

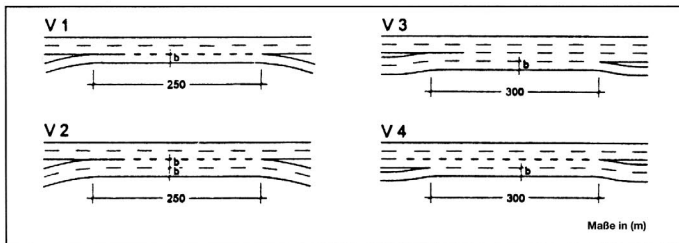
Leistungsfähigkeit von Verflechtungstrecken an planfreien Knotenpunkten

FA 2.177

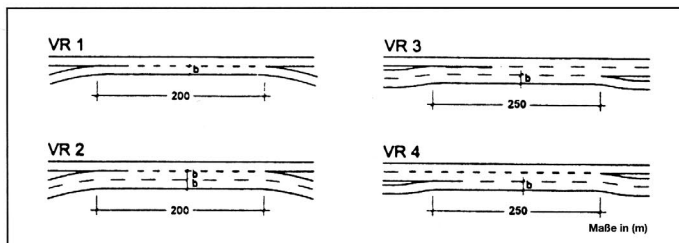
Forschungsstelle: Universität Hannover, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, (Prof. Dr.-Ing. R. Schnüll)
 Bearbeiter: Hoffmann, S. / Kölle, M. / Mennicken, C.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
 Abschluss: März 2000

1. Aufgabenstellung

Im Bundesfernstraßennetz sowie an Stadtautobahnen treten in den planfreien Knotenpunkten Verflechtungsbereiche in vielfältiger Form auf. Diese Verflechtungsbereiche haben eine ausschlaggebende Bedeutung für die Kapazität des Systems, weil sie gegenüber den anderen Knotenpunktbereichen und gegenüber den knotenpunktfreien Streckenabschnitten eine deutlich geringere Kapazität haben. Man unterscheidet Verflechtungsbereiche an durchgehenden Fahrbahnen (Bild 1) und an Verteilerfahrbahnen (Bild 2). Für beide Verflechtungsbereiche werden in den Richtlinien und Empfehlungen für den Entwurf von Knotenpunkten verschiedene Verflechtungsbereichtstypen unterschieden, die aufgrund verschieden starker Randströme mehr oder weniger Fahrstreifen für die ein-, aus- und durchfahrenden Kraftfahrzeuge zur Verfügung stellen.



1: Verflechtungsbereichtstypen an durchgehenden Fahrbahnen (22)



2: Verflechtungsbereichtstypen an Verteilerfahrbahnen (22)

Die Grundlagen für die in den Entwurfsrichtlinien angegebenen Einsatzempfehlungen von Verflechtungsbereichen beruhen auf wenigen und zumeist älteren empirischen Untersuchungen. Ergebnisse neuerer Untersuchungen deuten vereinzelt darauf hin, dass sich die Zusammenhänge zwischen der Kraftfahrzeugverkehrsstärke und der Geschwindigkeit in Verflechtungsberei-

chen zwischenzeitlich verändert haben. Ein Ziel der Forschungsarbeit war es deshalb, die Grundlagen der gültigen Entwurfsrichtlinien für Verflechtungsbereiche in planfreien Knotenpunkten mit empirischen Untersuchungen zu überprüfen und die Einsatzbereiche gegebenenfalls neu zu definieren. Ein weiteres Ziel der Forschungsarbeit war es, aufbauend auf den empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf, ein für die Praxis und die Übernahme in das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) geeignetes Verfahren zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichen zu erarbeiten.

