

Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues

von

Gudrun Golkowski

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 31

bast

Kurzfassung – Abstract

Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues

Das Georadarverfahren (auch Ground Penetration Radar (GPR)) ist ein Verfahren zur Untersuchung des Aufbaues und zur Detektion von Objekten im Ober- und Unterbau sowie dem Untergrund. Das Verfahren beruht auf der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und ermöglicht so eine kontinuierliche und zerstörungsfreie Aufnahme des Straßenoberbaues bzw. des Untergrundes/Unterbaues.

Das Georadarmesssystem bietet eine Reihe von Möglichkeiten auf verschiedenen Anwendungsgebieten. Diese Anwendungsgebiete lassen sich in die Bereiche Netzebene und Projektebene unterscheiden. In Forschungsvorhaben konnte gezeigt werden, dass sich das Messsystem auf Netzebene zur Erfassung von Bestandsdaten im Straßenoberbau eignet. Aufbauend auf den Forschungsergebnissen, den durchgeführten Messreihen und dem Erfahrungsaustausch mit Georadarbetreibern ist eine Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues erstellt worden. Sie beschränkt sich auf den Einsatz auf Netzebene, stellt Anforderungen an die Gerätetechnik, Messkonfiguration sowie an die Durchführung, Auswertung und Dokumentation der Messungen. Ziel der Arbeitsanleitung ist es, den Einsatz des Messverfahrens zur Bestimmung von Aufbaudaten zu erleichtern und unsachgemäße Handhabung zu vermeiden. Sie dient einer einheitlichen Grundlage zur Durchführung und Auswertung von Georadarmessungen.

Bei der Projektbearbeitung hat sich gezeigt, dass das Georadarmesssystem Potenzial für andere Anwendungsfälle insbesondere auf Projektebene im Bereich der Schadensanalyse und der Entwicklung von Erhaltungsstrategien besitzt. Für den Einsatz des Georadarverfahrens im Asphaltstraßenbau auf Projektebene gibt es noch keinen ausreichenden Bewertungshintergrund, um allgemeine Anforderungen an die Durchführung und Auswertung von Georadarmessungen für diese Anwendungsfälle in einer Arbeitsanleitung festzuschreiben. Hier besteht aktueller Forschungsbedarf.

Zur Sicherstellung qualitativ hochwertiger Auswertungen von Georadarmessungen ist weiterhin eine Zertifizierung der Messgeräte und des Messpersonals wünschenswert, da Erfahrungen aus dem Bereich Straßenbau für die Auswertung der Messdaten und der Dateninterpretation unerlässlich sind.

A Guide on Using the Geo Radar to Obtain Data on the State of the Roadway

The Geo Radar (also known as the Ground Penetration Radar (GPR)) procedure is a procedure for examining roads and detecting objects in the pavement, base and foundation. The procedure is based on sending out electro-magnetic waves and therefore enables the pavement, base and foundation to be recorded continuously and without causing any damage to them.

There are a number of possible areas in which the Geo Radar measuring system could be applied. These can be divided into network-level areas and project-level areas. Research projects have shown that at network level the measuring system is suitable for recording data on pavement condition. The research results, the measurements, and the knowledge gained through exchanging information with Geo Radar operators, were all used as a basis for drawing up a guide on using the Geo Radar to obtain road-condition data. The guide is limited to using the Geo Radar at network level; it contains requirements for equipment technology and measurement configuration and for conducting, evaluating and documenting the measurements. The aim of the guide is to facilitate the use of the measuring procedure to ascertain structural data and to prevent incorrect use. It serves as a standardised basis for conducting and evaluating Geo Radar measurements.

The work carried out during the project has shown that the Geo Radar measuring system has potential for being applied in other areas, in particular at project level for damage analysis and the development of maintenance strategies. With regard to using the Geo Radar procedure at project level in asphalt highway construction, the lack of a sufficiently developed basis for evaluation would not allow a guide to be drawn up containing

general requirements on conducting and evaluating Geo Radar measurements in these areas. Research is needed in this regard.

To ensure that evaluations of Geo Radar measurements are of high quality, it would also be desirable to have a process for certifying the measuring devices and the measuring personnel, as experiences from the area of highway construction are of absolute necessity for evaluating and interpreting the measuring data.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Grundsätze der Arbeitsanleitung	7
3	Forschungsbedarf	8
3.1	Zertifizierung der Georadarmess- systeme	8
3.2	Einsatz des Georadars auf Projektebene	8
3.2.1	Schadensanalyse	8
3.2.2	Erhaltungsplanung	9
3.2.3	Qualitätskontrolle	9
4	Zusammenfassung und Ausblick	9
5	Literatur	10

Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Be- standsdaten des Fahrbahnaufbaues

1	Zweck	11
2	Messprinzip	11
3	Anwendungsgebiete	12
4	Kalibrierung	13
5	Messungen	13
5.1	Vorbereitungen	13
5.2	Messanforderungen/ Versuchskonfiguration	13
5.2.1	Wahl des Antennentypus	13
5.2.2	Wahl der Messfrequenz	14
5.2.3	Laterale Auflösung	14
5.3	Durchführung der Messungen	15
5.4	Datenverarbeitung und Auswertung	15
5.5	Präzision	15
6	Prüfbericht	15
6.1	Durchführung der Messung (Prüfbericht, Teil 1)	16
6.2	Auswertung der Messungen (Prüfbericht, Teil 2)	19
6.3	Aufbaudaten, (Prüfbericht, Teil 3)	19

1 Einleitung

Das Georadarverfahren (auch Ground Penetration Radar (GPR)) ist ein Verfahren zur Untersuchung des Aufbaues und zur Detektion von Objekten im Ober- und Unterbau sowie dem Untergrund. Das Verfahren beruht auf der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und ermöglicht so eine kontinuierliche und zerstörungsfreie Aufnahme des Straßenoberbaues bzw. des Untergrundes/Unterbaues. Es wird seit Jahren im Straßenbau zur Erkundung von Aufbaudicken und Leitungen eingesetzt. In Zukunft soll dieses Verfahren verstärkt Anwendung im Straßenbau finden.

Die Anwendungsgebiete des Georadarverfahrens sind in Bild 1 dargestellt.

Grundsätzlich kann in den Einsatz des Georadars auf Netzebene und auf Projektebene unterschieden werden. Auf Netzebene ist das vorrangige Anwendungsgebiet die Aufnahme von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues, weiterhin können die Daten in die Datenbank des Pavement-Management-Systems zur ganzheitlichen Beurteilung des Zustandes der Fahrbahn Eingang finden.

Auf Projektebene sind detaillierte Untersuchungen mit verschiedenen Zielrichtungen zu unterscheiden. Ein Einsatzfeld bildet die Schadensanalyse, ein weiteres der Einsatz des Georadars zur Qualitätskontrolle beim Straßenneubau.

