

Mit dem Georadar-Array in die Tiefe

Neue Möglichkeiten der Untergrunddetektion von Eisenbahnstrecken:
28-Antennen-Array sind seit Anfang 2025 erstmals im
deutschen Schienennetz im Einsatz.



Die zuverlässige Erfassung und Bewertung des Untergrunds liefert insbesondere bei unklaren Streckenverhältnissen oder fehlender Bestandsdaten wertvolle Informationen für Infrastruktur- und Wartungsprojekte. Die von der DB Consulting & Engineering GmbH auf Basis eines Georadar-Antennenarrays entwickelte Lösung ermöglicht eine hochauflösende, dreidimensionale Abbildung des Gleisuntergrunds – und damit neue Einblicke, die zur Sicherheit, Zuverlässigkeit und Effizienz von Bahnstrecken beitragen. Das Messsystem ist im Einsatz – zur Erkundung von Haupt- und Nebenstrecken im laufenden Betrieb ohne Streckensperrungen.

Neue Einblicke in den Untergrund

Der Zustand des Untergrunds ist für die Stabilität und Sicherheit von Bahnstrecken von zentraler Bedeutung. Aussagekräftige Informationen über dessen Beschaffenheit, vorhandene Leitungen und Bauwerke sowie potenzielle Schwachstellen wie Schlammstellen oder Schottermächtigkeiten sind entscheidend dafür, ob Bau- und Wartungsarbeiten termingerecht und störungsfrei durchgeführt werden können. Im bundesweiten Streckennetz mit über 33.000 Kilometern stoßen punktuelle Bohrungen oder Streckenbegehungen längst an ihre Grenzen, da die notwendigen Kapazitäten fehlen und Veränderungen im Untergrund mit bloßem Auge oft nicht erkennbar sind. Die daraus resultierenden Gleislagefehler werden erst erkannt, wenn es bereits zu Veränderungen der Gleislage gekommen ist und die Streckengeschwindigkeit reduziert werden muss.

Georadar-Messungen mit an der Lok montierten Antennen werden seit Jahrzehnten zur Detektion von Auffälligkeiten im Untergrund sowie zur Lokalisierung nicht dokumentierter Bauwerke oder Leitungen eingesetzt. Die DB Engineering & Consulting GmbH hat nun ein neues Verfahren eingeführt, das den Untergrund noch präziser und anschaulicher detektiert.

Technologischer Fortschritt: vom Einzelprofil zur 3D-Abbildung

Das bisherige Georadarsystem verfügt über drei einzeln am Zug montierte Antennen, die in einem Abstand von fünf Zentimetern elektromagnetische Impulse in den Untergrund senden und drei linienförmige Profile erzeugen.

Das neue Georadar-Arraysystem, das für den Einsatz auf den Gleisen ausgelegt ist, verfügt über 28 Antennen und kann erstmalig in Deutschland an einer Lok montiert werden. Messfahrten erfolgen



Dr. Daniela Hofmann

Leiterin Georadar | Fachexpertin Georadar
Umwelt- & Geo-Services,
DB Engineering & Consulting
Daniela.Hofmann@db-eco.com



Dr. Niklas Allroggen

Fachexperte Georadar
Umwelt- & Geo-Services,
DB Engineering & Consulting
niklas.allroggen@db-eco.com



Tino Junghans

Fachexperte Georadar
Umwelt- & Geo-Services,
DB Engineering & Consulting
tino.junghans@db-eco.com

