

Ausbildung von Fahrstreifen im Knotenbereich

Aménagement des voies de circulation dans les carrefours

**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,
Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik,
Strassen- und Eisenbahnbau (IVT)
I. Belopitov, dipl. Ing.
P. Spacek, dipl. Ing. ETH**

**Forschungsauftrag 9/88 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)**

Dezember 1996

378

Ausbildung von Fahrstreifen im Knotenbereich

I. Belopitov und P. Spacek

Forschungsarbeit Nr. 9/88
des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschafts-
departementes

Zürich, Dezember 1996

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<i>Zusammenfassung / Résumé</i>	VI
1. EINLEITUNG	1
1.1 Ausgangslage und Problematik	1
1.2 Auftrag	1
1.3 Abgrenzungen	2
2. VORGEHEN UND GRUNDLAGEN	3
2.1 Methodischer Ansatz	3
2.2 Generelles Vorgehen	4
2.3 Grundlagen	5
3. ERHEBUNGEN	6
3.1 Vorversuch	6
3.1.1 Versuchsanordnung	6
3.1.2 Auswertungen	7
3.1.3 Ergebnisse	12
3.2 Hauptversuch	16
3.2.1 Untersuchungsknoten	16
3.2.2 Messanlage	18
3.2.3 Messanordnung	19
3.2.4 Durchgeführte Auswertungen	21
3.3 Ergebnisse des Hauptversuches	25
3.3.1 Knotengruppen	25
3.3.2 Geschwindigkeits- und Verzögerungs- bzw. Beschleunigungswerte in den Knotengruppen	27
3.3.3 Zusammenhänge im Bereich der Verziehung	28
3.3.4 Zusammenhänge im Bereich der Vorsortierung	32
3.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse	34
3.4 Vergleiche mit anderen Messergebnissen	36
3.5 Folgerungen aus den Erhebungen	39

4.	SONDERERHEBUNG FAHRSTREIFENBREITEN	41
4.1	Untersuchungsstrecken	41
4.2	Unfallgeschehen	42
4.3	Ergebnisse	42
4.4	Folgerungen	46
5.	GRUNDLAGEN FÜR DIE NORMUNG	47
5.1	Vorbemerkungen	47
5.1.1	Aufbau dieses Kapitels	47
5.1.2	Neues Normungskonzept der VSS	47
5.2	Breiten der Fahrstreifen	49
5.2.1	Normkritik	49
5.2.2	Erkenntnisse aus den Erhebungen	51
5.2.3	Empfehlungen in anderen Richtlinien	52
5.2.4	Vorschläge für die neue Norm	54
5.3	Längen der Fahrstreifen	66
5.3.1	Normkritik	66
5.3.2	Erkenntnisse aus den Erhebungen	69
5.3.3	Empfehlungen in anderen Richtlinien	69
5.3.4	Vorschläge für die neue Norm	71
5.3.5	Längenelemente bei HLS-Anschlüssen	76
5.4	Geometrie der Strassenränder und Fahrstreifen	77
5.4.1	Verbindung der Knotenäste	77
5.4.2	Aufweitung und Verengung der Knotenäste	78
5.5	Inseln und Sperrflächen	79
5.5.1	Begriffe und Merkmale; Anwendungsbereich	79
5.5.2	Inseltypen	80
5.5.3	Mindestabmessungen der Inseln	80
5.5.4	Geometrie der Inseln	80
5.5.5	Geometrie der Sperrfläche	85
5.6	Vorgehen bei der Konstruktion der Vorsortierstreifen	86

