

Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen zur Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen

FA 2.321

Forschungsstellen: Technische Universität Dresden, Fakultät für Verkehrswissenschaften, Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen (Prof. Dr.-Ing. C. Lippold)

Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Straßenplanung und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. W. Ressel)

Bearbeiter: Ressel, W. / Lippold, C. / Vettors, A. / Alber, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: November 2016

1 Einleitung

Die Straßenflächenentwässerung von Autobahnen ist aufgrund des vergleichsweise hohen Geschwindigkeitsniveaus von großer Bedeutung. Vor allem bei sehr breiten Richtungsfahrbahnen mit geringer Längsneigung ist die Gewährleistung eines sicheren Betriebs bei Nässe besonders schwierig.

In der Vergangenheit kam es auf drei- und vierstreifigen Richtungsfahrbahnen in Verwindungsbereichen zu Wasserfilmdecken, die in der Folge zu Aquaplaningunfällen geführt haben.

Aufgrund der hohen Bedeutung der Entwässerung wurden in die "Richtlinien für die Anlage von Autobahnen" (RAA) (FGSV 2008) Empfehlungen zur Anordnung von Entwässerungsmaßnahmen aufgenommen. Dadurch können entwässerungsschwache Zonen in Verwindungsbereichen vermieden oder beseitigt werden. Dazu gehören:

- Erhöhung der Längsneigung,
- Einbau offenporiger Deckschichten,
- konstruktive Maßnahmen (zum Beispiel Querkastentrinnen),
- negative Querneigung,
- Schrägverwindung oder Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei Nässe (wenn keine andere Maßnahme möglich).

Die Wahl der konkreten Maßnahme bleibt dem Entwurfsingenieur überlassen. Jedoch geben die RAA keine Hinweise darüber, unter welchen Randbedingungen die jeweiligen Maßnahmen geeignet sind. Die RAA weisen lediglich darauf hin, dass der Entscheidung für einer dieser Maßnahmen eine wassertechnische Berechnung zugrunde gelegt werden soll. Dabei gilt eine Wasserfilmdicke von $WFD = 2$ mm als kritisch. Wird diese Wasserfilmdicke überschritten, müssen Entwässerungsmaßnahmen angeordnet werden. Bisher müssen für den Einzelfall entwässerungstechnische Berechnungen durchgeführt werden, da ein praxisnahes, leicht anwendbares geschlossenes Berechnungsverfahren seitens der RAA nicht zur Verfügung steht. Dieses Problem sollte mit der Untersuchung behoben werden. Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, die in den RAA aufge-

zeigten entwurfstechnischen und baulich-konstruktiven Lösungen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit vergleichend zu überprüfen, Erfahrungen zum Einsatz zu sammeln und deren Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Aus diesen Ergebnissen sollten Empfehlungen für die Fortschreibung der RAA gegeben werden.

2 Untersuchungsmethodik

Für die Bestimmung der entwässerungstechnischen Eigenschaften jeder Einzelmaßnahme wurden unterschiedliche Varianten simuliert, denen die folgenden Eingangsgrößen zugrunde lagen:

- Ein einjähriges Regenereignis mit einer Dauer von 15 Minuten ($r_{15,1}$) mit einer Regenintensität von $I = 0,72$ mm/min (= 120 l/(s x ha)).
- Eine Länge der betrachteten Abschnitte von $L = 350$ m.
- Die Mindestquerneigung von $q = 2,5$ %.

Bei den Berechnungen wurden variiert:

- die Entwässerungslösungen "Standardverwindung", "Schrägverwindung", "negative Querneigung", "offenporiger Asphalt", "Erhöhung der Längsneigung", "Querkastentrinnen",
- die Texturtiefen "rau" und "fein" sowie offenporiger Asphalt,
- die Querschnitte RQ 31, RQ 36 und RQ 43 sowie fünf und sechs Fahrstreifen mit einer Breite der befestigten Fläche von 22 beziehungsweise 25,75 m und
- die Längsneigung $0\% \leq s \leq 4\%$.

Die Erfahrungen beim Einsatz der Entwässerungsmaßnahmen in der Praxis wurden durch eine schriftliche und mündliche Befragung bei den Straßenbauverwaltungen und bei Baufirmen zusammengetragen. Neben den bekannten, in den RAA aufgeführten Maßnahmen wurden außerdem eventuell zusätzlich verwendete Maßnahmen abgefragt.

Anhand der erhobenen Kosten der einzelnen Maßnahmen und der Unfallkosten in Verwindungen von zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen wurde die Wirtschaftlichkeit jeder Maßnahme bestimmt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass alle Fahrunfälle bei Nässe in Verwindungsbereichen durch eine der untersuchten Entwässerungsmaßnahmen vermieden werden kann.

