

# Detektion von Munitionsresten im Bahnkörper durch Multikanal-Georadartechnologie

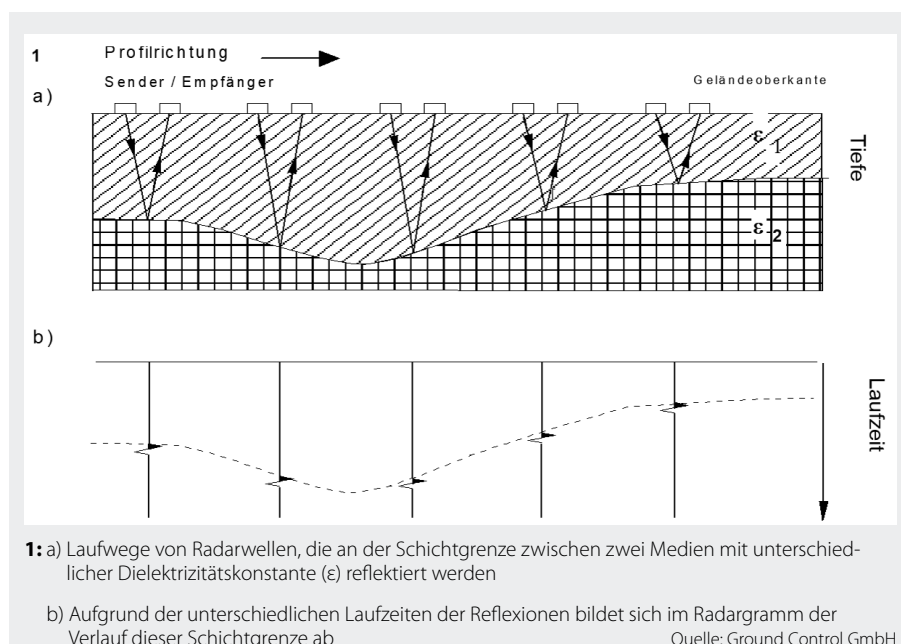
Die Instandhaltung von Schotterbettung und Gleisunterbau kann durch Fremdkörper, insbesondere Munitionsreste, verzögert oder signifikant behindert werden. Weder mit Metalldetektoren, Magnetometern noch konventionellen Georadarsystemen lassen sich Objekte im Gleisbett zuverlässig erkennen. Der Einsatz der Multikanal-Georadartechnologie verspricht Abhilfe durch eine erhöhte Scandichte, die eine tomografische Analyse des Bahnkörpers erlaubt.



## Einleitung

Das Georadar oder auch GPR (Ground Penetrating Radar) ist eine Technologie für die kontinuierliche Zustandserfassung von Eisenbahnstrecken. Dies beinhaltet die Ermittlung von Kennzahlen, wie z. B. die Verschmutzung der Schotterbettung, Feuchtigkeit in der Schotterbettung und im Unterbau, Welligkeit des Gleisplanums, sowie Verlehungen oder Schlammstellen, um Zustand und Qualität des Bahnkörpers zu beurteilen. Das Geora-

darverfahren ist ein elektromagnetisches Reflexionsverfahren. Dabei werden über eine Sendeantenne elektromagnetische Impulse in den Boden abgestrahlt. Ein Teil dieser Energie wird an Grenzflächen zwischen Schichten mit unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften reflektiert und zur Antenne zurückgesendet. Aus der gemessenen Laufzeit und der materialabhängigen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen können die Tiefenlage und der Verlauf der Schichtgrenze bestimmt werden (siehe Bild 1).



**Dipl.-Ing. Martin Bürger**  
 Abteilungsleiter Emerging Technologies, Plasser & Theurer, Linz  
 martin.buerger@plassertheurer.com



**Thomas Harfmann**  
 Projektmanager Ground Control GmbH  
 harfmann@saferailsystem.com



**Dipl.-Ing. David Größbacher**  
 Mitarbeiter Emerging Technologies, Plasser & Theurer, Linz  
 david.groessbacher@plassertheurer.com



**Dr. Gerald Zauner**  
 FH-Professor für Signalverarbeitung, FH OÖ Campus Wels  
 gerald.zauner@fh-wels.at

Die Genauigkeit der Auflösung von Objekten wird einerseits durch die verwendete Signalfrequenz und andererseits durch den Messpunktastand bestimmt. Je höher die verwendete Frequenz der Radarwellen

und je geringer der Abstand zwischen den Messpunkten, desto genauer können Objekte und Schichten im Untergrund erfasst werden. Aufgrund der allgemeinen technischen Einschränkungen der Radar- und Computersysteme war es bisher nur möglich, drei Profile des Bahnkörpers abzubilden, nämlich in der Gleisachse sowie links und rechts der Bahn.

