

## Entwicklung einer Systematik zur Ermittlung von repräsentativen Substanzwerten in homogenen Abschnitten

FA 4.249

Forschungsstelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, Hoppegarten  
 Bearbeiter: Zander, U. / Karcher, C. / Villaret, S. / Frohböse, B. / Buch, M.T. / Jähnig, J. / Niessen, J.  
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn  
 Abschluss: November 2014

### 1 Aufgabenstellung

Gegenstand des Forschungsvorhabens war es, aus den Ergebnissen zerstörungsfrei arbeitender Messsysteme und erweiterten Informationen (zum Beispiel Aufbau, Alter und Zustand der Strecken) eine Systematik zu entwickeln, mit der die Ermittlung von repräsentativen homogenen Abschnitten möglich ist.

Anhand von Tragfähigkeitsmessungen und von stichprobenartigen Materialuntersuchungen sollte eine Überprüfung des Verfahrens zur Bildung dieser homogenen Abschnitte durchgeführt werden.

### 2 Untersuchungsmethodik

Zur systematischen Vorgehensweise war es erforderlich, für die Asphalt- und die Betonbauweise prinzipiell gleiche Schritte in gleicher Reihenfolge zu gehen. Dabei können beziehungsweise mussten sich einige Schritte in der Art der Ausführung bauweisenbedingt signifikant voneinander unterscheiden. Im Einzelnen waren folgende Hauptarbeitsschritte in der aufgeführten Reihenfolge vorgesehen:

- Verwendung der drei Betonstrecken aus dem FE 04.0433/2009/DGB und Übernahme der Ergebnisse aus den dort durchgeführten statischen Spaltzug- und Ermüdungsversuchen. Eine weitere Betonstrecke jüngerer Alters wurde in die Untersuchungen einbezogen.
- Auswahl von drei geeigneten Asphaltstrecken aus dem Fundus der untersuchten Strecken des FE 04.0227/2009/ARB unter der Maßgabe, dass die dort ermittelten Temperatursteifigkeits- und Ermüdungsfunktionen für dieses FE nutzbar sind (Übernahme der Ergebnisse).
- Die Betrachtungslänge der ausgewählten Streckenabschnitte sollten auf 5 bis 10 km je Strecke erweitert werden, sodass diese den üblichen Abschnittslängen von Bauverträgen entsprechen (siehe Tabelle 1).
- Übernahme der zur Verfügung gestellten Zustandsdaten (ZEB) sowie der gegebenenfalls zur Verfügung gestellten Verkehrs- und Witterungsdaten, datentechnische Übernahme von Informationen zum Aufbau und Alter der Schichten des Fahrbahnoberbaus.

Tabelle 1: Untersuchte Streckenabschnitte

Versuchsstrecke	Land	von km	bis km	Länge [km]	Aufbau
VS 1	ST	109,900	99,500	10,400	Beton
VS 2	ST	55,965	69,150	13,185	Beton
VS 3	ST	79,880	69,150	10,730	Beton
VS 4	NRW	81,800	86,660	4,860	Beton
VS 5	BY	395,500	388,500	7,000	Asphalt
VS 6	SN	35,000	42,000	7,000	Asphalt
VS 7	RP	18,800	28,000	9,200	Asphalt