Die Aufnahme von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues im Bundesfernstraßennetz bildet aktuell ein bedeutendes Anwendungsgebiet, die aufgezeichneten Informationen bilden die Basis zur Einteilung von Abschnitten homogenen Aufbaues im Straßenoberbau. Im Folgenden wird die Arbeitsanleitung zum Einsatz des Georadars zur Aufnahme von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues vorgestellt.

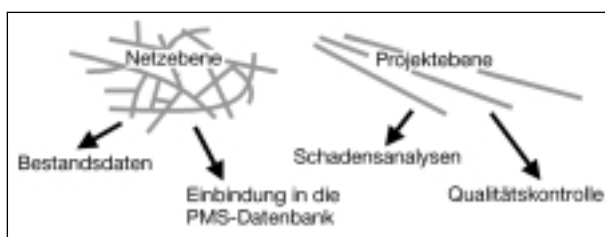


Bild 1: Anwendungsgebiete des Georadarverfahrens

2 Grundsätze der Arbeitsanleitung

Aufbauend auf Erfahrungen vorangegangener Forschungsprojekte und zusätzlich durchgeführter Messungen mit dem Georadarsystem ist eine Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues erarbeitet worden.

Die Arbeitsanleitung beschreibt verschiedene Anwendungsgebiete des Messsystems und gibt Anforderungen an Messsystem, Messdurchführung, Auswertung und Dokumentation der Daten für den netzweiten Einsatz zur Gewinnung von Bestandsdaten vor.

Hinsichtlich des Messsystems sind die Wahl des Antennentypus, die Wahl der Messfrequenz sowie die laterale Auflösung von entscheidender Bedeutung. Diese Versuchskonfigurationen sind in starkem Maße vom Untersuchungsziel der Georadarmessung abhängig.

Bei der Durchführung der Messungen wird die äußere Radspur der rechten Fahrbahn gemessen. Durch gleichzeitige Videoaufzeichnung der Messstrecke können im Nachhinein Oberflächenmerkmale bei der Interpretation der Daten helfen. Für die genaue Weginmessung ist das Setzen von so genannten Markern erforderlich.

Die Auswertung der Messdaten ist detailliert zu dokumentieren. Anhand einer Vorauswertung ist es bereits möglich, Abschnitte homogenen Aufbaues einzuteilen. Die einzelnen Schritte der Datenverarbeitung müssen dabei angegeben werden. Die genaue Berechnung der Daten (Schichtdicken etc.) erfolgt durch Kalibrierung mit Bohrkerndaten. Diese Aufbaudaten werden anschließend in tabellarischer Form festgehalten und können in vorhandene Aufbaudatenbanken eingespeist werden.

Über die Durchführung und Auswertung der Georadarmessung ist ein Prüfbericht zu verfassen. Dieser gliedert sich in drei Teile. Teil 1 umfasst die Messkonfiguration und den Ablauf der Messung, besondere Vorkommnisse sowie zusätzliche Informationen sind zu dokumentieren. Teil 2 bezieht sich auf die Auswertung der Georadardaten. Die einzelnen Bearbeitungsschritte sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Im dritten Teil werden die ermittelten Aufbaudaten je Abschnitt homogenen Aufbaues in das Datenblatt zur Einbindung in die Aufbaudatenbank eingetragen.

Für die Zukunft ist es wünschenswert, den Prüfbericht für weitere Anwendungsfälle, z. B. Schadensanalyse, Qualitätskontrolle etc., auszuweiten.

3 Forschungsbedarf

Die Anwendungsgebiete des Messsystems Georadar erstrecken sich auf Netzebene und auf Projektebene. Die vorgestellte Arbeitsanleitung beschreibt ausschließlich den Einsatz des Georadars auf Netzebene zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues. Die Möglichkeiten des Messsystems gehen aber weit darüber hinaus. Für den Einsatz auf anderen Anwendungsgebieten fehlt es bisher in Deutschland an weit reichenden Erfahrungen und an Bewertungshintergründen. Im Folgenden werden daher weitere Anwendungsgebiete des Georadarmessverfahrens und Forschungsfelder für den Einsatz des Georadars im Straßenwesen dargestellt.

3.1 Zertifizierung der Georadarmesssysteme

Die Erfahrungen mit Georadarmessungen haben gezeigt, dass für die Auswertung und die Interpretation von Georadardaten die Geräteausstattung sowie das Mess- und Auswertepersonal ganz entscheidende Faktoren für die Qualität der Aussagen darstellen.

Vor diesem Hintergrund und zur Sicherstellung qualitativ hochwertiger Auswertungen wird daher eine Zertifizierung von Georadarsystemen inklusive des Mess- und Auswertepersonals für sinnvoll erachtet. Mit der Zertifizierung wird ein Nachweis der Eignung des Messsystems und Mess- und Auswertepersonals geliefert. Dies dient auch den Auftraggebern als Hilfestellung und Entscheidungsgrundlage bei der Vergabe von Georadarmessungen.

Eine Zertifizierung könnte wie folgt aussehen:

Eine Versuchsstrecke auf dem Gelände der BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) oder eine Versuchsstrecke im Straßennetz wird zur Messung vorgegeben. Georadarbetreiber messen diese Strecke und dokumentieren die von ihnen gewählten Messkonfigurationen und Auswertemethoden. Anhand des Prüfberichtes werden die Messungen anhand eigener Messungen seitens der BAST und

vorliegender Dokumentation zur ausgewählten Versuchsstrecke geprüft. Bei sachgemäßer Auswertung und Interpretation der Messung erhält die Messapparatur im Zusammenspiel mit dem Prüfpersonal das Zertifikat.

3.2 Einsatz des Georadars auf Projektebene

3.2.1 Schadensanalyse

Bei Messungen zur netzweiten Gewinnung von Bestandsdaten sind Schadensstellen anhand der aufgezeichneten Daten bereits aufzeigbar. Mögliche Schadensstellen können auch visuell oder durch Messungen mit anderen Messverfahren erkannt werden. Diese Stellen gilt es dann genauer zu untersuchen. Das Georadarmessverfahren kann hierbei als Werkzeug zur Bestimmung der Schadensursache eingesetzt werden. Die detaillierte Analyse des Schadens und dessen Ursache wird in der Regel mit veränderter Messkonfiguration (andere Frequenzen, Wahl eines anderen Antennentypus, andere vertikale und laterale Auflösung etc.) gegenüber der Gewinnung von Bestandsdaten durchgeführt. Zusätzlich ist die Aufnahme von Querprofilen empfehlenswert. Gerade innerhalb der Asphaltkonstruktion ist z. B. das Vorhandensein von Wasser ein maßgeblicher Einflussfaktor für Schädigungen des Oberbaues, welcher mit dem Georadar sehr genau spezifiziert werden kann. So kann zum Beispiel die Tiefe von Rissen aufgrund unterschiedlicher Dielektrizitätskonstanten von Luft bzw. Wasser und dem umgebenden Asphalt bestimmt werden.