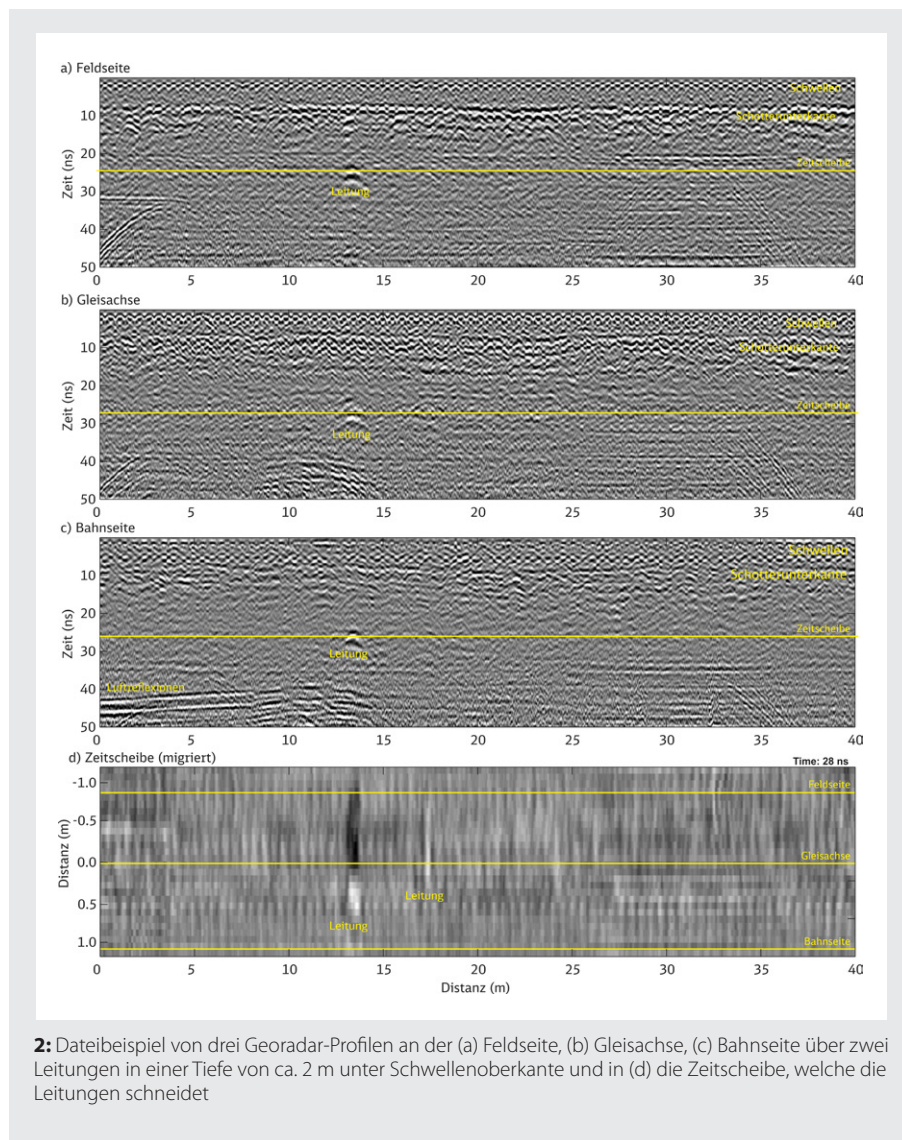
nach wie vor bei Geschwindigkeiten zwischen 80 und 120 km/h im Regelbetrieb ohne Streckensperrungen. Durch die Zusammenführung der Messprofile zu einer vollständigen 3D-Abbildung, ermöglicht das Georadar-Arraysystem die kontinuierliche Abtastung der Strecke parallel und senkrecht zur Gleisrichtung. Geotechnische Untersuchungen mithilfe von Bohrkernen zum Verifizieren ermittelter Schichtgrenzen können dadurch gezielt und an ausgewählten Stellen durchgeführt werden. Dadurch verringern sich die notwendigen Sperrzeiten bei erhöhter Qualität der Baugrunderkundung.

Messprinzip und Datenauswertung

Die von den 28 Antennen ausgesendeten elektromagnetischen Wellen werden an Schichtgrenzen und Objekten im Unter-



1: Anbau des Georadar-Arrays mit 28 Kanälen an einem Gleisarbeitsfahrzeug
Quelle: Henry Fried



grund reflektiert und an der Oberfläche – ähnlich wie beim Ultraschall – bildlich erfasst. Dabei werden die Messpunkte mit einem Abstand von unter 0,05 m in Streckenrichtung und unter 0,1 m senkrecht dazu aufgezeichnet. Für jede gemessene Bahnstrecke liefert das Georadar-Arraysystem mehrere Gigabyte an Daten und stellt so einen enormen Sprung in der Informationsdichte dar. Diese hohe räumliche Abtastung des Untergrunds ermöglicht neben senkrechten Profilen auch die Erstellung horizontaler Zeitscheiben (horizontale Tiefenschnitte/Tiefenscheiben), die eine kartenähnliche Darstellung der Untergrundstrukturen ermöglichen. Leitungen, Fundamente und der Untergrundaufbau werden als längliche oder flächige Strukturen sichtbar (siehe Abbildung 2). Dank der hohen Auflösung lassen sich gesuchte Objekte genauer erkennen, und potenziel-

le Schwachstellen frühzeitig detektieren noch bevor sie an der Oberfläche bemerkbar werden.

Die drei Darstellungen (Abbildung 2 a-c) zeigen Georadar Profile über einen 40 Meter langen Abschnitt eines Testdatensatzes an der bahnabgewandten Feldseite (Profil a), der Gleisachse zwischen den beiden Seiten (Profil b) und der Bahnseite in der Mitte eines doppelseitigen Gleises (Profil c). Die Profile identifizieren die Unterkante des Schotters, eine deutlich erkennbare Leitung bei einer Entfernung von 13,5 m sowie Seitenreflexionen von Objekten außerhalb der Bahnstrecke bei Laufzeiten von mehr als 30 ns. Diese Reflexionen könnten von verschiedenen Strukturen wie Bäumen, Gebäuden oder anderen Objekten entlang der Strecke stammen.

