

Untersuchungen an Betonfahrbahnen mit hydraulisch gebundenen Tragschichten

FA 8.172

Forschungsstelle: Universität Karlsruhe (TH), Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen / MPA Karlsruhe, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie

Bearbeiter: Freund, H.-J. / Stammler, L. / Großmann, A. / Guse, U. / Foos, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Dezember 2005

1. Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojektes war es, anhand von systematisch angelegten zerstörungsfreien und zerstörenden Untersuchungen an geschädigten und ungeschädigten Streckenabschnitten aufzuzeigen, ob die bei der Bauweise Betondecke auf Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel (THB) auftretenden Schadensbilder systembedingt sind oder auf individuelle Fehler unter Beachtung der Einflüsse aus Nutzung, Klima und baulicher Erhaltung zurückgeführt werden können.

Aufgrund dessen war das Verhalten der Bauweise in direktem Verbund mit THB hinsichtlich der Gebrauchseigenschaften – auch unter den Gesichtspunkten erhöhter Festigkeitsanforderungen mit Einführung der ZTVT-StB 95 – zu bewerten und anhand von weiteren Untersuchungen zu vergleichen mit Bauweisen mit Vlieszwischenlage. Anhand der Untersuchungsergebnisse sollten Verbesserungsvorschläge – insbesondere für Bauweisen in direktem Verbund mit THB – abgeleitet werden.

2. Untersuchungsmethodik

Das Forschungsprojekt wurde arbeitsteilig vom Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE) und Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IfMB) der Universität Karlsruhe (TH) bearbeitet. Das grundsätzliche Vorgehen und die Auswahl der Untersuchungsstrecken erfolgte in Absprache mit dem Auftraggeber und dem Betreuungsgremium.

Die Auswahl umfasste 11 Untersuchungsstrecken, die sich im Wesentlichen durch ihre Bauweise unter Berücksichtigung einer zeitlichen Staffelung in Maßnahmen vor und nach Einführung der ZTVT-StB 95 unterscheiden (Tabelle 1). Innerhalb einer Untersuchungsstrecke sollten wegen der Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse gleiche Randbedingungen vorliegen (z. B. hinsichtlich Einheitlichkeit des Aufbaus, Bauzeit, Beanspruchung, Klima). Die weitergehende zerstörungsfreie Einnengung für die vorgesehenen zerstörenden Untersuchungen erfolgte i. Allg. außerhalb von vorgeschädigten gerissenen Betonplatten, weil dort in deren Folge eine Interpretation von Ergebnissen unklar bleiben musste. Die im ersten Schritt durchzuführenden Untersuchungen zur Ermittlung des strukturellen Zustandes mit ggf. Unterschieden in der Tragfähigkeit, auch sonst visuell nicht erkennbaren Schwachpunkten oder Schädigungen, umfassten jeweils die visuelle Zustandserfassung sowie Messungen mit dem Impulsradar und dem Falling Weight Deflectometer (FWD). Die visuelle Zustandserfassung und die FWD-Messungen wurden vom ISE durchgeführt, die Impulsradarmessungen an die GeoBau-Controlling GmbH, Weißenborn, vergeben. Im Hinblick auf eine Einschätzung der strukturellen Gegebenheiten und Möglichkeiten der Bewertung von Betonfahrbahnen mit unterschiedlichem Konstruktionsaufbau wurde

auf diesbezügliche Erfahrungen vorangegangener Forschungsprojekte zurückgegriffen. Die Festlegung von Intensivmessfeldern und Bohrkernentnahmestellen erfolgte prinzipiell unter Beachtung sämtlicher Informationen und Daten, hauptsächlich jedoch anhand der Ergebnisse der FWD-Messungen. Aufgrund zwischenzeitlich gewonnener zusätzlicher Erkenntnisse (ROOS et al., 2004; FREUND, GROSSMANN, 2003) wurden Längsebenheitsmessungen in die Untersuchung miteinbezogen.