2. Untersuchungsmethodik

Um einen Überblick über die im deutschen Autobahnnetz gebräuchlichen Verflechtungsbereichtstypen zu erlangen, wurden umfangreiche Bereisungen von hochbelasteten Autobahnabschnitten und planfreien Knotenpunkten durchgeführt (Grundlage: Verkehrsmengenkarte 1995), im Rahmen der Bereisung von 23 Ballungsräumen wurden insgesamt 391 hoch belastete Verflechtungsbereiche dokumentiert. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Dokumentation erfolgte die Auswahl von Untersuchungsstellen in einem mehrstufigen Verfahren, in den ausgewählten Untersuchungsstellen vom Verflechtungstyp V1 (Bild 1) und VR 1 (Bild 2) wurden anschließend umfangreiche empirische Untersuchungen zum Verkehrsablauf durchgeführt. In allen anderen selten vorkommenden Verflechtungsbereichen wurden keine empirischen Untersuchungen durchgeführt, da aufgrund der geringen Anzahl von möglichen Untersuchungsstellen von vornherein keine statistisch abgesicherten Ergebnisse für diese Verflechtungsbereichtstypen erwartet werden konnten.

Für die Formulierung von verlässlichen Aussagen über den Verkehrsablauf in Verflechtungsbereichen war neben der Erfassung der entwurfstechnischen und der betrieblichen Randbedingungen auch eine möglichst detaillierte Aufnahme des tatsächlichen Verkehrsgeschehens erforderlich. Die Erhebungsmethodik der empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf wurde daher so angelegt, dass sie die Grundlagen für verschiedene Alternativen zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufes lieferte.

Aufbauend auf den empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf wurde anschließend ein für die Praxis und für die Übernahme in das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) geeignetes Verfahren zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichen erarbeitet. Anhand der aus den empirischen Untersuchungen ermittelten Daten wurden hierfür zunächst verschiedene Alternativen für die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichen vergleichend gegenübergestellt, bevor anschließend ein Kriterium als maßgebend vorgeschlagen wurde. Danach wurden die Einflüsse der verschiedenen geometrischen und verkehrlichen Randbedingungen auf den Verkehrsablauf und die Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichen abgeschätzt. Hierfür wurden die in den einzelnen Untersuchungsstellen ermittelten Beurteilungskriterien für den Verkehrsablauf miteinander verglichen, um den Einfluss einzelner geometrischer und verkehrlicher Randbedingungen abschätzen zu können.

Um zusätzliche Aussagen zur Verkehrssicherheit in Verflechtungsbereichen formulieren zu können, wurden im Rahmen der Forschungsarbeit auch empirische Untersuchungen auf der Basis von makroskopischen und mikroskopischen Unfallanalysen in ausgewählten Verflechtungsbereichen planfreier Knotenpunkte für mehrere Jahre durchgeführt. Zusätzlich wurde der Verkehrsablauf durch eine Verkehrssituationsanalyse, mit der mittels Beurteilung der Bewegungsabläufe in Verflechtungsbereichen hinsichtlich einer Konflikträchtigkeit indirekt auf die Verkehrssicherheit geschlossen werden kann, beurteilt.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Empirische Untersuchungen zur Verkehrssicherheit

Die Ergebnisse der makroskopischen Unfallanalyse zeigen, dass sich im betrachteten Untersuchungszeitraum von insgesamt 123 berücksichtigten Unfalljahren mit einer Anzahl von 212 polizeilich registrierten Unfällen nur wenig Unfälle in Verflechtungsbereichen ereignet haben. Auf der Grundlage dieses Ergebnisses konnten Verflechtungsbereiche generell als sicher eingestuft werden.

Im Rahmen der mikroskopischen Unfallanalyse wurden einzelne Unfallmerkmale betrachtet. Dabei zeigte beispielsweise die zeitliche Verteilung der Unfälle nach Unfallmonat und nach Unfalluhrzeit ähnliche Ergebnisse für alle Verflechtungsbereiche. Die Auswertung der Unfallursachen machte weiterhin deutlich, dass knapp 97 % aller in den Verkehrsunfallanzeigen registrierten Ursachen der Gruppe „Fehler beim Kraftfahrer“ zuzuordnen waren.