Darstellung 2 d zeigt eine, aus allen 28 Profilen zusammengesetzte Zeitschei-

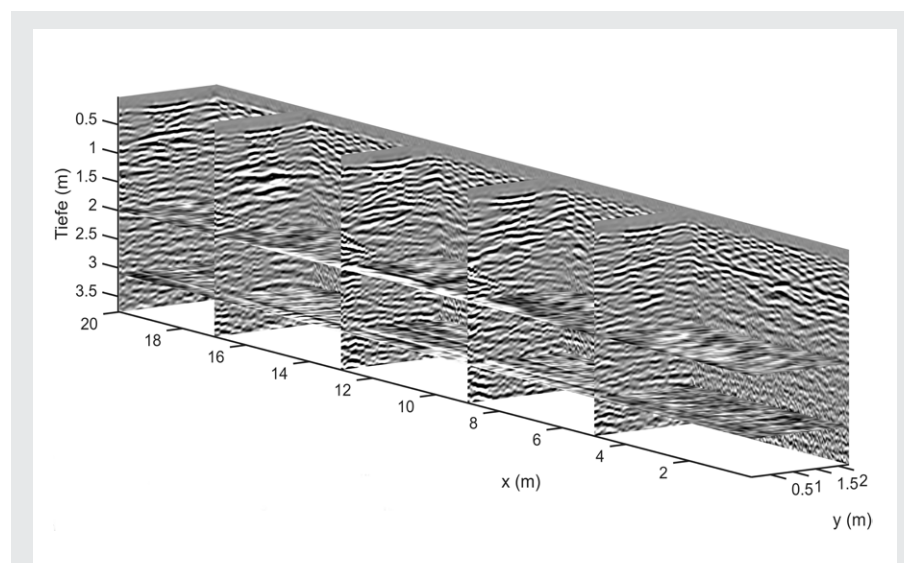
be bei 28 ns (Tiefe ca. 2 m). Neben der bereits in den Profilen sichtbaren Leitung bei 13,5 m und ihrem Verlauf wird zusätzlich eine zweite, dünnere längliche Struktur bei 17,1 m dargestellt, welche auf eine zweite Leitung hinweist, die in den oben gezeigten Profilen nicht erkannt werden kann. Dies liegt vermutlich daran, dass diese in den Profilen durch die Reflexionen der Schwellen verschleiert wird und ausschließlich in der Zeitscheibe sichtbar ist, da diese den Blick aus einer anderen Perspektive auf die Daten ermöglicht.

Die bei voller Fahrt von den 28 Antennen erzeugten Einzelprofile lassen sich zudem zu einem dreidimensionalen Bild zusammensetzen. In Abbildung 3 ist ein 20 Meter langer Ausschnitt desselben Datensatzes als dreidimensionaler Würfel dargestellt, wie er häufig in der Auswertung großflächiger Georadar-Daten eingesetzt wird. Durch die 3D-Darstellung lassen sich Neigung und Verlauf der Schichten räumlich erfassen. Diese auch von anderen dreidimensionalen Georadar-Daten bekannte Darstellungsform erscheint jedoch aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausdehnung (> 10 km ca. 2 m x ca. 4 m) nur eingeschränkt für die Auswertung und Interpretation der häufig mehrere Kilometer langen Daten geeignet.

Neben der Darstellung als Zeitscheibe ermöglichen die durch das Georadar-Arraysystem aufgezeichneten Daten auch die Anwendung neuer Filterverfahren, zum Beispiel eines dreidimensionalen Frequenz-Wellenzahl-Filters (3D FK-Filter). Dadurch können Störsignale wie Schwellenreflexionen und Seitenreflexionen von Objekten außerhalb der Bahnstrecke unterdrückt werden. Durch das Georadar-Arraysystem erhöht sich die Qualität der Daten deutlich, Objekte können besser kartiert und Größen genauer abgeschätzt werden, als es die Daten aus dem bisher mit drei Antennen ausgestatteten Georadar-Verfahren ermöglicht hatten.

Anwendungsbeispiele und Nutzen in der Praxis

Mit dem Georadar-Arraysystem lassen sich verschiedenste Strecken unabhängig von geografischen Herausforderungen wie Steigungen, Tunneln, Brücken oder Verläufen durch städtische Gebiete befahren. Messungen sind sowohl auf Hauptstrecken, beispielsweise im Rahmen der Generalsanierung der Deutschen Bahn AG, als auch auf Nebenstrecken möglich. Es



