

## Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken

FA 2.333

Forschungsstellen: Technische Hochschule Mittelhessen,  
Fachgebiet Straßenwesen und Vermesung (Prof. Dr.-Ing. A. Bark)

BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung  
Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen

Bearbeiter: Bark, A. / Kutschera, R. / Resnikow, K. / Baier, M.M. / Schuckließ, W.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und  
Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Dezember 2014

- Präzisierung der relevanten Fragestellungen,
- Analyse bereits realisierter Tunnellösungen,
- Herausarbeitung der Unterschiede zwischen Außen- und Tunnelstrecken,
- Erarbeitung von Empfehlungen.

Im Rahmen der Grundlagenanalyse wurde eine systematische Auswertung und Aufbereitung vorliegender Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit und zum Verkehrsablauf in Autobahntunneln durchgeführt. Neben dem deutschen Regelwerk zum Entwurf und Betrieb von Tunneln wurden auch die Erkenntnisse aus dem europäischen Ausland berücksichtigt. Anhand der Ergebnisse der Grundlagenanalyse erfolgte die Präzisierung der relevanten Fragestellungen. Die erarbeiteten Fragestellungen bildeten eine Grundlage der Untersuchungsmethodik, die bei der Analyse von bereits realisierten Tunnellösungen angewandt wurde.

Zur Wahl der Untersuchungsstrecken für die Analyse realisierter Tunnellösungen wurden zunächst die Ereignismeldebögen herangezogen. Die Ereignismeldebögen stellen eine Zusammenfassung der Berichte über unter anderem Brände und Unfälle in Tunneln dar und werden für die Tunnel ab einer Länge von 400 m geführt. Die Ereignismeldebögen wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zur Verfügung gestellt. Insgesamt konnten Meldungen für 59 Tunnel mit einer Länge von  $L \geq 400$  m ausgewertet werden. Die Auswertung zeigt, dass der Detaillierungsgrad für die Aufgabenstellung zum Teil unzureichend ist und Grunddaten nicht für alle Tunnel vorliegen. Infolgedessen wurden Daten zu bauseitigen Kennwerten der Tunnel und der zugehörigen Rampen sowie Daten zum Unfallgeschehen bei den entsprechenden Straßenbauverwaltungen und Polizeidienststellen angefordert. Planunterlagen wurden für insgesamt 31 Tunnel geliefert, Angaben zum Unfallgeschehen liegen für 44 Tunnel vor.

Als Ergänzung zu den Planunterlagen wurde die Sammlung der Streckenbilddaten aus der Datenbank der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB-Datenbank) herangezogen. Die Datengrundlage erstreckt sich somit auf 41 Tunnel, deren bauseitige Kennwerte und Daten zum Unfallgeschehen in einer Projektdatenbank zusammengefasst wurden.

Zur Untersuchung der Verkehrssicherheit wurde im nächsten Schritt eine makroskopische Unfallanalyse durchgeführt. Neben absoluten Unfallzahlen, differenziert nach Unfallkategorien, wurden für alle Tunnelstrecken die relevanten Unfallkenngrößen ermittelt. Diese Kenngrößen, insbesondere die Unfallkostenrate, dienten im Weiteren als Grundlage für den Vergleich des Unfallgeschehens der Tunnel mit Außenstrecken. Anschließend wurde eine mikroskopische Unfallanalyse durchgeführt, um vor allem Anschlussstellen in den Tunneln näher zu betrachten.

Für die Analysen zum Verkehrsablauf erfolgte auf Basis der vorgenommenen Typisierung und der Präzisierung der relevanten Forschungsfragen sowie unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den makroskopischen Unfallanalysen eine Auswahl von Tunneln, anhand derer die q-V-Beziehungen und

### 1 Aufgabenstellung

Der Anteil von Tunnelstrecken in Deutschland an der Gesamtlänge aller Bundesautobahnen ist mit rund 70 km vergleichsweise gering, dennoch werden immer häufiger Verkehrsführungen in Tunneln erforderlich, insbesondere, wenn das Fernautobahnnetz durch Ballungsräume führt oder wenn es sich um Stadtautobahnen handelt. Als Gründe hierfür sind neben den topografischen Zwängen und der räumlichen Beengtheit von Siedlungsräumen auch die zunehmenden Anforderungen an den Schutz von Umwelt und Natur zu nennen.