Die Verkehrssituationsanalyse zur Beurteilung der Verkehrssicherheit in Verflechtungsbereichen zeigte, dass der Fahrstreifenwechsellpunkt schwerpunktmäßig im ersten Drittel des Verflechtungsbereiches lag. Dies zeigte sich insbesondere bei längeren Verflechtungsbereichen. Mit zunehmender Verkehrsbelastung verschob sich der Fahrstreifenwechsellpunkt weiter in Richtung der ersten Inselspitze. Die Sperrfläche beziehungsweise die durchgezogene Linie am Anfang der Verflechtungsbereiche wurde dabei kaum beachtet und häufig überfahren. Gezielte Untersuchungen zur Beteiligung des Schwerverkehrs an den aufgetretenen Interaktionen zeigte, dass der Schwerverkehr überproportional stark an allen leichten und mittleren Interaktionen beteiligt war. Schwere Interaktionen wurden aber auch für solche Fahrzeugkonstellationen nicht registriert.

Zusammenfassend kann die im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit mittels empirischer Untersuchungen analysierte Verkehrssicherheit in Verflechtungsbereichen planfreier Knotenpunkte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Charakteristik der Verflechtungsbereiche als gut bewertet werden, da

- sich mit einer Anzahl von 212 polizeilich registrierten Unfällen in 123 Unfalljahren eine mittlere Unfalldichte von $UD_{mittel} = 1,7$ ergab, die als niedrig eingeschätzt werden kann.
- unfallbeteiligte Personen nur in 8 % aller erfassten Unfälle zu Schaden kamen und demnach überwiegend Unfälle mit Sachschäden (92 % registriert wurden¹⁾) und
- die in den Verflechtungsbereichen beobachteten Interaktionen selten konfliktbehaftet waren.

3.2 Empirische Untersuchungen zum Verkehrsablauf

Das übergeordnete Ziel der empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf bestand in der Ermittlung von verlässlichen Grundlagen für künftige Bemessungsverfahren von Verflechtungsbereichen in planfreien Knotenpunkten. Neben der Ermittlung sinnvoller Beschreibungsgrößen des Verkehrsablaufes sollte zusätzlich der Frage nachgegangen werden, welche entwurfstechnischen und betrieblichen Faktoren einen maßgebenden Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufes ausüben und inwieweit diese Einflussfaktoren in künftigen Bemessungsverfahren für Verflechtungsbereiche in planfreien Knotenpunkten berücksichtigt werden müssen. Die empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf wurden ausschließlich in Verflechtungsbereichstypen VR 1 und V 1 der Grundform 1 (innerhalb planfreier Knotenpunkte) und Grundform 2 (zwischen zwei planfreien Knotenpunkten) mit einer Gesamtlänge von weniger als 500 m durchgeführt, da im Rahmen der Dokumentation von hoch belasteten Verflechtungsbereichen überwiegend diese beiden Verflechtungsbereichstypen dokumentiert werden konnten (vgl. Tab. 1) bzw. der Verkehrsablauf in längeren Verflechtungsbereichen nicht mehr als Verflechten bezeichnet werden kann.

¹⁾ Im Jahr 1998 ereigneten sich auf den deutschen Bundesautobahnen insgesamt 158.169 Unfälle (24.485 Unfälle mit Personenschaden (ca. 16 %) und 16.468 schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden (ca. 10 %).

Tabelle 1: Dokumentierte Verflechtungsbereiche der Grundformen 1 und 2

| Grundform 1 | | | | Grundform 2 | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| Durchgehende Fahrbahnen | | Verteilerfahrbahnen | | Durchgehende Fahrbahnen | | Verteilerfahrbahnen | |
| Typ (Länge L) | Anzahl | Typ (Länge L) | Anzahl | Typ (Länge L) | Anzahl | Typ (Länge L) | Anzahl |
| V 1 (100 m < L < 400 m) | 22 | VR 1 (80 m < L < 370 m) | 171 | V 1 (70 m < L < 1300 m) | 122 | VR 1 (50 m < L < 80 m) | 30 |
| | | | | V 2 (100 m < L < 1050 m) | 14 | VR 2 (L = 400 m) | 1 |
| | | | | V 3 (200 m < L < 500 m) | 4 | VR 3 | -/- |
| | | | | V 4 (300 m < L < 500 m) | 4 | VR 4 (180 m < L < 550 m) | 4 |
| Sonderfälle | 3 | | | Sonderfälle | 15 | Sonderfälle | 1 |