### Multi-Antennen-Radartechnologie

Mit einem neu entwickelten Multi-Antennen-Radarsystem können nun bis zu 30 Profile gleichzeitig aufgenommen werden. Dies ermöglicht eine tomografische Schnittbilddarstellung des Bahnkörpers, wie in den Bildern 2 und 3 gezeigt wird. Aufgrund der im Multi-Antennen-Radar stark erhöhten lateralen Auflösung (Faktor 10) eröffnen sich neue Möglichkeiten der Dateninterpretation. Kampfmittel, wie Bomben, Munitionskanister und Ähnliches, oder auch andere Objekte wie Fels- oder Betonbrocken, Kabel und Leitungen können mit dieser Technologie wesentlich besser geortet und kartiert werden.

Eine derartige Multi-Antennen-Technologie wurde bisher im Bahnbereich noch nicht eingesetzt. Aktuelle Anwendungen sind:

- Kartierung von archäologischen Stätten
- Identifizierung und Kartierung von Hohlräumen (Straße/Stadtgebiet)
- Erkennung unterirdischer Tanks
- Flächenfreimachung vor dem Bau

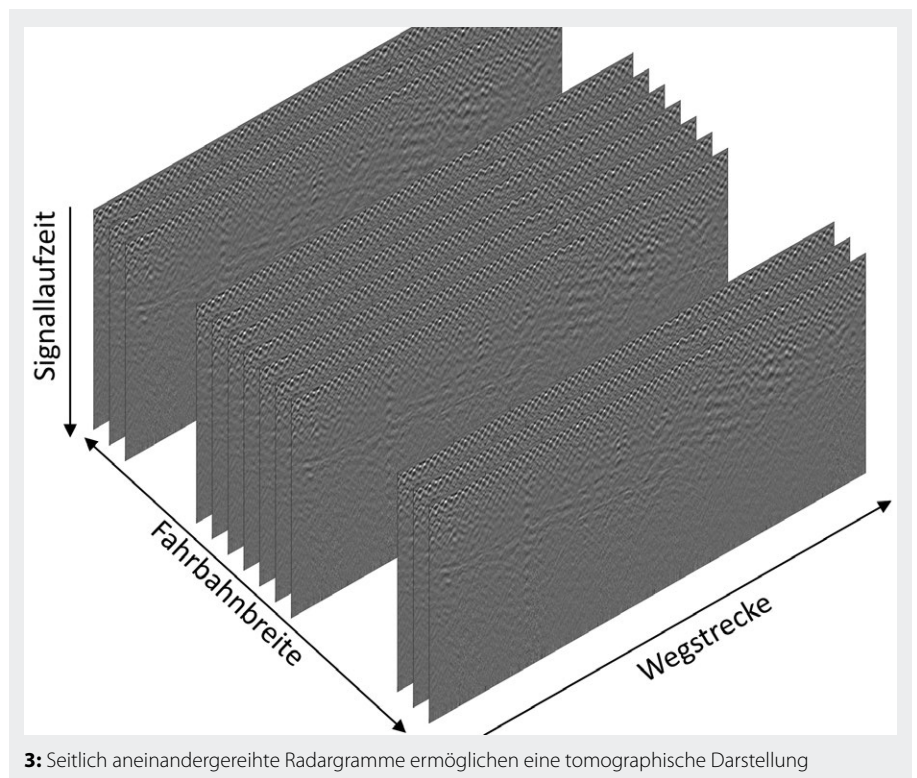
### Versuche zur Detektion von Fremdkörpern und Blindgängern

