

## Gültigkeit der mit dem Ground Penetration Radar (GPR) ermittelten Schichtdicken von Straßenbefestigungen

FA 9.116

Forschungsstelle: Universität Hannover, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau (Prof. Dr.-Ing. J. Hothan)  
Bearbeiter: Hothan, J. / Förster, M.-C.  
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn  
Abschluss: Oktober 2000

### 1. Aufgabenstellung

Die Anwendung von Georadar oder auch Ground Penetration Radar (GPR) ist eine seit vielen Jahren erprobte Technik im Bereich der Geologie und Geophysik zur Erkundung von Schichtdicken und -horizonten. Die hierbei verwendeten Frequenzen von 100 bis 500 MHz ermöglichen große Eindringtiefen aber nur geringe Auflösungen, so dass diese Geräte für den Einsatz im Straßenbau nicht in Betracht kommen. Erst mit höheren Frequenzen von 900 MHz bis zu 2,5 GHz ist die gewünschte Auflösung zu erreichen. Im Straßenbau wird das Verfahren seit längerem zur Erkundung von Aufbaudicken und zur Ortung von Leitungen oder Hohlräumen eingesetzt. Allerdings wurden die an das Verfahren gestellten Erwartungen nicht immer erfüllt; sei es auf Grund der nachlassenden vertikalen Auflösung bei größeren Tiefen, kaum unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Schichten oder externer Einflüsse, welche die Messung störten. Generell aber handelt es sich bei dem GPR-Verfahren um eine interessante Möglichkeit, vorhandene Straßenkörper möglichst zerstörungsfrei zu klassifizieren, da im Normalfall nur wenige Bohrkern zur Kalibrierung der Messdaten benötigt werden.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, den aktuellen Entwicklungsstand des GPR-Verfahrens an Hand von konkreten Untersuchungen praktisch zu ermitteln. Das Hauptaugenmerk galt dabei besonders der Abgrenzung des gebundenen Straßenaufbaus gegenüber der darunterliegenden ungebundenen Schicht, wobei für die Bestimmung der Dicke des gebundenen Paketes eine Genauigkeit von  $\pm 2$  cm eingehalten werden sollte. Des Weiteren waren auch die ungebundenen Schichten (Kies- oder Schottertragschicht) gegenüber dem Untergrund bzw. -bau eindeutig abzugrenzen, und die Dicke der ungebundenen Schichten mit einer Genauigkeit von  $\pm 5$  cm zu ermitteln. Sollte das GPR-Verfahren diesen Genauigkeitsanforderungen entsprechen, so wäre man in der Lage, eine Aufnahme des realen Bestandes von Teilnetzen mit einem geringen Aufwand vornehmen zu können. Dies bedeutet eine wichtige Voraussetzung für die Beurteilung der Beanspruchung von Straßennetzen im Rahmen eines Erhaltungsmanagements.

### 2. Untersuchungsmethodik

Um die Genauigkeit des Verfahrens zu überprüfen, wurden vom Auftragnehmer drei Anbieter von Georadaruntersuchungen ausgewählt, die an drei zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer abgestimmten Untersuchungsstrecken jeweils die Dicke der gebundenen bzw. ungebundenen Schichten bestimmen sollten. Zusätzlich wurden die Strecken noch mit unterschiedlichen Auflösungen und mit jeweils einer Wiederholungsmessung untersucht und die Ergebnisse hinsichtlich der Genauigkeit ausgewertet. Nebenbei wurde auch noch der Wassergehalt der ungebundenen Schichten bestimmt und dessen Einfluss bzgl. der Untersuchungsergebnisse beurteilt. Als zusätzliche Untersuchung wurde die von der Bundesanstalt für Straßenwesen

(BASt) auf dem eigenen Gelände vorhandene Modellstraße im aktuellen Zustand und nach einem Neueinbau ebenfalls mit in die Untersuchungsreihe aufgenommen. Abschließend wurden die Wirtschaftlichkeit des GPR-Verfahrens gegenüber einer reinen Bohrkernentnahme dargestellt und Empfehlungen auf der Grundlage der bei den Untersuchungen gemachten Erfahrungen ausgesprochen.

