

Aspekte der Dimensionierung und Konstruktion zur Sicherstellung der Verfügbarkeit bei temporärer Nutzung von Randbereichen von Bundesfernstraßen

FA 4.327

Forschungsstellen: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, Hoppegarten

Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. habil. F. Wellner)

Bearbeiter: Wellner, F. / Villaret, S. / Tschernack, T. / Clauß, M. / Villaret, K. / Sommer, V. / Spanier, T. / Gebhardt, C.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: November 2022

1 Zielstellung und Inhalt

Bei der Dimensionierung und Konstruktion von Straßenbefestigungen, insbesondere Autobahnen, wird davon ausgegangen, dass die Verkehrslasten einen Abstand zum Fahrbahnrand haben, da im Hinblick auf die Dimensionierung bislang maßgeblich der Hauptfahrstreifen betrachtet wird. Wird, infolge von Baumaßnahmen oder anderer Ursachen, der Verkehr umgelegt, wird dieser zum Teil sehr nah an den Fahrbahnrand geführt. Dies kann sich, insbesondere durch die hohe Beanspruchung aus Schwerverkehr, ungünstig auf die Nutzungsdauer, ausgedrückt durch verminderte ertragbare Achsübergänge, und die hieraus resultierenden, erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen auswirken. Dementsprechend wird die Quantifizierung der verringerten ertragbaren Achsübergänge infolge der Fahrbahnrandbefahrung benötigt, um entsprechend der geplanten bauzustandsbedingten Dauer einer vom Regelquerschnitt abweichenden Verkehrsführung, notwendige Maßnahmen ergreifen zu können. Dieses Forschungsvorhaben soll eine Vorgehensweise zur fachtechnischen Bewertung einer Seitenstreifenfreigabe (temporär oder dauerhaft) aus konstruktiver Sicht zur Verfügung stellen. Hierfür werden die reduzierten Lastwechselzahlen bestimmt, die sich aus den Verkehrsführungen auf unterschiedlichen Straßenquerschnitten ergeben.

2 Vorgehensweise

2.1 Asphaltbauweise

Die in diesem Forschungsprojekt an Asphaltbefestigungen durchgeführten Untersuchungen basieren im Wesentlichen auf einer Bewertung der strukturellen Substanz nach dem Entwurf der RSO Asphalt. Für einen fiktiven Streckenabschnitt mit dem im Bild 1 gezeigten Befestigungsaufbau, dessen Materialparameter aus den Ergebnissen vorangegangener Forschungsprojekte stammen, wurde die Auswirkung unterschiedlicher Abstände des Lasteintragungspunkts zum Fahrbahnrand auf die

Dauerhaftigkeit der Befestigung untersucht. Resultierend aus den Abmessungen der Fahrbahnbreiten und Markierungen wurde eine Auswahl der zu betrachtenden, relevanten Abstände des Lasteintragungspunkts zum Fahrbahnrand getroffen

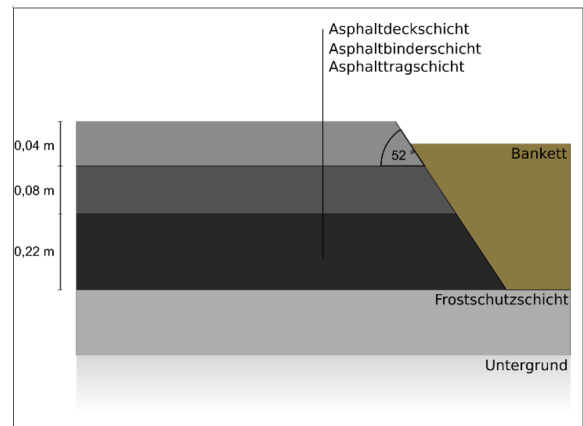


Bild 1: Befestigungsaufbau für BK 100 nach RStO 2012 Tafel1, Zeile1, (Referenzmodell)

Zur Bewertung der strukturellen Substanz nach den RSO Asphalt sind die Beanspruchungen (Spannungen und Dehnungen) in den maßgeblichen Nachweispunkten zu bestimmen, dieses erfolgte mit der Finite-Elemente-Methode (FEM).