Für die Bestimmung der Schadensursache bildet der Bewertungshintergrund in Form eines Schadenskataloges eine wichtige Grundlage. Im Schadenskatalog werden die verschiedenen Schäden, deren Erkennungsmerkmale und Ausprägungen, detailliert dargestellt. Dies ermöglicht den Einstieg in die Schadensanalyse und darauf aufbauend die Ableitung von Parametern für die folgende Erhaltungsplanung.

Bisher fehlt der erforderliche Bewertungshintergrund zur Aufstellung eines Schadenskataloges. Auf diesem Anwendungsgebiet bietet das Georadarverfahren großes Potenzial, welches durch weitere Forschungsaktivitäten nutzbringend erarbeitet werden soll.

3.2.2 Erhaltungsplanung

Die Voraussetzung für die Erhaltungsplanung sind Untersuchungen an Straßenbefestigungen zur Schadensanalyse und die Ableitung von Parametern für die Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen. Anhand der detektierten Schäden und deren Ursache kann die Erhaltungsmaßnahme nach Parametern wie z. B. Art des Schadens, Länge einzelner Schadensbilder bzw. Bereiche von schadhafte Stellen, Tiefe des Schadens etc. abgeschätzt werden.

Nachfolgend werden beispielhaft drei wesentliche Parameter für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen kurz dargestellt.

Art des Schadens

Je nach Schadensursache sind unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen bzw. Erhaltungsstrategien erforderlich. Durch die Kenntnis der Schadensursache ist nun eine zielgerichtete Auswahl einer Erhaltungsmaßnahme möglich. Mögliche Schadensarten (Rissbildung, fehlender Verbund zwischen Asphaltsschichten, Lagerungsbedingungen auf dem Untergrund, Erosionserscheinungen bei Betondecken, HGT und Verfestigungen etc.)

Tiefe des Schadens

Durch die Bestimmung der Schadensursache kann die erforderliche Tiefe einer notwendigen Erhaltungsmaßnahme festgelegt werden.

Länge von Schadstellen

Durch die kontinuierliche Erfassung des Straßenzustandes wird die Verteilung von Schäden entlang der Messlinie aufgezeichnet. Einzelne Schadstellen werden visualisiert und können in Bereichen für notwendige Erhaltungsmaßnahmen (z. B. nach Art und Tiefe des Schadens) eingeteilt bzw. zusammengefasst werden.

Dies bildet die Basis für die zielgerichtete Durchführung von ausgewählten Erhaltungsmaßnahmen zur effektiven und dauerhaften Schadensbehebung sowie für den zielgerichteten und wirtschaftlichen Mitteleinsatz.

3.2.3 Qualitätskontrolle

Das Georadarverfahren bietet auch Möglichkeiten beim Einsatz zur Qualitätskontrolle beim Neubau von Straßenbefestigungen. Zum einen können die

Einbaudicken zerstörungsfrei kontrolliert werden, zum anderen sind Aussagen zur Homogenität des Asphalteinbaues und zum Hohlraumgehalt der oberen beiden Asphaltsschichten auf neu gebauten Straßen möglich.

Die Bestimmung des Hohlraumgehaltes erfolgt über die Berechnung der Dielektrizitätskonstanten der gemessenen Profile. Für die quantitative Bestimmung des Hohlraumgehaltes ist die Kalibrierung der Messwerte an einem Bohrkern zusätzlich zwingend erforderlich. Auch für dieses Anwendungsgebiet gilt es noch Erfahrungen zu sammeln und einen Bewertungshintergrund zu erarbeiten.

Weiterhin kann die Qualität durchgeführter Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen wie z. B. Unterpressungen von Betonplatten kontrolliert werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Georadarverfahren wird seit Jahren im Straßenbau zur Erkundung von Aufbaudicken und zur Detektion von Objekten im Ober- und Unterbau/ Untergrund eingesetzt. In Forschungsvorhaben konnte gezeigt werden, dass sich das Messsystem zur Erfassung von Bestandsdaten im Straßenoberbau eignet.

Das Georadarmesssystem bietet eine Reihe von Möglichkeiten auf verschiedenen Anwendungsgebieten. Diese Anwendungsgebiete lassen sich in die Bereiche Netzebene und Projektebene unterscheiden. Aufbauend auf den Forschungsergebnissen, den durchgeführten Messreihen und dem Erfahrungsaustausch mit Georadarbetreibern ist eine Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues erstellt worden. Sie beschränkt sich auf den Einsatz auf Netzebene, stellt Anforderungen an die Gerätetechnik sowie an die Messkonfiguration. Die Messung und Auswertung der Daten sind in einem Prüfbericht zu dokumentieren. Ziel der Arbeitsanleitung ist es, den Einsatz des Messverfahrens zur Bestimmung von Aufbaudaten zu erleichtern und unsachgemäße Handhabung zu vermeiden. Sie dient einer einheitlichen Grundlage zur Durchführung und Auswertung von Georadarmessungen.

Bei den durchgeführten Messreihen hat sich herausgestellt, dass neben der Geräte- und Mess-

konfiguration der Faktor Mensch als Auswerte- und Interpretationsmedium entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse besitzt. Entsprechende Erfahrungen aus dem Bereich Straßenbau sind für die Dateninterpretation unerlässlich. Vor diesem Hintergrund ist eine Zertifizierung der Messgeräte und des Messpersonals zur Sicherstellung qualitativ hochwertiger Auswertungen von Georadarmessungen wünschenswert.

In der Arbeitsanleitung werden bereits weitere Anwendungsgebiete des Georadarsystems auf Projektebene wie Schadensanalyse, Erhaltungsmanagement und Qualitätskontrolle vorgestellt. Für den Einsatz des Georadarverfahrens im Asphaltstraßenbau auf Projektebene gibt es noch keinen ausreichenden Bewertungshintergrund, um allgemeine Anforderungen an die Durchführung und Auswertung von Georadarmessungen für diese Anwendungsfälle in einer Arbeitsanleitung festzuschreiben. Für den Einsatz des Georadarmesssystems auf Projektebene besteht aktueller Forschungsbedarf. Hier eröffnet sich weiteres Potenzial des Messsystems, für welches ein Bewertungshintergrund erarbeitet werden soll.

Transportation Institute College Station, Texas, 1994

SAARENKETO, T.; SCULLION, T.: Road Evaluation with Ground Penetrating Radar, *Journal of Applied Geophysics* 43, 2000

SAARENKETO, T.: Using Ground Penetrating Radar and Dielectric Probe Measurements in Pavement Density Control, Presentation and Publication at the 1997 Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington D. C., July 1996

5 Literatur

DGZfP Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V.: Merkblatt B 10, Merkblatt über das Radarverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, Ausgabe November 2001

FUNK, Th.; KRETZ, R.; LINDENER, T.; WILMERS, W.: Zerstörungsfreie Untersuchung des Straßenaufbaus mit dem Impulsradar, Schriftenreihe der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung, Heft 40, 1996

HOTHAN, J.; FÖRSTER, M.-O.: Gültigkeit der mit dem Ground Penetration Radar ermittelten Schichtdicken, FE 09.116/1998, Oktober 2000

KATHAGE, A.; LORRA, S.; SAARENKETO, T.: Zusätzliche Georadarmessungen für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten, FE 89.119/2002, Oktober 2002

SAARENKETO, T.; SCULLION, T.: Ground Penetrating Radar Applications on Roads and Highways, Research Reprot 1923-2F, Texas

Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Bahnaufbaues

1 Zweck

Das Georadar (auch Ground Penetration Radar (GPR)) ist ein Verfahren zur Untersuchung von Strukturen und zur Detektion von Objekten im Ober- und Unterbau sowie dem Untergrund. Das Verfahren beruht auf der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und ermöglicht so eine kontinuierliche und zerstörungsfreie Aufnahme des Straßenoberbaues bzw. des Untergrundes/Unterbaues. Die aufgezeichneten Informationen bilden die Basis zur Einteilung von Abschnitten homogenen Aufbaues im Straßenoberbau.