Verschiedene Instandhaltungsarbeiten an Fahrwegen greifen in die Schotterbettung ein, beispielsweise Stopfung oder Bettungsreinigung. Dabei wäre es vorteilhaft, bereits vor Durchführung der Arbeiten über vergrabene Fremdkörper Bescheid zu wissen, da in ungünstigen Fällen kostenintensive Verzögerungen entstehen können. Bei Blindgängern bzw. UXO (Unexploded Ordnance, also nicht explodierte Munition), die weiterhin regelmäßig im Bereich von Bahnstrecken zum Vorschein kommen, ist jedenfalls mit langwierigen Unterbrechungen zu rechnen; zusätzlich liegt eine unmittelbare Gefährdung der Personen in der näheren Umgebung vor.

Um die Leistungsfähigkeit der Multikanal-Radar-Technologie in Bezug auf die Erkennung von Fremdkörpern in der



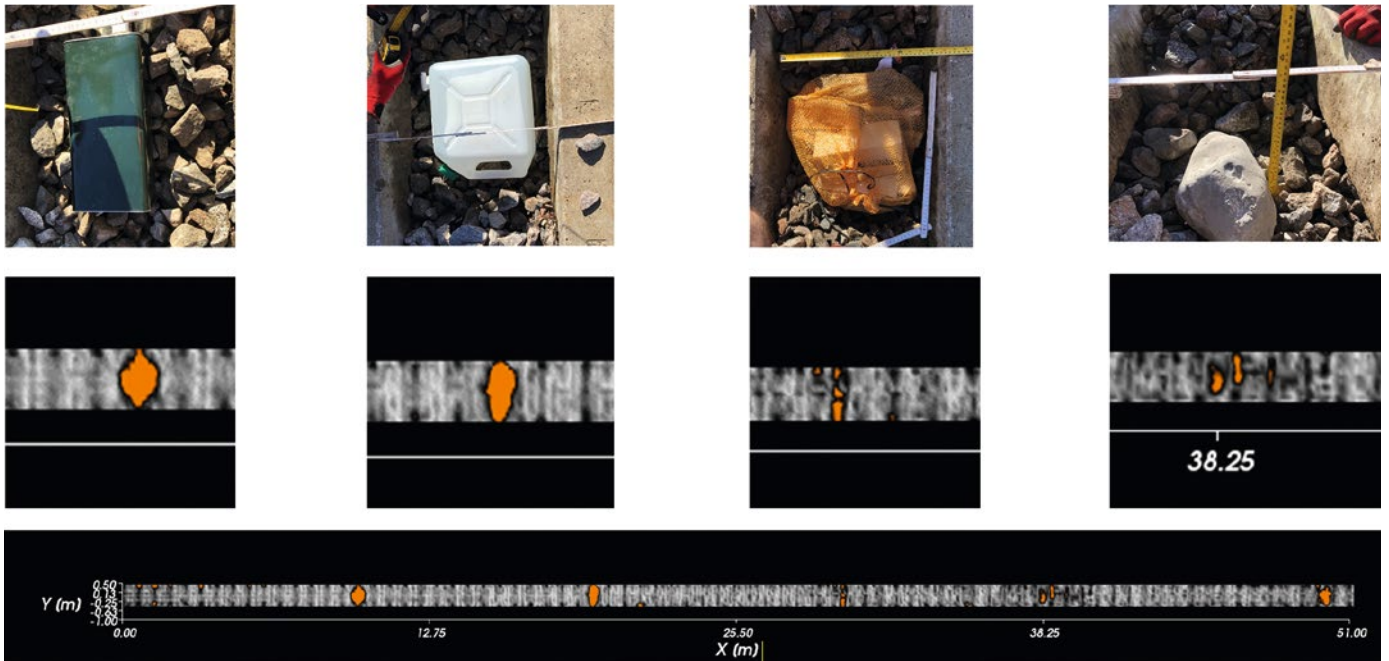
2: Aufbau und prinzipielle Darstellung der aufgezeichneten Kanäle des Multi-Antennen-Radarsystems  
Quelle der Bilder 2-7: Plasser & Theurer