- Georadaruntersuchungen durch Messung im Hauptfahrstreifen (Messbreite ca. 2,00 m) in zwei Messfahrten zur Abdeckung der gesamten Breite des Fahrstreifens. Ziel war die Detektion der Schichtdicken, Hohllagerungen und sonstigen Unregelmäßigkeiten in der Fahrbahnbefestigung.
- Visuelle Zustandsaufnahme der die strukturelle Substanz beeinflussenden Schadensmerkmale der Fahrbahnoberfläche.
- Interpretation der Ergebnisse der Georadaruntersuchungen mithilfe der Schadensbilder aus der ZEB und der visuellen Zustandsaufnahme durch Überlagerung der Schadensmerkmale der Fahrbahnoberfläche mit den festgestellten Inhomogenitäten in der Tiefe.
- Digitale Zusammenführung der Daten in einem Auswertesystem und grafische Aufbereitung in Streckenbändern.
- Bildung von homogenen Abschnitten für die einzelnen Merkmale nach dem in FGSV 431 beschriebenen mathematischen Verfahren.
- Für Betonbefestigungen: Kombinierte Auswertung der Daten und Bildung übergeordneter homogener Abschnitte.
- Für Betonbefestigungen: Überprüfung und Abgrenzung der übergeordneten homogenen Abschnitte mithilfe von Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD).
- Für Asphaltbefestigungen: zusätzliche Bildung homogener Einzelabschnitte auf der Basis der FWD-Messungen ergänzend zu den homogenen Bereichen der ZEB- und Georadar-Messungen sowie der visuellen Zustandsaufnahme.
- Für Asphaltbefestigungen: Kombinierte Auswertung der Daten unter Einbeziehung der FWD-Ergebnisse und Bildung übergeordneter homogener Abschnitte.
- Aus den parallel laufenden Forschungsarbeiten FE 04.0433/2009/DGB und FE 04.0227/2009/ARB wur-

den die Ergebnisse von Laborversuchen an aus denselben Strecken entnommenen Bohrkernen zur Überprüfung der übergeordneten Abschnitte hinzugezogen.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Für jedes relevante Einzel- beziehungsweise Schadensmerkmal waren nach dem Verfahren der kumulativen Summenbildung Unterabschnitte (homogene Abschnitte) zu bilden und auf ihre Gültigkeit mit dem t-Signifikanztest an Steigungsänderungen zu prüfen.

Die Wichtung der Einzelmerkmale anhand der Schadensausprägung und -überlagerung sowie der Erfassungsgenauigkeit bildete die Grundlage zur Festlegung übergeordneter homogener Abschnitte.

#### 3.1 Betonfahrbahnen

Bei Betonfahrbahnen wurden die Ergebnisse aus ZEB, Georadaruntersuchung und visueller Zustandsaufnahme in die Abschnittsbildung einbezogen. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse.

**Tabelle 2: Ergebnisse der Bildung homogener Abschnitte auf Betonfahrbahnen (VS 1 bis VS 4)**

Versuchsstrecke	Schadensmerkmale	homogene Abschnitte	übergeordnete homogene Abschnitte
1	1	2	3 *
2	5	13	3
3	5	14	3
4	7	16	3

\* fiktiv wegen fehlender Schadensmerkmale

Für die Validierung der gewählten übergeordneten homogenen Abschnitte und zur Überprüfung, ob an den vorgegebenen Grenzen ein signifikanter Abschnittswechsel vorliegt, wurden die unter dem Einfluss der Kraftstoßgrößen von 50, 75 und 100 kN gebildeten Kenngrößen der Tragfähigkeit

- Deflexion im Lasteintragungspunkt  $D_0$  (Plattenmitte)
- relative Fugenbewegung  $f$
- Wirksamkeitsindex  $W$

gebildet und Mittelwertvergleichen unterzogen. Tabelle 3 zeigt, ob ein signifikanter Unterschied der Messniveaus in den betrachteten Abschnitten vorliegt.

In keinem der vier Betonabschnitte konnte somit die Bildung übergeordneter homogener Abschnitte in allen Kenngrößen bestätigt werden.

Die im Rahmen des parallel laufenden FE-Vorhabens 04.0433/2009/DGB an jeweils zwei Entnahmestellen pro untersuchtem Streckenabschnitt entnommenen zehn Bohrkern  $\varnothing$  100 führten in Bezug auf die Bestätigung der übergeordneten homogenen Abschnitte zu folgenden Ergebnissen:

- VS 1: Die vorhandene Schadensfreiheit an der Oberfläche sowie die homogene Deckendicke und Auflagerung der Decke lässt keine Abschnittsbildung zu.
- VS 2: Die Bildung von drei übergeordneten homogenen Abschnitten wird mit den Ergebnissen aus den Bohrkernentnahmen bestätigt.
- VS 3: Die Ergebnisse aus Bohrkernentnahmen können die aufgrund der ZEB-Ergebnisse, der visuellen Zustandsaufnahme und Georadar-Auswertungen in drei übergeordnete homogene Abschnitte erfolgte Einteilung weder bestätigen noch widerlegen.
- VS 4: Die aufgrund der ZEB-Ergebnisse, der visuellen Zustandsaufnahme und Georadar-Auswertungen vorgenommene Einteilung in drei übergeordnete homogene Abschnitte wird durch die Ergebnisse aus den Bohrkernentnahmen bestätigt.

