

Asphaltdeckschicht auf durchgehend bewehrter Betondecke: wissenschaftliche Begleitung einer Versuchsstrecke in Kompositbauweise während der Betriebsphase

FA 8.248

Forschungsstellen: Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen
Aachen mbH (ISAC GmbH)
RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen,
(Prof. Dr.-Ing. A.G. Hernandez)
AB-Roads, B-1081 Brüssel

Bearbeiter: Schulze, C. / Renken, L. /
Neumann, J. / Liu, C. / Mo-
harekpour, M. / Braun, N. / Beel-
dens, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digi-
tale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: April 2024

1 Projektziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist die wissenschaftliche Bewertung von Straßenaufbauten in Kompositbauweise, das heißt eine Asphaltdeckschicht auf einer durchgehend bewehrten Betondecke (DBB). Die in Deutschland übliche Betonbauweise weist geschnittene Scheinfugen sowie durch Dübel und Anker verbundene Einzelplatten auf (Plattenbauweise). Risse im Beton sind bei dieser Ausführungsvariante ein Schadensmerkmal. Eine alternative Betonbauweise, die DBB, verwendet eine durchgehende Bewehrung (DB), kommt ohne definierte Querfugen aus und erlaubt eine freie Rissbildung im Beton, idealerweise orthogonal zur Fahrtrichtung und mit regelmäßigen Abständen. Die Rissbreite wird dabei durch die vorhandene Längsbewehrung begrenzt. Längsfugen werden, analog zur Plattenbauweise, durch Kerbschnitte definiert. International ist diese Bauweise vor allem in den USA und Belgien seit Langem verbreitet. In Deutschland wurde der erste Abschnitt einer DBB erst im Jahr 1997 erstellt, in den letzten Jahren sind einige weitere Abschnitte hinzugekommen. Die Bauweise hat trotz höherer Baukosten das Potenzial, ökonomisch vorteilhaft zu sein, da die Pflege der Querfugen entfällt und eine hohe Lebensdauer (von bis zu 50 Jahren) zu erwarten ist.

Eine zusätzliche Steigerung der Lebensdauer, aber auch eine Optimierung von Sicherheits- und Komfortaspekten, verspricht die Überbauung von DBB mit dünnen flexiblen Schichten, die bitumenhaltig aber auch alternativ gebunden sein können. Die DBB übernimmt in diesem Fall die Sicherstellung der Substanzparameter, wie Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit, während die Überbauung die Oberflächenfunktionalität liefert, Lärmemissionen verringert und Schutz vor Umwelteinflüssen bietet.

Theoretische Betrachtungen, sowie umfangreiche Datenerhebungen und -auswertungen an DBB-Untersuchungstrecken mit und ohne Überbauung führen in diesem Projekt zu einer umfassenden Bestandsaufnahme und Empfehlungen hinsicht-

lich der untersuchten Bauweise. Zur Analyse standen fünf Strecken in Deutschland, drei Strecken in Belgien und eine Strecke in Polen zur Verfügung. Diese Strecken bilden unterschiedliche Bauweisen beziehungsweise Ausführungsvarianten der DBB sowie der Kompositbauweise ab. Ergänzend wurden zwei Sonderbauweisen (Kompositbauweise als Plattenbauweise, DBB mit Bewehrung aus mit Harz verklebten Glasfasern) betrachtet.