Der Entwurf und der Betrieb von Tunneln im Zuge von Bundesautobahnen sind in den "Richtlinien für die Anlage von Autobahnen" (RAA, 2008) und in den "Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln" (RABT, 2006) geregelt. Hier sind die Hinweise zu der Wahl des Tunnelquerschnitts und zu den anzusetzenden Trassierungsgrenzwerten sowie die Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Betriebsabläufen enthalten. Weitere Richtwerte bezüglich der wegweisenden Beschilderung finden sich in den RWBA (2000).

Für die Trassierung von Tunnelstrecken sowie insbesondere für den Entwurf von Ein- und Ausfahrten in Tunneln beziehungsweise im direkten Umfeld von Tunneln finden sich im aktuellen Technischen Regelwerk nur vereinzelt gesonderte Grenz- und Richtwerte. Somit ist wenig darüber bekannt, wie Ein- und Ausfahrten im Bereich der Tunnelstrecken zu gestalten sind und ob im Vergleich zu Außenstrecken gegebenenfalls andere Trassierungsparameter für einen sicheren Verkehrsablauf im Tunnel notwendig werden.

Zielsetzung des Forschungsvorhabens war es daher, die in Deutschland im Betrieb befindlichen Tunnel sowie in deren Querschnitt vorhandene Ein- und Ausfahrten bezüglich ihrer Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Grundsätzliche Unterschiede zwischen Außen- und Tunnelstrecken sollten hierbei ergründet werden. Darüber hinaus sollten Verkehrsablaufanalysen durchgeführt und q-V-Beziehungen und Kapazitätswerte für Tunnel abgeleitet werden.

### 2 Untersuchungsmethodik

Die methodische Vorgehensweise wurde in fünf (teilweise parallele) Arbeitsschritte gegliedert:

- Grundlagenanalyse,

Kapazitätswerte ermittelt werden sollten. Darüber hinaus sollten weitere, vor allem fahrstreifenbezogene Kenngrößen analysiert werden.

Um eine Vergleichbarkeit mit den Bemessungswerten für die "Außenstrecken" zu gewährleisten, erfolgte die Vorgehensweise entsprechend der Methodik zur Aktualisierung der q-V-

Beziehungen nach Brilon/Geistefeldt (2010). Grundlage zur Modellierung der q-V-Beziehungen bildet dabei das Warteschlangenmodell nach Brilon/Ponzlet (1995). Die Ermittlung der Kapazität erfolgte auf Basis des Verkehrsflussmodells nach Van Aerde (1995) unter Berücksichtigung der Anpassungen nach Brilon/Geistefeldt (2010).

		Merkmal										UR	UKR							
Ebene 1		Ebene 2				Ebene 3		Ebene 4												
Teilkollektiv in Tunnelröhren		Anzahl der Fahrstreifen				Seitenstreifen		V <sub>zul</sub>												
Kollektiv 41 Tunnel (82 Röhren)	Tunnelröhre ohne Ein-/Ausfahrten	57	E1_1			46	mit	11			100 km/h	2	G1	0,35	7,59					
											80 km/h	9	G2	0,07	3,17					
							ohne	35			11	100 km/h	13	G3	0,23	17,61				
												80 km/h	22	G4	0,20	6,93				
							dreistreifig	11			11	mit	11			100 km/h	6	G5	0,09	2,59
												ohne	0			80 km/h	5	G6	0,10	1,11
	Tunnelröhre mit Ein-/Ausfahrten	25	E1_2			13	mit	5			100 km/h	0								
											80 km/h	5	G7	0,71	15,12					
							ohne	8			12	100 km/h	0			100 km/h	0			
												80 km/h	8	G8	0,74	21,33				
dreistreifig							12			12	mit	12			100 km/h	4	G9	0,14	2,43	
											ohne	0			80 km/h	8	G10	0,74	11,75	