#### 3.2 Asphaltfahrbahnen

Bei Asphaltfahrbahnen wurden zuerst die Ergebnisse aus der ZEB in die Bildung homogener Abschnitte einbezogen. Zuvor war eine Plausibilitätsprüfung der weitgehend automatisch erfassten und manuell/visuell am Bildschirm bewerteten Daten des Oberflächenbilds durch eine visuelle Zustandserfassung erforderlich.

Mit den Ergebnissen der Georadaruntersuchung war es möglich, weitere homogene Einzelabschnitte auf Basis struktureller Aufbaudaten wie Schichtdicken und/oder Inhomogenitäten zu bilden.

Die so ermittelten Abschnittsgrenzen wurden anschließend zur Bildung übergeordneter homogener Bereiche unter Berücksichtigung von Tragfähigkeitskennwerten aus den FWD-Messungen herangezogen.

Anhand von Bohrkernanalysen konnten Tendenzen zur Gültigkeit der Abschnittsgrenzen und zur Reihung der homogenen Abschnitte erkannt werden. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse.

**Tabelle 3: Bestätigung der Abschnittsbildung durch Kenngrößen der FWD-Messungen der VS 1 bis VS 4**

Versuchsstrecke	Bestätigung der Grenzen übergeordneter homogener Abschnitte mit FWD-Messungen					
	Grenze Abschnitt I und II			Grenze Abschnitt II und III		
	$D_g$ [mm]	$f$ [ $\mu$ m]	$W$ [%]	$D_g$ [mm]	$f$ [ $\mu$ m]	$W$ [%]
1	-	-	-	ja	ja	-
2	ja	ja	-	-	-	-
3	-	-	ja	ja	ja	-
4	ja	-	-	ja	-	-

Tabelle 4 verdeutlicht, dass anhand der Zustandsdaten aus Straßendatenbanken auf Basis von 100 m-Mittelwerten keine zuverlässige Detektion einzelner Abschnittsgrenzen möglich war. Erst anhand engmaschig aufgenommenener Streckeninformationen mittels Georadarmessungen ist dies möglich gewesen. Für die durchgeführten FWD-Messungen gilt ebenfalls die

Einschränkung, dass Messungen alle 50 m keine zuverlässige Bestimmung einzelner Abschnittsgrenzen erlauben.

Die Überprüfung der gebildeten homogenen Abschnitte anhand der Ergebnisse der Bohrkernanalysen aus einigen der übergeordneten homogenen Abschnitte konnte die anhand der Georadarmessungen ermittelten Ergebnisse im Großen und Ganzen bestätigen.

**Tabelle 4: Beobachtete Tendenzen einzelner Kenngrößen der VS 5 bis VS 7**

Merkmal	VS 5	VS 6	VS 7
Abschnittsgrenzen festlegen auf Basis von ZEB-Daten	-	-	-
Reihung homogener Abschnitte auf Basis von ZEB-Daten inklusive Überprüfung mit visueller Erfassung	+	(+)	(+)
Abschnittsgrenzen festlegen auf Basis Georadar	+	+	+
Reihung homogener Abschnitte auf Basis Georadar	+	(+)	(+)
Abschnittsgrenzen festlegen auf Basis FWD	-	-	-
Reihung homogener Abschnitte auf Basis FWD – Kenngröße $D_0$	+	(+)	(+)
Reihung homogener Abschnitte auf Basis FWD – Kenngröße $I$	-	(+)	(-)
Reihung homogener Abschnitte auf Basis FWD – Kenngröße $M_0$	-	(+)	(-)
Reihung homogener Abschnitte auf Basis FWD – Steifigkeit	-	(-)	(-)