Die zerstörenden Untersuchungen wurden vom IfMB vorgenommen, welches auch die Bohrkernentnahme veranlasste. Neben der fotografischen Dokumentation der am Plattenrand und in Plattenmitte entnommenen Bohrkernes erfolgten Untersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften (Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, E-Modul) sowie hinsichtlich der Wasseraufnahme, der Porosität und Porenstruktur, des Bindemittelgehalts, der Kornzusammensetzung und des Chloridgehalts. Die Spaltzugfestigkeit und die Porenstruktur wurden in verschiedenen Tiefenbereichen bestimmt, um anhand des ermittelten Profils den Einfluss der Bauausführung erfassen zu können.

Unter Nutzung dieser Ergebnisse erfolgten die Modellbildung und orientierenden Berechnungen mit der Methode der finiten Elemente sowie die systembezogene Bewertung.

Die optional vorgesehene Ortung der Dübel und Dübellage durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) konnte aus Gründen der Verfügbarkeit des Messsystems und aus organisatorischen Gründen bisher nicht vorgenommen werden.

3. Systembewertung

Es konnten mit der eingeschlagenen Methodik Bereiche innerhalb der Untersuchungsstrecken zerstörungsfrei selektiert werden, die für die zerstörenden Untersuchungen von Belang waren. Zwar ist der jeweils vorgefundene Zustand nicht automatisch repräsentativ für die jeweilige Strecke, es ergeben sich jedoch – ausgehend von der Einzelbewertung – aus der Gesamtschau allgemeine Erkenntnisse, die die gestellten Fragen beantworten.

Die zerstörungsfreien FWD-Messungen führen zu dem Ergebnis, dass Konstruktionen mit Asphaltzwischenlage (BAB A 7, Aufbau 3.1; BAB A 9 Aufbau 9.2), aber auch mit einer erodierten HGT bzw. teilweise aufgelösten Bindemittelmatrix der HGT (BAB A 3), gutes bis brauchbares Tragverhalten zeigen, wie auch die noch jungen Bauweisen mit Verfestigung überwiegend gutes bis brauchbares Tragverhalten aufweisen. Bei den übrigen untersuchten Bauweisen mit HGT ist das Tragverhalten zum Teil gut bis brauchbar, aber auch schlecht und in Einzelfällen mangelhaft (Bild 1, *am Ende des Textes*). Eine ähnliche Bandbreite zeigt sich bei der Anwendung einer Betontragschicht (BAB A 9, Aufbau 9.1; BAB A 10). Die Konstruktionen mit Vlieszwischenlage (BAB A 115, Aufbau 8.1; BAB A 6, Viernheim) haben insgesamt ein positives Tragverhalten. Die zerstörenden Untersuchungen bestätigten in vielen Fällen die festgestellten strukturellen Schwachpunkte, die teilweise sehr kleinräumig und lokal begrenzt waren (BAB A 6, Sandhofen; BAB A 5, Kronau).

Die ergänzend durchgeführten Längsebenheitsmessungen griffen die im Forschungsprojekt FA 8.168 (ROOS et al., 2004) festgestellten Möglichkeiten auf, einzelne Fehlstellen zu ermitteln sowie Strecken anhand der Stufigkeitszahl zu charakterisieren. Je nach Alter und Konstruktion zeigen sich unterschiedli-

che Niveaus und – für eine Untersuchungsstrecke bzw. einen Aufbau insgesamt betrachtet – auch unterschiedliche Streumaße. Unterhalb einer Stufigkeitszahl von 8 liegen die Werte der Strecken, die auch bei Tragfähigkeitsmessungen ein positives, wenigstens brauchbares Verhalten gezeigt haben. Dies trifft z. B. auf die "alte" BAB A 3 zu. Wie bei Tragfähigkeitsmessungen schneiden die BAB A 8 und BAB A 81 gleichermaßen schlecht ab.

Die Untersuchungen an den Bohrkernen zeigten, dass insgesamt von einer relativ gleichmäßigen Zusammensetzung auszugehen ist, da sich die Bereiche mit verschiedener Tragfähigkeit in den untersuchten Eigenschaften bzw. Kennwerten kaum und keinesfalls systematisch unterscheiden. Dass die Bauausführung die Eigenschaften der Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln beeinflusst, ist z. B. in einer abnehmenden Festigkeit (Spaltzugfestigkeit) mit zunehmender Tiefe aber auch in Veränderungen der Porenstruktur, die den Einfluss der Nachbehandlung der Oberfläche verdeutlichen, zu erkennen.