**Bild 1: Tunnelteilkollektive**

Die Analyse des Verkehrsablaufs erfolgte getrennt für jede Tunnelröhre. Dabei wurden nur hochbelastete Tunnel innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen untersucht, die Teil längerer Autobahnteilstücke sind. Neben der Lage in Bezug zu Ballungsräumen wurde nach der Anzahl der Fahrstreifen in der betrachteten Richtung und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit differenziert. Nach der Längsneigung wurde nicht differenziert, da hierzu keine ausreichenden Angaben vorlagen. Da die maximale Längsneigung auf der durchgehenden Hauptfahrbahn für Tunnel mit einer Länge von  $L > 500$  m nach den RAA (2008)  $s \leq 2,5$  % betragen sollte, erscheint eine Differenzierung nach der Längsneigung auch nicht erforderlich. Auch erfolgte keine Differenzierung für Tunnel mit und ohne Seitenstreifen, da das Vorhandensein eines Seitenstreifens keine Auswirkungen auf den normalen Verkehrsablauf hat.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitsschritte wurden abschließend Empfehlungen zum Einsatz und zur Gestaltung von Anschlussstellen in Autobahntunneln erarbeitet.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Die untersuchten Tunnel weisen unterschiedliche betriebliche und bauliche Merkmale auf. Für die Untersuchung wurden Tunnel hinsichtlich ihres Querschnitts, dem Vorhandensein von Ein-

und Ausfahrten und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit unterschieden (vgl. Bild 1). Damit wurde ein Vergleich der Tunnel unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeit der Merkmale möglich. Die Typisierung erfolgte für alle Tunnel getrennt nach Tunnelröhren. Auch für die im Tunnelkollektiv vorhandenen Ein- und Ausfahrbereiche wurde eine Typisierung entsprechend der Lage des Einfädelungs- beziehungsweise Ausfädelungsstreifens vorgenommen.

#### 3.1 Unfallanalyse

Bei der Untersuchung des Unfallgeschehens wurden insgesamt 2 154 Unfälle (davon 884 im Tunnel) betrachtet. Für die Unfallanalyse wurden die Verkehrsunfallanzeigen beziehungsweise vergleichbare Unfalldaten aus Lieferungen der Polizeidienststellen herangezogen. Betrachtet wurden die Unfälle für drei zusammenhängende Jahre (Unfalljahre 2009 bis einschließlich 2011), um vor allem auch Unfälle mit schwerem Personenschaden und damit besonders unfallträchtige Strecken mit ihren jeweiligen Randbedingungen vollständig abzubilden. Ausnahmen stellen hierbei die Tunnel dar, die im Untersuchungszeitraum umgebaut wurden. Bei diesen Tunneln wurde das Jahr, in dem der Umbau stattfand, nicht berücksichtigt und das Unfallgeschehen für zwei Jahre ausgewertet. Im vorliegenden Tunnelkollektiv liegt der Anteil der Unfälle mit Personenschaden zwischen 7 und 50 %.

Die Verteilung der Unfalltypen zeigte, dass der Unfalltyp 1, der Unfalltyp 3, der Unfalltyp 6 und der Unfalltyp 7 maßgeblich im Tunnelkollektiv vorhanden sind. Für die Unfälle in den Tunneln wurde die Verunglücktenstruktur, ausgedrückt durch die Anzahl der Verunglückten je 100 Unfälle mit Personenschaden, ermittelt und mit der Verunglücktenstruktur für Bundesautobahnen verglichen. Das Unfallkollektiv der Tunnel weist eine deutlich niedrigere Anzahl der Verunglückten auf. Aufgrund dieser Abweichung wurden Unfallkenngrößen unter Verwendung der angepassten Unfallkostensätze auf dem Preisstand 2010 berechnet. Zur Berechnung der Unfallkenngrößen standen die Ergebnisse der Straßenverkehrszählung aus dem Jahr 2010 zur Verfügung. Hieraus konnten DTV-Werte für insgesamt 39 der 41 Tunnel abgeleitet werden. Für die beiden anderen Tunnel lagen DTV-Werte aus den Auswertungen der Dauerzählstellen zum Jahr 2009 vor.

Ein Vergleich der Unfallkenngrößen einzelner Teilkollektive führte zu folgenden Ergebnissen:

### Tunnel ohne Ein- und Ausfahrten

- zweistreifige Querschnitte ohne Seitenstreifen weisen eine geringfügig niedrigere mittlere Unfallrate bei  $V_{zul} = 80$  km/h als bei  $V_{zul} = 100$  km/h auf.
- zweistreifige Querschnitte mit Seitenstreifen weisen eine niedrigere mittlere Unfallrate als ohne Seitenstreifen bei  $V_{zul} = 80$  km/h auf.
- dreistreifige Querschnitte mit Seitenstreifen haben vergleichbare Unfallraten bei  $V_{zul} = 80$  km/h und  $V_{zul} = 100$  km/h.
- zwei- und dreistreifige Querschnitte mit und ohne Seitenstreifen weisen eine doppelt so hohe Anzahl an Unfällen der Kategorien 1 bis 3 bei  $V_{zul} = 100$  km/h gegenüber  $V_{zul} = 80$  km/h auf.