2 Zustandsentwicklung der vorhandenen Strecken

Streckenbegehungen zeigen, dass diese Untersuchungsstrecken bisher kaum nennenswerte Schäden, wie zum Beispiel Punch Outs oder Blow Ups, aufweisen. Die auftretenden Rissbilder wurden aufgenommen und die Rissabstände sowie die Rissöffnungsweiten der untersuchten Strecken klassifiziert. Als Zielgrößen werden Rissabstände zwischen 0,7 bis 2,5 m und eine maximale Rissbreite von 0,5 mm auf der Fahrbahnoberfläche angestrebt. Zur Steuerung der für die Funktion von DBB essenziellen Merkmale, wie Rissabstand, Rissbreite und Stahlspannung, erfordert die dauerhafte Auslegung von DBB insbesondere die Festlegung des Bewehrungsgrads, das heißt des Flächenanteils des Längsbewehrungsstahls im Querschnitt. Der in der Literatur geforderte tatsächliche Bewehrungsgrad von 0,70 bis 0,85 % wird bei den betrachteten DBB-Untersuchungstrecken in der Regel unterschritten. Diese niedrigeren Bewehrungsgrade lassen sich mit der Schichtdicke der DBB begründen, die auf den Untersuchungstrecken in der Regel dicker ausgeführt wurde als vorgesehen. Diese Mehrdicke reduziert den Bewehrungsgrad ungünstig, wirkt sich aber positiv auf die Gesamttragfähigkeit der Fahrbahnkonstruktion aus. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts sind jedoch keine Schäden zu beobachten, die sich auf den singulären Einflussfaktor der Bewehrungsgradschwankungen zurückführen lassen. Der optimale Bewehrungsgrad ist anzustreben, was den Einbau des Betons in der vorgesehenen Dicke impliziert.

Das Anbringen kleiner Sägeschnitte auf einer Seite der Betondecke, das als aktive Risssteuerung bezeichnet wird, unterstützt zudem eine homogenere und optimierte Rissverteilung in der DBB.

Weitere Informationen über das Betonverhalten können durch Messungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD) gewonnen werden. Die Ergebnisse zeigen eine gute Tragfähigkeit mit einer sehr homogenen Verformungskurve. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen, die an in Plattenbauweise hergestellten Untersuchungsabschnitten erzielt wurden. Die aufgenommenen Daten dieser Strecken zeigen Unstetigkeiten in der Verformungskurve im Bereich der Querfugen aufgrund einer verringerten Lastübertragung.

Lediglich im Bereich von Bauwerks- beziehungsweise Bauweisenübergängen kommt es zu Tragfähigkeitssprüngen. Insgesamt

samt deuten die Ergebnisse auf eine gute Tragfähigkeit der Bauweise hin.

Neben den FWD-Messungen werden in diesem Projekt Georadarmessungen (Step-Frequency-Prinzip) und vorliegende ZEB-Daten zur Analyse der DBB herangezogen. Hinsichtlich der Georadarmessung zeigen sich vor allem in Bezug auf die Schichtdickenermittlungen Probleme aufgrund der vorliegenden Stahlbewehrung. In Bezug auf die ZEB-Daten lässt sich festhalten, dass vornehmlich bei den nicht überbauten Strecken ein mangelhafter Gesamtzustand zu erkennen ist. Dieser Zustandswert passt jedoch nicht zu den visuellen Begutachtungen, den aufgenommenen Rissbildern, durchgeführten Bohrkernuntersuchungen sowie den Erkenntnissen aus den FWD-Messungen. Zudem ist klar ersichtlich, dass die schlechte Zustandsbewertung auf die auftretenden Rissbilder zurückzuführen ist, die in der DBB grundsätzlich vorhanden sind. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass reine Querrisse bei der DBB kein Schadensmerkmal darstellen. Demnach ist die ZEB-Bewertungsmethodik hinsichtlich der Rissbildbewertung auf diese Bauweise anzupassen, um repräsentative Zustandswerte zu erhalten.

Bei der Ausführung von DBB als Kompositbauweise sind Rissbildungen in der Asphaltdeckschicht nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Ergebnisse der Untersuchungsstrecken belegen, dass die Anzahl an Reflexionsrissen in der Asphaltdeckschicht bei einer größeren Schichtdicke (zum Beispiel Splittmastixasphalt) geringer ausfällt. Der Überbauungszeitpunkt ist so zu wählen, dass Phase 1 der Rissbildung weitestgehend abgeschlossen ist.