QUELLENVERZEICHNIS	88
--------------------	----

ANHANG

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1: Generelles Vorgehen
- Abb. 2: Schematische Knotengeometrie am Beispiel der vortrittsberechtigten Zufahrt
- Abb. 3: Geometrische Angaben zu den Knotenzufahrten der Gruppe 1. "Linksabbiegen - ausserorts"
- Abb. 4: Zufahrts- und Abbiegegeschwindigkeiten bei der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"
- Abb. 5: Abstände der Reaktionsorte (m) bis zum Haltebalken bei der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"
- Abb. 6: Verzögerungswerte a_1 , a_2 und a_3 (m/s^2) bei den Reaktionen, am Beispiel der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"
- Abb. 7: Maximale Werte der Beschleunigung ($+a_{\text{max}}$) und der Verzögerung ($-a_{\text{max}}$) im gesamten Zufahrtsbereich, am Beispiel der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"
- Abb. 8: Mittelwerte der durchschnittlichen Verzögerungen a_1 , a_2 und a_3 ($-\text{m/s}^2$), gegliedert nach Gruppen von Verkehrsvorgängen
- Abb. 9: Ansicht einer Knotenzufahrt mit aufgestellten Messpfosten
- Abb. 10: Messanordnung bei kurzen Verziehbereichen und Linksabbiegestreifen
- Abb. 11: Messanordnung bei langen Verziehbereichen und Linksabbiegestreifen
- Abb. 12: Schematische Geometrie und Anordnung der Geschwindigkeitsquerschnitte in den Zufahrten der Untersuchungsknoten
- Abb. 13: Geschwindigkeitsverläufe der $V_{85\%}$ und der V_m am Beispiel des Knotens Nr. 1
- Abb. 14: Mittlere Verzögerungen (a_m) am Beispiel des Knotens Nr. 1
- Abb. 15: Geschwindigkeitsverteilungen am Beispiel des Knotens Nr. 1
- Abb. 16: Geschwindigkeitsverläufe und Verzögerungen für Einzelfahrzeuge am Beispiel des Knotens Nr. 1
- Abb. 17: Geschwindigkeiten $V_{85\%}$, V_m (links) und mittlere Verzögerungen a_m (rechts) aller Fahrzeuge in den Knotenzufahrten; Vergleich lange/kurze Verziehbereiche
- Abb. 18: Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten *mit Inseln*; Vergleich lange/kurze Verziehbereiche
- Abb. 19: Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten *ohne Inseln*; Vergleich lange/kurze Verziehbereiche
- Abb. 20: Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten mit *langen* Verziehbereichen; Vergleich mit/ohne Inseln
- Abb. 21: Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten mit *kurzen* Verziehbereichen; Vergleich mit/ohne Inseln
- Abb. 22: Geschwindigkeitsverteilungen an Querschnitten in Verziehbereichen der Knoten Nr. 1 und 2
- Abb. 23: $V_{85\%}$ in Funktion der Länge der Verziehung (L_v) in den Querschnitten Q_{Zu} bis Q_{II}
- Abb. 24: Geschwindigkeiten $V_{85\%}$, V_m (links) und mittlere Verzögerungen a_m (rechts) aller Linksabbieger in den Vorsortierungen; Vergleich lange/kurze Linksabbiegestreifen

- Abb. 25: Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte aller Linksabbieger in Knotenzufahrten mit *langen* Linksabbiegestreifen; Vergleich mit/ohne Inseln (Knotengruppe 5/6)
- Abb. 26: Geschwindigkeitsverläufe aller Durchfahrer und Linksabbieger in Knotenzufahrten aus [6]
- Abb. 27: Verläufe der mittleren Verzögerungen aller Linksabbieger in Knotenzufahrten aus [6]
- Abb. 28: Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe an Knoten Nr. 2 und 3 bzw. Nr. 1 und 4
- Abb. 29: Vergleich der Verläufe der mittleren Verzögerungen an Knoten Nr. 2 und 3 bzw.
- Abb. 30: Verteilung der Breiten zwischen Insel und Trottoir an den Messorten in der Stadt Zürich
- Abb. 31: Mittlere Unfalldichte nach Abschnittsgruppen
- Abb. 32: Mittlere Unfalldichte bei Abschnitten mit Inseln gegliedert in Gruppen nach der Insellänge
- Abb. 33: Mittlere Unfalldichte in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite bei Abschnitten mit kurzen, mit mittellangen und mit langen Inseln
- Abb. 34: Mittlere Unfalldichte in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite bei Abschnitten ohne und mit Radstreifen im Inselbereich
- Abb. 35: Arten von Fahrstreifen in Knoten, aus [1]
- Abb. 36: Vergleich der Verziehungslängen L_v nach VSS-Norm [1] und nach den deutschen Richtlinien [2]
- Abb. 37: Arten von Linksabbiegestreifen
- Abb. 38: Arten von Rechtsabbiegestreifen
- Abb. 39: Festlegungen zur Berechnung des Verzögerungsbereiches
- Abb. 40: Ausbildung des Inselkopfes bei einer Trenninsel
- Abb. 41: Ausbildung der tropfenförmigen Leitinsel
- Abb. 42: Ermittlung von e
- Abb. 43: Ermittlung von R_1 und R_2
- Abb. 44: Form der Schutzinsel
- Abb. 45: Ausbildung der Sperrfläche zur Einleitung eines Linksabbiegestreifens
- Abb. 46: Vorgehen bei der Konstruktion der Vorsortierung in Knoten