### Tunnel mit Ein- und Ausfahrten

- zweistreifige Querschnitte mit Seitenstreifen weisen eine geringfügig niedrigere mittlere Unfallrate als ohne Seitenstreifen auf. Der Anteil an Unfällen der Kategorien 1 bis 3 ist an den Querschnitten ohne Seitenstreifen doppelt so hoch wie an den Querschnitten mit Seitenstreifen.
- dreistreifige Querschnitte mit Seitenstreifen weisen eine doppelt so hohe Anzahl an Unfällen der Kategorien 1 bis 3 bei  $V_{zul} = 100$  km/h als bei  $V_{zul} = 80$  km/h auf. Die mittleren Unfallraten sind jedoch bei  $V_{zul} = 100$  km/h und  $V_{zul} = 80$  km/h vergleichbar.
- zweistreifige Querschnitte mit Seitenstreifen weisen eine geringfügig niedrigere mittlere Unfallrate als dreistreifige Querschnitte auf.

Die Bewertung des Unfallgeschehens in Tunneln führte somit zu der Erkenntnis, dass eine Anordnung von Seitenstreifen zur Senkung der Unfallrate und der mittleren Unfallkostenrate bei zweistreifigen Tunnelquerschnitten beitragen kann. Gemäß dem "Verfahren für die Auswahl von Straßenquerschnitten in Tunneln" nach dem ARS Nr. 06/2000 ist ein Seitenstreifen allerdings nur bei hohem SV-Anteil und Längsneigung anzuordnen. Hinsichtlich einer Verbesserung der Verkehrssicherheit sollte daher geprüft werden, ob dieser generelle Entfall des

Seitenstreifens bei zweistreifigen Querschnitten nicht mehr erfolgen sollte.

Die RAA (2008) und die RABT (2006) empfehlen eine zulässige Höchstgeschwindigkeit in Autobahntunneln von 80 km/h. Bei dem Vergleich der Tunnelquerschnitte mit  $V_{zul} = 80$  km/h und  $V_{zul} = 100$  km/h konnten insbesondere bei zweistreifigen Tunnelquerschnitten ohne Seitenstreifen zum Teil höhere Unfallraten und Unfallkostenraten bei  $V_{zul} = 100$  km/h festgestellt werden. Dies zeigte sich auch bei zweistreifigen Tunnelstrecken mit Ein- und Ausfahrtbereichen. Der Vergleich hat auch gezeigt, dass die Verletzungsschwere mit der zunehmenden Geschwindigkeit im Tunnel steigt. An zwei- und dreistreifigen Querschnitten mit  $V_{zul} = 100$  km/h wurde ein doppelt so hoher Anteil an Unfällen der Kategorien 1 bis 3 festgestellt als an Querschnitten mit  $V_{zul} = 80$  km/h. Daher sollte die zulässige Höchstgeschwindigkeit insbesondere bei zweistreifigen Tunnelquerschnitten  $V_{zul} = 80$  km/h nicht überschreiten. In dreistreifigen Tunnelquerschnitten sollte die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h möglichst bevorzugt angeordnet werden.

Eine nicht angepasste Geschwindigkeit war eine der häufigsten Unfallursachen in den untersuchten Tunneln. Die Anordnung von ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen sollte daher bei allen Tunneln geprüft werden.

Im Verlauf der Untersuchung wurde der Einfluss von Ein- und Ausfahrten in den Tunnelröhren auf das Unfallgeschehen untersucht. Es zeigte sich, dass die Röhren mit Ein- beziehungsweise Ausfahrten wesentlich höhere Unfallraten haben. Dies wurde ausnahmslos bei dem Vergleich sowohl der zweistreifigen Querschnitte als auch der dreistreifigen Querschnitte miteinander (auch unabhängig der  $V_{zul}$ ) festgestellt.