Eine erste Auswertung von bereits durchgeführten nationalen und internationalen Untersuchungen ließen den Schluss zu, dass es vielfältige und sinnvolle Einsatzmöglichkeiten für das Georadar gibt. Hierzu gehört unter anderem auch die Bestimmung von Schichtdicken in Straßenkörpern, bei der in Einzelfällen sehr gute Ergebnisse erzielt wurden. Um diese Ergebnisse zu verifizieren, wurden Strecken, die in ihrem Aufbau gut bekannt sind, untersucht.

Zum Einsatz kamen bei den Untersuchungen unterschiedliche Antennensysteme, die mit oder ohne Bodenkontakt über die zu untersuchende Befestigung geführt wurden. Zudem wurden von den einzelnen Betreibern Antennen mit Frequenzen von 500 bis 2500 MHz eingesetzt.

Die erste Untersuchung brachte, wegen unerwartet starker Inhomogenitäten der Strecke, noch nicht die gewünschten Ergebnisse hinsichtlich der Bestimmung der Schichtdicken im Straßenaufbau. Sie konnte dazu benutzt werden, um Grundlagen für den Umgang mit dem Gerät selbst, aber auch für die Vorbereitung, die Auswertung und die Deutung der Untersuchung zu erhalten. Als Ergebnis war festzuhalten, dass die Anzahl der benötigten Kalibrierungsbohrkerne nicht von der Länge der Untersuchungsstrecke, sondern von der Anzahl der homogenen Abschnitte innerhalb der Strecke abhängt. Außerdem hatte sich gezeigt, dass auch die Lage der Entnahmestelle der Kalibrierungsbohrkerne von ganz entscheidender Bedeutung sein kann, da ein Aufschluss z.B. aus einem Übergangsbereich nicht repräsentativ für einen kompletten Abschnitt sein muss. Auch die ermittelten Wassergehalte bringen keine wesentlichen, neuen Erkenntnisse. Zumal eine Aussage über den Einfluss auch nur dann möglich wäre, wenn dieselbe Strecke bei bekannten unterschiedlichen Wassergehalten untersucht würde. So konnte lediglich festgestellt werden, dass die Erkennbarkeit der Schichtgrenzen in keinem offensichtlichen Verhältnis zu den Wassergehalten stand.

Hinsichtlich der Fragestellung (Detektion der UK Asphaltpaket und UK ungebundenen Tragschicht) lieferte die zweite Untersuchung wesentlich klarere Ergebnisse. Es zeigte sich, dass die Erkennung der Schichtgrenzen kein Problem darstellt, sofern die richtige Antennenwahl (Frequenz) und entsprechende Erfahrung bei der Auswertung der Radargramme vorliegt. Probleme entstanden bei den Untersuchungen durch die spezielle technische Ausrüstung eines Betreibers, dessen Scans nicht von einem Messrad ausgelöst wurden, sondern von einer Steuereinheit in einem festen zeitlichen Abstand. Hier traten Verschiebungen in den dargestellten Profilschnitten auf.

Die Ergebnisse der letzten Untersuchung zeigten, dass das System Georadar grundsätzlich in der Lage ist, die geforderten Genauigkeiten einzuhalten bzw. präziser als die Vorgaben zu sein. Es wurde deutlich, dass eine Änderung im Versuchsablauf (Entnahme der Kalibrierungsbohrkerne erst nach einer ersten Vorauswertung) einen sehr positiven Einfluss auf die Versuchsergebnisse hat. Die zusätzlichen Untersuchungen der Modellstraße der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) hat die Eignung des Systems zur Erkundung der beiden Untersuchungshorizonte bestätigt. Interessant hierbei, wie auch bei der letzten geplanten Untersuchung, war die Tatsache, dass nicht nur die vorgegebenen maximalen Abweichungen eingehalten werden konnten, sondern dass von mehreren Systemen auch

ein qualitativ vergleichbares Profil bestimmt wurde. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Messung über den gesamten Abschnitt und nicht nur im Bereich der einzelnen Kontrollstellen dem wahren Aufbau entspricht.

Die Möglichkeit, Schichtgrenzen im Asphaltpaket zu erkennen, konnte bei den hier durchgeführten Untersuchungen analysiert werden. Wegen der physikalischen Gesetzmäßigkeiten war zu vermuten, dass eine Erkundung von dünnen Schichten ( $\geq 3$  cm) nur durch Antennen mit sehr hohen Frequenzen möglich ist. Die Asphaltdeckschicht ist mit der hochfrequenten 2,5 GHz Antenne detektierbar. Bei den darunterliegenden Schichten (Asphaltbinde- bzw. -tragschicht) ist dies eingeschränkt auch schon mit Antennen von 1,5 GHz möglich.