3 Nachträgliche Dimensionierung der vorhandenen Strecken

Die in Deutschland mit den RStO (2012) und den RDO Beton (2009) übliche Auslegung von Betonfahrbahnen umfasst die DBB nicht. Neben der Betondicke bedarf die Dimensionierung von DBB zusätzlich mindestens der Festlegung des Bewehrungsgrads. Erfahrungen aus über 90 Jahren führten in den USA zu Dimensionierungs- und Entwurfsrichtlinien, die weltweit als Vorlage dienen. Derzeit existieren außerhalb der USA mindestens in Belgien und den Niederlanden formalisierte Verfahren. Es ist üblich die Dicke der DBB nach Verfahren zur Dimensionierung von Betondecken in verdübelter Plattenbauweise zu ermitteln (Dirnhofer 2015). So geht beispielsweise das Programm Vencon 2.0 (CROW 2004) in Analogie zu den RDO Beton vor und verwendet die Formel zur Kantenbefahrung von Westergaard (1948). Laut Meier (2005) ist durch die mittige Lage der Längsbewehrung die getrennte Dimensionierung von Betondecke und Bewehrung möglich. Generell wird jedoch eine leicht nach oben versetzte Lage der Bewehrung angestrebt, wodurch die Rissbreite reduziert werden kann. Von den analysierten Verfahren wurden Vencon 2.0 und NORM nach Meier (2005) nachprogrammiert und konnten somit quantitativ verglichen werden. Beide Verfahren basieren theoretisch auf einem

Zugglied-Modell, bei dem die Längsspannungen zwischen dem Bewehrungsstahl im Riss und dem Beton im ungerissenen Zustand umgelagert werden. Essenziell erweist sich dabei die Modellierung des Verbundverhaltens von Beton und geripptem Baustahl. Insgesamt scheint das Verfahren von Vencon 2.0 fundierter und die Rissbreitenvorhersage präziser zu sein. Die Vorhersage des mittleren Rissabstands hingegen ist wenig realitätsnah.

Für eine nachträgliche Dimensionierung der Untersuchungsstrecken wurde Vencon 2.0 angewendet. Die Ergebnisausgabe ist die erforderliche Betondeckendicke. Wie bereits erwähnt wurde, konnte festgestellt werden, dass die tatsächlich eingebauten Betondeckendicken teilweise deutlich von den theoretisch berechneten Betondeckendicken abweichen. Demnach sind die Strecken überwiegend überdimensioniert.

Für eine Bewertung der Restnutzungsdauer der Strecken wurde auf Grundlage von Vencon 2.0 eine "Reverse Design Method" (RDM) durchgeführt. Hierbei wurde unter Berücksichtigung der Parameter sowie verschiedener Betondeckendicken und Würfeldruckfestigkeiten die resultierende theoretische Nutzungsdauer bestimmt. Unter Annahme des Baujahrs sowie der Jahre in Betrieb konnte eine Abschätzung der Restnutzungsdauern durchgeführt werden. Im Rahmen der RDM wurden zum Teil sehr hohe Restnutzungsdauern ermittelt. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die theoretische Nutzungsdauer stark durch die tatsächliche Betondeckendicke sowie die Würfeldruckfestigkeit beeinflusst wird. In der Praxis unterliegen diese Werte teilweise einer starken Variation, weshalb die Ergebnisse insbesondere als Bauweisenvergleich genutzt werden sollten. Darüber hinaus erfolgte eine analytische und numerische Bewertung von Endbauwerken. Es konnte eine numerische Simulation von Endbauwerken unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen durchgeführt werden. Kritisch ist jedoch anzumerken, dass die linear elastische Modellierung des Bodens nicht in der Lage ist, die Lagerungsmechanismen der Endsporne hinreichend genau wiederzugeben. Insbesondere Effekte wie Plastizität und zyklische Belastung können damit nicht berücksichtigt werden. Reibung wird zwar berücksichtigt, da die in der einschlägigen Literatur berichteten Parameter allerdings über sehr große Bereiche streuen, sind präzise Aussagen schwierig. Die nichtlineare Modellierung des Bodens und die Interaktion mit dem Bauwerk Endsporn waren nicht Gegenstand des Forschungsprojekts, sind nichtsdestotrotz für die Zukunft wünschenswert.

