

Bohrloch-Georadar-Tomographie

Projekt	Testfeld des NLBL
Projektleiter:in	Dr. Jan-Philipp Schmoldt
Projektbeteiligte	Laurent Lemmens
Kostenstelle	32000000
Bericht	Abschlussbericht
Berichtnummer	LUT-BGT-2023-04-20
Autor des Berichts	Dr. Jan-Philipp Schmoldt
Datum des Berichts	19. Dezember 2023

Zusammenfassung	Das Bohrloch-Georadar – Tomographie-Verfahren ist prinzipiell dazu geeignet ein Objekt im Untergrund zu identifizieren. Die vertikale Ausdehnung des Objekts wird relativ sicher detektiert; die Genauigkeit der Bestimmung der horizontalen Ausdehnung und Lage des Objekts ist geringer. Nichtsdestotrotz ist die Bohrloch-Georadar-Tomographie ein weiteres Werkzeug im Werkzeugkasten der Kampfmittel detektion, dass in speziellen Einsatzsituationen zusätzliche Informationen liefern kann.
-----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Situationsbeschreibung

Georadar-Messungen sind prinzipiell in der Lage Objekte im Untergrund zu detektieren, die in ihren physikalischen Eigenschaften Ähnlichkeit zu sprengkräftigen Kampfmitteln aus dem 2. Weltkrieg haben. Für Georadar-Messungen im Reflexions-Verfahren wurde diese Tauglichkeit bereits mehrfach nachgewiesen und das Verfahren wird vielfach in der Kampfmitteldetektion in Deutschland eingesetzt. Der Einsatz des Reflexions-Verfahrens erfolgt dabei sowohl an der Oberfläche als auch im Bohrloch.

Vergleichsweise neu ist der Einsatz des Georadars im Transmissions-Verfahren für die Kampfmitteldetektion. Im Falle von Bohrlochmessungen befinden sich beim Transmissions-Verfahren der Sender und der Empfänger in unterschiedlichen Bohrlöchern. Bei einer Messung wird üblicherweise der Sender in einer definierten Tiefe positioniert und der Empfänger wird vom unteren Ende des Bohrlochs an die Erdoberfläche gezogen, wobei kontinuierlich Daten aufgezeichnet werden. Der Untersuchungsbereich befindet sich dann zwischen den beiden Bohrlöchern. Wenn Transmissionsmessungen mehrfach wiederholt werden und dabei die Position von Sender und Empfänger variiert werden, so dass der Untersuchungsbereich aus verschiedenen Richtungen sondiert wird, dann spricht man vom Bohrloch-Georadar – Tomographie-Verfahren (Multi-Offset-Profil (MOP)) (Abbildung 1).

Um die Zweckmäßigkeit des neuen Verfahrens für die Kampfmitteldetektion zu bewerten, wurde eine Messreihe auf einem Testfeld des NLBL in der Nähe von Hannover durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messreihe werden bewertet und hier diskutiert.

