

# Langzeitverhalten von Betondecken mit über 20 Jahren Liegedauer

FA 8.142

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamf für Bau von Landverkehrswegen (Prof. Dr.-Ing. G. Leykauf)  
 Bearbeiter: Leykauf, G. / Birmann, D.  
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn  
 Abschluss: Mai 2000

- Messung der Verformung der Platten, bei ungleichmäßiger Erwärmung,
- Stufenbildung an den Querscheinfugen,
- Querprofile in ausgewählten Querschnitten,
- Bewertung des Zustandes durch visuelle Aufnahme der Oberflächenschäden und Auswertung der ZEB-Daten,
- Entnahme von Bohrkernen.

## 1. Aufgabenstellung

Durch Langzeitmessungen an Versuchsstrecken, deren Bau dokumentiert und deren Verhalten durch Messungen über einen möglichst großen Zeitraum festgehalten wird, können Erkenntnisse über das Gebrauchsverhalten und den Einfluss des Aufbaues (insbesondere der Tragschicht) und der Konstruktion auf das Langzeitverhalten gezogen und Empfehlungen für eine weitere Anwendung und ggf. für die Modifizierung oder Fortschreibung im Technischen Regelwerk gegeben werden. Im Rahmen der Forschungsarbeit sollten dazu zwei Betondecken-Versuchsstrecken untersucht und beurteilt werden, die seit 35 bzw. 25 Jahren unter Verkehr liegen.

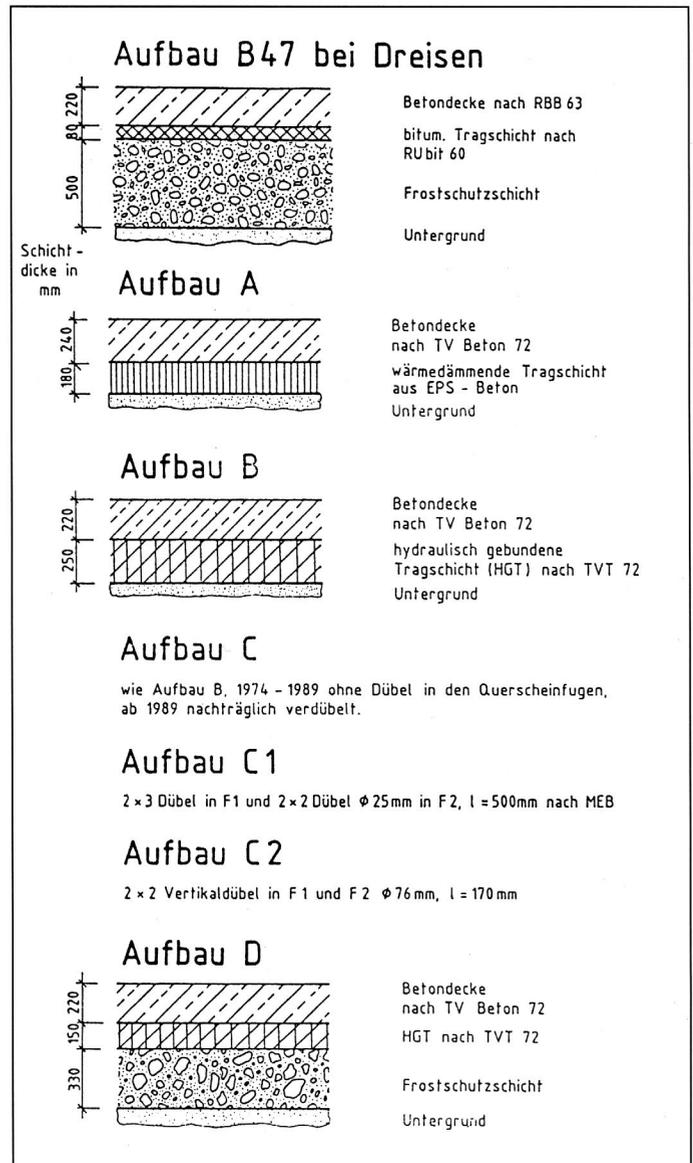
1965 wurde erstmals als Versuchsstrecke an der B 47 bei Dreisen eine Betondecke mit kurzen Plattenlängen ohne Bewehrung mit großem Raumfugenabstand gebaut. Die einlagige, 22 cm dicke Betondecke liegt auf einer 8 cm dicken bituminösen Tragschicht. Neben Untersuchungen während des Baus (Nullmessungen) wurden in den ersten Jahren, nach 25 und nunmehr nach 35 Jahren Liegezeit Messungen durchgeführt. Die heutige Verkehrsbelastung entspricht Bauklasse III.