Die vorliegende Arbeitsanleitung beschreibt das Georadarverfahren in der Anwendung zur Bestimmung des strukturellen Aufbaues (Schichtdickenbestimmung) von Straßenbefestigungen auf Netzebene. Damit werden über die Betriebsanleitungen der Gerätehersteller hinaus Erfahrungen und Erkenntnisse aus Forschungsarbeiten weitergegeben, um den Einsatz des Messverfahrens zur Bestimmung von Aufbaudaten zu erleichtern und unsachgemäße Handhabung zu vermeiden.

2 Messprinzip

Die Grundlage des Messverfahrens bildet die Reflexion elektromagnetischer Wellen. Das Messsystem besteht im Einzelnen aus einer zentralen Sender- und Empfangseinheit. Von den Sendeantennen werden über Impulsgeneratoren elektromagnetische Impulse mit hoher Wiederholungsrate in das Untersuchungsmedium abgestrahlt. Die Wellenausbreitung hängt von den elektromagnetischen Materialeigenschaften ab. Kleinräumige Strukturen und Schichten mit unterschiedlichen elektromagnetischen Eigenschaften reflektieren oder brechen die von der Sendeantenne ausgestrahlten Wellen. Die reflektierten und gebrochenen Wellen gelangen schließlich an die Empfangsantenne.

Die Auswertung kann über zwei verschiedene Methoden erfolgen. Bei Methode 1 wird der zeitliche Verlauf der Signalamplitude gemessen. Dabei wird

die Laufzeit des Radarsignals im Untersuchungsmedium bestimmt sowie unter Berücksichtigung des Laufweges die Wellengeschwindigkeit berechnet. Mit diesen Informationen und der Kalibrierung der Daten anhand von Bohrkernen können die Dicken der einzelnen Schichten sehr genau bestimmt werden.

Die zweite Methode beruht auf der automatischen Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten über die Messung der Reflexionskoeffizienten an den Schichtgrenzen. Beim Einfall einer elektromagnetischen Welle auf eine Schichtgrenze zweier Materialien mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften entsteht eine reflektierte und eine gebrochene Welle. Der Reflexionskoeffizient ist im Allgemeinen komplex und wird zum Beispiel beim Übergang von einem Material mit kleinerer Dielektrizitätskonstante zu einem Material mit größerer Dielektrizitätskonstante negativ. Mit Hilfe der Kalibrierung (siehe Kapitel 4) lassen sich die Reflexionsamplituden in Reflexionskoeffizienten umrechnen. Hieraus lässt sich dann direkt die Signalgeschwindigkeit der Schicht unterhalb der Grenzfläche berechnen.

Das Auflösungsvermögen wird beim Georadar durch die Frequenz und die Apertur der Antenne begrenzt. In vertikaler Richtung können Schichten größer vier Zentimeter unterschieden werden. Die Auflösung in lateraler Richtung, Abstand benachbarter Objekte, die vom Radarverfahren noch getrennt erkannt werden können, wird bestimmt durch die Fresnelzone. Für die Detektion von Schichtgrenzen ist nur die vertikale Auflösung relevant.

Für die Verwendung des Georadarverfahrens im Straßenbau werden Sender- und Empfangsantenne in einem konstanten Abstand zueinander auf derselben Bezugsebene angeordnet (bistatische Messung, Reflexionsanordnung). Die Antennen werden so hintereinander entlang einer Messlinie über die Bezugsebene geführt. Dabei werden die Messungen in schneller Folge ausgeführt. Die Aneinanderreihung der einzelnen Messspuren einer Messung wird als Radargramm bezeichnet.

Es existieren weitere Messanordnungen von Sender- und Empfangsantenne, wie z. B. Common-Midpoint-Anordnung und die Transmissionsanordnung, die im Straßenbau bei der netzweiten Erfassung von Bestandsdaten allerdings keine Anwendung finden. Die Common-Midpoint-Anordnung kann auf Projektebene für Geschwindigkeitsanaly-

sen und Berechnungen tiefer liegender Schichten zum Einsatz kommen.

3 Anwendungsgebiete

Das Georadarverfahren bietet vielseitige Anwendungsmöglichkeiten im Straßenbau. Das Verfahren findet bei Asphaltbauweisen, bei Betonbauweisen, bei Pflasterbauweisen sowie im Brückenbau Verwendung. Die Einsatzgebiete im Brückenbau und bei Betonbauweisen werden im Folgenden nicht detaillierter ausgeführt.

Grundsätzlich kann in den Einsatz auf Netzebene und in den Einsatz auf Projektebene unterschieden werden.

Auf Netzebene ist es Ziel der Messungen, die Schichtdicken der Straßenbefestigungen so genau zu bestimmen, dass das Straßennetz in Abschnitte homogenen Aufbaues eingeteilt werden kann und die erkannten Aufbauten den Bauklassen der RStO 01 zugeordnet werden können. Die Messfrequenzen sind nach der geforderten Auflösung der einzelnen Schichten entsprechend zu wählen. Zur Aufnahme von Schichtdicken zur Klassifizierung von Teilnetzen oder Einteilung in homogene Abschnitte kann eine hohe Messgeschwindigkeit gewählt werden. Weiterhin ist es möglich, die Daten in die Datenbank des Pavement-Management-System (PMS) einzugliedern, um damit die Datendichte und die Informationen zum Straßenaufbau und möglichen Fehlstellen als Grundlage für die Erhaltungsplanung zu ergänzen.

Anwendung findet das Georadar-Messsystem vor allem dort, wo Unterlagen über den vorhandenen Aufbau fehlen oder lückenhaft sind.

Beim Einsatz des Georadars auf Projektebene sind verschiedene Untersuchungsmöglichkeiten zu unterscheiden:

- Untersuchungen des Untergrundes von Straßenbefestigungen (Baugrunduntersuchungen),

- Schadensgutachten z. B. für die Entwicklung von Erhaltungsmaßnahmen bei Schadensstellen (Bestimmung von Schichtdicken, Detektion von Leitungen, Detektion von Fehlstellen und Schichtablösungen, Ortung von Dübeln und Ankern bei Betonbauweisen etc.),
- Ableitung von Parametern für die Wahl einer Erhaltungsstrategie für eine effiziente Erhaltungsplanung,
- Qualitätskontrolle beim Straßenneubau (Hohlraumgehalte, fehlender Verbund, Dübellagen etc.).