TABELLENVERZEICHNIS

- Tab. 1: Stichprobengrösse im Vorversuch
- Tab. 2: Minimale/maximale Werte der mittleren Geschwindigkeiten je Gruppe von Verkehrsvorgängen
- Tab. 3: Mittelwerte der maximalen Verzögerungen gegliedert nach Gruppen von Verkehrsvorgängen
- Tab. 4: Geometrische Merkmale der Untersuchungsknoten
- Tab. 5: Übersicht Auswertegrössen für Knoten Nr. 1
- Tab. 6: Knotengruppen
- Tab. 7: Verziehungslängen (LV) bei den Untersuchungsknoten
- Tab. 8: Geschwindigkeiten und Verzögerungen der Fahrzeuggruppe "alle Fahrzeuge" im Bereich der Verziehungsstrecken
- Tab. 9: Geschwindigkeiten und Verzögerungen der Fahrzeuggruppe "Linksabbieger" im Bereich der Linksabbiegestreifen
- Tab. 10: Konzept der Normgruppe "Knoten" gemäss VSS-Subkommission 173/3
- Tab. 11: Empfohlenen Fahrstreifenbreiten in Knoten aus [16]
- Tab. 12: Zuordnung deutsche Richtlinien / Strassentypen nach VSS
- Tab. 13: Ausweisung der Zuschläge bei Knoten mit Inseln
- Tab. 14: Ausweisung der Zuschläge bei Knoten mit Sperrflächen
- Tab. 15: Ausweisung der Zuschläge bei Knoten mit offener Einleitung
- Tab. 16: Massgebende Geschwindigkeiten in Knoten ausserhalb besiedelter Gebiete
- Tab. 17: Massgebende Geschwindigkeiten in Knoten innerhalb besiedelter Gebiete
- Tab. 18: Vorschlag für die Bemessung des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlages in Knoten
- Tab. 19: Ermittlung von Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Inseln auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete
- Tab. 20: Ermittlung von Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Sperrflächen auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete
- Tab. 21: Übersicht Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Inseln
- Tab. 22: Übersicht Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Sperrflächen
- Tab. 23: Längen der Verzögerungsbereiche
- Tab. 24: Vergleich der Längenabmessungen gemäss [1] und nach neuem Vorschlag
- Tab. 25: Masse von tropfenförmigen Leitinseln

Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind Vorschläge zur Ausbildung von Fahrstreifen im Bereich von Knoten in einer Ebene und ohne Kreisverkehr. Sie dient zur Revision der bestehenden, aus dem Jahr 1972 stammenden VSS-Norm SN 640 266 "Knoten, Elemente".

Zu diesem Zweck wurden, unter Berücksichtigung der Kritik aus der Praxis, eine detaillierte Analyse der bestehenden Norm durchgeführt und neuere in- und ausländische Forschungsergebnisse und Richtlinien ausgewertet. Im zweiten Schritt wurden verkehrstechnische Erhebungen des Fahrverhaltens sowie eine Sondererhebung zu den Fahrstreifenbreiten in Knoten durchgeführt. In einem dritten Untersuchungsteil wurden aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse die Grundlagen für die Normrevision erarbeitet.

Aus den *Messungen des Fahrverhaltens* in Knotenzufahrten auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete ergab sich grundsätzlich, dass die Geschwindigkeiten zu Beginn der Knotenzufahrt erhöht sind und die Reduktion der Geschwindigkeit im Knotenbereich selbst nur gering ist. Es zeigte sich zudem, dass die Längen der Verziehungsstrecken nur einen geringen Einfluss auf die Geschwindigkeiten haben und dass die Verzögerungsvorgänge der Linksabbieger –unabhängig von der Länge der Linksabbiegestreifen– bereits im Bereich der Verziehung beginnen. Eine Verkürzung der Linksabbiegestreifen führt in erster Linie zu einer räumlichen Ausdehnung der Verzögerungsvorgänge. In den Linksabbiegestreifen wählen die Fahrzeuglenker ihre Geschwindigkeit weitgehend unabhängig von deren Länge.

Durch die Anordnung von Inseln in Knoten ergeben sich im gesamten Knotenbereich etwas niedrigere Geschwindigkeiten (und somit eine bessere Einhaltung der Tempolimits) und vor allem gleichmässiger Geschwindigkeitsverläufe als in Knotenzufahrten ohne Inseln. Das Geschwindigkeitsniveau in den Knotenbereichen, vor allem jenes der schnelleren Fahrzeuggruppe, lässt sich jedoch weder mit den Längen noch mit den Inseln massgeblich beeinflussen.

Gegenstand der *Sondererhebung* waren die Durchfahrtsbreiten im einstreifigen Bereich zwischen erhöhten baulichen Randabschlüssen (i.a. Insel/Trottoir). Für diese werden in der bestehenden VSS-Norm Breiten zwischen 4.5 und 5.0 m empfohlen. Aufgrund von Breitenaufnahmen auf über 40 Untersuchungsstrecken mit ca. 70 Inselbereichen konnte anhand von Unfallauswertungen gezeigt werden, dass auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete die Ausführung von reduzierten Breiten im einstreifigen Bereich nicht zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit in den Knotenzufahrten führt. Die niedrigsten Unfalldichten ergaben sich bei Breiten zwischen 3.0 und 3.4 m (ohne Radstreifen) bzw. zwischen 3.5 und 4.1 m (mit Radstreifen).