Zunächst wurde das Finite-Elemente-Modell entwickelt, die Berechnungsverfahren nach den RSO implementiert und beides miteinander verknüpft. Zur Prüfung und Validierung wurden für ein Referenzmodell Berechnungen sowohl auf Grundlage der Mehrschichtentheorie als auch mit der FEM durchgeführt und gegenübergestellt. Die Bewertung aller weiteren Berechnungen erfolgt jeweils in Bezug auf dieses Referenzmodell.

Im nächsten Schritt wurde auf Basis des deterministischen Berechnungskonzepts die Auswirkung des Abstands der Lasteintragungsstelle zum Rand der befestigten Fläche auf die ertragbare Lastwechselzahl der Asphaltbefestigung untersucht (siehe Bild 2). Darauf aufbauend wurde die Wirksamkeit mehrerer Varianten konstruktiver Maßnahmen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit untersucht. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden zwei konstruktive Maßnahmen (siehe Bild 4 und 5) ausgewählt und für diese Bewertungen der strukturellen Substanz anhand des probabilistischen Verfahrens durchgeführt (siehe Bild 3).

2.2 Betonbauweise

Für die Untersuchungen der temporären Nutzung von Randbereichen bei Oberbauten mit Betondecke werden im ersten Schritt rechnerische Dimensionierungen/Nachrechnungen nach dem Verfahren der RDO Beton 09 vorgenommen. Hierbei kann auf den Erfahrungshintergrund der Dimensionierung der Platten des Hauptfahrstreifens zurückgegriffen werden. Dabei ist auch das Sicherheitsniveau des semiprobabilistischen Verfahrens

hinreichend praxiserprobt. Im nächsten Schritt werden mithilfe der analytischen Rechenmethode der RDO Beton die Platten des Seitenstreifens dimensioniert, wobei die geringere B-Zahl, die veränderte Plattengeometrie und der freie Plattenrand Berücksichtigung finden. Im Folgeschritt können präzise FEM-Berechnungen angestellt werden, bei denen realistischere Laststellungen berücksichtigt werden. Zur Beibehaltung des Sicherheitsniveaus der RDO Beton wird als gemeinsamer Referenzpunkt die Berechnung im Hauptfahrstreifen ohne Seitenstreifenfreigabe verwendet.

3 Untersuchungen Asphaltbauweise

Im ersten Arbeitsschritt wurden die Auswirkungen des Abstands der Lasteintragungsstelle zum Rand der befestigten Fläche auf die ertragbare Lastwechselzahl der Oberbaukonstruktion untersucht. Grundlage dieser Untersuchungen sind die zuvor herausgearbeiteten, signifikanten Lasteintragungspunkte im Abstand von 0,0, 0,25, 0,5 und 0,75 m zum Fahrbahnrand. Dabei wurde zunächst mit dem deterministischen Berechnungsverfahren für jede Asphalttschicht der Ermüdungsstatus (Quotient aus prognostizierte Anzahl Achsübergänge/ertragbare Anzahl Achsübergänge) bestimmt und ins Verhältnis zum Maximum der ermittelten Werte gesetzt (relativer Ermüdungsstatus). Bild 2 zeigt das Ergebnis dieser Untersuchungen.

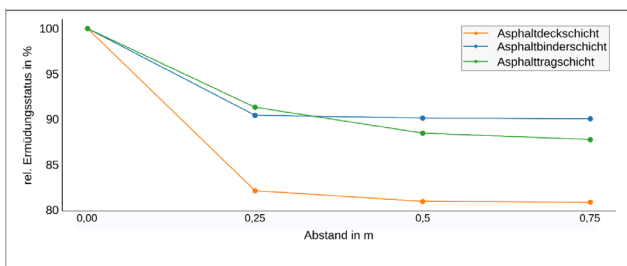


Bild 2: Entwicklung des Ermüdungsstatus in Abhängigkeit vom Abstand des Lasteintragungspunkts zum Fahrbahnrand