Im Zuge des Neubaues der A 81 waren 1974 bei Berolzheim zwei je 1,5 km lange Versuchsstrecken ohne Frostschutzschicht gebaut worden, die damals für Bauklasse I konzipiert wurden (Bild 1). Gegenüber der Bauweise mit einer Frostschutzschicht unter der Betondecke mit hydraulisch gebundener Tragschicht (HGT), dem Aufbau D, wurde eine 18 cm dicke wärmedämmende Tragschicht aus EPS-Beton (Aufbau A, mit expandiertem Polystyrol) bzw. eine verstärkte HGT (Betonoberbau, Aufbau B) angeordnet. Versuchsweise wurden die Dübel des Aufbau B auf eine Länge von 200 m weggelassen (Aufbau C). Dieser Versuchsabschnitt musste 1989 durch eine nachträgliche Verdübelung saniert werden, da Schäden (Risse in den Fahrbahnplatten, Stufenbildung an den unverdübelten Querscheinfugen) aufgetreten waren. Die Verbesserung der Querkraftübertragung erfolgte im Fahrstreifen durch das Einsetzen von 2 x 3 Dübeln Ø 25 mm, Länge 500 mm nach MEB (Aufbau C 1) oder durch 2 x 2 Vertikaldübel Ø 76 mm, Länge 170 mm (Aufbau C 2). Die Verkehrsbelastung der A 81 durch Schwerverkehr ist von 1975 um fast das Doppelte auf 2341 [Fz/24h] in 1993 angestiegen und entspricht heute der Bauklasse SV.

## 2. Untersuchungsmethodik

An den Oberbausystemen wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Öffnung der Querscheinfugen und Bewegung der Raumfugen,
- Einsenkung und relative vertikale Fugenbewegung am Querscheinfugenrand,
- Einsenkung in Plattenmitte und am Plattenrand unter einem Belastungswagen mit ca. 10 t Achslast,
- Temperaturverteilung über den Querschnitt während der Messung,

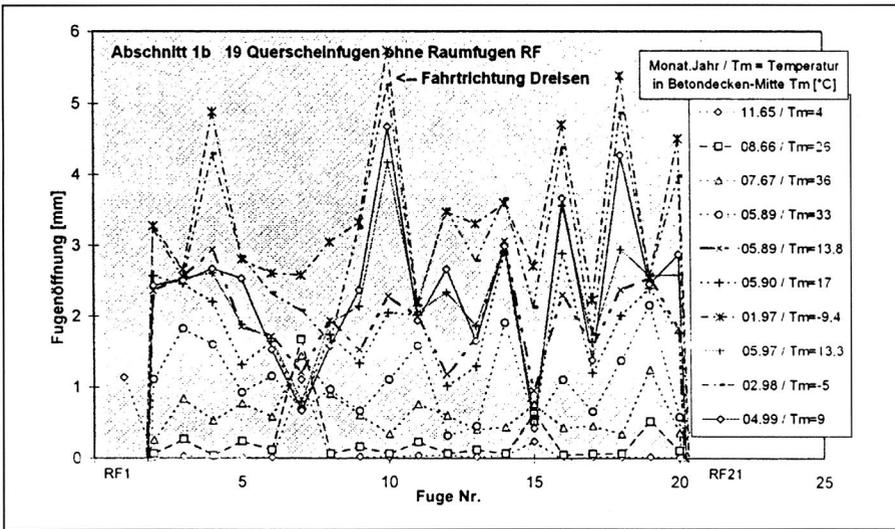


1: Aufbau der Betondecken-Versuchsstrecken an der B47 bei Dreisen und an der A81 bei Berolzheim

## 3. Untersuchungsergebnisse

### 3.1 Ergebnisse von der Versuchsstrecke bei Dreisen

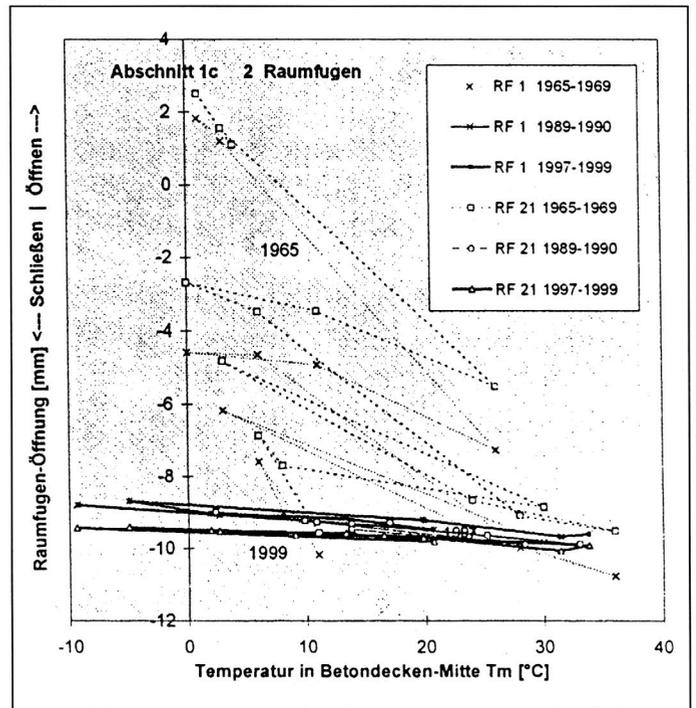
An der Versuchsstrecke B 47 bei Dreisen wurden Nullmessungen von 1965 bis 1969, Wiederholungsmessungen 1989 und (im Rahmen dieser Forschungsarbeit) von 1996 bis 1999 durchgeführt. Anhand der Messungen und augenscheinlichen Beobachtungen können die folgenden Aussagen gemacht werden.