Auf Projektebene werden einzelne Abschnitte des Straßennetzes detaillierter untersucht. Dazu gehören ggf. eine andere Antennenwahl sowie eine höhere laterale Auflösungsrate des untersuchten Abschnittes, gleichbedeutend mit einer geringeren Messgeschwindigkeit. Hierzu gehört ebenso die Aufnahme von Querprofilen. Auf Projektebene sind die Detektion von querenden Leitungen und Anomalien, die Detektion von Schichtenablösungen, die Detektion von Dübellagen etc. neben der Schichtdickenbestimmung weitere Einsatzmöglichkeiten des Messverfahrens.

Hierbei können Schäden in der Struktur einzelner Schichten oftmals nur über den Vergleich mit intakten Bereichen ermittelt werden. Hierfür sind zusätzliche Bohrkernentnahmen, Aufschlüsse oder der Vergleich zu anderen zerstörungsfreien Messverfahren von Bedeutung.

Der Einsatz des Georadars im Zusammenspiel mit anderen Methoden (PMS, FWD-Messungen etc.) der Schadensanalyse und der darauf aufbauenden Entwicklung von Erhaltungsstrategien wird in Zukunft ein bedeutsames Anwendungsfeld. Die kombinierte Auswertung verschiedener Messdaten (Georadar, FWD etc.) ermöglicht die Ableitung von Schadensursachen. Aufbauend auf diesem Wissen können die Art und Länge der Erhaltungsmaßnahmen projektbezogen bestimmt werden, die Erhaltungsplanung und der wirtschaftliche Mitteleinsatz können so optimiert werden.

Ein neuer Aspekt ist der Einsatz des Georadars zur Qualitätskontrolle beim Neubau von Asphaltstraßen. Zum einen ist es möglich, beim Neubau von Straßen Einbaudicken kontinuierlich zu kontrollieren, zum anderen ist über die Dielektrizitätskonstante die Homogenität der ersten beiden Schichten, deren Hohlraumgehalt und damit deren Dichte zu ermitteln. Für die Auswertung solcher

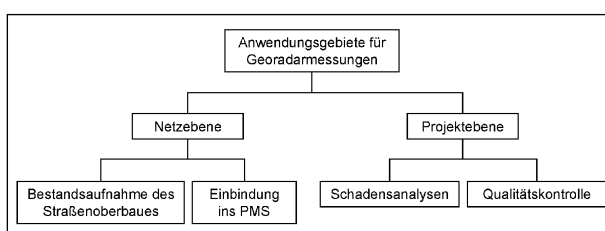


Bild 2: Übersicht Anwendungsgebiete für das Georadarsystem

Messdaten sind Bohrkerndaten sowie Angaben zu den verwendeten Asphaltgemischen für eine Kalibrierung notwendig. In Deutschland gibt es für dieses Einsatzgebiet noch keine weit reichenden Erfahrungen. Für die Erarbeitung von Bewertungshintergründen ist hier noch Forschungsbedarf vorhanden.

4 Kalibrierung

Vor dem Einsatz des Messsystems ist die Antennen-Elektronik ausreichend (mindestens 20 min) aufzuwärmen. Beim Einsatz von Hornantennen ist für die Korrektur des Bezugshorizontes und zur automatisierten Auswertung der Messdaten eine Kalibrierung des Messsystems mit Hilfe einer Metallplatte notwendig. Nach der Aufwärmphase des Systems wird unter die Hornantenne eine Metallplatte mit einer Mindestgröße von 100 cm x 120 cm auf die Straßenoberfläche gelegt. Es sind mindestens 2.000 Scans vor und nach (zur Kontrolle) der eigentlichen Messung aufzuzeichnen und zu prüfen.

Diese Kalibrierung dient der Prüfung der Funktionalität der Anlage, verbessert die Auflösung und ermöglicht die automatisierte Geschwindigkeitsberechnung der ersten beiden Schichten.

Das System ist im Anschluss sofort messbereit. Für eine qualitative Vorauswertung der Daten ist keine weitere Kalibrierung der Daten notwendig. Zur Bestimmung quantitativer Werte für Schichtdicken etc. ist eine Kalibrierung der Daten anhand von Bohrkernen erforderlich. Die Genauigkeit der Aussagen erhöht sich durch die Kalibrierung erheblich.

Durch eine Vorauswertung der Georadar-Messdaten können Abschnitte homogenen Aufbaues eingeteilt werden. In der ersten Phase des Einsatzes des Messverfahrens wird je erkanntem Abschnitt homogenen Aufbaues mindestens ein Bohrkern (wünschenswert bis Planum) zur Kalibrierung gefordert. Die Entnahme von Bohrkernen zur Kalibrierung wird durch diese Verfahrensweise optimiert, in der Regel wird dadurch eine Reduzierung der Bohrkernentnahmen im Vergleich zu anderen Messverfahren erzielt.

5 Messungen

Der Einsatz des Georadarverfahrens im Straßenbau ist vielseitig. Grundsätzlich wird in den Einsatz auf Netzebene und auf Projektebene unterschied-

den (siehe Kapitel 3). Je nach Untersuchungsziel sind unterschiedliche Messkonfigurationen und Auswertemechanismen erforderlich.

Das Ziel der durchzuführenden Untersuchungen ist daher im Vorhinein genau zu definieren, um anhand der Zielstellung die entsprechende Messkonfiguration (z. B. Wahl der Messfrequenzen etc.) zu wählen.

In dieser Arbeitsanleitung wird im Weiteren vorrangig der Fall Einsatz des Georadars für die Gewinnung von Bestandsdaten auf Netzebene betrachtet. Der Einsatz des Georadars bei anderen Anwendungsgebieten wird aufgezeigt und teilweise beschrieben, aber ist nicht Bestandteil dieser Arbeitsanleitung.

5.1 Vorbereitungen

Im Vorfeld der Georadarmessungen müssen die Ziele der Messung festgelegt werden. Anhand der Ziele sind entsprechende Anforderungen an die Messung bezüglich vertikaler und lateraler Auflösung zu stellen.

Die zuständigen Dienststellen der Straßenbauverwaltungen sind vor der Durchführung der Messungen von Termin, Dauer und Ziel der Messungen zu unterrichten. Die Absicherung der Messung ist durch den Georadarbetreiber zu veranlassen. Die Messfahrzeuge, die im fließenden Verkehr mit schwimmen, sind mit den vorgeschriebenen Signalisierungseinrichtungen auszustatten.

5.2 Messanforderungen/Versuchskonfiguration

5.2.1 Wahl des Antennentypus

Für Messungen mit dem Georadar können unterschiedliche Antennentypen eingesetzt werden. Es wird unterschieden in:

- Antennen mit Oberflächenkontakt (ground-coupled antennas),
- Hornantennen, die im gleichmäßigen Abstand über dem Boden betrieben werden, (air-coupled antennas).