Für den Verflechtungsbereichstyp VR 1 (innerhalb von Verteilerfahrbahnen) konnten statistisch abgesicherte Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke, der Verkehrsdichte und den dazugehörigen Verflechtungsgeschwindigkeiten ermittelt werden. In Verflechtungsbereichen vom Typ VR1 ist demnach ein stabiler Verkehrsablauf mit einer ausreichenden Qualität bis zu Verflechtungsverkehrsstärken von ca. 2000 Fz/h bis 2300 Fz/h möglich. Die erreichbaren Verflechtungsgeschwindigkeiten lagen bei diesen Verkehrsstärken zwischen 20 km/h und 30 km/h. Die höchsten Kapazitäten wurden bei etwa gleich hohen Verkehrsstärken und etwa gleich hohen Geschwindigkeiten in den zusammenzuführenden Kraftfahrzeugströmen erreicht.

Die Abschätzung der Auswirkungen ausgewählter Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf hat gezeigt, dass für die überwiegende Anzahl der betrachteten Einflussfaktoren keine wesentlichen Auswirkungen auf die Kapazität und die Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichen ermittelt werden konnten.

Für die Einflussfaktoren

- Länge des Verflechtungsbereiches,
- Länge der Sperrlinie am Anfang des Verflechtungsbereiches,
- Geschwindigkeitsbeschränkungen im Verflechtungsbereich und
- Linienführung der Schleifenrampe

konnten keine gesicherten Abhängigkeiten zu den gewählten Beschreibungsgrößen des Verkehrsablaufes ermittelt werden. In künftigen Bemessungsverfahren für Verflechtungsbereiche in planfreien Knotenpunkten ist eine Berücksichtigung der Einflussfaktoren daher nicht erforderlich.

Unterschiede im Verkehrsablauf konnten dagegen für oben und unten liegende Verflechtungsbereiche in Kleeblattknotenpunkten sowie für verschiedene hohe Schwerverkehrsanteile ermittelt werden. Weiterhin konnten Unterschiede im Verkehrsablauf für verschiedene Verkehrsbelastungskonstellationen in den Verflechtungsbereichen ermittelt werden.

Für den Verflechtungsbereichstyp V 1 (an durchgehenden Fahrbahnen) wurden im Rahmen der empirischen Untersuchungen Verflechtungsverkehrsstärken bis zu 2000 Fz/h ermittelt. Aufgrund der geringen Anzahl von Untersuchungsstellen sind die Ergebnisse für diesen Verflechtungsbereichstyp statistisch weniger abgesichert.

Der Einfluss verschiedener Faktoren auf den Verkehrsablauf konnte aufgrund der nur wenigen empirischen Untersuchungen nicht ermittelt werden. Bezüglich der Wirkungsweise einzelner Faktoren auf den Verkehrsablauf kann aufgrund der intensiven Beschäftigung mit der Gesamtproblematik davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse von Verflechtungsbereichstyp VR 1 an Verteilerfahrbahnen prinzipiell auch auf Verflechtungsbereiche vom Typ V1 an durchgehenden Fahrbahnen in planfreien Knotenpunkten übertragen werden können.

Aufgrund des Fehlens geeigneter Untersuchungsstellen konnten in Verflechtungsbereichen vom Typ VR 1 und V 1 der Grundform 2 (zwischen zwei planfreien Knotenpunkten) nur wenig empirische Untersuchungen zum Verkehrsablauf durchgeführt werden. Die Erstellung von allgemein gültigen Bemessungsdiagrammen sowie die Erarbeitung eines Bemessungsverfahrens war daher für diese Verflechtungsbereiche der Grundform 2 von vornherein nicht möglich.