2: Öffnung der 19 Querscheinfugen (Einzelwerte) 1965 bis 1999; B47 bei Dreisen

Für das Verhalten von Raumfugen und Scheinfugen liegen Messwerte für einen Zeitraum von 35 Jahren vor (Bild 2).

Die maximale Öffnung der Scheinfugen beträgt bei tiefen Temperaturen etwa 6 mm, wobei die günstigen Temperaturverhältnisse beim Herstellen der Betondecke im Oktober 1965 zu berücksichtigen sind. Das anfangs festgestellte Paketreißen hat sich im Laufe der Zeit ausgeglichen, was auch von den verpressten Raumfugen im 100 m-Abstand beeinflusst wird. Während sich die Raumfugen anfangs wie Scheinfugen öffneten, trat bis 1965 ein Verpressen des Fugenbrettes von 20 auf ca. 10 mm auf, das sich auch bis 1999 nicht weiter veränderte (Bild 3). Die festgestellte Verkürzung pro Platte von 1,1 mm (gemessene mittlere bleibende Fugenöffnung der Querscheinfugen bei hohen Temperaturen) setzt sich aus etwa 0,6 mm Verkürzung durch Schwinden und 0,5 mm durch Verpressen der Raumfugen zusammen; diese Verkürzung ist nach wenigen Jahren weitgehend abgeschlossen. Die Anforderung von Raumfugen hat ungünstige Auswirkungen, da das Verpressen der Raumfugen zu einer zusätzlichen Fugenöffnung der angrenzenden Scheinfugen führt. Das bedeutet eine größere Beanspruchung des Deckensystems infolge Veränderung der Auflagerbedingungen und des Fugenvergusses. Während der 35-jährigen Liegezeit wurde der Fugenverguss dreimal erneuert.



3: Öffnung der zwei Raumfugen in 100 m Abstand in Abhängigkeit von der Temperatur in Betondecken-Mitte 1965 bis 1999; B47 bei Dreisen

Bei den Einsenkungen am Querscheinfugenrand mit Mittelwerten zwischen 0,28 und 0,40 mm wird der kritische Wert von 0,3 mm (für ein gutes Langzeitverhalten erforderlich) z.T. erheblich überschritten, offensichtlich auf eine Hohllage zurückzuführen. Die mittlere relative vertikale Fugenrandbewegung von etwa 0,20 mm ist ebenfalls größer als der als kritisch angesetzte Wert von 0,1 mm und deutet auf eine Verschlechterung der Querkraftübertragung durch die Dübel hin (Bild 4).

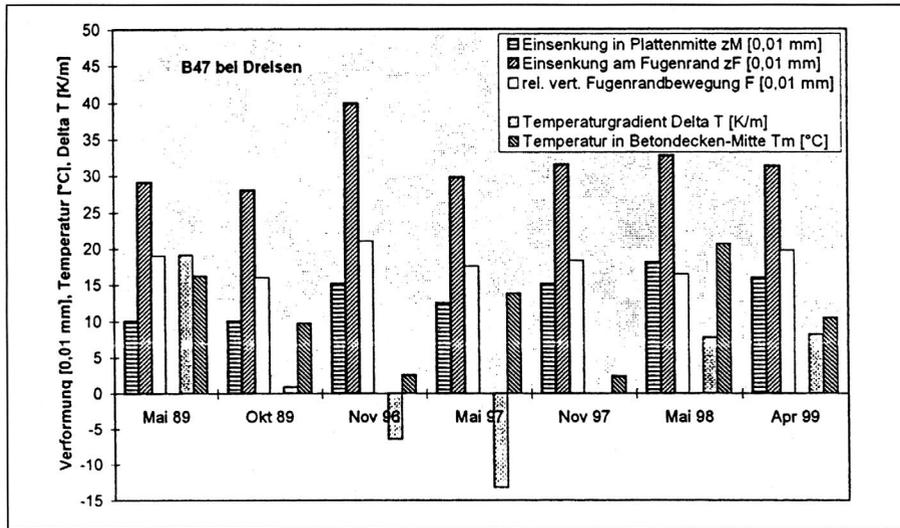
Die relative Verformung zwischen der Plattenmitte und den Ecken bei kurzzeitiger Temperaturänderung über dem Querschnitt entspricht 0,15 mm/K (zwischen zwei Scheinfugen) und 0,17 mm/K (Platte mit Raumfuge), wobei die Temperaturdifferenz zwischen Ober- und Unterseite der Betondecke in [K] angesetzt wurde.

