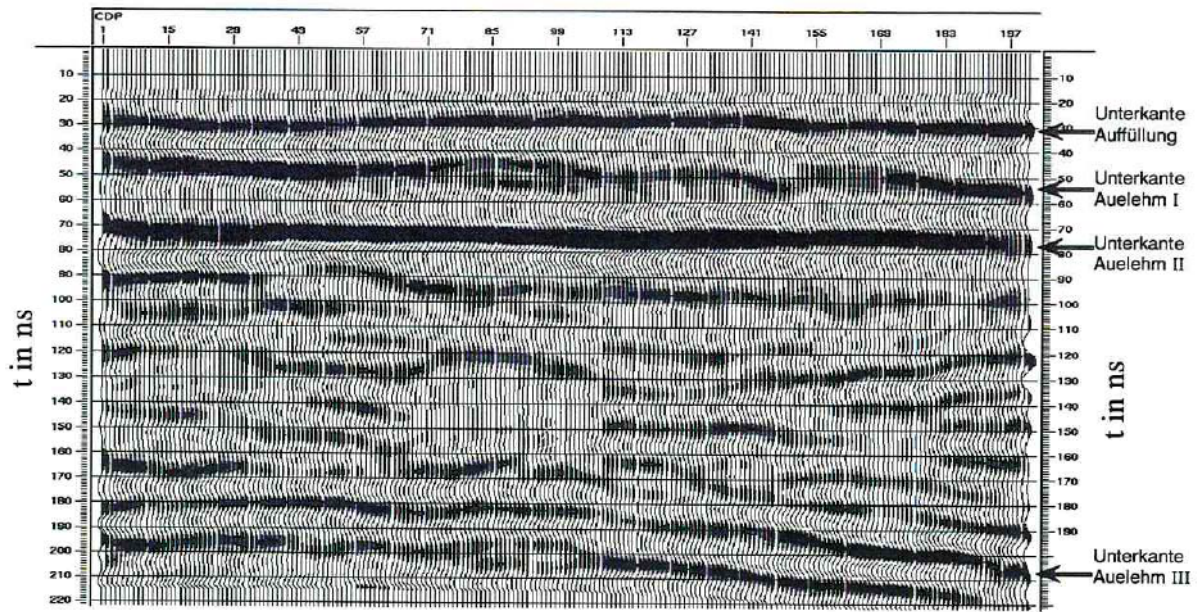
Durch die Anwendung des Prinzips der Mehrfachüberdeckung bei Georadarmessungen, wurde eine Möglichkeit geschaffen, die Untergrundverhältnisse im Vergleich zur Einfachüberdeckung sicherer zu interpretieren. Diese Tatsache basiert auf dem umfangreicheren Datensatz und dem daraus resultierenden erhöhten Informationsgehalt.

Der Anwendungsbereich für die Multioffsetmessung ist daher bei Problemstellungen zu suchen, die zur Klärung der jeweiligen Aufgabe, konkretere Aussagen über die Geschwindigkeits – oder Reflektivitätsverteilung im Untergrund benötigen (z.B. Untersuchung des Untergrundes für Bauvorhaben).

Der Nachteil der Multioffsetmessung liegt eindeutig im hohen zeitlichen Mess – und Bearbeitungsaufwand. Daher ist es empfehlenswert, wenn es sich um herkömmliche Problemstellungen der Georadaruntersuchungen handelt, wie z.B. das schnelle Orten von anthropogenen Einlagerungen, die einfachüberdeckende Messvarianten zu verwenden.

Literatur

EISERMANN, D. (1999): Datenakquisition und Processing von mehrfachüber- deckenden Georadardaten zur Ableitung eines Geschwindigkeits – und Impedanzmodells des Untergrundes, Diplomarbeit, Universität Leipzig



- Auffüllung (Sand, Kies) mit $v_i = 0,13$ m/ns
- Auelehm I (Sand, schluffig, tonig), wasserungesättigt mit $v_i = 0,11$ m/ns
- Auelehm II (Sand, schluffig, tonig), wassergesättigt mit $v_i = 0,08$ m/ns
- Auelehm III (Ton, schluffig, tonig), wassergesättigt mit $v_i = 0,06$ m/ns
- Terrassenschotter (sandig, steinig, kalkhaltig) mit $v_i = 0,05$ m/ns

Abb.1: 40 MHz Stapelradargramm mit dazugehörigen Intervallgeschwindigkeits-Tiefenmodell im Vergleich zur Bohrung 1 (v_i = Intervallgeschwindigkeit)