3 Untersuchungsergebnisse

In Europa ist eine Reifenmindestprofiltiefe für Sommerreifen von 1,6 mm vom Gesetzgeber vorgeschrieben (Winterreifen sind nicht einheitlich geregelt). Auf dieser Grundlage geben die RAA eine kritische Wasserfilmdicke von $WFD_{krit} = 2$ mm vor. Wird diese Wasserfilmdicke überschritten, können in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit aquaplaning bedingte Unfälle auftreten.

Durch den geometrischen Straßenentwurf allein ist die Vermeidung einer kritischen Wasserfilmdicke nicht in jedem Fall möglich. Bereits bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit Längs-

neigungen $s \leq 1\%$ liegen die Wasserfilmdicken teilweise über 2 mm.

Ab welcher Wasserfilmdicke tatsächlich Aquaplaninggefahr besteht, kann nicht exakt bestimmt werden. Dies hängt neben der Geschwindigkeit von einer Vielzahl weiterer Faktoren ab, unter anderem auch von der Reifenprofiltiefe des Fahrzeugs. Auch besteht keine Kenntnis darüber, welche Fläche beziehungsweise Länge eines geschlossenen Wasserfilms vorhanden sein muss, damit Aquaplaning mit negativen Folgen für die Verkehrssicherheit auftritt. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass bei Starkregenereignissen überwiegend geringere Geschwindigkeiten gefahren werden. Andere europäische Länder lassen auch höhere

kritische Wasserfilmdicken zu, wobei deren zulässige Höchstgeschwindigkeit begrenzt ist.

Für die Untersuchung wurden daher auf der Grundlage der entwässerungstechnischen Simulationen die notwendigen Entwässerungsmaßnahmen für die Einhaltung der Wasserfilmdicken von $WFD = 2,0\text{ mm}$, $WFD = 2,5\text{ mm}$ und $WFD = 3,0\text{ mm}$ ermittelt (Tabelle 1).

Da typische Asphalt- und Betondeckschichten eher Texturtiefen im rauen Bereich besitzen, werden die Maßnahmen anhand der Ergebnisse der rauen Texturtiefe empfohlen. Auch liegen diese Entwässerungslösungen gegenüber der feinen Texturvariante auf der sicheren Seite, weil sie den entwässerungstechnisch ungünstigeren Fall darstellen.

Tabelle 1: Mögliche Entwässerungsmaßnahmen für Fahrbahnen mit konstanter Längsneigung und rauer Texturtiefe in Abhängigkeit von der Längsneigung und der zulässigen Wasserfilmdicke

Querschnitt	WFD = 2 mm		WFD = 2,5 mm		WFD = 3 mm	
	S [%]	Maßnahmen	S [%]	Maßnahmen	S [%]	Maßnahmen
RQ 31	$0,0 \leq s \leq 3,8$	OPA, 3 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 1,7$	OPA, 2 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 0,8$	OPA, 1 Rinne, SchrV
	$3,9 \leq s \leq 4,0$	OPA, 2 Rinnen, SchrV	$1,8 \leq s \leq 2,4$	OPA, 1 Rinne, SchrV	$0,9 \leq s \leq 4,0$	
			$2,5 \leq s \leq 4,0$	-		
RQ 36	$0,0 \leq s \leq 0,1$	OPA, 5 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 2,6$	OPA, 2 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 1,1$	OPA, 1 Rinne, SchrV
	$0,2 \leq s \leq 0,7$	OPA, 4 Rinnen, SchrV	$2,7 \leq s \leq 3,6$	OPA, 1 Rinnen, SchrV	$1,2 \leq s \leq 4,0$	
	$0,8 \leq s \leq 4,0$	OPA, 3 Rinnen, SchrV	$3,7 \leq s \leq 4,0$	-		
RQ 43,5	$0,0 \leq s \leq 0,9$	OPA, 5 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 2,5$	OPA, 3 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 1,6$	OPA, 1 Rinne, SchrV
	$1,0 \leq s \leq 4,0$	OPA, 4 Rinnen, SchrV	$2,6 \leq s \leq 3,7$	OPA, 2 Rinnen, SchrV	$1,7 \leq s \leq 4,0$	
			$3,8 \leq s \leq 4,0$	OPA, 1 Rinne, SchrV		
5 FS	$0,0 \leq s \leq 0,8$	OPA, 6 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 3,5$	OPA, 3 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 2,2$	OPA, 1 Rinne, SchrV
	$0,9 \leq s \leq 3,6$	OPA, 5 Rinnen, SchrV	$3,6 \leq s \leq 4,0$	OPA, 2 Rinnen, SchrV	$2,3 \leq s \leq 4,0$	
	$3,7 \leq s \leq 4,0$	OPA, 4 Rinnen, SchrV				
6 FS	$0,0 \leq s \leq 4,0$	OPA, 6 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 3,7$	OPA, 4 Rinnen, SchrV	$0,0 \leq s \leq 2,7$	OPA, 2 Rinne, SchrV
			$3,8 \leq s \leq 4,0$	OPA, 3 Rinnen, SchrV	$2,8 \leq s \leq 3,1$	OPA, 1 Rinne, SchrV
					$3,2 \leq s \leq 4,0$	