In Verflechtungsbereichen vom Typ VR1 der Grundform 2 (zwischen zwei planfreien Knotenpunkten) wurden Gesamtverkehrsstärken der Ein-, Durch- und Ausfahrer von maximal 2000 Fz/h gemessen. Eine Verschlechterung der Qualität des Verkehrsablaufes wurde bei diesen Verkehrsstärken aber nicht beobachtet.

Für die Verflechtungsbereichstypen V 1 der Grundform 2 (zwischen zwei planfreien Knotenpunkten) wurden im Rahmen der empirischen Untersuchungen Gesamtverkehrsstärken der Ein-, Durch- und Ausfahrer von bis zu 2300 Fz/h gemessen. Eine deutliche Verschlechterung in der Qualität des Verkehrsablaufes wurde bei diesen Verkehrsstärken nicht beobachtet. Eine Beeinträchtigung der Kraftfahrzeugverkehre im linken Fahrstreifen trat bei den beobachteten Verkehrsstärken ebenfalls nicht auf.

Der Einfluss verschiedener Faktoren auf den Verkehrsablauf konnte aufgrund der nur wenigen empirischen Werte zum Verkehrsablauf in den Verflechtungsbereichen der Grundform 2 nicht untersucht werden. Die im Vergleich zu Verflechtungsbereichen in planfreien Knotenpunkten veränderten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen machten eine Übertragung der Ergebnisse bezüglich der Wirkungsweise einzelner Faktoren auf den Verkehrsablauf auf Verflechtungsbereiche der Grundform 2 nicht möglich.

Die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf bildeten die Grundlage für ein neues Verfahren zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichen. Das entwickelte Verfahren dient der übersichtlichen Berechnung der Kapazität und der Qualität des Verkehrsablaufes in den Verflechtungsbereichstypen VR 1 und V 1 der Grundform 1. Die Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichstypen VR 1 an Verteilerfahrbahnen (Grundform 1) wird anhand der Verflechtungsstärken abgeschätzt. Als Maß für die Qualität des Verkehrsablaufes dient die Verflechtungsgeschwindigkeit (vgl. Tab. 2). In Verflechtungsbereichstypen V 1 an durchgehenden Fahrbahnen (Grundform 1) wird die Qualität des Verkehrsablaufes anhand der Verkehrsstärken der Ein-, Durch- und Ausfahrer abgeschätzt. Als Maß für die Qualität des Verkehrsablaufes dient für diesen Verflechtungsbereichstyp die mittlere Geschwindigkeit der Ein-, Durch- und Ausfahrer am Anfang der Verflechtungsbereiche (vgl. Tab. 3). Die Berücksichtigung des Schwerverkehrs erfolgt über eine Umrechnung in Pkw-Einheiten. Für „unten liegende“ Verflechtungsbereiche wird ein Pkw-Gleichwert von 2,0 Pkw-E angesetzt. Für „oben liegende“ Verflechtungsbereiche wird ein Pkw-Gleichwert von 2,5 Pkw-E angesetzt (Berücksichtigung des unterschiedlichen Fahrverhaltens der Schwerverkehrsfahrzeuge in „oben liegenden“ Verflechtungsbereichen).

Tabelle 2: Qualitätsstufen im Verkehrsablauf für Verflechtungsbereichstypen VR 1 an Verteilerfahrbahnen in planfreien Knotenpunkten

| Qualitätsstufe des Verkehrsablaufes | Verflechtungsgeschwindigkeit [km/h] | Verflechtungsverkehrsstärke $q_{v,rd}$ [Pkw-E/h] |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| A | ≥ 50 | ≤ 840 |
| B | ≥ 40 | ≤ 1.500 |
| C | ≥ 35 | ≤ 1.800 |
| D | ≥ 30 | ≤ 2.100 |
| E | ≥ 24 | ≤ 2.300 |
| F | < 24 | ≤ 2.300 |