Eine Verringerung des Randabstandes führt zur Abnahme der Dauerhaftigkeit. Die Verschiebung des Lasteintrags von 0,75 m auf 0,5 m zum Fahrbahnrand hat innerhalb der Asphaltbefestigung die größten Auswirkungen auf die Asphalttragschicht. Eine weitere Reduzierung des Randabstands von 0,5 m auf 0,25 m führt zur Verkürzung der Nutzungsdauer von Asphaltdeck- und Asphalttragschicht, wobei auch hier der größere Einfluss auf die Asphalttragschicht festzustellen ist. Die Verschiebung des Lasteintrags zum unmittelbaren Fahrbahnrand hat signifikanten Einfluss auf alle Asphalttschichten. Die Asphaltdeckschicht hat hier den größten Anstieg des relativen Ermüdungsstatus. Aber auch für Asphaltbinder- und Tragschicht bedeutet diese Reduzierung des Randabstands eine deutliche Verkürzung der Nutzungszeit.

Im Ergebnis deterministischer Nutzungsdauerprognosen für verschiedene Konstruktionen und deren Varianten wurden folgende Befestigungsvarianten für die Untersuchung mit dem probabilistischen Berechnungsansatz ausgewählt:

- Variante mit Voute in der Asphalttragschicht (siehe Bild 4)
- Variante mit Randeinfassung mit L-Element aus Beton (siehe Bild 5)
- Befestigungsaufbau nach RStO, Tafel 1, Zeile 1 (Referenzmodell, siehe Bild 5)

Bild 3 zeigt eine zusammenfassende Auswertung dieser Berechnungen. Dargestellt ist die relative Nutzungsdauer des Seitenstreifens in Bezug auf die Nutzungsdauer des Hauptfahrstreifens in Abhängigkeit der anteiligen Verkehrsbelastung auf dem Seitenstreifen für verschiedene Bauweisen und Laststellungen. Hieraus können Prognosen hinsichtlich der Beschränkung der Nutzungszeit des Seitenstreifens zur Erlangung gleicher Nutzungszeit im Seiten- und Hauptfahrstreifen abgeleitet werden.

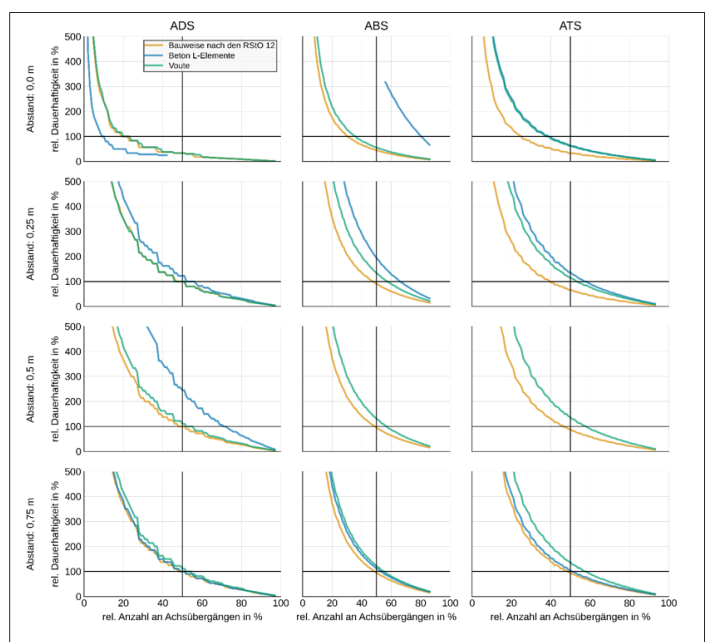


Bild 3: Nutzungsdauer des Seitenstreifens in % mit Bezug auf die Nutzungsdauer des Hauptfahrstreifens in Abhängigkeit der anteiligen Verkehrsbelastung auf dem Seitenstreifen