Die wichtigsten *Vorschläge für die revidierte VSS-Norm* sind nachfolgend zusammengestellt:

Für die *Fahrstreifenbreiten* in Knoten wird empfohlen, sie grundsätzlich in Anlehnung an die bestehende VSS-Normen über "Geometrisches Normalprofil" zu bestimmen. Dazu wurden Anweisungen erarbeitet bezüglich

- Ausweisen der Sicherheitszuschläge und des Gegenverkehrszuschlages im Lichtraumprofil
- massgebende Geschwindigkeiten im Knotenbereich
- Bemessung des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlages.

Bei den *Längenelementen* betreffen die wichtigsten Anpassungen

- eine deutliche Verkürzung der zur Aufweitung des Strassenquerschnittes notwendigen Längen von Verziehungsstrecken
- neue Definition der Teilbereiche innerhalb der Vorsortierung; insbesondere wird der Verzögerungsbereich nicht mehr in allen Anwendungsfällen ausgewiesen und sein Beginn fällt nicht mehr mit dem Ende, sondern mit dem Beginn des Ausscherbereiches zusammen.

Durch diese Anpassungen ergeben sich in Knoten deutlich kürzere Vorsortierstreifen als in der bestehenden VSS-Norm empfohlen.

Bei den *Inseln und Sperflächen* wurden angepasste Konstruktionsverfahren erarbeitet. Insbesondere wird empfohlen, alle Leit- und Trenninseln auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete stets mit einer deutlichen Abrückung des dem Verkehr zugewandten Inselkopfes vom Fahrstreifenrand auszuführen. Diese Abrückung bewirkt, dass aus der Fahrersicht eine trichterförmige Einengung der Fahrbahn erscheint. Dadurch wird die Erkennbarkeit der Insel (als ein optisches Hindernis) sowie des nachfolgenden Knotens verbessert und der Fahrzeuglenker soll zur Geschwindigkeitsanpassung veranlasst werden.

Résumé

Le mandat de recherche s'occupe de l'élaboration de propositions pour l'aménagement des voies de circulation dans les carrefours à niveau et sans giratoire. La recherche sert pour la révision de la norme VSS actuelle SN 640 266 "Nœuds routiers, éléments", qui date de l'année 1972.

A cette fin la norme existante était analysé en détail en tenant compte de la critique de la pratique et les recherches et normes nationales et internationales étaient dépouillées dans une première partie des travaux. La deuxième partie était consacrée à un recensement du comportement des conducteurs ainsi qu'à une enquête spéciale concernant la largeur des voies d'accès aux carrefours. En connaissance de ces résultats, dans une troisième partie une proposition pour la révision de la norme actuelle était élaborée.

Les mensurations du comportement des conducteurs sur les voies d'accès aux carrefours en zones rurales ont conclu qu'au début des accès les vitesses sont élevées (par rapport aux limites de vitesse) et que la réduction de la vitesse en passant les carrefours est minime. En outre, la longueur de la zone d'élargissement n'a que peu d'effet sur les vitesses choisies et les procès de ralentissement des tournés-à-gauche commencent déjà dans la zone d'élargissement indépendamment de la longueur de la voie de présélection. Racourcir la longueur des voies de présélection mène en premier lieu à un étalement dans l'espace des procès de ralentissement. Les conducteurs qui tournent à gauche choisissent leur vitesse plus ou moins indépendamment de la longueur de la voie de présélection.

Dans les carrefours avec îlots les vitesses observées étaient un peu plus basses (donc une meilleure observation des limites de la vitesse) et avant tout plus régulières que dans les carrefours sans îlots. Apparemment ni la longueur des voies de présélection ni les îlots ne peuvent influencer le niveau de la vitesse dans les carrefours – surtout pas celui du groupe de véhicules plus rapides.

L'enquête spéciale traitait les largeurs des tronçons à sens unique limités de chaque côté par des bordures surélevées, par exemple îlots et/ou trottoirs. Pour ces tronçons la norme VSS actuelle recommande des largeurs de 4.50 à 5.00 m. Dans plus de 40 carrefours en zones urbaines avec plus de 70 tronçons les largeurs entre îlot et trottoir furent mesurées et comparées avec les taux d'accidents. Le dépouillement a montré que l'application de largeurs réduites dans ces tronçons à sens unique ne diminue pas la sécurité routière. Les taux d'accident passent un minimum aux largeurs entre bordures entre 3.0 et 3.4 m (cas sans bande cyclable) et entre 3.5 et 4.1 m (cas avec bande cyclable).