Somit kann festgehalten werden, dass Ein- und Ausfahrten in Tunnelstrecken in vielerlei Hinsicht kritisch zu bewerten sind. In der Untersuchung waren insbesondere die Einfahrtbereiche unfallauffällig. Darüber, wie in Tunnelstrecken im Vergleich zu Außenstrecken etwa Trassierungsgrenzwerte großzügiger anzusetzen sind oder etwa Aus- und Einfahrtbereiche übersichtlicher zu gestalten sind, konnten aufgrund fehlender Informationen keine Aussagen gemacht werden. Eine Begutachtung der wegweisenden Beschilderung in den Tunneln anhand von Befahrungsbildern lieferte keine Anhaltspunkte für das auffällige Unfallgeschehen bei den Tunnelquerschnitten mit Ein- und Ausfahrtbereichen.

Für den Vergleich der Tunnel mit den Außenstrecken wurde das Unfallgeschehen der angrenzenden Streckenbereiche vor und nach dem Tunnel betrachtet. Das Kollektiv der angrenzenden Streckenabschnitte erstreckte sich auf ca. 90 km. Erhebliche Unterschiede in der Verteilung der Unfälle auf die Unfallkategorien konnten zwischen den Tunnelabschnitten und den angrenzenden Streckenabschnitten nicht festgestellt werden. Dies betrifft sowohl die Unfallkenngrößen als auch die Verteilungen der Unfallkategorien und der Unfalltypen.

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Sichtweiten für die Tunnel, für die Planunterlagen vorlagen, berechnet. Dies hat gezeigt, dass die erforderlichen Sichtweiten bei zwei Tunneln unterschritten wurden. Aus der Analyse der Sichtweiten konnten allerdings keine Rückschlüsse auf die Verkehrssicherheit gewonnen werden.

In der mikroskopischen Unfallanalyse wurden Anschlussstellen innerhalb der Tunnelbauwerke untersucht. Insgesamt wurden 13 Tunnel näher betrachtet. Davon haben 12 mindestens eine Ein- beziehungsweise Ausfahrt. Bei der Betrachtung der Unfallursachen zeigte sich, dass nicht angepasste Geschwindigkeit, ungenügender Sicherheitsabstand, falscher Fahrstreifenwechsel und Missachten der Vorfahrt die häufigsten Unfallursachen in den Tunneln mit Ein- und Ausfahrten waren. Die Anordnung von ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen sollte bei allen Tunneln geprüft werden.

## 3.2 Verkehrsablaufanalyse

Insgesamt konnten 17 Tunnel in die Verkehrsablaufanalyse einbezogen werden. Davon sind sechs Tunnel mit jeweils zwei Fahrstreifen je Richtung und zwei einseitige Tunnel mit zwei Fahrstreifen innerhalb von Ballungsräumen, ein Tunnel mit drei Fahrstreifen je Richtung außerhalb von Ballungsräumen und sieben Tunnel mit drei Fahrstreifen je Richtung innerhalb von Ballungsräumen. Ein Tunnel innerhalb von Ballungsräumen verfügt in der einen Fahrtrichtung über zwei Fahrstreifen, in der anderen Fahrtrichtung über drei Fahrstreifen.

Zweistreifige Tunnel außerhalb von Ballungsräumen sind in dem betrachteten Kollektiv nicht enthalten. Es ist auch nur ein dreistreifiger Tunnel außerhalb von Ballungsräumen enthalten.

In 11 der 17 Tunnel ist eine Verkehrsbeeinflussungsanlage (VBA) vorhanden. Teilweise liegen diese Tunnel im Zuge einer Streckenbeeinflussungsanlage (SBA). Teilweise sind die Tunnel lediglich mit Wechselverkehrszeichen (WVZ) ausgestattet.

Die Messquerschnitte liegen teilweise in den Tunneln, teilweise aber auch vor beziehungsweise hinter dem Tunnel. In einigen Tunneln, vor allem denjenigen, die mit einer Verkehrsbeeinflussungsanlage (VBA) betrieben werden, sind mehrere Messquerschnitte vorhanden. Hier wurden jeweils nur ausgewählte Messquerschnitte betrachtet.