### 3. Schlussfolgerungen für die Praxis

Der vom Auftraggeber gewünschte wirtschaftliche Vergleich der reinen Bohrkernentnahme mit der Untersuchung mittels Georadar wurde auf die erreichbare Auflösung bei gleichen Kosten bezogen. Für die Untersuchung eines homogenen Abschnittes von 1000 m mit kontinuierlicher Auflösung mit dem Georadar können zu gleichen Preisen 5 einzelne Bohrkernkerne mit einer viel geringeren Informationsdichte entnommen werden. Allein dieser Vergleich zeigt die wirtschaftliche Bedeutung des Georadar-Verfahrens zur Erkundung von Straßenkörpern. Dieser Aspekt verstärkt sich noch vor dem Hintergrund, dass bei einer statistisch abgesicherten Erkundung des Abschnittes theoretisch 8 bis 9 Bohrkernkerne – also fast doppelt so viele – entnommen werden müssten. Ebenfalls ersichtlich wird hieraus der wesentlich schonendere Umgang mit der Straße, da für das Georadar lediglich ein Bohrkern je homogenem Abschnitt erforderlich ist.

Abschließend wurden einige Empfehlungen für den Umgang mit dem Georadar herausgearbeitet, die auf der Grundlage der in diesem Forschungsvorhaben gemachten Erkenntnisse gegeben werden können. Zunächst ist die Fragestellung (das Ziel) der Untersuchung zu definieren. Geht es ausschließlich um die Aufnahme der Schichtdicken zur Klassifizierung von Teilnetzen, dann kann eine hohe Messgeschwindigkeit gewählt werden. Ist

das Ziel zusätzlich auch die Detektion von querenden Leitungen und Anomalien, so kann dies nur mit einer hohen Auflösung (langsame Fahrt) erfolgen. Des Weiteren muss vor Beginn der Messungen die benötigte Auflösungstiefe feststehen. Soll nur das Paket der oberen gebundenen Schichten bis zu einer Tiefe von etwa 40 bis 50 cm aufgelöst werden, so ist dies im Allgemeinen mit allen Antennen mit mehr als 1 GHz problemlos möglich. Wird auch eine Abbildung der Schichten im Asphaltpaket angestrebt, so ist der Einsatz einer hochfrequenten Antenne von 2,5 GHz unumgänglich, da nur diese in der Lage ist, Schichtdicken von mehr als 3 cm zu erkennen. Gehört auch die Erkundung von tiefliegenden Schichten (bis 90 cm unter GOK) zum Messprogramm, so wird empfohlen, den Geschwindigkeitsverlust gegenüber den Hornantennen in Kauf zu nehmen und mit Antennen mit Bodenkontakt zu arbeiten. Es hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse dieser Antennen bei den unteren Schichten auf Grund der Abstrahlcharakteristik besser sind.

Die Entnahme der Kalibrierungsbohrkerne sollte unbedingt erst nach einer Vorauswertung der Radardaten vorgenommen werden, um gezielt an den Stellen Aufschlüsse zu entnehmen, die eine gute Identifikation der restlichen Signalraten ermöglichen.

Weitere abschließende Empfehlungen betreffen die Auswertung der Signale. Es hat sich in den Versuchen gezeigt, dass auf Grund der Radarsignale an manchen Stellen des Straßenaufbaus ein Schichtwechsel vermutet wurde, der nicht oder nicht offensichtlich vorhanden war. Mögliche Ursachen hierfür können im Material selber liegen oder aber am Einbau derselben. Außerdem ist aufgefallen, dass erkannte Schichtgrenzen nach einem Wechsel im Aufbau an der falschen Stelle weitergeführt wurden, so dass die Zuordnung seitens der Betreiber falsch war. Bei einer gewissen Kenntnis vom Straßenbau könnten derartige Fehler sicherlich in einigen Fällen schon von vornherein ausgeschlossen werden, da es bestimmte Horizonte und Aufbauwechsel im deutschen Straßenbau auf Grund der Standardisierung gar nicht gibt. Deshalb wird an dieser Stelle empfohlen, einen sachkundigen Straßenbauingenieur an den Auswertungen zu beteiligen, der aus den gewonnenen Daten die für die Beurteilung und Prognose des Aufbaus entscheidenden und wichtigen Informationen entnimmt. □