3: 3D-Würfel durch die Georadar-Daten – zur besseren Darstellung sind hier nur 20 m gezeigt. Längere Abschnitte sind aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausdehnung schwer zu visualisieren

empfehlenswert, die Messungen bereits in einer frühen Phase einzuplanen, am besten bevor entschieden wird, welche Abschnitte saniert werden müssen. So verbleibt ausreichend Zeit für die Auswertung der Daten und die Planung anschließender Arbeiten, wie Validierungsbohrungen, und darauf aufbauende geotechnische Gutachten. Georadar-Messungen können auch zielgerichtet nur in auffälligen Bereichen, zum Beispiel Schlammstellen oder Mulden, erfolgen. Eine durchgehende Befahrung ist in jedem Fall empfehlenswert, selbst wenn nur ausgewählte Abschnitte ausgewertet werden sollen und erst nachträglich eine umfassende Analyse der gesamten Strecke erforderlich ist. Die Dauer dieser Maßnahmen hängt stark von der Art der Arbeit und der Dringlichkeit der erforderlichen Verbesserungen ab.

Während der Messfahrten wird eine erhebliche Menge an Daten erhoben. Abhängig vom Streckenzustand und gewünschtem Detailgrad der Datenanalyse nimmt die Auswertung einen Zeitraum von mehreren Wochen in Anspruch. Abschnittsweise Auswertungen sind deshalb üblich und werden in einem offenen Format nach Kundenwunsch übergeben.

In der Darstellung der Daten kann die DB Engineering & Consulting GmbH flexibel auf die Erfordernisse der Streckenverantwortlichen eingehen und von Rohdaten, Tabellen über den Bahnkilometer mit Angaben von Schichttiefe und Auffälligkeit, über räumliche Darstellungen

in GIS-Systemen (Geografische Informationssystem) bis hin zur dreidimensionalen Abbildung im BIM-Modell (Building Information Modeling deutsch: Bauwerksdatenmodellierung) liefern. Darüber hinaus können die Ergebnisse in der X2BIM Plattform gemeinsam mit anderen Geodaten und 3D Punktwolken dargestellt werden. Das System wurde bereits erfolgreich auf mehr als 6000 km Strecke eingesetzt.

Herausforderungen und Grenzen

Bei Messgeschwindigkeiten zwischen 80 und 120 km/h erfasst das Georadar-Arraysystem enorme Datenmengen. Tagesetappen von 300 bis 400 km sind dabei keine Seltenheit. Bereits auf nur einem Kilometer erzeugen die 28 Antennen ein Datenvolumen von mehreren Gigabyte. Die Auswertung der daraus resultierenden Profile und Zeitscheiben ist äußerst anspruchsvoll. Es erfordert umfassendes Fachwissen, die physikalisch durch die Wellenlänge – typischerweise zwischen einem halben und einem Meter – begrenzte unscharfe Darstellung des Untergrunds richtig zu interpretieren.

Dank mehr als 30 Jahren Erfahrung, einer umfangreichen Datenbibliothek und cloudbasierter Interpretationssoftware ist die DB Engineering & Consulting GmbH in der Lage, fundierte und zuverlässige Analysen zu liefern, die am Ende aber immer durch Bohrungen verifiziert werden müssen.

Ausblick: Automatisierung und Integration

Das Georadar-Arraysystem schafft die Möglichkeit, Störsignale zu entfernen, und erleichtert so die automatisierte Interpretation der Daten. Ein Ziel dieser neuen Entwicklung ist die vollständig automatische Auswertung der Daten. Erste Ansätze, um Auffälligkeiten schneller und zuverlässiger zu erkennen, sind in der Umsetzung.

Fazit

Das neue Georadar-Arraysystem stellt einen bedeutenden Fortschritt für die Zuverlässigkeit der Zustandsbewertung des Bahnuntergrunds dar. Es ermöglicht eine frühzeitige, flächendeckende und hochauflösende Erfassung von Problemstellen – und schafft damit die Grundlage für eine vorausschauende Instandhaltung und sichere Betriebsführung. Die Integration der Ergebnisse in BIM-Modelle und GIS-Systeme, besonders in der gemeinsamen Analyse mit Punktwolkendaten in X2BIM ermöglicht eine direkte Weiterverarbeitung in Planung und Bauausführung.

Die Herausforderung bleibt, die gewaltigen Datenmengen effizient auszuwerten und möglichst automatisiert durchzuführen. Die Entwicklung zeigt: Mit moderner Messtechnik und digitaler Auswertung wird der Untergrund der Bahnstrecken transparenter denn je.

Summary

Delving deep with the ground-penetrating radar array

Reliable detection and assessment of the subsoil provides valuable information for infrastructure and maintenance projects, especially in cases where track conditions are unclear or inventory data is lacking. The solution developed by DB Consulting & Engineering GmbH based on a ground-penetrating radar antenna array enables high-resolution, three-dimensional imaging of the track subgrade – and thus provides new insights that contribute to the safety, reliability and efficiency of railway lines. The measuring system has been in use since this year – for exploring main and secondary lines during ongoing operations without line closures.