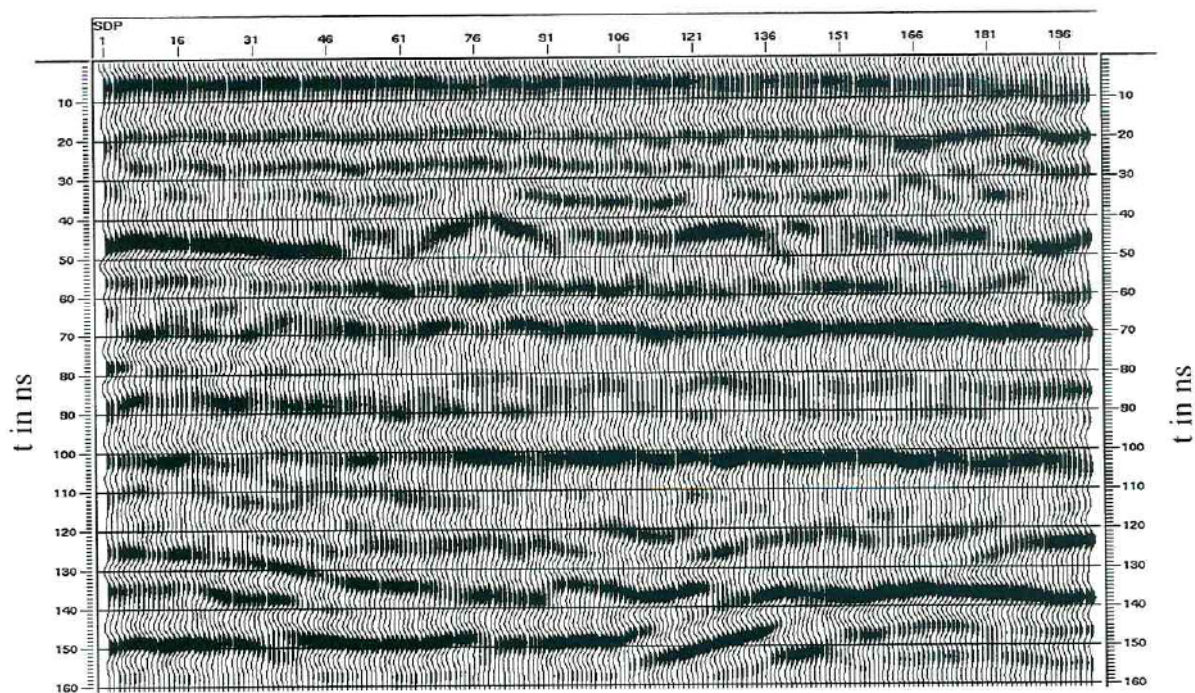


Abb. 2: 80 MHz Constantoffsetmessung (Sender – Empfänger – Abstand 1,0 m),
bearbeitet
SDP = Mittelpunkt zwischen Sende- und Empfangsantenne (einfachüberdeckt)

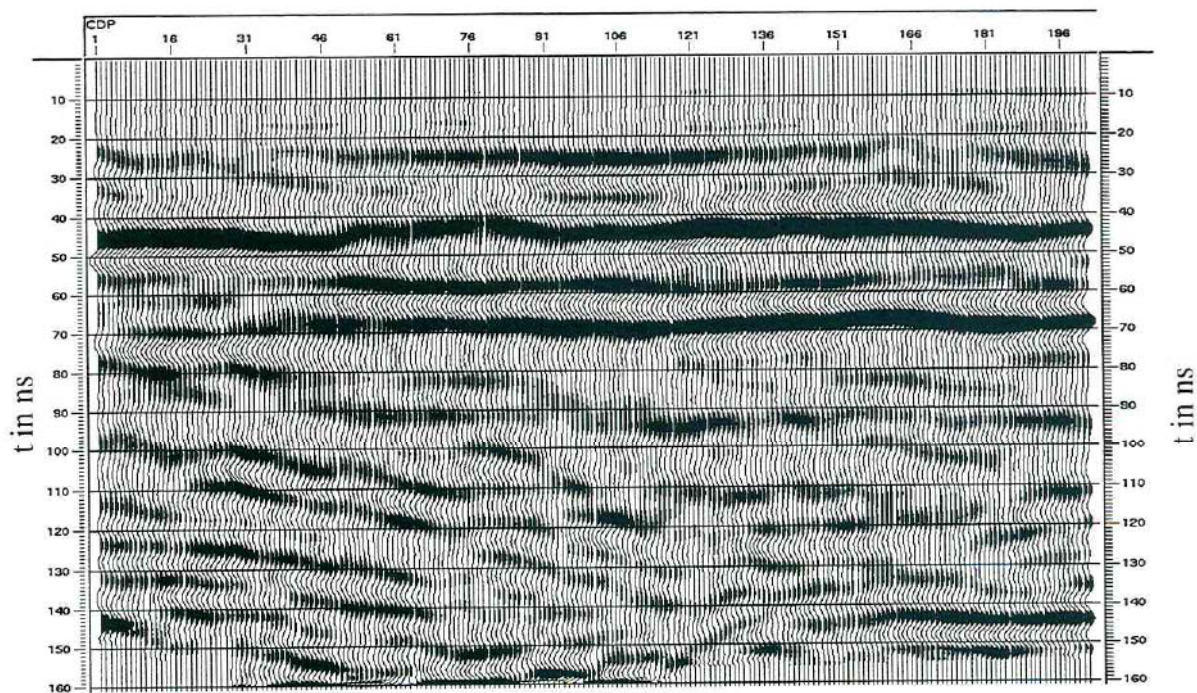


Abb. 3: 80 MHz Multioffsetmessung (14-fach Überdeckung), bearbeitet

10. Doktorandentreffen Hydrogeologie

am 25. und 26. Mai 2000

in Halle/Saale

Archiv

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Hydrogeologie
Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle
Telefon: 0345/558 52 02, Telefax: 0345/558 55 59
www.ufz.de