4 Erhaltung, Verfügbarkeit und Praxisanwendung

Die Instandhaltungsstrategie für DBB unterscheidet sich nicht wesentlich von der Vorgehensweise bei klassischen Plattenbetonkonstruktionen, beschränkt sich jedoch auf die Instandhaltung der Längsfugen, die Instandhaltung beziehungsweise Erneuerung der Asphaltdeckschicht sowie die Reparatur lokaler Schadensbilder. Beschädigungen treten bei DBB hauptsächlich in Form von Punch-Outs auf. Eine dauerhafte Instand-

setzung erfolgt, indem die Längsbewehrung kontinuierlich beibehalten und der Beton über die gesamte Tiefe saniert wird mit Beton. Zum Ende der Lebensdauer treten zudem möglicherweise Blow-Ups an den Tagesendfugen auf. Auch in diesem Fall sind lokale Reparaturmaßnahmen durchführbar. Der Projektbericht beschreibt detailliert die Reparaturmethode für Punch-Outs sowie die Sanierung der DBB am Ende der Lebensdauer der Konstruktion. Außerdem wird die Verfügbarkeit der Strecke über die Lebensdauer ermittelt, sowohl für DBB als auch für eine mögliche Ausführung als Kompositbauweise. Dabei werden sowohl die regelmäßige Wartung als auch die zwischenzeitliche Instandsetzung berücksichtigt. Die Spezifikationen für die Ausführung von DBB sind detailliert beschrieben, nicht nur in Bezug auf die zu verwendenden Materialien, sondern auch in Bezug auf Details, wie die Positionierung der Bewehrung und das Sägen von rissauslösenden Kerben. Zusätzlich erfolgt eine Darstellung des gesamten Ablaufs des Betoninbaus, sowohl in Bezug auf das einzusetzende Personal als auch die benötigten Geräte.

5 Einsatz von PU-gebundenen Deckschichten

Polyurethan-gebundene, funktionale Deckschichtsysteme (PGD) konstruiert auf einer stabilen, undurchlässigen Unterkonstruktion wie einer DBB könnten eine zukunftsfähige Bauweise mit einer langen Lebensdauer liefern. Für den Einsatz von PGD als Hybridsystem wurde eine zielgerichtete Konzeptionierung und Optimierung der Gesamtkonstruktion PGD-DBB unter Berücksichtigung verschiedener Anforderungen entwickelt. Hierbei stellt der Schichtenverbund zwischen PGD und DBB eine wesentliche Einflussgröße auf die Dauerhaftigkeit dar. Eine weitere wesentliche Komponente ist die Rissüberbrückung in der PGD. Hierzu wurden Untersuchungen zum Schichten- und Haftverbund durchgeführt. Es konnte ein ausreichender Verbund zwischen beiden Schichten versuchs-technisch nachgewiesen werden. Die Verwendung einer Bitumenemulsion führt jedoch zu einem ungünstigen Schichtenverbund. Es wird daher eine alternative Abdichtung der DBB empfohlen. Zwischen der PGD sowie der DBB besteht ein komplexer Zusammenhang, insbesondere bezüglich der Bildung und Überbrückung von Reflexionsrissen. Durch das vollständig neue Komposit-System PGD-DBB werden zwei Materialien kombiniert, welche grundhaft unterschiedliche Materialcharakteristiken aufweisen. Aus diesem Grund wird empfohlen, umfangreiche Untersuchungen auf Laborebene durchzuführen, bevor eine praktische Umsetzung weiterverfolgt wird.