Die oberflächengekoppelten Antennen werden auf dem zu untersuchenden Medium liegend darüber

weggezogen. Dies hat den Vorteil größerer Eindringtiefen für die Erkundung tiefer liegender Schichten mit niederfrequenten Messfrequenzen aufgrund der besseren Abstrahlcharakteristik.

Mit den Hornantennen kann mit deutlich höheren Geschwindigkeiten des Messfahrzeuges gemessen werden, da die Antennen kontaktfrei zur Oberfläche geführt werden und somit keinen mechanischen Gefährdungen unterliegen. Für die netzweite Erfassung des Straßenaufbaues sind daher Hornantennen zu verwenden. Ein weiterer Vorteil der Messung mit Hornantennen liegt in der Wiederholbarkeit der Messungen. Dies beruht auf der physikalischen Unabhängigkeit, da das Messsystem nicht an das Untersuchungsmedium gekoppelt ist.

5.2.2 Wahl der Messfrequenz

Die Wahl der Messfrequenz hängt eng mit dem Ziel der Untersuchung zusammen. Je nach gewünschter Auflösetiefe ist die Frequenz der Sendeantenne zu wählen.

Bis zu einer Tiefe von 40 bis 50 cm ist die Auflösung der ungebundenen Schichten gegenüber den gebundenen Schichten mit einer 1,0-GHz-Sendeantenne möglich. Gehört die Erkundung von tiefer liegenden Schichten bis/über 1 m Tiefe zum Messprogramm, so sind niederfrequenter Senderantennen (400 – 900 MHz) zu nutzen. Im Fall der Erkundung tieferer Schichtgrenzen ist zusätzlich die Anwendung von Antennen mit Oberflächenkontakt zu empfehlen, da diese im Vergleich zu den Hornantennen genauere Ergebnisse aufgrund der Abstrahlcharakteristik bringen. Bei Sendeantennen mit Oberflächenkontakt ist allerdings die geringere Messgeschwindigkeit zu beachten.

Für die Auflösung einzelner Schichten innerhalb des Asphaltpaketes werden höher frequente Sendeantennen (1,5 bis 2,0 GHz) benötigt. Diese Antennen geben ein genaues Bild oberflächennaher Schichten, sind aber in ihrem Auflösungsvermögen und der Eindringtiefe begrenzt und geben nur Aufschluss über die oberen 30 cm der Straßenbefestigung. Sie erkennen Schichtdicken ab einer Dicke von ungefähr 4 cm.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über Untersuchungsziel und der Mindestanforderung an die einzusetzenden Messfrequenzen.

Untersuchungsziel	Empfohlene Messfrequenz
Untersuchung des Unterbaues/ Untergrundes	400 – 900 MHz
Schichtdickenbestimmung im Oberbau nach dem Raster der RStO Eindringtiefe von 50 cm muss sichergestellt werden	≥ 1,0 GHz
Schichtdickenbestimmung im gebundenen Oberbau	1,0 - 1,5 GHz
Detaillierte Analysen der Struktur im gebundenen Oberbau	1,5 – 2,0 GHz

Tab. 1: Tabellarische Übersicht für Anforderungsprofile

5.2.3 Laterale Auflösung

Für den Einsatz des Georadars sind ebenso Anforderungen an die laterale Auflösung zu stellen. Für die Anwendungsgebiete Netzebene und Projektebene sind die Anforderungen wie folgt definiert:

Netzebene

Die Mindestanforderung für die laterale Auflösung beträgt mindestens 10 Scans/m. Für die spätere Verwendung können abschnittsweise Mittelwerte gebildet werden und die Untersuchungsstrecke in Abschnitte homogenen Aufbaues unterteilt werden.

Derzeitige Georadarmesssysteme bieten eine ausreichende Auflösung, so dass die geforderte laterale Auflösung von mindestens 10 Scans/m bei Messfahrten im fließenden Verkehr, bei einer Geschwindigkeit von bis zu 100 km/h, sichergestellt ist.

Für die Auswertung der Messdaten wird eine vertikale Auflösung der einzelnen Messungen von 512 Samples und eine Datendichte von 16 bit gefordert. Es sind ausschließlich konstante Verstärkungen zu verwenden.

Projektebene

Die laterale Auflösung wird durch das Ziel der Untersuchungen bestimmt. Je nach Größe und Ausbreitung der zu detektierenden Mängel und Störstellen (z. B. Leitungen) oder Bewehrungslagen im Beton ist der Abstand der Messpunkte [Scans/m] zu wählen. Dabei gilt: Je kleiner die Objekte, desto dichter der Messpunktstand. Bei diesen Untersuchungen wird die laterale Auflösung vorwiegend durch niedrigere Messgeschwindigkeiten erhöht.

Für die Auswertung der Daten gelten die gleichen Anforderungen wie auf Netzebene (512 Samples, 16 bit, konstante Verstärkung).

5.3 Durchführung der Messungen

Die Untersuchung erfolgt von einem Messfahrzeug aus. Die Messung sollte über ein Mehrkanalsystem zur zeitgleichen Aufnahme unterschiedlicher Messfrequenzen erfolgen und weggesteuert (z. B. über DMI oder Messrad) sein.

Die Messung erfolgt in der äußeren Radspur des rechten Fahrstreifens. Bei unterschiedlichen Bauweisen der Fahrstreifen sind Messungen der betreffenden Fahrstreifen mit durchzuführen.

Bei der Überfahrt ist dabei das Setzen von Markierungen an bekannten Punkten erforderlich, um bei der Datenverarbeitung die Radarkoordinaten auf die streckenbezogene Kilometrierung bzw. auf die GPS-Daten umzurechnen. Dies bildet die Grundlage zur Kontrolle der Messfahrt und der Verknüpfung verschiedener Daten (Georadardaten mit Daten der PMS-Datenbank, FWD-Daten/Tragfähigkeitsuntersuchungen etc.) zur „ganzheitlichen“ Beurteilung des Straßenoberbaues.

Über die Durchführung und Auswertung der Daten ist ein Prüfbericht (siehe Kapitel 6) zu verfassen. Der Prüfbericht umfasst das Prüfprotokoll mit allgemeinen Angaben zur Messung sowie die Auswertung (Darlegung der einzelnen Bearbeitungsschritte) und Interpretation der Messergebnisse.

Die Untersuchungsstrecke ist gemäß den Vorschriften abzusperren und zu sichern. Die Absicherung der Messstrecke erfolgt durch die Georadarteilnehmer oder in Absprache mit den zuständigen Dienststellen der Straßenbauverwaltungen.

Bei Messfahrzeugen, die im fließenden Verkehr mitschwimmen, sind die Fahrzeuge mit den vorgeschriebenen Signalisierungseinrichtungen auszustatten.

5.4 Datenverarbeitung und Auswertung

Nach einer Vorauswertung der Rohdaten werden Abschnitte homogenen Aufbaues der Straßenbefestigung eingeteilt und Entnahmestellen für Bohrkern zur Kalibrierung der Schichtdicken ausgewählt.