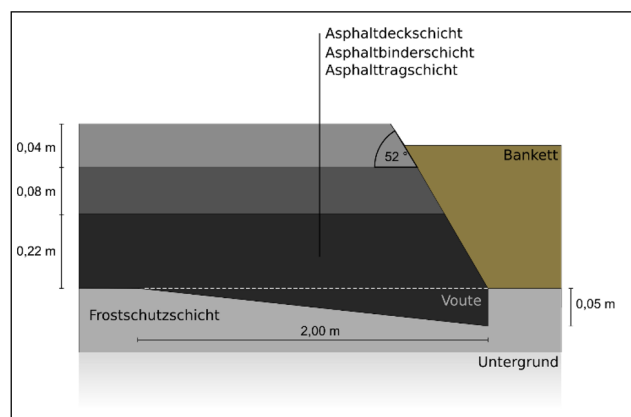


Bild 4: Asphaltbefestigung mit Voute in der Asphalttragschicht

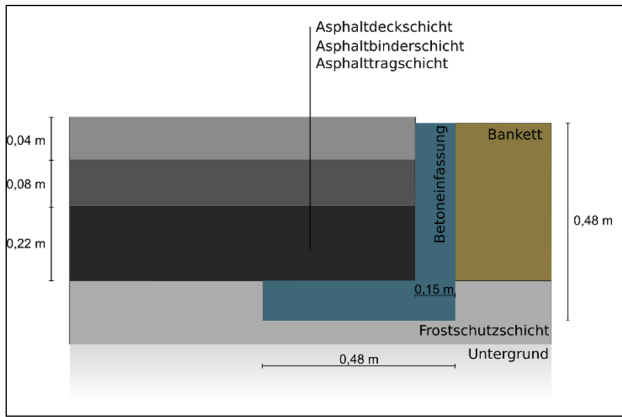


Bild 5: Randeinfassung mit L-Element aus Beton

Unter Einbeziehung der Untersuchungsergebnisse dieses Projekts ist für die Regelquerschnitte nach den RAA 2008 unter der Maßgabe gleicher Nutzungsdauer für Hauptfahrstreifen- und Seitenstreifen eine dauerhafte Seitenstreifenutzung möglich. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die erforderliche Ummarkierung möglich ist. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Beanspruchung und folglich auch die Nutzungsdauer bei einem Randabstand von mindesten 0,5 m gleich der Referenzvariante (3,5 m Randabstand) ist. Wird der Randabstand von 0,5 m unterschritten, ist nur eine temporäre Seitenstreifenfreigabe möglich. Der zulässige Anteil des Schwerverkehrs auf dem Seitenstreifen ergibt sich dabei in Abhängigkeit vom realisierbaren Randabstand. Im Ergebnis der Auswertung in Bild 3 können bei einem Randabstand von mindestens 0,25 m ca. 40 % des Schwerverkehrs über den Seitenstreifen geführt werden. Mit einer größeren Dicke der Asphalttragschicht im Randbereich zum Beispiel in Form einer Voute kann dieser Anteil erhöht werden. Breite und Dicke der Voute können in Abhängigkeit von prognostizierter Beanspruchung und Materialeigenschaften mit dem in den RDO Asphalt 09 beschriebenen Verfahren bei Anwendung der Methode der Finiten Elemente dimensioniert werden. In Bezug auf die untersuchten konstruktiven Maßnahmen ist der Herstellung einer Voute in der Asphalttragschicht die Vorzugsvariante zur Verbesserung der Nutzungszeit. Die untersuchten Randeinfassungen bringen, im Verhältnis zum Herstellungsaufwand und Platzbedarf, nur geringen Nutzen und sind deshalb nicht zu empfehlen. Eine direkte Befahrung des Rands führt, insbesondere für die ADS, zu erheblicher Reduzierung der Nutzungszeit und ist planmäßig nicht vorzusehen. Diese Prognosen basieren auf der Untersuchung eines fiktiven, homogenen Streckenabschnitts mit gleichen Bedingungen über den gesamten Fahrbahnquerschnitt. Für den konkreten Nutzungsfall einer Bestandsstrecke wird grundsätzlich eine, im Hinblick auf die Sondernutzung modifizierte, Substanzbewertung nach dem RSO Asphalt empfohlen. Bei Planung von Neubaustrecken oder grundhaften Erneuerung ist das jeweilige Nutzungskonzept im Zuge der Dimensionierung nach den RDO Asphalt 09 zu berücksichtigen.