6 Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Die DBB stellt eine leistungsfähige und international gut erprobte Bauweise dar. Wenn die DBB angemessen geplant, gebaut und im Gesamtsystem mit einer guten Unterlage kombiniert wird, sind Lebensdauern von bis zu 50 Jahren zu erwarten. Die Analyse der Untersuchungsstrecken

deutet darauf hin, dass die Ausführung der DBB auf einer Asphaltzwischen-schicht (AZSuB) auf einer hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) die Vorzugsbauweise darstellt. In Kombination mit einer gesteuerten Rissbildung, das heißt einer Kerbung der DBB nach der Herstellung, können durch diesen Konstruktionsaufbau gleichmäßige Rissbilder erzielt werden. Zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften ist zudem die Ausführung als Kompositbauweise, das heißt in Kombination mit einer Asphaltüberbauung, von Vorteil. Die Kompositbauweise hat das Potenzial die Lebensdauer einer DBB sowie den Fahrkomfort weiter zu steigern sowie Lärmemissionen zu senken. Die Überbauung kann dabei kurz nach der Herstellung der DBB (nach ein bis zwei Winterperioden) oder zu einem späteren Zeitpunkt (zum Beispiel nach ca. 30 Jahren) erfolgen. Der empfohlene Schichtenaufbau ist in Bild 1 dargestellt.

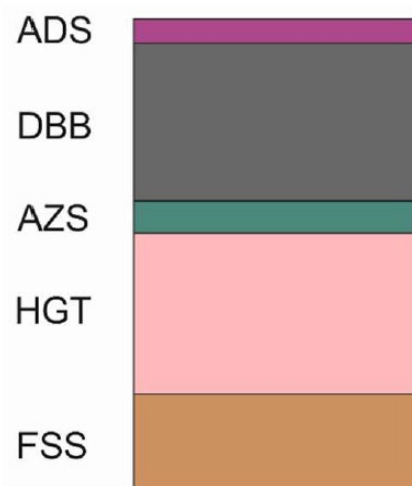


Bild 1: Empfohlener Schichtenaufbau Kompositbauweise

In zukünftigen Forschungsprojekten sollten die im Rahmen dieses Projekts getroffenen Empfehlungen konkretisiert beziehungsweise auf eine zukünftig mögliche höhere Belastungsklasse (zum Beispiel Bk 500) ausgeweitet werden. Dazu ist auch zu berücksichtigen, inwieweit sich zum Beispiel Modifikationen der Baustoffe auf Langlebigkeit der Konstruktion auswirken. Die vorhandenen Werkzeuge zur Dimensionierung stellen eine gute Basis dar, sollten aber in Details verbessert werden. Eine Schwachstelle stellen Übergänge zu anderen Bauweisen dar, hier müssen weitere praktische und theoretische Untersuchungen der Endbauwerke erfolgen.

Weiterhin wären Untersuchung der verschiedenen Parameter die die Erosion der Unterlage beeinflussen erstrebenswert. Ein Erosionsmodell kann abhängig von der Art der Unterlage, Qualität der Unterlage, Niederschlag am Projektstandort und Erosionspotenzial des Untergrunds sein. Zur Entstehung der Punch Outs spielt Erosion eine wichtige Rolle.

Insbesondere aufgrund der sehr langen möglichen Lebensdauer von DBB, sind Aspekte der Nachhaltigkeit sowie der Verfügbarkeit im Lebenszyklus besonders relevant. Ein Vergleich der Bauweisen DBB, Plattenbauweise Beton und Asphaltbauweise

könnte die Ökonomie und Nachhaltigkeit der Bauweise, die sich durch höhere Baukosten aber eine hohe Lebensdauer auszeichnet, evaluieren. Auch die Verfügbarkeit muss beim Vergleich eine wichtige Rolle einnehmen. Die Betrachtung im Lebenszyklus sollte unter Berücksichtigung der zuvor entwickelten Dimensionierungswerkzeuge erfolgen.

Basierend auf den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass im Rahmen des Forschungsprojekts vielversprechende Erkenntnisse im Hinblick auf die Kompositbauweise erzielt wurden. Durch eine Überbauung mit Asphalt können sowohl die Langlebigkeit als auch Nutzeraspekte, wie Verkehrssicherheit und Fahrkomfort, über die gesamte Lebensdauer verbessert werden. Weitere Details müssen zukünftig ausgearbeitet und die praktische Umsetzung in Deutschland gefördert werden.