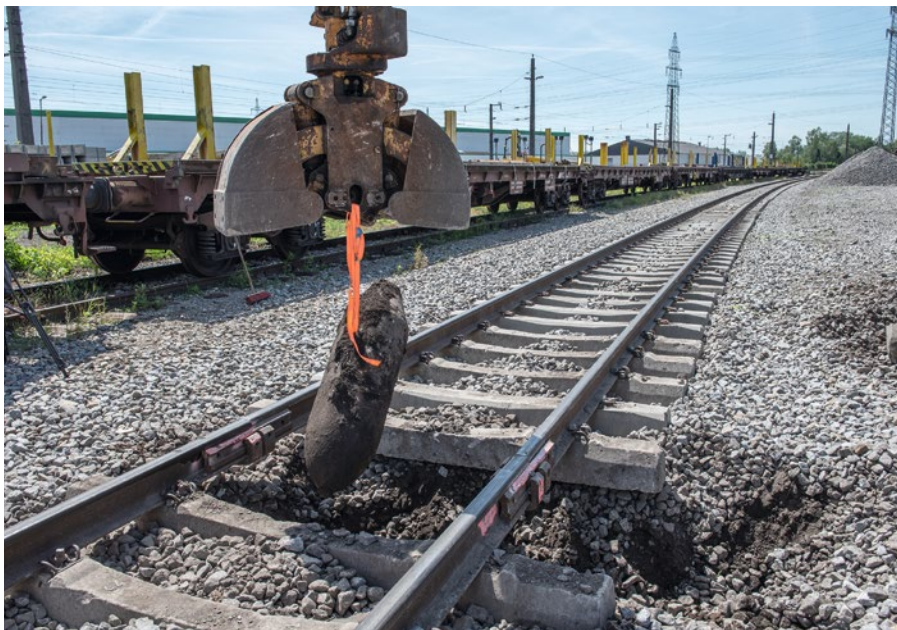
3: Seitlich aneinandergereihte Radargramme ermöglichen eine tomografische Darstellung

Schotterbettung bzw. dem Unterbau zu ermitteln, wurden Versuche durchgeführt, bei denen unter anderem eine entschärfte Fliiegerbombe detektiert werden sollte. Die Fliiegerbombe wurde dazu unter einem Testgleis vergraben, um anschließend mit dem Multikanal-System Messungen durchzuführen. Die daraus resultierenden Daten wurden einer spezifischen Datenverarbeitung unterzogen, um Anomalien hervor-

zuheben, wie die durch die Fliiegerbombe entstehenden Signalanteile. Zuvor wurden bereits erfolgreiche Tests durchgeführt, bei denen kleinere Objekte, wie etwa Metallkanister, in geringer Tiefe in Schotterbettungen detektiert wurden (siehe Bild 4). Die vielversprechenden Ergebnisse führten zu den hier beschriebenen Versuchen, wobei maschinell bis zum Gleisunterbau gegraben wurde.



4: Ergebnisse eines zuvor durchgeführten Versuchs mit vergrabenen Objekten (Metall-Kanister, mit Wasser gefüllter Plastik-Kanister, Holzstücke und größerer Stein)



5: Für Versuche eingegrabene entschärfte Fliegerbombe

Das aktuelle Versuchsobjekt ist eine britische 500-Pfund-Fliegerbombe aus dem Zweiten Weltkrieg, mit einer Länge von 120 cm sowie einem Durchmesser von 35 cm, die keinen Sprengstoff mehr enthält, also innen hohl ist (siehe Bild 5). Diese wurde bei mehreren Messungen in verschiedenen Lagen (längs und quer zur Fahrtrichtung) im Gleisbett vergraben. Die Oberseite der Fliegerbombe befand sich dabei in einer Tiefe zwischen 20 und 70 cm unter der Schwellenunterkante. Um eine

möglichst anwendungsnahe Messumgebung herzustellen, wurde nach dem Vergraben wieder eine Betonschwelle an der zuvor geöffneten Stelle eingesetzt.