Tabelle 3: Qualitätsstufen im Verkehrsablauf für Verflechtungsbereichstypen V 1 an durchgehenden Fahrbahnen in planfreien Knotenpunkten

| Qualitätsstufe des Verkehrsablaufes | Geschwindigkeit der Einfahrer [km/h] | Mittlere Geschwindigkeit Durch- und Ausfahrer [km/h] | Verflechtungsverkehrsstärke $q_{v,net}$ [Pkw-E/h] |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| A | 55 – 65 | 85 – 105 | ≤ 1.100 |
| B | 45 – 55 | 65 – 85 | ≤ 1.700 |
| C | | | |
| D | 35 – 45 | 45 – 65 | ≤ 2.200 |
| E* | 30 – 35 | 40 – 45 | ≤ 2.400 |
| F* | < 30 | < 40 | > 2.400 |

4. Folgerungen für die Praxis

Das im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelte Verfahren zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes in Verflechtungsbereichen bildet die Grundlage für ein entsprechendes Kapitel in künftigen Neufassungen des Handbuches für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS).

Aus den Ergebnissen der Dokumentation von Verflechtungsbereichen sowie den Ergebnissen bezüglich des Fahrverhaltens in den verschiedenen Verflechtungsbereichstypen wurden zusätzlich Anregungen für die entwurfstechnische Gestaltung von Verflechtungsbereichen formuliert, die im Rahmen der Erarbeitung neuer Richtlinien und Entwurfshinweise für Verflechtungsbereiche beziehungsweise planfreie Knotenpunkte abschließend diskutiert werden müssen. Die Hinweise beziehen sich dabei

ausschließlich auf Verflechtungsbereichstypen VR 1 der Grundform 1. Nur für diesen Verflechtungsbereichstyp wurden ausreichend viele empirische Untersuchungen zum Verkehrsablauf durchgeführt, um Hinweise für den Entwurf von Verflechtungsbereichen formulieren zu können.

- Die in den Richtlinien angegebene Mindestlänge von 230 m bis 300 m für die Verflechtungsbereichstypen VR 1 der Grundform 1 wird in der Praxis vielfach unterschritten. Aufgrund kurzer Sperrlinien am Anfang der Verflechtungsbereiche wird die in den Richtlinien angegebene Mindestlänge zum Verflechten von 130 m bis 170 m in der Regel aber in allen Verflechtungsbereichen eingehalten. Die empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf zeigen deutlich, dass der überwiegende Teil der Fahrstreifenwechsel im ersten und zweiten Drittel der Verflechtungsbereiche stattfindet. Im letzten Drittel der Verflechtungsbereiche wurden fast keine Fahrstreifenwechsel beobachtet. Es ist daher zu empfehlen, die in den Richtlinien angegebene Mindestlänge zum Verflechten für den Verflechtungsbereichstyp VR 1 der Grundform 1 auf 80 m bis 120 m zu verkürzen. Auch bezüglich der Verkehrssicherheit wurden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit keine Auffälligkeiten in kürzeren Verflechtungsbereichen beobachtet.
- Die in den Richtlinien angegebene Mindestlänge der Sperrlinien am Anfang der Verflechtungsbereiche von 50 m bis auf 80 m wird in der Praxis meist unterschritten. Von den Kraftfahrern werden die Sperrlinien vielfach nicht beachtet und häufig überfahren. Im Rahmen der empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf wurde weiterhin beobachtet, dass die Fahrbahnstreifenwechsellpunkte maßgebend von den Verkehrsbelastungskonstellationen in den zusammenführenden Kraftfahrzeugströmen beeinflusst werden. Die zur Verdeutlichung der Parallelstellung der Kraftfahrzeuge vorhandenen Sperrlinien am Anfang der Verflechtungsbereiche werden dann nur noch wenig beachtet. Eine Verkürzung der Mindestlänge der Sperrlinien am Anfang von Verflechtungsbereichstypen VR 1 der Grundform 1 auf 20 m bis 50 m ist daher ebenfalls naheliegend. □