Die eigentliche Datenverarbeitung und Auswertung erfolgen im Anschluss. Im ersten Schritt müssen die Radardaten auf die Streckenkilometrierung oder auf GPS-Koordinaten umgerechnet werden. Folgende Verarbeitungsschritte folgen:

- Korrektur der Reflexion auf die Oberfläche des Untersuchungsobjektes (Bezugsniveau),
- Bestimmung der Signalgeschwindigkeiten,
- Verbesserung der Signale durch Filtern von Störsignalen,
- Reduktion der Outputdatenmenge (Bildung von Mittelwerten),
- Rekonstruktion von Lage und Tiefe von Objekten aus den Radargrammen auf Projektebene.

Die Schritte der Datenverarbeitung sowie die eingesetzten Verfahren (Auswertemechanismen und Auswerteprogramme) können sich für die verschiedenen Anwendungsgebiete unterscheiden und sind stets im Prüfbericht zu dokumentieren.

5.5 Präzision

Zur Bestimmung des qualitativen Aufbaues von Straßenbefestigungen und zur Einteilung in Abschnitte homogenen Aufbaues ist die Georadarmessung ohne Kalibrierung anhand von Bohrkernen von ausreichender Genauigkeit. Die Präzision der Aussage zu einzelnen Schichtdicken liegt bei $\pm 10\%$.

Durch die Kalibrierung der Georadarmessung anhand von Bohrkerndaten wird die Aussagegenauigkeit wesentlich verbessert. Im Bohrkernquerschnitt können den Signallaufzeiten konkrete Schichtdicken zugeordnet werden. Innerhalb eines Abschnittes homogenen Aufbaues können nun für jeden Messpunkt die gemessenen Signallaufzeiten in Schichtdicken umgerechnet werden. Die Präzision der so berechneten Schichtdicken beträgt $\pm 5\%$ für die oberen 50 cm und $\pm 5-8\%$ für tiefer liegende Schichten. Nach Möglichkeit sollten Laufgeschwindigkeiten in einzelnen Schichten in situ gemessen werden.

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht dient einer einheitlichen Grundlage zur Durchführung und Dokumentation von Georadarmessungen und der angewandten Auswerte-

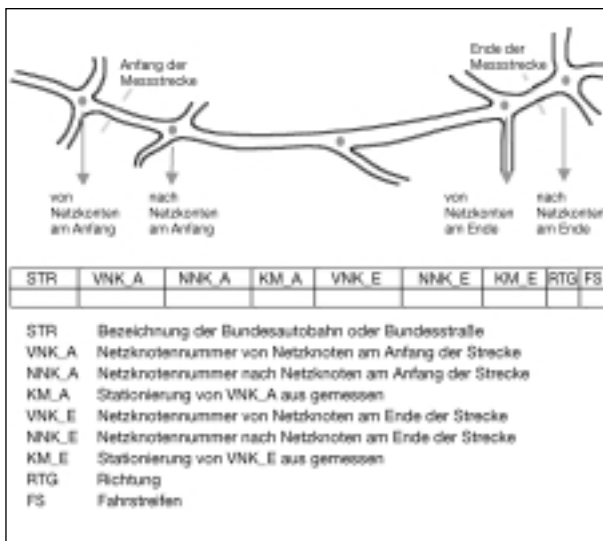


Bild 3: Lage der Messstrecke im Netz

mechanismen. Weiterhin wird das Datenformat der Auswertung festgelegt und damit die Einspeisung in vorhandenen Aufbaudatenbanken sichergestellt.

Der Prüfbericht ist in drei Teile gegliedert. Teil 1 umfasst die Messkonfiguration und den Ablauf der Messung, besondere Vorkommnisse sowie zusätzliche Informationen sind zu dokumentieren. Teil 2 bezieht sich auf die Auswertung der Georadardaten. Die einzelnen Bearbeitungsschritte sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Im dritten Teil werden die ermittelten Aufbaudaten je Anschnitt homogenen Aufbaues in das Datenblatt zur Einbindung in die Aufbaudatenbank eingetragen.

Der Prüfbericht ist in elektronischer/digitalisierter Form vorzulegen.

Dem Prüfbericht sind detaillierte Ausführungen zur Auswertung und Interpretation der Daten (Radargramme, Schichtenverläufe, Fehlstellen, etc.) hinzuzufügen.

Der Prüfbericht ist bei jeder Messung auszufüllen.

6.1 Durchführung der Messung (Prüfbericht, Teil 1)

Kennzeichnung der Messstrecke

Die Messstrecke wird über die Netz-knoten am Beginn der Strecke und am Ende der Strecke eindeutig definiert. Der genaue Startpunkt der Messstrecke wird ausgehend vom Netz-knoten vor Anfang der Messstrecke eingemessen. Der genaue Endpunkt der Strecke wird ausgehend vom Netz-knoten vor Ende der Messstrecke eingemessen.

Die Nummern der Netz-knoten und die Kilometrierung zum genauen Start- und Endpunkt der Messstrecke werden tabellarisch festgehalten. Anhand von Bild 3 wird die Kennzeichnung der Messstrecke noch einmal verdeutlicht.

Die Kennzeichnung der Messstrecke wird vom Auftraggeber vorgegeben.

Wahl der Messfrequenzen

In diesen Feldern sind die ausgewählten Messfrequenzen, die bei der Messung zur Anwendung kommen, einzutragen. Wichtig: Die Wahl der Messfrequenzen hängt vom Ziel der Untersuchungen ab.

Abstand der Messpunkte

Beim Einsatz des Georadars auf Netzebene ist die laterale Auflösung von mindestens 10 Scans/m vorgeschrieben. In der Auswertung können meterweise Durchschnittswerte angegeben werden. Die Abgrenzung der homogenen Abschnitte erfolgt im Anschluss, um eine ausreichende Genauigkeit sicherzustellen. Innerhalb der Anschnitte homogenen Aufbaues können in einem zweiten Schritt in der Auswertung 100-m-Durchschnittswerte angegeben werden.

Zusatzmessungen

Zur Sicherstellung einer hohen Qualität der Auswertung der Messdaten wird die Aufzeichnung der Messlinie samt Radarantenne gefordert. Die Synchronisation der Videoaufzeichnungen zu den Messdaten kann im Nachhinein über die gesetzten Markierungspunkte (Referenzpunkte) erfolgen. Anhand der Videoaufzeichnungen können Einflüsse aufgrund vorbeifahrender Fahrzeuge auf die Messung sowie außergewöhnliche Effekte nachvollzogen und begründet werden. Weiterhin bietet dies die Möglichkeit von ergänzenden Aussagen zu detektierten Schadensfällen anhand von Oberflächenmerkmalen bei der späteren Interpretation der Daten.

Für eine eindeutige Lagebestimmung der Messstrecke im Straßennetz ist die Aufzeichnung der entsprechenden GPS-Daten wünschenswert.