Bohrloch-Georadar – Transmission

➤ MOP / „Tomographie“

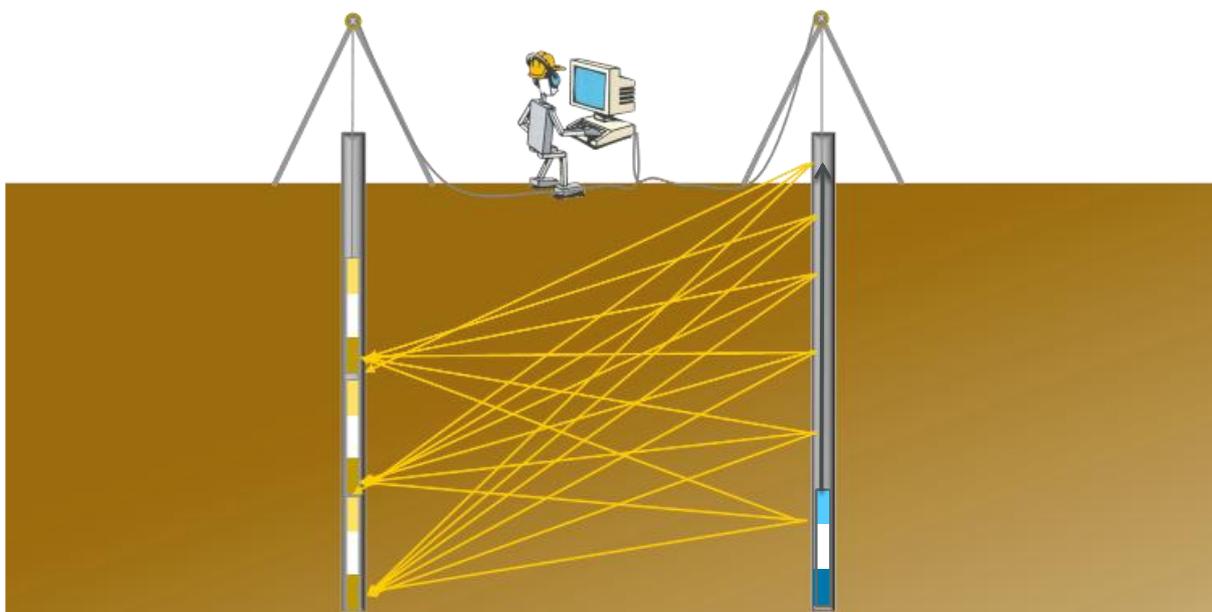


Abbildung 1: Prinzip des Bohrloch-Georadar - Tomographie-Verfahrens.

Durchführung der Überprüfung

Die Kernpunkte des verwendeten Testfeldes sind wie folgt:

- 19 Bohrlöcher
 - Kreisförmige Anordnung, entsprechend Verdachtspunkt
 - Bohrlöcher im Abstand von 1,5 m
 - 6 m Tiefe
- Testkörper
 - 500 lb Fliegerbombe
 - In ca. 4 m Tiefe

Die Kernpunkte der Messdatenaufnahme sind wie folgt:

- Datenaufnahme
 - 56 Bohrlochkombinationen aufgezeichnet
 - 13 Schusspunkte pro Bohrloch
 - 728 vertikale Profile

Ergebnis der Überprüfung

Die Radargramme der Empfänger in den jeweiligen Bohrlöchern zeigen eine Vielzahl von Signaturen, die den ausgesandten Signalen zugeordnet werden können. Aufgrund der Geometrie zwischen Sender und Empfänger nehmen die Signale die Form einer Hyperbel an. Sofern sich ein metallisches Objekt zwischen Sender und Empfänger befindet, wird das ausgesandte Signal vollständig reflektiert und im entsprechenden Bereich des Empfänger-Radargramms ist kein Signal vorhanden. Stattdessen erscheint im Radargramm des Empfängers eine Signatur, die zwei Hyperbeln mit Scheitelpunkten in unterschiedlichen Tiefen entspricht. Entsprechend des Huygens-Prinzip für Wellenausbreitung liegen die Scheitelpunkte der Hyperbeln dabei an der Ober- und Unterkante des Objektes (Abbildung 2).

Diese Art der Radargramme gibt es für jedes Bohrlochpaar mit dazwischen befindlichem Objekt und für jede passende Sendertiefe. Für die Bestimmung der Objektlage und -ausdehnung können dann entweder die Scheitelpunkte der Hyperbeln bestimmt werden oder die sogenannte Schattenzone zwischen den Scheitelpunkten der Hyperbeln aufsummiert werden. Der zweite Ansatz hat mehrere Vorteile und wird im Folgenden verwendet.

Bei Bohrlochpaaren ohne ein dazwischen befindliches Objekt, gibt es lediglich eine einzelne Hyperbel mit Scheitelpunkt auf der Höhe des Senders. Bei zu großen Abständen zwischen den Bohrlöchern wird das Signal auf dem Weg derart stark gedämpft, dass eine Aufzeichnung im Empfängerbohrloch nicht möglich ist. Für diese Bohrlochpaare ist keine Aussage über Objekte im dazwischenliegenden Bereich möglich. Entsprechende Bohrlöcher werden für die Bewertung des Untergrundes und des darin befindlichen Objektes nicht verwendet.