Les propositions les plus importantes pour la révision de la norme actuelle sont présentées ci-après:

Pour les largeurs des voies dans les carrefours en principe il convient de les déterminer selon le jeu des normes "Profil géométrique type".

Des instructions furent préparées concernant

- les marges de sécurité et la marge du supplément pour un gabarit de circulation bidirectionnelle
- les vitesses déterminantes dans le carrefour
- les dimensions de la marge de mouvement et celle du supplément pour circulation bidirectionnelle.

Concernant les éléments en longueur les adaptations les plus importantes sont:

- une réduction significative des longueurs nécessaires pour la variation du profil en travers dans les zones d'élargissement
- une nouvelle définition de la répartition en zones des voies de présélection; en particulier la zone de décélération ne s'applique plus en tout cas et son début ne correspond plus à la fin de la zone de déboîtement mais au début.

Par conséquence les voies de présélection résultant de ces adaptations sont bien plus courtes que selon la norme existante.

Concernant les îlots et les surfaces interdites on a établi des méthodes de construction adaptées. En zone rurales on propose en particulier de toujours construire tous les îlots directionnels et séparateurs avec un retrait important de la tête d'îlot. Par rapport au bord gauche de la voie ce rétrécissement pousse la tête de l'îlot encore plus loin vers la gauche. C'est-à-dire pour le conducteur la voie apparaîtra en forme d'un entonnoir. De cette manière la visibilité de l'îlot (comme obstacle optique) ainsi que celle du carrefour sont améliorées et amènent le conducteur à adapter sa vitesse.

1. EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage und Problematik

Die bestehende VSS-Norm SN 640 266 "Knoten, Elemente" [1] enthält Richtwerte, Bemessungs- und Konstruktionshinweise für Projektierungselemente in Knoten. Diese, aus dem Jahr 1972 stammende Norm basiert auf den Erkenntnissen der 60-er Jahre. In diesem Zeitraum hatten höhere (teilweise noch keine) generelle Tempolimiten auf Strassen gegolten als heute.

Praktische Erfahrungen mit dieser Norm haben gezeigt, dass mehrere der empfohlenen Richtwerte in besiedelten Gebieten nicht eingehalten werden können. Dies führte dazu, dass diese Norm vor allem in Städten praktisch nicht angewendet wird. Auch auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete resultieren aus dieser Norm -teilweise durch ihre falsche Auslegung- grossräumige Knoten mit schlechter Kanalisierungswirkung und dementsprechend mangelnder Geschwindigkeitsanpassung. Solche Knoten weisen oft ein erhöhtes Gefahrenniveau auf.

Einer der Schwerpunkte der Kritik aus der Praxis sind die Abmessungen der Fahrstreifen (Längen und Breiten) im Knotenbereich.

Bei den Fahrstreifenlängen sind umstritten die

- Längen der Aufweitungen in den Knotenzufahrten (sogenannte Verziehungslängen) und
- Längen der Vorsortierstreifen, insbesondere die Verzögerungsbereiche.

Die bisherige Unterscheidung bei den Fahrstreifenbreiten nach Strassentyp und Lage, mit Breitenangaben für drei Arten von Fahrstreifen genügt den heutigen Anforderungen nicht mehr. In der Praxis wird eine weitergehende Differenzierung erwünscht, wie z.B.

- nach Fahrrichtung (Zufahrtsrichtung zum Knoten / Wegfahrtsrichtung vom Knoten),
- nach Art der Fahrstreifenabgrenzung (baulich, z.B. mit Insel oder nur mit Markierungslinie oder Sperrfläche),
- nach Länge der baulichen Fahrstreifenabgrenzung (lange Insel / nur kurze Insel).

In neueren ausländischen Richtlinien werden niedrigere und differenziertere Richtwerte angegeben als in der genannten VSS-Norm.

Im Gegensatz zu den Knoten à niveau, haben sich die Normempfehlungen für Anschluss- und Verzweigungsbereiche an den Hochleistungsstrassen (HLS) weitgehend bewährt.

1.2 Auftrag

Aufgrund dieser Ausgangslage wurde das Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) an der ETH Zürich beauftragt, Richtwerte, Konstruktionshinweise und Bemessungsverfahren für die Ausbildung von Fahrstreifen in Knoten zu erarbeiten. Diese dienen als Grundlage für die Revision der VSS-Norm SN 640 266 "Knoten, Elemente" [1].

In der Zwischenzeit wurden verschiedene neue Projektierungsnormen, insbesondere jene über "Geometrisches Normalprofil" (SN 640 200÷640 202) und über "Strassentypen" (SN 640 040 ÷ 640 045) veröffentlicht. Sie müssen als Randbedingungen berücksichtigt werden. Die Normen über die Strassentypen ermöglichen zudem eine grössere Differenzierung der Richtwerte im Bezug auf die Knotengestaltung.