Insgesamt sind die Ergebnisse des Forschungsvorhabens für höhere Wasserfilmdicken ($WFD > 2,5\text{ mm}$) näher an der Realität in Bezug auf das Unfallgeschehen und die gefahrenen Geschwindigkeiten. Insofern wird begründet vorgeschlagen, für die Dimensionierung beziehungsweise Auswahl zusätzlicher Entwässerungslösungen eine kritische Wasserfilmdicke zwischen 2,5 und 3 mm zugrunde zu legen.

Für die Entwässerungsmaßnahmen nach RAA können jeweils folgende Empfehlungen beziehungsweise Hinweise gegeben werden:

Längsneigung

- Wenn möglich, soll von vornherein eine ausreichend hohe Längsneigung $s \geq 1\%$ in Verwindungsbereichen eingebaut werden (sehr hohe Längsneigungen verursachen allerdings auch wieder hohe WFD).
- Dies kann jedoch nur beim Neubau erfolgen und beim grundhaften Um- und Ausbau nur dann, wenn die Streckengeometrie geändert wird.

- Durch eine deutliche Erhöhung der Längsneigung wird die Entwässerung in den meisten Fällen verbessert. In bestimmten Fällen kann jedoch eine größere Längsneigung eine gegenteilige Wirkung haben (zum Beispiel bei sehr breiten Fahrbahnen).

- Bei sehr breiten Fahrbahnen mit einer Fahrbahnbreite ab 18 m (fünf oder sechs Fahrstreifen) kommt es im Verwindungsbereich mit $\max \Delta s = 0,9\%$ nach RAA und $L_v > 50\text{ m}$ zu größeren Flächen mit höheren Wasserfilmdicken als bei kürzeren Verwindungsbereichen mit $L_v = 50\text{ m}$ und $\Delta s > 0,9\%$. Die maximale Anrampungsneigung $\max \Delta s$ ist jedoch im Regelwerk vorrangig aus fahrdynamischen und aus bautechnischen Gründen festgelegt. Davon abweichende Empfehlungen wären zunächst in den Gremien der FGSV und in der Fachwelt zu diskutieren.

Negative Querneigung

- Bei ausreichend großen Radien ($R \geq 5\ 500\text{ m}$) ist beim Neubau beziehungsweise grundhaften Um- und Aus-

bau die negative Querneigung eine wirksame Maßnahme.

- Mit einer durchgängig zur Fahrbahnaußenseite gerichteten Querneigung von $q = 2,5 \%$ können Verwindungen vollständig vermieden werden.
- Dadurch ist eine ausreichende Entwässerung der Fahrbahn gewährleistet.
- Es entstehen keine Mehrkosten.

Schrägverwindung

- Schrägverwindungen haben eine sehr gute Entwässerungswirkung, weil keine Bereiche mit Querneigungen unter $q < 2,5 \%$ auftreten.
- Sie kommen derzeit nur für Asphaltbefestigungen in Frage. Schrägverwindungen in Beton sind in Deutschland nicht realisiert. Diese Bauweise ist zwar prinzipiell möglich, wird aber derzeit noch aufgrund der notwendigen Einbautechnologie als zu aufwendig eingeschätzt und daher nicht empfohlen.
- Schrägverwindungen haben eine hohe Dauerhaftigkeit von mindestens zehn Jahren und benötigen bei korrekter Herstellung keinen betrieblichen Mehraufwand.
- Nachteilig ist der aufwendige Einbau. Ein vollständig maschineller Einbau ist nicht möglich, sodass Flächen zurückbleiben, die von Hand eingebaut werden müssen.
- Die Querneigung soll zu beiden Seiten stets $q = 2,5 \%$ betragen.
- Probleme wie offene Nähte (im Einbau "kalt an kalt") oder ein Absacken der Fahrbahn müssen durch eine hohe Einbauqualität vermieden werden.
- Einige Bundesländer betreiben Schrägverwindungen mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, um fahrdynamische Probleme auszuschließen. Aus Sicht des Unfallgeschehens scheint dies jedoch nicht notwendig.
- Für Betrieb und Instandhaltung ist kein gesonderter Aufwand notwendig.
- Die Schrägverwindung ist sowohl im Neubau als auch beim nachträglichen Einbau eine wirtschaftliche Variante.