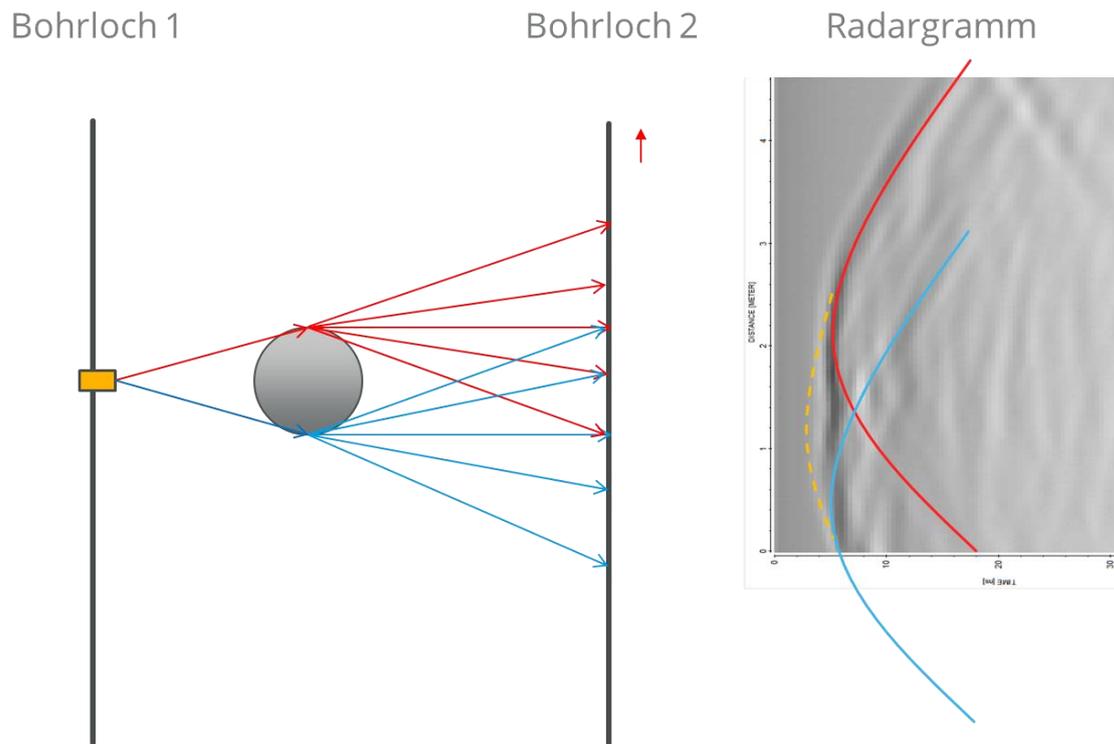


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Signaturen, die bei einer Bohrloch-Georadar - Transmissionsmessung mit dazwischen befindlichem Objekt aufgezeichnet werden. Das Objekt behindert die Ausbreitung der Signale an seiner Position. Stattdessen erscheint es, als würden sich zwei Signalquellen an der Ober- und Unterkante des Objekts befinden (angedeutet durch rote und blaue Linien). Im Radargramm sind dann zwei getrennte Hyperbeln mit Scheitelpunkten in Tiefen entsprechend der Ober- und Unterkante des Objekts zu erkennen (rote und blaue Kurven), statt einer durchgehenden Hyperbel mit dem Scheitelpunkt an der Tiefe des Senders (gelbe Kurve).

Beim Aufsummieren der Schattenzone werden die Bereiche zwischen den Scheitelpunkten der Hyperbeln markiert. Dann werden Strahlwege zwischen den Punkten in der Schattenzone und der Senderposition auf der Fläche zwischen den beteiligten Bohrlochern gebildet. Aus diesen Strahlwegen entstehen in aller Regel Dreiecke mit den Eckpunkten entsprechend der Scheitelpunkte der Hyperbeln und der Senderposition. Durch Überlagerung von derartigen Dreiecken für verschiedene Senderpositionen bildet sich ein Kernbereich heraus, der einen Bezug zum sondierten Objekt hat. Durch das Definieren von Grenzwerten der minimalen Strahlüberlagerung kann der Kernbereich klarer abgegrenzt werden (Abbildung 3). Die vertikale und horizontale Ausdehnung des Objekts kann dann aus den Abmessungen des Kernbereiches abgeleitet werden.