Für die vorliegende Arbeit wirkt sich der Umstand erschwerend, dass der bestehenden Norm [1] kein Forschungsbericht zugrunde liegt. Die in dieser Norm enthaltenen Richtwerte und Konstruktionsanleitungen können somit nicht oder nur bedingt nachvollzogen werden.

1.3 Abgrenzungen

Bei der Untersuchung wurde von folgenden Abgrenzungen ausgegangen:

Der Gegenstand der Untersuchung sind *Knoten à niveau ohne Kreisverkehr* 1). Im Vordergrund steht die fahrdynamische Beurteilung von Fahrstreifenlängen und -breiten im Knotenbereich. Aus diesem Grund werden Knoten an untergeordneten Strassen mit Massnahmen zur Verkehrsberuhigung, bzw. solche in Gebieten mit Zonensignalisation "Tempo 30" nicht in die Erhebungen einbezogen.

Keine Erhebungen werden auch -aus den in 1.1 genannten Gründen- im Bereich von *Anschlüssen/Verzweigungen an HLS* durchgeführt. Allfällige Anpassungsvorschläge in diesem Bereich können nur aus Vergleichen mit anderen Richtlinien oder Ergebnissen aus neueren Forschungsarbeiten abgeleitet werden. Dabei muss jedoch die Homogenität im Ausbaugrad des grösstenteils bereits erstellten HLS-Netzes Rechnung getragen werden.

Ebenso wird auf Aspekte im Zusammenhang mit der Führung des *leichten Zweiradverkehrs*, bzw. mit der Gestaltung von Anlagen für diese Verkehrsart in Knotenbereichen nicht eingegangen. Sie werden in einem anderen Forschungsauftrag des EVED untersucht.

1) Die Projektierungsgrundlagen für Verkehrskreisel werden im Rahmen eines anderen Forschungsauftrages des EVED erarbeitet.

2. VORGEHEN UND GRUNDLAGEN

2.1 Methodischer Ansatz

Die Knotenbereiche, in welchen sich verschiedene Verkehrsteilnehmer die gleiche Verkehrs- bzw. Konfliktfläche teilen müssen und wo die Fahrzeuglenker relativ anspruchsvolle Fahrvorgänge und rasche Reaktionen ausführen, bzw. Entscheide treffen müssen, stellen im Strassennetz ein beträchtliches Potential an Verkehrsgefährdung dar. Dies wird auch durch die Unfallstatistik bestätigt: Rund ein Drittel aller Strassenverkehrsunfälle in der Schweiz ereignen sich in Knoten. Kreuzungen und Einmündungen müssen somit stets als potentielle Gefahrenstellen im Strassennetz angesehen werden. Deshalb kommt der Knotengestaltung eine wichtige Bedeutung zu.

Aus dem Standpunkt der Verkehrssicherheit steht dabei die Ausbildung der *Knotenzufahrten* im Vordergrund. Dies kommt auch in den sicherheitsorientierten Grundsätzen, die in vielen Richtlinien (u.a. in [2], [3], [4]) als Forderungen an die Gestaltung enthalten sind, zum Ausdruck. Demnach sollen die Knoten

- sichtbar und als solche erkennbar,
- übersichtlich,
- begreifbar und
- befahrbar

sein. Drei dieser Forderungen beziehen sich auf die Knotenzufahrten.

Für die Verbesserung der Verkehrssicherheit ist die Erhöhung der Aufmerksamkeit der Fahrzeuglenker und die Anpassung der Fahrgeschwindigkeiten *vor dem Knoten* (bzw. vor der potentiellen Gefahrenstelle) wesentlich. Es kommt nicht von ungefähr, dass in der Fahrer-ausbildung auf die Bremsbereitschaft vor jedem Knoten geachtet wird. Die Neulenker sollen dadurch ihren Verkehrssinn dahingehend stimulieren, dass in Knotenbereichen auch mit plötzlichen und unerwarteten Fahrmanövern und Querungen anderer Konfliktpartner stets gerechnet werden muss.

Daraus resultiert eine wichtige Projektierungsaufgabe: Die Ausbildung von Knotenzufahrten, bzw. ihr visuelles Erscheinungsbild aus der Fahrersicht muss zur Aufmerksamkeitserhöhung anregen und die Fahrzeuglenker zur Geschwindigkeitsanpassung vor dem Knoten veranlassen. Diese Forderung bezieht sich sowohl auf die vortrittsbelasteten ab-/einbiegende Ströme als auch auf die durchgehenden Ströme in der Geradeausrichtung. Zu diesem Zweck ist eine straffe optische Führung in den Knotenzufahrten zwingend.