Die Stahlbewehrung in Betonschwellen sowie Schienenbefestigungsmaterial verhindern den zuverlässigen Einsatz von Metalldetektoren, um metallische Fremdkörper in Schotterbettungen aufzuspüren. Die von GPR-Systemen ausgesendeten Radarimpulse werden durch die Stahldrähte in den Schwellen zwar auch reflektiert

bzw. abgedämpft, es dringt jedoch ein ausreichend hoher Signalanteil durch, um Reflexionen von Objekten unterhalb der Schwellen zu empfangen. Dazu trägt die kegelförmige Ausbreitung der Radarwellen bei, wodurch nicht nur Objekte erfasst werden, die sich senkrecht unterhalb der Antennen befinden, sondern auch jene innerhalb eines begrenzten Abstrahlwinkels.

Durch die feinmaschigen Abtastpunkte, die sowohl von der engen seitlichen Anordnung der Sende- und Empfangsantennen (siehe Darstellung der Kanäle in Bild 2) als auch durch kurzen Messabstand in Fahrtrichtung zustande kommen, sollte die Fliegerbombe mehrfach abgetastet werden und damit eine deutlich erkennbare Signatur im Radargramm erzeugen. Nach einer Vorverarbeitung der Messdaten kann jeder Kanal separat betrachtet werden, wodurch eine tomografische Ansicht auf den Untergrund des gemessenen Streckenabschnitts ermöglicht wird.

### Ergebnisse

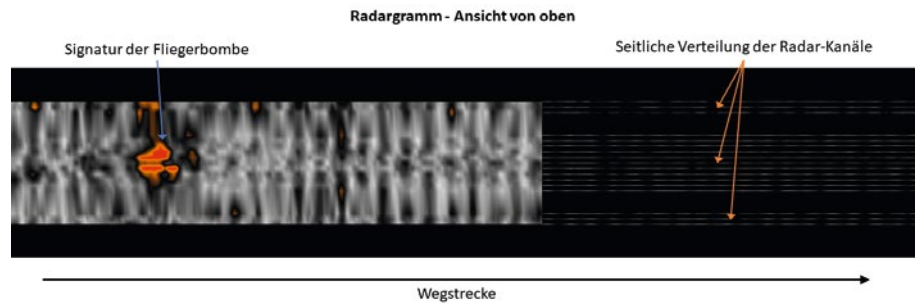
Bei der Betrachtung der aufgezeichneten Radargramme, die – wie in Bild 3 dargestellt – Querschnitte entlang der Fahrtrichtung repräsentieren, konnte in mehreren der zwischen den Gleisen liegenden Kanäle eine starke Signatur unterhalb der Schwellen erkannt werden. Das lässt auf einen großen Fremdkörper schließen, der auch eine dem seitlichen Versatz der Ka-

näle entsprechende Breite aufweist. Neben den etablierten Ansichten von Radargrammen, in denen die horizontale x-Achse die Fahrtrichtung und die vertikale Achse die Signallaufzeit (t-Achse) bzw. Tiefe (z-Achse) darstellt, ermöglichen die Multikanal-Messdaten die Wiedergabe weiterer Schnittebenen. Die y-Achse wird als normal zur x-Achse bzw. Wegstrecke angenommen und bildet die Streckenbreite ab. Ein Schnitt durch die x/y-Ebene bei einer gewünschten Tiefe ermöglicht eine Vogelperspektive auf die gemessene Strecke, wie in Bild 6 gezeigt wird. Die Fliegerbombe bildet dabei einen ausreichend starken Kontrast, um sie von der Umgebung zu unterscheiden. Rechts im Bild sind die seitlichen Abstände der Kanäle zu sehen. Die beiden Freiräume sind durch die Schienen bedingt, über denen sich keine GPR-Antennen befinden.