Die festgestellten Einflüsse aus der Bauphase führen jedoch nicht zu dem beobachteten, systematisch auftretenden Problem der Verbundlösung, ausgehend vom Plattenrand (Querfuge), das bei sämtlichen Arten von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, die im Verbund mit der Betondecke hergestellt wurden, auftrat.

Insbesondere ergaben die Prüfungen an den Bohrkernen aus den Strecken mit einer HGT unerwartet hohe E-Moduln. Deren deutliche Abminderung, wie in der einschlägigen Literatur angegeben, ist nicht zu rechtfertigen, da keine feinen "Strukturrisse" festzustellen waren. Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Betontragschichten und den Verfestigungen bestätigen diesen Sachverhalt.

Somit muss bei relativ steifen Tragschichten mit hydraulischem Bindemittel davon ausgegangen werden, dass diese insbesondere der horizontalen Verformung der Betondecke infolge von Temperaturänderungen einen Widerstand entgegensetzen. Die Folge sind Spannungen in der Verbundzone, die am Plattenrand bei den üblicherweise zu beobachtenden Fugenbewegungen bereits die Verbundfestigkeit erreichen können.

Horizontale Plattenbewegungen führen folglich zum Abscheren in der Verbundzone, und zwar dort beginnend, wo die Verformungen am größten sind – am Plattenrand. In der Plattenmitte tritt praktisch keine Horizontalbewegung auf. Dies veranschaulichen auch die Untersuchungsergebnisse, bei denen der Verbund häufig in der Plattenmitte noch gegeben war, während sich die Tragschicht von der Betondecke an den Plattenrändern bereits gelöst hatte (Bild 2).

Ungleichmäßige Temperatur- und Feuchteänderungen im Querschnitt der Betondecke können weiterhin zum Abheben der Plattenränder von der Tragschicht führen. Passt sich die Unterlage nicht der verformten Betondecke an, so sind extreme Beanspruchungen der Betondecke unter Verkehrslast möglich, da keine gleichmäßigen Auflagerbedingungen über die gesamte Plattenfläche sichergestellt sind.

Dringt Wasser in die gestörte Verbundzone ein und kann dies nicht abgeleitet werden, entstehen unter Verkehrsbeanspruchung durch Pumpbewegungen der Platte hohe Fließgeschwindigkeiten unterhalb der Betondecke und es kann zur Erosion kommen.

4. Empfehlungen für die Praxis und ergänzende Untersuchungen

Die Betondecke sollte auf einer Tragschicht aufgelagert werden, die den Plattenbewegungen (Betondecke) folgen oder diese Bewegungen durch elastische Verformungen kompensie-

ren kann. Dadurch wird eine weitgehend vollständige Plattenauflagerung sichergestellt und ein Abheben der Plattenränder (Aufschüsseln) vermieden. Weiterhin sollte diese Schicht so beschaffen sein, dass in den Fahrbahnaufbau eindringendes Oberflächenwasser abgeleitet wird und sich nicht ansammelt.

Die vergleichsweise einfachste Möglichkeit, diese Anforderungen hinsichtlich der Verformungsfähigkeit und der Wasserdurchlässigkeit zu realisieren, besteht in der Verwendung einer ungebundenen Schottertragschicht nach ZTVT-StB 95/02.

Aus den vorliegenden Untersuchungen ist abzuleiten, dass eine Asphaltzwischen-schicht, aber auch eine dünne Bitumenschicht, die primär als Nachbehandlungsmaßnahme eingesetzt wird, sowie eine Zwischenlage aus Vliesstoff die Auflagerungsbedingungen von Betonfahrbahnen auf Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln günstig beeinflussen. Damit wurden die Bauweisen der Tafel 2 der RStO 01 vom Prinzip her bestätigt.

Wenn auch nach derzeitigem Stand keine korrelativen Zusammenhänge zwischen Längsebenenheits- und Tragfähigkeitsmerkmalen der 100 m-Abschnitte der untersuchten Strecken bestehen, so lassen sich anhand der Längsebenenheitsdaten wenigstens pauschale Hinweise auf strukturelle Gegebenheiten ablesen.