Im Geschwindigkeitsprofil der vortrittsberechtigten Fahrrichtung sollten idealerweise eine Verzögerung vor dem Knoten und eine anschliessende Beschleunigung nach der Querung der Konfliktzone bzw. in der Knotenausfahrt, wo ein zügiges Abfließen auch der Verarbeitungskapazität förderlich ist, auftreten. Die Fahrtabläufe können im realen Verkehrsablauf messtechnisch erfasst werden. Wenn zudem die Geometrie der Fahrstreifen im Knotenbereich bekannt ist, so lassen sich ihre Auswirkungen beispielsweise auf das Geschwindigkeitsverhalten abschätzen. Diese Absicht wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung verfolgt. Verkehrstechnische Erhebungen drängen sich auch deshalb auf, weil sie bei der seinerzeitigen Erarbeitung der bestehenden Norm [1] vermutlich nicht durchgeführt wurden und weil die Auswirkungen der seit der Normeingführung eingeführten generellen Tempolimits nicht überprüft wurden.

Die Geometrie der Fahrstreifen in der Knotenzufahrt ¹⁾ ist im wesentlichen durch ihre Länge und Breite sowie durch ihre Verziehnungsneigung gegeben. Zur Ermittlung der Einflüsse der Geometrie auf das Geschwindigkeitsverhalten müssen deshalb Untersuchungsobjekte gewählt werden, die sich in den Abmessungen der genannten Elemente möglichst deutlich unterscheiden. Zur Abschätzung des Einflusses von Fahrstreifenbreiten wurde in letzter Zeit eine Vielzahl von

¹⁾ Unter "Knotenzufahrt" wird in dieser Untersuchung der Abschnitt zwischen Beginn der Verziehung (Querschnittsänderung freie Strecke/Knoten) und Ende der Vorsortierung vor dem Konfliktbereich des Knotens verstanden.

Untersuchungen bereits durchgeführt. Die Ergebnisse sind in verschiedene neuere Normen und Richtlinien eingegangen. Aus diesem Grund soll sich die Wahl geeigneter Untersuchungsobjekte auf die Unterschiedlichkeit der Längenabmessungen im Knotenbereich ausrichten.

In den letzten Jahren wurden bei einer Vielzahl von Aus- und Neubauten auch Knotengestaltungen ausgeführt, die aus den in 1.1 erwähnten Gründen in den Abmessungen von Richtwerten der bestehenden Norm [1] abweichen. Dies betrifft vor allem Fahrstreifenbreiten in Knoten innerhalb besiedelter Gebiete, wo vielfach Einengungen zur Verbesserung der Überquerbarkeit für Fußgänger oder zu Gunsten des leichten Zweiradverkehrs vorgenommen worden waren. Es wäre somit angezeigt, anhand von Beispielen zu prüfen, wie sich diese Gestaltungen in der Praxis bewährt haben, vor allem hinsichtlich der Sicherheit.

2.2 Generelles Vorgehen

Aufgrund der Überlegungen in 2.1 wurde ein Vorgehen gewählt, das in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist.