Querkastentrinnen

- Querkastentrinnen sind für Asphalt- und Betonfahrbahnen geeignet.
- In Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite und der vorhandenen Längsneigung können mehrere Rinnen notwendig sein.
- Zur Qualitätssicherung des Einbaus hat das Land Brandenburg ein Merkblatt zum Einbau von Querkastentrinnen erstellt. Es wird vorgeschlagen, die Inhalte in die RAA aufzunehmen. Ein Entwurf dafür ist in der Arbeit enthalten.

- Bei korrektem Einbau haben Querkastentrinnen eine Dauerhaftigkeit von mehr als zehn Jahren.
- Ein höherer betrieblicher Aufwand besteht darin, dass Querkastentrinnen vierteljährlich gereinigt werden müssen.
- Bei zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen ist der Einbau der Rinnen in Asphalt und Betonbauweise bei Neubaumaßnahmen und im nachträglichen Einbau stets wirtschaftlich.

Offenporiger Asphalt

- Offenporige Asphalte werden vorrangig zur Lärmreduzierung genutzt. Da offenporige Asphalte aber sehr gute Entwässerungseigenschaften aufweisen, können diese auch in Verwindungsbereichen zur Verbesserung der Entwässerung eingebaut werden (zum Beispiel in Nordrhein-Westfalen).
- Die Entwässerungsleistung sowie die Reduktion von Sprühfahnen sind bei offenporigen Asphalten sehr gut.
- Bei ungünstiger Streckengeometrie kann es durch aufstauendes Wasser zum Wasseraustritt auf die Fahrbahnoberfläche kommen (zum Beispiel in Wannern).
- Der Selbstreinigungseffekt durch den fließenden Verkehr macht bislang keine zusätzliche maschinelle Reinigung notwendig. Lediglich bei dem selten befahrenen Seitenstreifen kommt es zum Zusetzen der Poren. Ausgetauscht wird der OPA, wenn auch die Fahrstreifen zugesetzt sind.
- Im Winterdienst muss aufgrund des abweichenden Kälteverhaltens von offenporigen Asphalten mehr und häufiger mit Tausalz abgestreut werden.
- Die Haltbarkeit von OPA beträgt ca. zehn Jahre.
- In der Praxis wird er daher überwiegend als Lärmschutzmaßnahme eingesetzt.
- OPA ist trotz der hohen Kosten wirtschaftlich.

Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei Nässe

- Die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei Nässe ist eine wirksame Maßnahme zur Beseitigung von Unfallhäufungsstellen in entwässerungsschwachen Bereichen.
- Als verkehrsrechtliche Maßnahme kommt sie nur infrage, wenn keine andere technische Lösung möglich ist oder als kurzfristige und zeitlich begrenzte Maßnahme.

Grooving-Verfahren

- Zur Beseitigung von Unfallhäufungsstellen in entwässerungsschwachen Bereichen im Bestand kann auch das sogenannte Grooving-Verfahren zur Anwendung kommen.
- Durch das Fräsen von Längsrillen im Bereich von Fahrbahnverwindungen können hohe Wasserfilmdicken vermieden werden.

- Die Längsrillen in der Fahrbahn können kurzfristig und ohne Sperrung der Richtungsfahrbahn hergestellt werden.
- Das Verfahren ist vergleichsweise günstig und somit für den nachträglichen Einsatz eine wirtschaftliche Maßnahme.
- Die Haltbarkeit beträgt ca. sechs bis acht Jahre und ist damit vergleichsweise gering.
- Dieses Verfahren ist bisher nicht in den RAA enthalten.
- Es wird empfohlen, dieses Verfahren als kurzfristig umsetzbare Maßnahme für den Bestand mit in die RAA zu übernehmen.
- Für den Neubau wird das Grooving-Verfahren nicht empfohlen, da durch das Fräsen ein Eingriff in die Fahrbahndecke erfolgt.

Darüber hinaus sind bei der Wahl einer Entwässerungsmaßnahme, unabhängig vom Nutzen-Kosten-Verhältnis, die vorhandenen geografischen Gegebenheiten zu beachten.

4 Fazit

Mit der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass alle Entwässerungsmaßnahmen aus den RAA in der Praxis Anwendung finden. Bei der Wahl der jeweiligen Einzelmaßnahme gibt es jedoch regionale Unterschiede. Insgesamt konnten die ausreichenden Entwässerungseigenschaften sowie die Wirtschaftlichkeit aller Maßnahmen nachgewiesen werden. Auch wurden Erfahrungen und Hinweise für den Einbau und den Betrieb gesammelt und maßnahmenfein dargestellt.

Die Ergebnisse des Projekts dienen als Diskussionsgrundlage im zuständigen Arbeitsausschuss 2.1 der FGSV für die mögliche Integration in die RAA bei deren Fortschreibung.