Trotz der noch bestehenden Einschränkungen – auch wegen des hier verwendeten leichten Messsystems, das keine FWD-analogen Reaktionen an der Betonkonstruktion erzeugen kann – sollten jedenfalls die Möglichkeiten genutzt werden, die



Bild 2: Zustand der HGT, BAB A 8
 oben: Plattenrand mit Erosion
 Mitte: Plattenrand mit Horizontalriss
 unten: Plattenmitte mit Verbund

sich aus der Veränderung der Stufigkeiten über die Zeit ergeben (FA 8.168). Dies zu beobachten war wegen hier nicht vorgesehener Folgemessungen nicht möglich.

5. Offene Fragen

Vorliegend wurde die an anderer Stelle vorgeschlagene Vorgehensweise des kombinierten Einsatzes zerstörungsfreier Messsysteme (Impulsradar, FWD, schnellfahrendes Längsebenheitsmesssystem) zur Charakterisierung der ausgewählten Strecken und zur Einengung von Intensivmessfeldern und Bohrkernentnahmestellen weitgehend angewendet. Es zeigte sich, dass derzeit definitive Einschätzungen hauptsächlich auf Basis von FWD-Messungen vorgenommen werden können.

Es sollte jedoch nach wie vor der Einfluss der vorherrschenden Temperaturzustände auf die Tragfähigkeitskennwerte untersucht werden, um den von GROSSMANN (2003) vorgeschlagenen Temperaturkorridor zu überprüfen, erforderlichenfalls weitergehende Kriterien hierfür in Bezug zu nehmen. Dies gilt prinzipiell auch für das hier angewendete Regressionsparameter-Verfahren. Daneben bleibt zu überprüfen, ob und inwieweit für Konstruktionen mit Vliesstoff eine eigene Bewertungsskala in den Bewertungs-Zeit- und Bewertungs-Beanspruchungs-Diagrammen geschaffen werden muss. Gezielte längerfristige Beobachtungen sind hierzu erforderlich, um ggf. auch Veränderungen des Tragverhaltens zu erfassen oder – andererseits – die Dauerhaftigkeit der Erosionsstabilität zu bestätigen.

Der Informationsgehalt der Stufigkeitsbänder von Längsebenheitsmessungen sollte im Hinblick auf strukturelle Gegebenheiten weitergehend herausgearbeitet werden. Anhand zeitlich gestaffelter Messungen sind dabei ggf. eintretende Veränderungen des Tragverhaltens zu erfassen. Hierbei ist der Frage des Temperatureinflusses nachzugehen. Bestehende Unsicherheiten in Bezug auf Wiederholgenauigkeit und einer plattengenaue Zuordnung der Messergebnisse sollten sich durch technische Maßnahmen lösen lassen.

Der Informationsgehalt und die Interpretation der im Rahmen von Impulsradarmessungen ausgewiesenen Anomalien ist weiterhin zu hinterfragen.

Die Ergebnisse der numerischen Analyse zeigen, dass Schäden an Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln nicht primär durch die Verkehrslast ausgelöst werden. Diese Aussage ist durch weitere numerische Analysen abzusichern.

In diesem Zusammenhang ist neben der Variation der Auflagerbedingungen, wie in der vorliegenden Arbeit exemplarisch aufgezeigt, vor allem der Einfluss der thermischen und der hygrischen Beanspruchung des Systems "Betondecke/Tragschicht" unter Berücksichtigung der Herstellungs- bzw. Erhärtungsbedingungen der Betondecke zu betrachten. Die dynamische Verkehrslastbeanspruchung muss dabei als Parameter wirklichkeitsnah Berücksichtigung finden.