Die Nachuntersuchung der bituminösen Tragschicht ergab eine Nacherhärtung des verwendeten Bitumens B 200, das heute einem B 65 entspricht. Der berechnete Hohlraumgehalt von 11,7 Vol.-% ist sehr groß und begünstigt, wie Erosionsversuche im Labor des Prüfanstalt ergeben hatten, eine Erosion. Es wird empfohlen, bei der Mischgutart C den Hohlraumgehalt auf 5 % zu begrenzen und einen Mindestbindemittelgehalt von 4,2 % einzuhalten.

Die große Betondruckfestigkeit (Tabelle 1) trägt zu einer Verbesserung des Tragverhaltens der Betondecke und der Lebensdauer bei.

Tabelle 1: Druckfestigkeit des Deckenbetons, bezogen auf den 20 cm-Würfel

B 47 bei Dreisen	Eignungsprüfung 1965: 54 N/mm <sup>2</sup> (B45)		Bohrkern 1999: 97 N/mm <sup>2</sup>
A 81 bei Berolzhelm	Eignungsprüfung 1974: 54,4 N/mm <sup>2</sup> (B45)	Kontrollprüfung am Bohrkern 1974: 54 N/mm <sup>2</sup>	Bohrkern 1999: 93 N/mm <sup>2</sup>



4: Einsenkung in Plattenmitte und am Fugenrand; relative vertikale Fugenrandbewegung; Temperaturgradient und Temperatur in Betondecken-Mitte 1989 bis 1999; B47 bei Dreisen

Die Bohrkernentnahmen bestätigten die bereits 1989 beobachtete Erosion an der Oberseite der bituminösen Tragschicht im Fugenbereich. Diese wurde durch folgende Gegebenheiten, denen durch rechtzeitige Sanierung und entsprechende Konzeption begegnet werden kann, verursacht:

- Eindringen von Oberflächenwasser durch die ca. 2 cm weit geöffnete Mittellängspressfuge und durch die bis zu 6 mm weit geöffneten Querscheinfugen (begünstigt durch die Raumfugen),
- Wasserrückstau am hochgelegenen Fahrbahnrand wegen des fehlenden Gegengefälles der Tragschicht,
- zu großer Hohlraumgehalt der bituminösen Tragschicht (11,7 Vol.-%).

Bei der visuellen Zustandserfassung wurde eine Zunahme insbesondere der Längsrisse gegenüber der Erfassung von 1989 festgestellt. Sie bedeuten derzeit keine Einbuße am Gebrauchswert, der Substanzwert liegt jedoch z.T. oberhalb des Schwellenwertes. Trotz der vorhandenen Risse und Erosionserscheinungen an der Oberseite der bituminösen Tragschicht erfüllt die Betondecke nach 35 Jahren Liegedauer immer noch ihren Zweck. Sie kann weiter von Schwerverkehr genutzt werden, der eine Steigerung von etwa 1,7 % pro Jahr aufweist.

Die Betondeckendicke von 22 cm entspricht nach RStO 86/89 der Bauklasse III, auch die Verkehrsbelastung durch Schwerverkehr entspricht heute dieser Bauklasse. Die bisherige Nutzungsdauer bestätigt unter Berücksichtigung der hohen Betonqualität

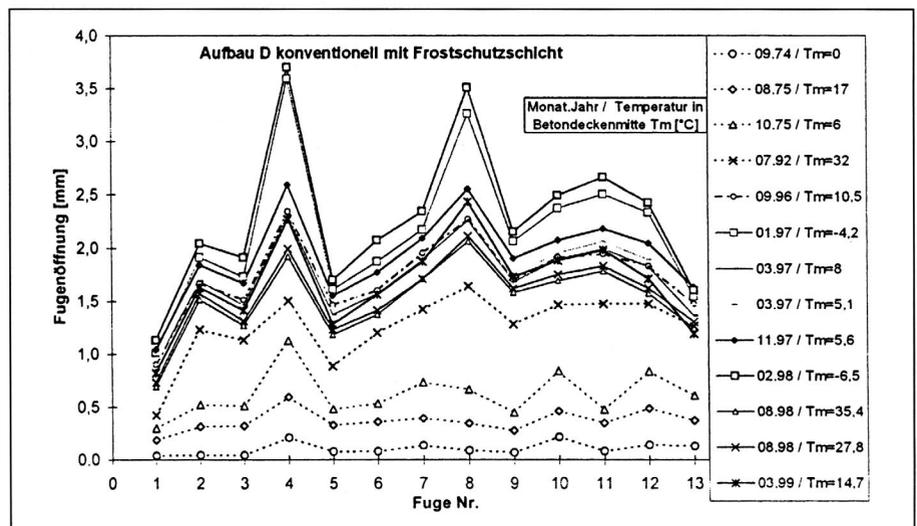
B 45 die Dickenfestlegungen für diese Bauklasse nach den RStO 86/90. Bei qualitätsgerechter Ausführung ist mit einer Nutzungsdauer einer Betonfahrbahn von über 35 Jahren zu rechnen, wenn die zwischenzeitlich im Vorschriftenwerk verankerten Verbesserungen berücksichtigt werden:

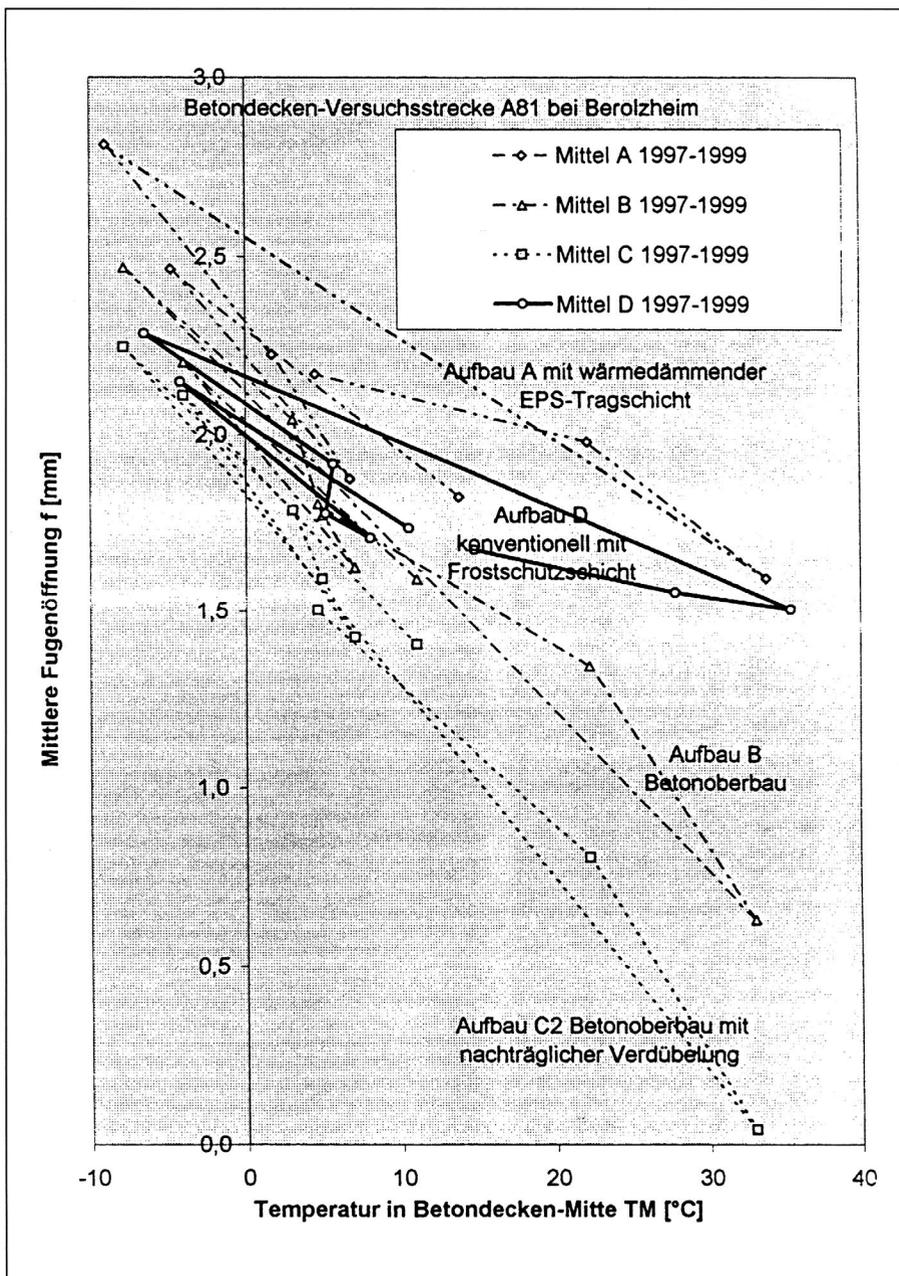
- Wegfall der Raumfugen,
- Begrenzung des Hohlraumgehaltes einer bituminösen Tragschicht unter Betondecken  $\leq 6\%$  nach ZTVT-StB 95,
- Verankerung der Längspressfugen mit 5 Ankern  $\varnothing 20$  mm.

### 3.2 Ergebnisse von der Versuchsstrecke bei Berolzheim

Das Öffnungsverhalten der Querscheinfugen bei Temperaturänderung und die Charakteristik der Fugenöffnung hat sich gegenüber dem letzten Beobachtungszeitraum nicht geändert, jedoch im Lauf der 25 Jahre (Bild 5). Die mittlere bleibende Fugenöffnung bei hohen Temperaturen hat zugenommen. Die Verkürzung der Fahrbahnplatten ist offensichtlich durch Schwinden verursacht. Dieser Anteil kann auf 0,6 mm (Aufbau B) bis 1.5 mm (Aufbau A) geschätzt werden, wobei im Gegensatz zur Versuchsstrecke bei Dreisen das Schwinden nach wenigen Jahren nicht abgeklungen ist. Durch Zusetzen der Fugen mit Feinteilen ist ein vollständiges Schließen der Fuge ist nicht mehr möglich, was eine zusätzliche bleibende Fugenöffnung verursachen kann (Bild 6).