Vor dem Hintergrund der Einbindung der Messdaten in eine Aufbaudatenbank und/oder in ein Pavement-Management-System sowie zur ganzheitli-

PRÜFBERICHT TEIL 1 - MESSUNG

Messstrecke:

STR	VNK_A	NNK_A	KM_A	VNK_E	NNK_E	KM_E	RTG	FS

Auftraggeber : _____

Auftragnehmer : _____

Name des Messpersonals : _____

Untersuchungsziel : _____
(laut Ausschreibung) _____Gerätebezeichnung: _____
(Seriennummer und Jahr)

Messfrequenzen : _____ luftgekoppelt oberflächengekoppelt
 _____ luftgekoppelt oberflächengekoppelt
 _____ luftgekoppelt oberflächengekoppelt

Messpunktabstand: _____ scans/m (Mindestmaß 10 scans/m)

zusätzliche Messungen: Videoaufzeichnung
 FWD Messungen
 sonstige Messung: _____

Verfügbare Unterlagen/Informationen : _____
_____Witterung zum Untersuchungszeitpunkt : _____
_____Besonderheiten beim Untersuchungsablauf : _____

Dem Prüfbericht Teil 1 muss der Datenheader mit der Dokumentation der Messeinstellungen und Bearbeitungsschritte bei der Auswertung beigelegt werden.

Datum und Unterschrift

PRÜFBERICHT TEIL 2 - AUSWERTUNG

verwendete Auswertesoftware: _____

Datenverarbeitungsschritte: 1) _____
2) _____
3) _____

Datendichte - Mittelwerte/Länge der Messstrecke : _____

Einteilung homogener Abschnitte:

STR	VNK_A	NNK_A	KM_A	VNK_E	NNK_E	KM_E	RTG	FS	Zuordnung der Bauklasse nach RStO 01

Stellen mit Auffälligkeiten:

STR	VNK_A	NNK_A	KM_A	VNK_E	NNK_E	KM_E	RTG	FS	Auffälligkeit

Kommentare: _____

_____ Datum und Unterschrift

den Spalten für den Aufbau angehängt. Die Tabelle für die Aufbaudaten hat damit folgende ergänzende Struktur (die Daten sind in elektronischer/digitalisierter Form zu übergeben):

VTIEFE	NTIEFE	DICKE	Art

VTIEFE von Tiefe

NTIEFE nach Tiefe

DICKE Dicke aus, von und nach Tiefe

Art Schichtbezeichnung

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-
BaustoffenK.-H. Guth
32 Seiten, 1993 kostenlosS 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für
Tragschichten ohne BindemittelK.-H. Guth
16 Seiten, 1993 kostenlosS 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische
MethodenJ. Faust
28 Seiten, 1993 kostenlos

S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen

R. Bull-Wasser
156 Seiten, 1993 kostenlos

S 5: Baubegleitende Messungen B 73n

H. Heinisch, K.-H. Blume
196 Seiten, 1993 kostenlosS 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraft-
übertragungJ. Fleisch, R. Bartz
76 Seiten, 1993 kostenlosS 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im
StraßenbauNiederschrift der 33. Tagung am 4. und 5. Mai 1993
in Gelnhausen
84 Seiten, 1994 € 14,00S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalt-
tragschichtenH.-J. Freund, M. Stöckner
40 Seiten, 1995 € 12,50S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Manage-
ment der StraßenerhaltungNiederschrift und Referate des Erfahrungsaustau-
sches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin
64 Seiten, 1995 € 13,00S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten
im StraßenbauNiederschrift der 34. Tagung am 3. und 4. Mai 1994
in Neustadt
76 Seiten, 1995 € 14,00S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahr-
bahngeräusch und RollwiderstandS. Ullrich, K.-P. Glaeser, K. Sander
92 Seiten, 1996 € 15,00S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf
AußerortsstraßenProjektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“
28 Seiten, 1996 € 10,00S 13: Qualität von mineralischen Straßenbau-
stoffenG. Tabbert
116 Seiten, 1996 € 16,50S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten
im StraßenbauNiederschrift der 35. Tagung am 7. und 8. Mai 1996
in Saarlouis
104 Seiten, 1997 € 16,50S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus
TemperaturdehnungenJ. Eisenmann, B. Lechner
44 Seiten, 1997 € 12,50S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Stra-
ßenbaumaßnahmen im Lande BrandenburgR. Schnüll, N. Handke, K. Seitz
200 Seiten, 1997 € 22,00

S 17: Restnutzungsdauer von Asphaltsschichten

A. Wolf
56 Seiten, 1998 € 13,00S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnerge-
stütztes StraßenerhaltungsmanagementNiederschrift des 2. Erfahrungsaustausches am 21.
und 22. Mai 1997 in Berlin
80 Seiten, 1998 € 14,50S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplit-
ten auf die Standfestigkeit von AsphaltTeil 1: Literaturlauswertung
H. Beckedahl, I. Nösler, E. Straube
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scher-
festigkeit von Gesteinskörnungen
H.G. Diel
112 Seiten, 1998 € 16,50

- S 20: **36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau**
Niederschrift der 36. Tagung am 5. und 6. Mai 1998 in Rostock
88 Seiten, 1999 € 14,00
- S 21: **Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis**
Kompodium
D. Birmann, W. Burger, W. Weingart, B. Westermann
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
M. Schmidt, E. Bohlmann, P. Vogel, B. Westermann
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
W. Weingart, F. Dreßler
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Tragschicht an der B54 bei Stein-Neukirch
J. Eisenmann, D. Birmann
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichteverlauf und Ebenheit von Walzbeton
W. Burger
128 Seiten, 1999 € 17,00
- S 22: **3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung**
Nutzen der systematischen Straßenerhaltung
Niederschrift des 3. Erfahrungsaustausches am 4. und 5. Mai 1999 in Bergisch Gladbach
164 Seiten, 2000 € 19,50
- S 23: **Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen**
P. Ballmann, R. Collins, G. Delalande, A. Mishelany, J. P. v. d. Elshout, R. Sym
20 Seiten, 2000 € 10,50
- S 24: **Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -**
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
C. Koch
117 Seiten, 2001 € 17,50
- S 25: **37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau**
Niederschrift der 37. Tagung am 3. und 4. Mai 2000 in Erfurt
110 Seiten, 2001 € 16,50
- S 26: **Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungspolster**
J. Rogner, J. Steller
64 Seiten, 2002 € 14,00
- S 27: **Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen**
Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
St. Killing, V. Hirsch, M. Boubaker, E. Krotmann
28 Seiten, 2002 € 11,50
- S 28: **Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen**
Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken
53 Seiten, 2002 € 13,00
- S 29: **Nichtverkehrliche Nutzung**
Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken
61 Seiten, 2002 € 13,50
- S 30: **4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung**
Workshop Straßenerhaltung mit System
Niederschrift des 4. Erfahrungsaustausches am 12. und 13. Juni 2002 in Bergisch Gladbach
158 Seiten, 2003 € 19,50
- S 31: **Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues**
G. Golkowski
22 Seiten, 2003 € 11,50
-
- Zu beziehen durch:**
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de