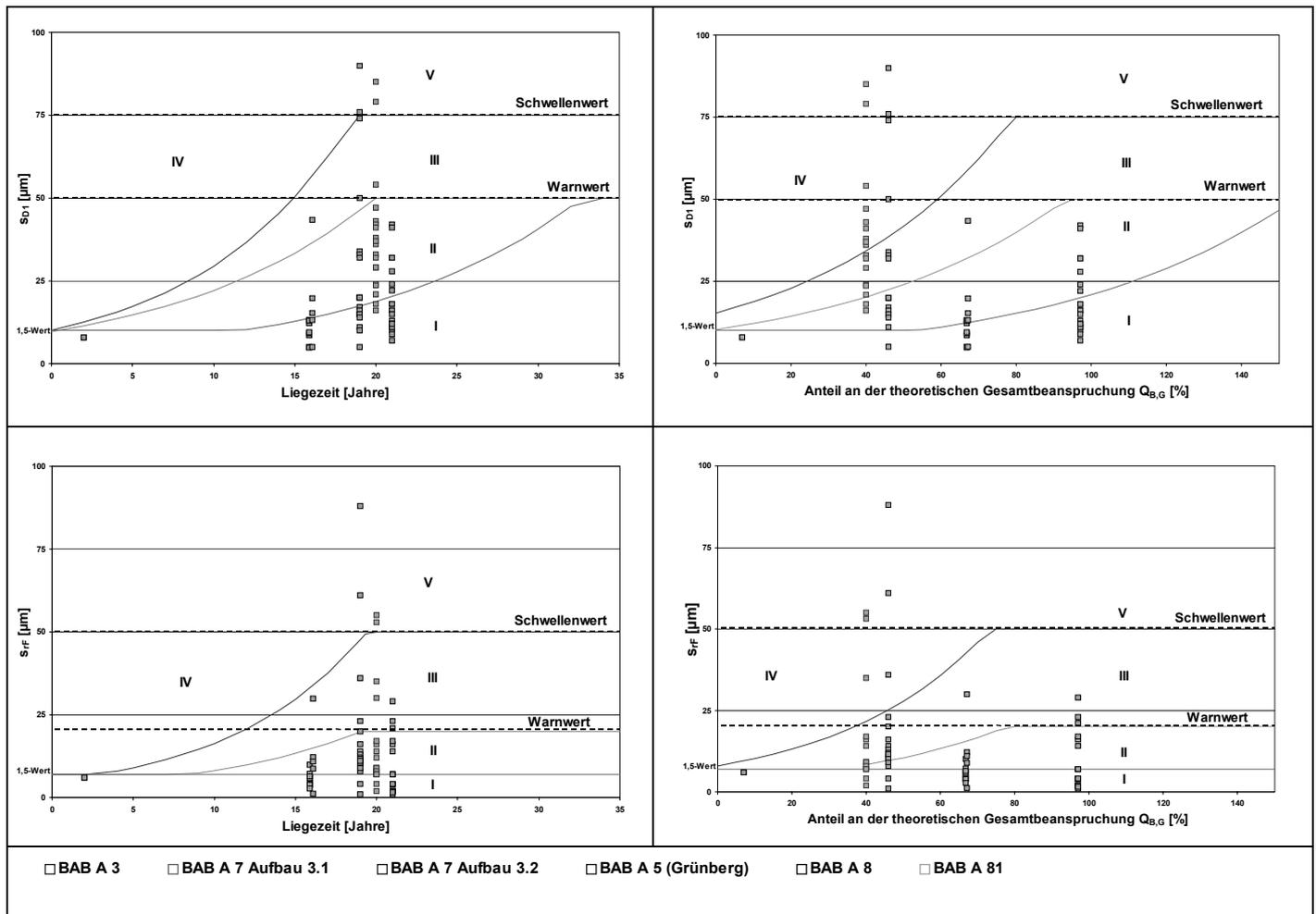


Bild 1: Strecken mit HGT; Bewertungs-Zeit- und Bewertungs-Beanspruchungs-Diagramme der 100 m-Abschnitte