4 Untersuchungen für Betonfahrbahnen

Bei Betonbefestigungen ist nicht nur von Interesse, an welcher Stelle die Last einwirkt, sondern auch, wie sich die Plattengeometrie insbesondere des Seitenstreifens darstellt. Die RStO setzen mit ihrer belastungsklassenabhängigen Festlegung von Deckendicken gewisse Plattengeometrien voraus, für die die Dickenangaben zutreffend sind. Es erfolgt dabei nur eine grobe Festlegung für die Plattengeometrien des Hauptfahrstreifens. Die übrigen Fahrstreifen, die teilweise auch einen Randbereich aufweisen, finden keine Berücksichtigung.

Bei der rechnerischen Dimensionierung sind die Abmessungen der Platten variierbar. Dabei ist in vielen Fällen die gewählte Plattenlänge und -breite des Hauptfahrstreifens für die Plattendicke maßgebend. Im Seitenstreifen ergeben sich jedoch meist deutlich ungünstigere Plattengeometrien gegenüber dem bislang maßgebenden Hauptfahrstreifen.

Die Breite der Platten im Seitenstreifen hat einen großen Einfluss auf die Sensibilität der maßgebenden Hauptspannungen bei Seitenstreifenfreigabe hinsichtlich des Abstands zum freien Plattenrand. Zu beachten ist hierbei, dass bei schmalen Platten im Seitenstreifen die Fahrzeuge (immer oder bereits bei Befahrung in geringem Abstand zum Fahrbahnrand) gleichzeitig auf der Platte im Seitenstreifen und auf der Platte im Hauptfahrstreifen fahren.

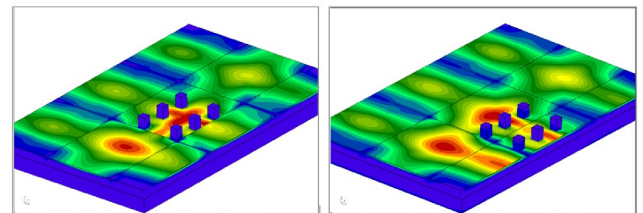


Bild 6: Unterschiedliche Belastungsszenarien bei Seitenstreifenfreigabe und schmalen Platten im Seitenstreifen

Des Weiteren hat die Breite des Seitenstreifens einen Einfluss auf eine maßgebende Hauptspannung bei Belastung des Hauptfahrstreifens und umgekehrt.

Bei Randbefahrung treten höhere Spannungen als im Hauptfahrstreifen auf. Mithilfe der Ermüdungsfunktion aus den RDO Beton können diese Spannungsvariationen auf reduzierte B-Zahlen projiziert werden.

Die Auswertungen der projizierten B-Zahlen zeigen, dass eine pauschale Abhängigkeit der reduzierten B-Zahl vom eingehaltenen Randabstand der Befahrung vom freien Fahrbahnrand nicht gegeben ist. Es wird ersichtlich, dass von einer B-Zahl-Reduktion zwischen 10 und 60 % ausgegangen werden kann. Wird zusätzlich von einer ungünstigeren Lagerung mit resultierenden Stoßfaktoren ausgegangen, kann von einer Reduktion der ertragbaren B-Zahl zwischen 25 und 80 % ausgegangen werden. Dieser Wertebereich deckt sich mit den Erfahrungen aus der Praxis. Es ist herauszustellen, dass die Projektion der erwartbaren B-Zahlen direkt mittels der Ermüdungsfunktion aus den

RDO Beton erfolgen konnte, ohne weitere Anpassungen beziehungsweise modellimplizierte Kalibrierung vorzunehmen. Dies sei aufgrund der sehr großen Sensibilität der Ermüdungsfunktion im Bereich großer Lastwechselzahlen herausgestellt.