Legende:

- + Tendenz erkennbar
- keine Tendenz erkennbar
- ( ) Werte in Klammern bei nur einer BK-Station

## 4 Folgerungen für die Praxis

Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass eine Abschnittsbildung für eine spätere Bewertung der strukturellen Substanz prinzipiell erfolgen kann, wenn relevante Zustandsdaten aus Straßendatenbanken mit einer visuellen Zustandserfassung präzisiert und mit qualitativ hochwertigen Georadardaten kombiniert werden. Letztere müssen momentan jedoch noch mit großem Aufwand ausgewertet werden. FWD-Daten waren bei den untersuchten Strecken als Ergänzung und Präzisierung nur in einigen Fällen sinnvoll.

Bei Strecken mit relativ homogenen Randbedingungen und geringem Schädigungsgrad sind statistisch repräsentative Bohrkernentnahmen dennoch erforderlich, um Abschnittsgrenzen von Homogenbereichen zu detektieren, die dann nur noch von den mechanischen Kenngrößen des gebundenen Oberbaus abhängig sind.

Für die zukünftige Bildung repräsentativer homogener Abschnitte für eine Bewertung der Restsubstanz beziehungsweise der Restnutzungsdauer können nach aktuellem Kenntnisstand folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Die Bildung repräsentativer homogener Abschnitte aus Zustandsdaten aus Straßendatenbanken allein ist zurzeit nicht zielführend.

2. Eine Verbesserung der Zustandsdaten aus Straßendatenbanken durch eine visuelle Zustandserfassung mit systematischer Aufnahme der relevanten Merkmale ist zurzeit unabdingbar.
3. Die Überlagerung der aus (1) und (2) gewonnenen Daten mit Auswertungen präziser Georadarmessungen ist möglich. Es wird jedoch auf den beschriebenen weiteren Forschungsbedarf verwiesen.
4. Zur Verifizierung der Georadardaten sind Bohrkernentnahmen erforderlich, die in Lage und Menge den zu beurteilenden Abschnitt statistisch repräsentieren müssen. Die Bohrkernentnahmen können später zur direkten Bewertung der Restsubstanz hinzugezogen werden.
5. FWD-Messungen sind auf Netzebene aufwendig und geben nur bedingt Auskunft zu Abschnittsgrenzen. Die Ergebnisse von Tragfähigkeitsmessungen hängen grundsätzlich stark von den Randbedingungen der Messung ab.
6. Darüber hinaus ist eine zuverlässige Ermittlung der strukturellen Substanz und der Restnutzungsdauer für Beton- und Asphaltbefestigungen nur dann möglich, wenn in jedem relevanten homogenen Abschnitt eine ausreichende Zahl an Bohrkernen zur Anwendung des Verfahrens nach den RDO Beton 09 und RDO Asphalt 09 beziehungsweise RSO Beton und RSO Asphalt gezogen werden.

## 5 Literatur

- [FE 04.0227/2009/ARB] "Weiterführende Untersuchungen zur Vervollständigung des Verfahrens zur Substanzbewertung von Asphaltbefestigungen", unveröffentlichter Zwischenbericht – Bearbeitungsstand 2012
- [FE 04.0433/2009/DGB] Villaret, Eickschen, Pichotka, Riwe, Zander, Tschernack: "Grundlagen für eine vergleichende Bewertung der Restsubstanz von Fahrbahnbefestigungen in Betonbauweise nach mehrjähriger Verkehrsnutzung", Entwurf des Schlussberichts, November 2013
- [FGSV 431] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: "Arbeitspapier – Grundlagen zur Ermittlung homogener Abschnitte zur Bewertung der strukturellen Substanz von Straßenbefestigungen", Ausgabe 2009
- [RDO Asphalt 09] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: "Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht", Ausgabe 2009
- [RDO Beton 09] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: "Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen", RDO Beton 09, Ausgabe 2009