Mit dem gewählten Grenzwert der Strahlüberdeckung würde für das Objekt eine durchschnittliche vertikale Ausdehnung von rund 34 cm und eine durchschnittliche horizontale Ausdehnung von rund 64 cm identifiziert.

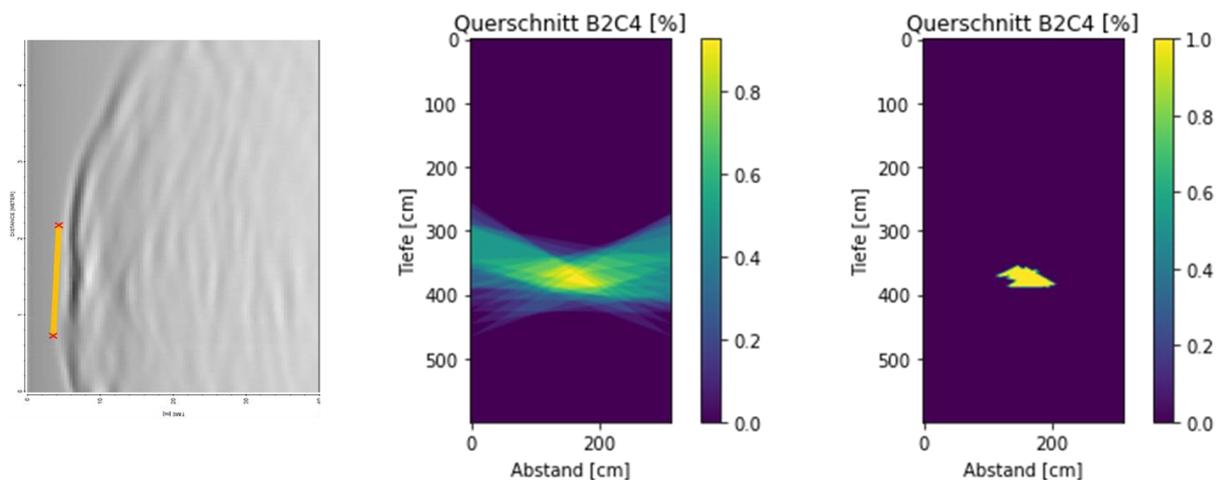


Abbildung 3: Aufsummieren der Schattenzone: Zuerst wird die Schattenzone identifiziert (gelbe Linie im linken Bild); Dann werden die zugehörigen Strahlwege für alle Senderpositionen überlagert (mittleres Bild); Am Ende wird der Kernbereich abgegrenzt, indem Grenzwerte für die minimale Strahlüberlagerung definiert werden.

Fazit

Die Versuchsreihe zum Bohrloch-Georadar – Tomographie-Verfahren hat gezeigt, dass das Tomographie-Verfahren prinzipiell dazu geeignet ist ein Objekt zu identifizieren. Die vertikale Ausdehnung des Objekts wird relativ sicher detektiert; die Genauigkeit der Bestimmung der horizontalen Ausdehnung und Lage des Objekts ist allerdings geringer. Aussagen über das Objekt sollten daher nur anhand der Ergebnisse der vertikalen Ausdehnung getroffen werden. So ist es prinzipiell möglich Annahmen über das Kaliber des Objekts zu machen. Daraus könnten dann z.B. Optimierungen für Evakuierungskreise abgeleitet werden.

Diese Testreihe wurde in einem sehr geeigneten Umfeld durchgeführt: der Untergrund besteht in der Tiefe des Testobjektes aus überwiegend trockenem Sand und enthält neben dem gesuchten Objekt keine erkennbaren, weiteren Störobjekte. Es ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse bei schwierigeren Untergrundbedingungen eine höhere Ungenauigkeit aufweisen.

Nichtsdestotrotz ist das Bohrloch-Georadar – Tomographie-Verfahren ein weiteres Werkzeug im Werkzeugkasten der Kampfmittel detektion, dass in speziellen Einsatzsituationen zusätzliche Informationen liefern kann. Beispielsweise könnte das Tomographie-Verfahren als Ergänzung zum Reflexions-Verfahren eingesetzt werden.