Tabelle 1: Zusammenstellung der Untersuchungsabschnitte

Aufbau Nr.	Untersuchungsstrecke Lage, Fahrrichtung (FR) Untersuchungsabschnitt (Messabschnitt)	Aufbau (zugrundeliegendes Regelwerk)	Baujahr	Anzahl Fahrstreifen im Querschnitt
STRECKEN MIT HGT				
1	BAB A 3 bei Straubing, FR Regensburg Betriebs-km 539+500 bis 537+500	22 cm Betondecke (ZTV-Beton 78) 15 cm HGT (TV T 72)	1983	4
2	BAB A 5 (Grünberg) bei Grünberg, FR Kassel Betriebs-km 427+650 bis 427+450	27 cm Betondecke (ZTV-Beton 01) HGT (ZTV T-StB 95)	2002	6
3.1	BAB A 7 bei Ellwangen, FR Würzburg Betriebs-km 770+450 bis 768+450	22 cm Betondecke 3 cm Asphaltzwischen-schicht 15 cm HGT (keine Angabe)	1986/ 1987	4
3.2	BAB A 7 bei Ellwangen, FR Würzburg Betriebs-km 770+450 bis 768+450	22 cm Betondecke 15 cm HGT (keine Angabe)	1986/ 1987	4
4	BAB A 8 Aichelberg, FR Stuttgart Betriebs-km 169+000 bis 171+000	24 cm Betondecke (ZTV-Beton 78/82) 15 cm HGT (TV T 72 / Ergänzung) 31 cm Frostschutzschicht	1985	4
5	BAB A 81 bei Zuffenhausen, beide FR Betriebs-km 574+500 bis 576+500	22 cm Betondecke (ZTV-Beton 78/80) 15 cm HGT (TV T 72) 33 cm Frostschutzschicht	1983/ 1984	6
STRECKEN MIT VERFESTIGUNG				
6	BAB A 5 (Kronau) bei Kronau, FR Karlsruhe Betriebs-km 594+200 bis 595+200 (M. 1) Betriebs-km 597+500 bis 598+500 (M. 2)	26 cm Betondecke (ZTV-Beton 93) 30 cm Verfestigung (ZTV T-StB 95)	1999	6
7	BAB A 6 (Sandhofen) bei Sandhofen, FR Kaiserslautern Betriebs-km 558+470 bis 559+470	26 cm Betondecke (es liegen keine Angaben vor) 25 cm Verfestigung (keine Angabe)	1995	4
8.1	BAB A 115 bei Berlin, FR Berlin Betriebs-km 15+000 bis 16+000 (M. 1)	27 cm Betondecke (es liegen keine Angaben vor) Vlieszwischenlage ¹⁾ 20 cm Verfestigung (ZTV T-StB 95)	1997	6
8.2	BAB A 115 bei Berlin, FR Potsdam Betriebs-km 16+000 bis 15+000 (M. 2)	27 cm Betondecke (es liegen keine Angaben vor) 20 cm Verfestigung (ZTV T-StB 95)	1997	6
STRECKEN MIT BETONTRAGSCHICHT				
9.1	BAB A 9 bei Halle, FR Berlin Betriebs-km 158+900 bis 158+000 (M. 1)	26 cm Betondecke (ZTV-Beton 91) 15 cm Betontragschicht B 15 (ZTV T-StB 86/90) 49 cm Frostschutzschicht	1993	6
9.2	BAB A 9 bei Halle, FR Berlin Betriebs-km 156+500 bis 155+500 (M. 2)	26 cm Betondecke (ZTV-Beton 91) 3 cm Asphaltzwischen-schicht ¹⁾ 15 cm Betontragschicht B 15 (ZTV T-StB 86/90) 49 cm Frostschutzschicht	1992	6
10	BAB A 10 bei Ludwigsfelde, beide FR Betriebs-km 68+000 bis 67+000 (M. 1) Betriebs-km 63+740 bis 64+760 (M. 2)	26 cm Betondecke (ZTV-Beton 78/80) 15 cm Betontragschicht B 15 (ZTV T-StB 86)	1991	6
STRECKEN MIT VERFESTIGUNG UND VLIESSTOFF				
11	BAB A 6 (Viernheim) bei Viernheim, FR Mannheim/A 67 Betriebs-km 558+500 bis 557+500	22 cm Betondecke (ZTV-Beton 78/80) Vlieszwischenlage 20 cm Verfestigung (ZTV V-StB 87)	1986	6

M.: Messabschnitt

¹⁾ aufgrund der Bohrkernentnahme festgestellt