Sollen Bestandstrecken in Randbereichen befahren werden, ist der während der Nutzungsdauer vorgesehene Anteil des Schwerverkehrs, der randnah geführt werden soll, von signifikanter Bedeutung. Die Auswertungen zeigen, dass bei guter Lagerung der Platten bis zu 20 % des Schwerverkehrs über den Seitenstreifen geführt werden kann. Aufgrund nicht modellierbarer, potenzieller Erosion der Tragschichten in den Randbereichen wird empfohlen, maximal bis zu 10 % des Schwerverkehrs, bei augenscheinlich gutem Zustand des Seitenstreifens, ohne weitere Prüfung über diesen zu führen. Sollen 10-20 % des Schwerverkehrs über den Seitenstreifen geleitet werden, ist eine Bewertung der Lagerungsbedingungen und des Zustands der Tragschichten im Seitenstreifen vorzunehmen. Sollen mehr als 20 % des Schwerverkehrs über den Seitenstreifen geleitet werden, ist eine Substanzbewertung für Seiten- und Hauptfahrstreifen vorzunehmen, da neben der Degradation des Seitenstreifens auch die längere Nutzungsdauer des Hauptfahrstreifens infolge reduzierter Lastwechselzahlen in die Bewertung mit einfließen sollten.

Die Berechnungen haben auch gezeigt, dass im Falle des Neubaus oder der grundhaften Erneuerung eine Erhöhung der Deckendicke um 2,5 cm die Spannungen im Seitenstreifen in jedem Fall so weit reduziert, sodass von einer unverminderten Lebensdauer im Seitenstreifen ausgegangen werden kann. Dabei wird jedoch auch die Lebensdauer im Hauptfahrstreifen signifikant erhöht. Ebenfalls kann die Plattenlänge reduziert werden, um das Spannungsniveau und damit den Auslastungsgrad zu senken.

Die Idee der Ausbildung einer Voute mit einer Verstärkung am Plattenrand von 3 cm wurde aufgrund baupraktischer Überlegungen und mit Hinblick auf die Neigungsverhältnisse verworfen. Als weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Randbereichs wurde eine Verankerung der Betondecke mit einem Fundament für eine Betonschutzwand in Betracht gezogen. Die Berechnungen haben gezeigt, dass hohe Spannungsspitzen bei dieser Konstruktionsform auftreten können und die Entwässerung von Trag- und Frostschutzschichten problematisch ist. Eine pauschale Erhöhung der Nutzungsdauer des

Seitenstreifens durch Anschluss des freien Fahrbahnrandes an Betonschutzwände kann somit nicht abgeleitet werden.

Im Zuge der Planung von Neubaustrecken oder grundhaften Erneuerungen wird bei beabsichtigter Nutzung von Randbereichen eine zusätzliche rechnerische Dimensionierung für den Seitenstreifen nach den RDO Beton, Fassung 2022 empfohlen. Dabei ist für die Verkehrsbelastung der Fall zu betrachten, dass der maximal denkbare Anteil des Schwerverkehrs auf den Seitenstreifen wechselt. Optimierungspotenzial besteht in der Wahl der Plattengeometrie und der Lage der Längsfugen in Relation zur Fahrbahnmarkierung.

Bei der Nutzung der Randbereiche von Bestandsstrecken wird grundsätzlich eine Nachrechnung nach dem Verfahren der RSO Beton empfohlen. Dabei sind die angetroffenen Randbedingungen, wie die Schichtenfolge und Schichtdicken des Oberbaus, Plattengeometrie und die mechanischen Betonparameter zu berücksichtigen. Ebenso spielt der Zustand des Oberbaus, insbesondere der Betondecke, eine wesentliche Rolle.

Bei einer Verlagerung von weniger als 10 % des im Nutzungszeitraum vorgesehenen Schwerverkehrs ist die Seitenstreifenutzung unproblematisch, wenn der Zustand der Betondecke als gut bezeichnet werden kann (Ausfallrate im Hauptfahrstreifen < 5 % (siehe RSO Beton, Entwurf)).