Es ist plausibel, dass die Analyse und Auswertung von Radargrammen bzw. tomografischen Daten besondere Aufmerksamkeit benötigt, um Fremdkörper wie die in diesem Fall vergrabene Fliegerbombe zuverlässig zu erkennen. Der starke Einfluss der Schwellen auf die Messdaten ist dabei eine zusätzliche Herausforderung. Mit einer speziellen Methode der Signalverarbeitung, die an die Noise-Cancelling-Technologie von Kopfhörern angelehnt ist, können diese Einflüsse minimiert werden. Für eine ansprechende 3D-Darstellung wurde damit eine Separation von regelmäßigen Strukturen, wie die der Schwellen, und Unregelmäßigkeiten durchgeführt. Anschließend wurden diese Daten einer Segmentierung unterzogen, wodurch Signalstrukturen mit einer Mindestgröße und -Intensität hervorgehoben und farblich markiert wurden. Bild 7 zeigt ein Beispiel, wie eine derartige Datenverarbeitung visualisiert werden kann. Wie zu sehen ist, konnten die Signalanteile der Schwellen an einem Stück entfernt und die der Fliegerbombe differenziert dargestellt werden (orange markiert). So wird auch für Laien deutlich, dass sich an der hervorgehobenen Stelle ein Fremdkörper befinden muss.

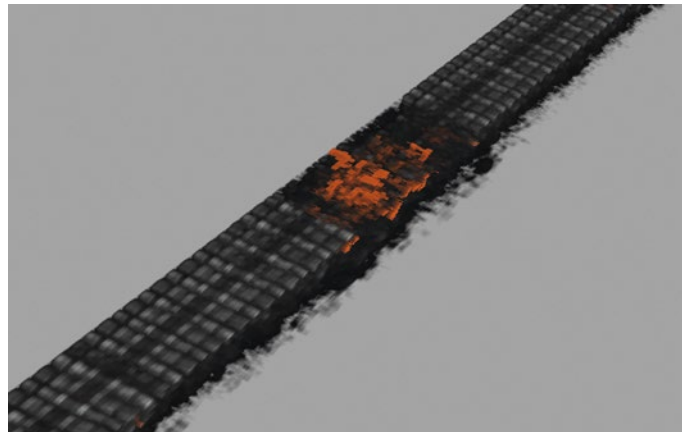
**Fazit**

Mit den beschriebenen Versuchen sollte festgestellt werden, ob es grundsätzlich möglich ist, Blindgänger oder andere Fremdkörper in Schotterbettung bzw. dem Unterbau durch ein Multi-Antennen-Georadarsystem zu detektieren. Die verwendete Fliegerbombe hat dabei aussagekräftige



6: Georadar-Tomographie der Fliegerbombe

7: Farbliche Segmentierung von Anomalien (orange), Signatur der Schwellen stückweise entfernt



Signale produziert, die auf einen größeren Fremdkörper hinweisen. Vorwegzunehmen ist, dass aufgrund der Radargramme nicht zwangsläufig zwischen Munitionsresten oder Blindgängern bzw. anderen ungefährlichen Fremdkörpern zu differenzieren ist. Mit großer Wahrscheinlichkeit kann aber durch den hohen Kontrast auf ein metallisches Objekt geschlossen werden. Ähnlich starke Kontraste werden fast ausschließlich durch Stauwasser oder Schlammstellen verursacht, wobei es jedoch spezifische Hinweise in den Messdaten gibt, um Wasser von Metallen zu unterscheiden. Die verwendete Technologie ermöglicht auf jeden Fall eine sichere Kartierung von großen Objekten im Gleis, unabhängig davon, ob es sich um Blindgänger oder Betonbrocken handelt, die eine Gleisbaustelle erheblich behindern oder gefährden würden.

Mit der Segmentierung bzw. dem Labeling – der farblichen Markierung –

von Anomalien wurden die Messdaten veranschaulicht. Dies ist eine Grundlage für eine zukünftige automatisierte Auswertung, in der vergrabene Objekte detektiert und kategorisiert werden. Dazu sind noch weitere Versuche notwendig, in

denen die maximale Tiefe bzw. minimale Größe der Objekte unter verschiedenen Bedingungen ermittelt werden soll, wie etwa unterschiedlicher Verschmutzung oder variierender Feuchtigkeit der Schotterbettung. ●

---

#### Summary

##### **Detection of ammunition fragments in roadbeds using multi-channel geo-radar technology**

Maintenance of ballast beds and track substructure can significantly be delayed or significantly obstructed by foreign objects, especially ammunition fragments. Neither metal detectors, magnetometers nor conventional geo-radar systems can reliably detect objects in ballast beds. The use of multi-channel geo-radar technology promises help by increasing the scanning density which allows a tomographic analysis of the roadbed.

---