5: Öffnung der Querscheinfugen (Einzelwerte) 1974 bis 1999; Aufbau D mit konventioneller Frostschutzschicht; A81 bei Berolzheim





6: Mittlere Fugenöffnung in Abhängigkeit von der Temperatur in Betondecken-Mitte, 1974 bis 1999; Aufbau A bis D

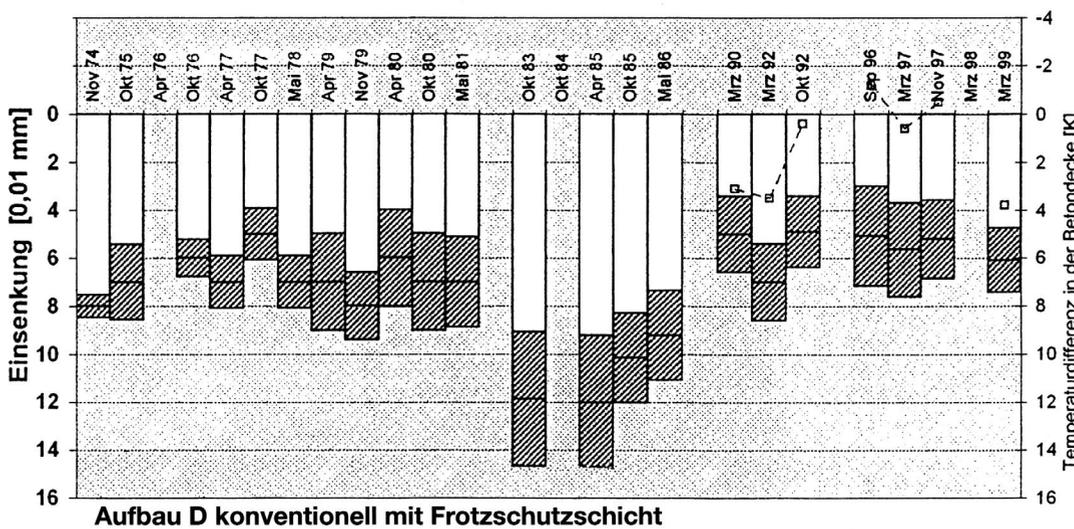
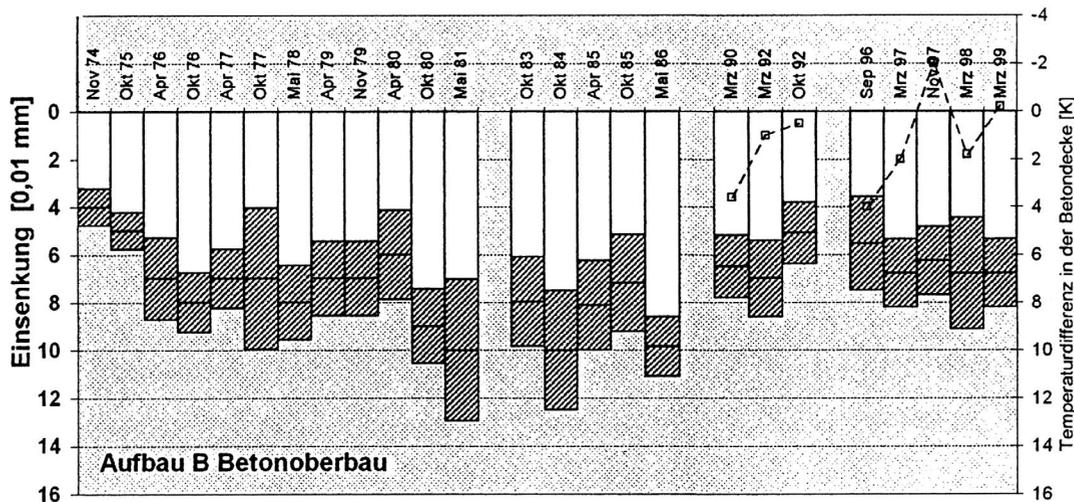
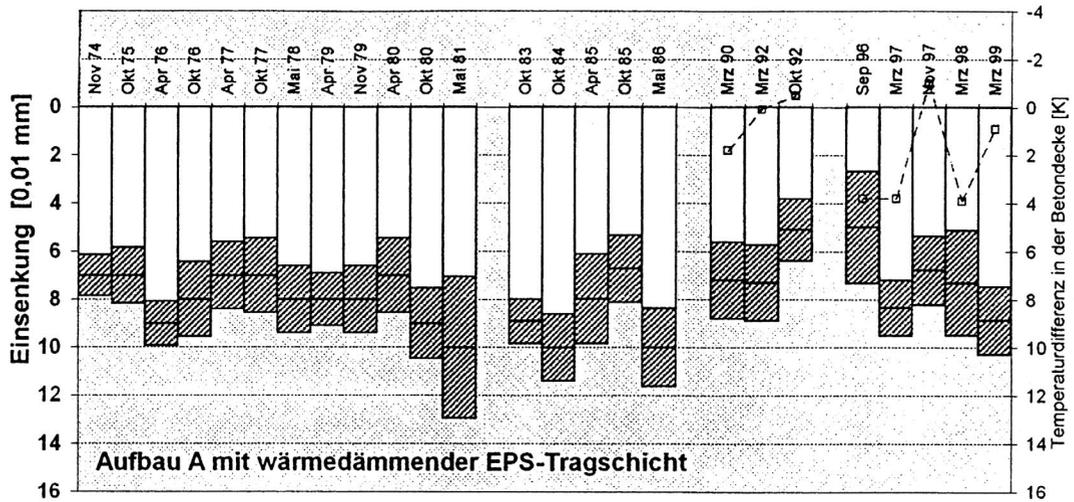
Das Tragverhalten der untersuchten Oberbausysteme kann durch die Einsenkung quantifiziert werden. Die 1996 bis 1999 gemessenen Einsenkungen sowohl in Plattenmitte als auch am verdübelten Querscheinfugenrand liegen im Bereich der früher gemessenen Werte. Die Schwankungen sind auf die jahreszeitlich bedingte, unterschiedliche Tragfähigkeit des Untergrundes sowie auf den unterschiedlichen Feuchte- und Temperaturzustand der Betonfahrbahn zurückzuführen. Weiter ist von Einfluss das Aufschlüsseln der Platten und die Wirkung der nachträglich eingebauten Entwässerungseinrichtungen (Bild 7).