Für die betrachteten Messquerschnitte in diesen 17 Tunneln erfolgte die Modellierung der q-V-Beziehungen und auf deren Basis dann die Ermittlung der Kapazität. Auf Grundlage der empirisch ermittelten q-V-Beziehungen und Kapazitäten sowie den Angaben zu den q-V-Beziehungen und Kapazitäten des HBS (2015) erfolgte dann die Ableitung von Kapazitäten und q-V-Beziehungen für das HBS. Die in den Bemessungsgrößen bislang berücksichtigten Einflussgrößen (Anzahl der Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn, Lage in Bezug zu Ballungsräumen und SV-Anteil) wurden für die Ableitung übernommen. Wesentliche Änderung der ermittelten Kapazitäten und q-V-Beziehungen für Tunnel gegenüber denjenigen des HBS (2015) ist eine zusätzliche Differenzierung nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Für folgende Kategorien wurden Kapazitäten und q-V-Beziehungen aus der entsprechenden Datengrundlage abgeleitet:

- Tunnel mit zweistreifiger Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h (Bild 2),

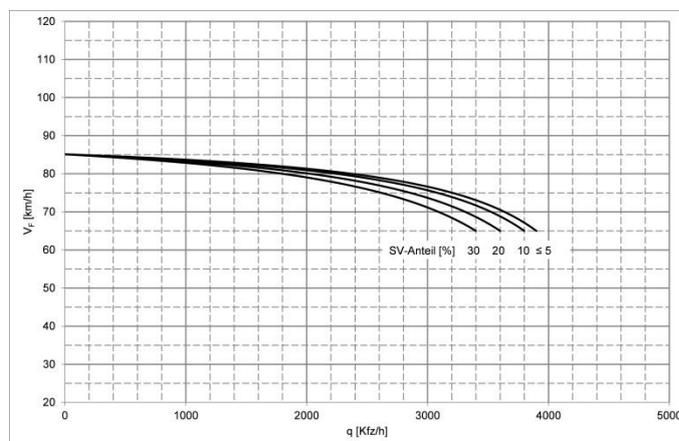
- Tunnel mit dreistreifiger Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h (Bild 3),
- Tunnel mit dreistreifiger Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h (Bild 4).

Aus der Kapazitätsanalyse ließen sich lediglich für Tunnel mit dreistreifiger Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h neue Kapazitätswerte ableiten. Für die beiden übrigen Kategorien werden die entsprechenden Kapazitäten für Tunnel mit zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen aus dem HBS (2015) übernommen (Tabelle 1).

Wie die Unfallanalyse gezeigt hat, sollte die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei zweistreifigen Tunnelquerschnitten  $V_{zul} = 80$  km/h nicht überschreiten (vgl. Kapitel 3.1), sodass für diesen auch keine Kapazitäten und q-V-Beziehungen bereitgestellt werden.

## 4 Folgerungen für die Praxis

Die Betrachtung der Lage von Ein- und Ausfahrten in Tunneln hat ergeben, dass diese keine eindeutige Auswirkung auf das Unfallgeschehen hat. Infolge der Ein- und Ausfahrtvorgänge treten jedoch vermehrt Unfälle in diesen Bereichen auf. Somit sind die Ein- und Ausfahrten in Tunneln nach Möglichkeit zu vermeiden.



**Bild 2:** q-V-Beziehungen für Tunnel mit zweistreifiger Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen und  $V_{zul} = 80$  km/h

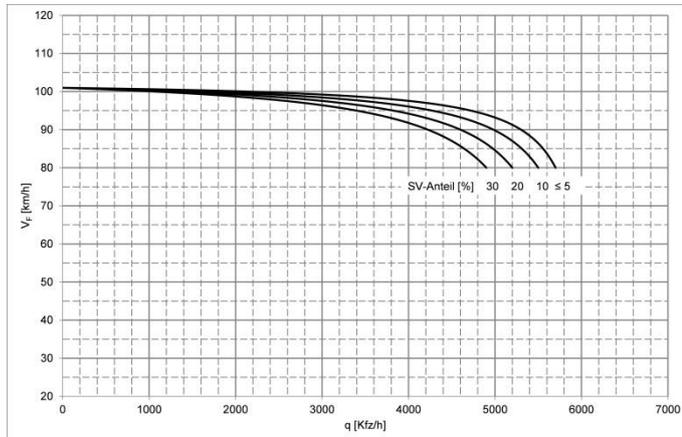
Auf Höhe der Tunnelportale sowie in den Ein- und Ausfahrtbereichen wurden in einigen Tunneln vermehrt Unfälle beobachtet. Eine Systematik geht weder aus dem Unfallgeschehen hervor, noch konnten die Ursachen für diese Auffälligkeit anhand von Befahrungsbildern der Örtlichkeiten geklärt werden. Von der Gesamtheit der untersuchten Ein- und Ausfahrtbereiche waren es Einfahrten, die durch ein hohes Unfallgeschehen auffällig sind.