Mit einem Wirksamkeitsindex an den verdübelten Querscheinfugen von über 85 % auch nach 25 Jahren ist gewährleistet, dass die Beanspruchung im Fugenbereich nicht wesentlich größer ist als in Plattenmitte. Die im Fugenbereich festgestellten Hohlräume zwischen Betonplatte und HGT, die offensichtlich örtlich eng begrenzt sind, hatten keine Auswirkung auf das Tragverhalten.

Die für das Pumpen maßgebende, relative vertikale Fugenrandbewegung ist beim Aufbau D mit max. 0,02 mm außerordentlich klein. Bei den nachträglich sanierten Aufbauten C1 liegt sie zwischen 0,07 und 0,15, beim Aufbau C2 mit Vertikaldübeln ist sie mit 0,12 bis 0,29 mm am größten. Nach vorliegenden Erkenntnissen sollte die relative vertikale Fugenrandbewegung 0,10 mm nicht übersteigen, um ein gutes Langzeitverhalten zu gewährleisten.

Nach der 1989 durchgeführten nachträglichen Verdübelung des Abschnittes C waren die Einsenkungswerte am Fugenrand zunächst kleiner als vor der Sanierung. Die weiteren Messungen 1996 bis 1999 zeigten eine Verschlechterung: Zunahme der Einsenkung und der relativen vertikalen Fugenbewegung und Abnahme des Wirksamkeitsindex, insbesondere im Abschnitt C2. Demnach war diese Sanierungsmaßnahme nur kurzfristig wirksam.

Durch Befahren, augenscheinliche Zustandserfassung und die Zustandswerte der ZEB von 1997 wurde festgestellt, dass mit Ausnahme des Abschnittes C mit nachträglicher Verdübelung der Querscheinfugen alle Abschnitte in einem sehr guten Zustand sind.



7: Einsenkung der Plattenmitte (Mittelwert ± einfache Standardabweichung), linear umgerechnet auf eine Achslast von 100 kN 1974 bis 1999 und Temperaturdifferenz (Linie); Aufbau A, B und D; A81 bei Berolzheim

Die Längsfuge zwischen Betonfahrbahnrand und bituminösem Standstreifen („Sparbauweise“) ist bei der Versuchsstrecke problematisch (Öffnung bis zu 1 cm, Stufenbildung, Eindringen von Wasser). Diese Probleme entfallen, wenn ein gleicher Aufbau über den gesamten Querschnitt gewählt, der Standstreifen in Beton ausgeführt und mit dem Fahrstreifen verankert wird, wie dies seit Anfang der 80-er Jahre die Regel ist. Damit wird der Lastfall Plattenrand entschärft. Es wird empfohlen, die Längsfuge zwischen dem Betonfahrbahnrand und dem teilweise erneuerten, bituminösen Standstreifen aufzuschneiden und zu vergießen, wie dies schon in Teilbereichen durchgeführt wurde. Mit drei Messverfahren zu verschiedenen Zeitpunkten wurde eine, auch bei gleichmäßiger Temperaturverteilung über den Querschnitt bleibende konkave Verformung (Aufschlüsselung) der Fahrbahnplatten festgestellt, offensichtlich zurückzuführen auf unterschiedliche Erhärtungstemperaturen zum Zeitpunkt des Betonierens und auf oberflächiges Schwinden. In der rechten Rollspur des Fahrstreifens betrug sie ca. 4 bis 8 mm (Rohdaten nach ZEB), 2 bis 3 mm (Sehnenmessung) und bis zu 4 mm (Planograph). Durch Nivellement konnte eine relative, konvexe Verformung der Plattenmitte gegenüber den Ecken von 0,2 mm pro kurzzeitiger Temperaturdifferenz von 1 K zwischen Ober- und Unterseite der Betondecke gemessen werden, die kleiner als die bleibende Aufschlüsselung ist.

Die festgestellte bleibende Aufschlüsselung der Fahrbahnplatten kann bei Lösen des Verbundes zu einer Hohllage im Fugenbereich und bei Wasserzutritt zu einem Pumpen führen. Deshalb ist die gebundene Tragschicht mit möglichst hohem Erosionswiderstand auszuführen und für eine gute Fugenabdichtung Sorge zu tragen. Weiter führt das Aufschlüsseln zu einer Streuung der Einsenkungswerte und kann Auswirkungen auf den Fahrkomfort haben.

Die Festigkeit der hydraulisch gebundenen Tragschicht entsprechend den damaligen Anforderungen sehr niedrig. An Bohrkernen wurde 1999 eine Druckfestigkeit ermittelt, die einer rückgerechneten Würfel-Druckfestigkeit von ca. 6,2 N/mm<sup>2</sup> entspricht. Im Fugenbereich wurden lokal auf den Querschnittbereich begrenzte Erosionserscheinungen bei den Aufbauten B und D beobachtet, zurückzuführen auf die niedrige Festigkeit, das vermehrte Eindringen von Wasser durch das fehlende Gegengefälle der gebundenen Tragschicht und die offene Längsfuge zwischen Betonfahrbahn und bituminösem Standstreifen.

Die wärmedämmende Tragschicht unter der Betondecke hat sich bewährt. Zu achten ist auf eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes beim Einbau der wärmedämmenden Tragschicht (vorhandener Verformungsmodul z.T. unter 40 N/mm<sup>2</sup>) und ein schonendes Befahren beim Einbau des Deckenbetons.

Die untersuchten Bauweisen haben sich bewährt trotz der aus heutiger Sicht ungünstigen konstruktiven Details und zu niedriger Anforderungen wie:

- fehlendes Gegengefälle der Tragschicht am hochliegenden Fahrbahnrand,
- Ausführung des Standstreifens in Asphalt (Sparbauweise),
- geringe Druckfestigkeit der HGT (nicht erosionsbeständig).
- Unterdimensionierung der Aufbauten (Ausführung für Bauklasse I statt Bauklasse SV).

Hierbei ist die hohe Qualität des Deckenbetons bereits bei der Bauausführung – entsprechend einem B 45 – und der sorgfältige Schutz der Betonoberfläche vor Witterungseinflüssen durch Zelte zu berücksichtigen. Günstig wirkte sich die bei der heutigen starken Verkehrsbelastung erreichte wesentlich größere Druckfestigkeit aus (Tabelle 1).

#### 4. Folgerungen für die Praxis

Die Ausführung einer Betondecke mit kurzen, unbewehrten Platten ohne Raumfugen hat sich bewährt.

Nicht verdübelte Querschnittfugen sind auch beim Betonoberbau nur für eine beschränkte Liegedauer der Beanspruchung aus starker Verkehrsbelastung gewachsen. Eine nachträgliche Verdübelung ist nur, abhängig von den Randbedingungen beschränkt wirksam.

Die an den gebundenen Tragschichten unter Betondecken gemachten Beobachtungen bestätigen die Richtigkeit der heutigen Anforderungen, die nach ZTYT-StB 95 gestellt werden, um eine gute Erosionsbeständigkeit zu gewährleisten:

- große Druckfestigkeit bei hydraulisch gebundenen Tragschichten ( $\beta_{D28} \geq 15$  N/mm<sup>2</sup> in der Eignungsprüfung,
- Begrenzung des Hohlraumgehaltes bei Asphalttragschichten.

Auf die Abführung des Wassers muss sowohl bei der Planung der Querschnittsgestaltung als auch bei der späteren Unterhaltung besonders geachtet werden.

Bei der Bemessung von Fugenvergussmassen ist die sich einstellende bleibende Verkürzung der Platten und damit größere Öffnungsweite zu berücksichtigen. Bei einer erstmaligen Fugensanierung nach 5 bis 8 Jahren ist das Schwinden weitgehend abgeklungen. Die Fugenatmung ist vor allem abhängig von den Temperaturbedingungen beim Zeitpunkt des Betonierens (Nullspannungstemperatur). Im Extremfall (Betonieren bei hohen Temperaturen) kann die Fugenatmung bei Temperaturänderungen zwischen +35 °C und -10 °C 1,8 mm betragen (Betonoberbau).

Die Verwendung einer wärmedämmenden EPS-Tragschicht unter Betondecken hat sich bewährt und kann unter besonderen Randbedingungen empfohlen werden.

Die Dickenfestlegungen nach der RStO 86/90 wurden durch die in dieser Forschungsarbeit untersuchten Betondecken-Bauweisen bestätigt; bei qualitätsgerechter Ausführung und unter Anwendung der seitherigen Verbesserungen im Technischen Regelwerk kann eine Nutzungsdauer von über 35 Jahren erreicht werden. □