Die Betrachtung der Längen von Ein- und Ausfädungsstreifen in Tunneln zeigte, dass die durch die RAA (2008) empfohlene Länge von 250 m vielfach unterschritten wird. In diesen Bereichen wurden vermehrt Unfälle beobachtet. Um die Sicherheit in Ein- und Ausfahrtbereichen zu erhöhen, sollten die Längen der Ein- und Ausfädungsstreifen die Mindestwerte nach RAA

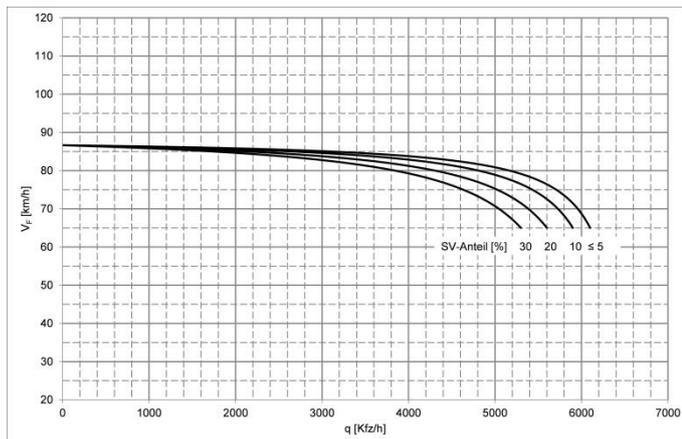
(2008) von 250 m für die EKA 1 und EKA 2 nicht unterschreiten. Eine Verkürzung der Ein- und Ausfädelungstreifen in der EKA 3 auf 150 m ist zu vermeiden. Die Länge sollte mindestens 250 m betragen.

teil Britz an der A 100 und die Einhausung Hösbach an der A 3 verfügen über mehrere, hintereinander liegende Ein- und Ausfahrtbereiche je Richtung. Mit Ausnahme der Einhausung Hösbach fallen diese Tunnel durch eine hohe Unfallanzahl auf. Folglich wird empfohlen, die Doppelseinfahrten und -ausfahrten in Tunneln nach Möglichkeit zu vermeiden.

Falls Doppelseinfahrten beziehungsweise -ausfahrten in Tunneln aufgrund bestehender Gegebenheiten nicht zu vermeiden sind, sollte eine für den Verkehrsteilnehmer möglichst übersichtliche Verkehrsführung geplant werden. Außerdem sollten die in den RAA (2008) und den RABT (2006) aufgeführten Betriebs- und Trassierungsparameter eingehalten werden.



**Bild 3:** q-V-Beziehungen für Tunnel mit dreistreifiger Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen und  $V_{zul} = 100$  km/h



**Bild 4:** q-V-Beziehungen für Tunnel mit dreistreifiger Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen und  $V_{zul} = 80$  km/h

**Tabelle 1:** Kapazitätswerte [Kfz/h] für Tunnel innerhalb von Ballungsräumen

FS	$V_{zul}$ [km/h]	SV-Anteil [%]			
		≤ 5	10	20	30
2	100	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
	80	3 900	3 800	3 600	3 400
3	100	5 700	5 500	5 200	4 900
	80	6 100	5 900	5 600	5 300

In der Untersuchung wurden auch Sonderlösungen für die Ein- und Ausfahrtbereiche betrachtet. Vor allem die hintereinander liegenden Ein- und Ausfahrtbereiche (Doppelseinfahrten und -ausfahrten) sowie die Linkseinfahrten kämen als Sonderlösung in Frage. Linkseinfahrten kommen äußerst selten vor und sind bisher nur mit entsprechender Fahrstreifenaddition zulässig. Im Untersuchungskollektiv waren jedoch keine Linkseinfahrten vorhanden. Der Tunnel Wersten an der A 46, der Tunnel Orts-