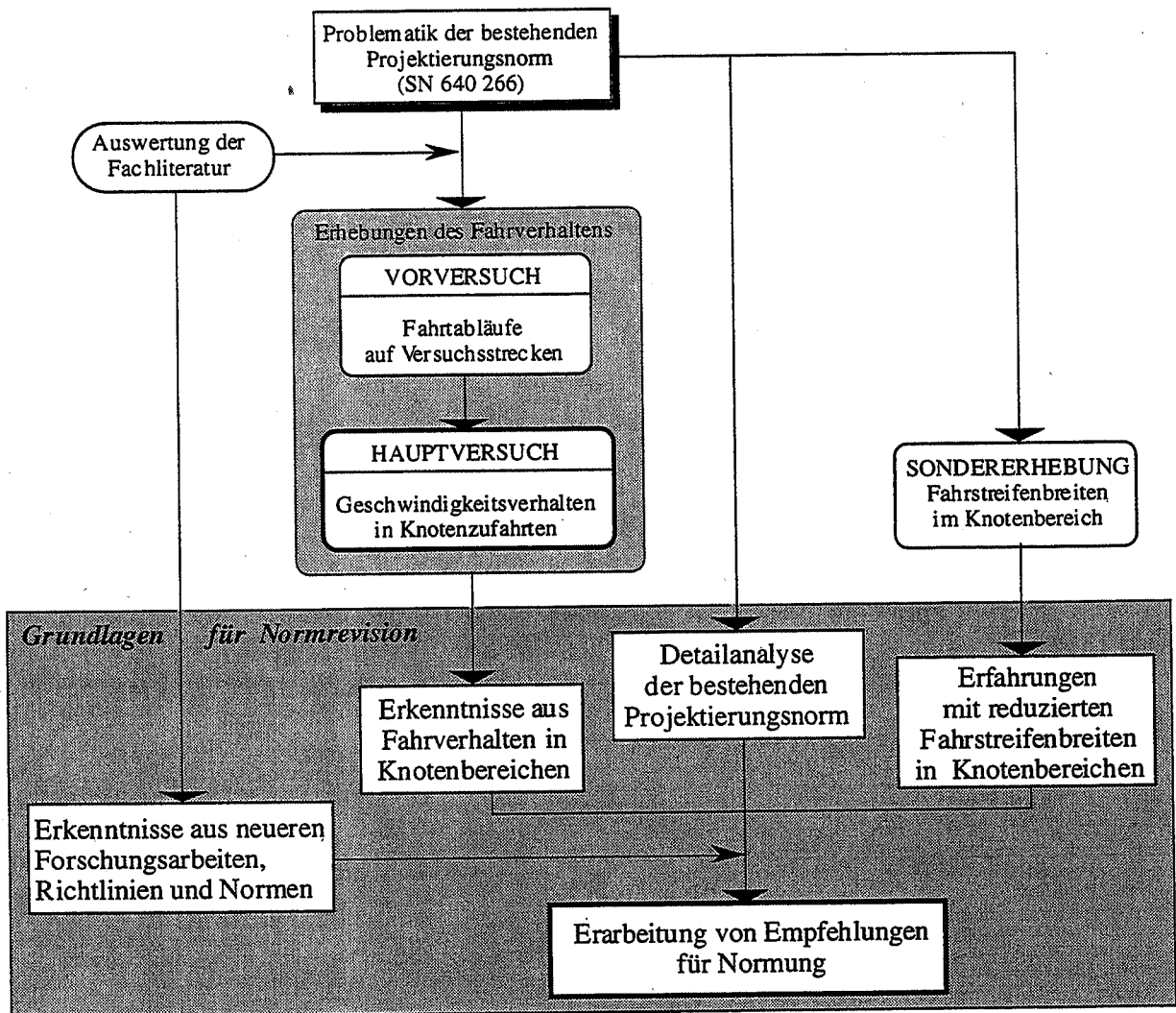


Abb. 1: Generelles Vorgehen

Ausgehend von der in 1.1 beschriebenen Problematik der bestehenden Norm [1] wurde eine umfassende Auswertung der fachlichen Literatur vorgenommen. Dabei hat sich generell gezeigt, dass neuere ausländische Richtlinien differenziertere Projektierungsempfehlungen für Knoten

enthalten, und dass auf Strassen innerhalb besidelter Gebiete ein, gegenüber der bestehenden VSS-Norm [1] deutlich reduzierter Ausbaugrad für Knoten in Kauf genommen wird.

Die Längenbemessung von Knotenaufweitungen und Vorsortierstreifen in der der bestehenden VSS-Norm [1] basiert auf einem bestimmten fahrdynamischen Modell. In einer zweiten Untersuchungsphase wurden deshalb verkehrstechnische Erhebungen durchgeführt: Durch Messungen der Bewegungsabläufe linksabbiegender und geradeausfahrender Fahrzeuge in den Knotenzufahrten soll die Übereinstimmung des Modells mit dem tatsächlichen Fahrverhalten überprüft werden.

Dabei wurden in einem ersten Schritt Fahrtabläufe auf Versuchstrecken aufgenommen und ausgewertet. Dieser *Vorversuch* (vgl. in 3.1) diente dazu, einen generellen Überblick über das Fahrverhalten und Grundlagen für den Hauptversuch (Auswahl von Untersuchungsknoten und der Messanordnung) zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurden zwei Versuchstrecken festgelegt und mit einem speziell ausgerüsteten Fahrzeug befahren. Die Kenngrößen der Fahrtabläufe wurden dabei aufgezeichnet. Die Messfahrten wurden nur mit einigen wenigen Versuchsfahrern durchgeführt.

Beim *Hauptversuch* (vgl. in 3.2) beschränkte man sich auf ausgewählte Knotenzufahrten, deren Geometrie im Detail aufgenommen wurde. Im Gegensatz zu Vorversuch wurden hier die Geschwindigkeitsverläufe mit Hilfe der stationären Messungen ermittelt. Dabei konnte eine Vielzahl von Fahrvorgängen erfasst werden. Aus der Erhebungen im realen Verkehrsablauf resultierten wichtige Erkenntnisse für die Revision der bestehenden VSS-Norm [1]. Sie sind in 3.3÷3.5 zusammengestellt.

Aufgrund der in 1.1 beschriebenen Problematik wurde auch eine *Sondererhebung* zu den Fahrstreifenbreiten im Knotenbereich durchgeführt (Kap. 4). Dabei wurden im Zuge von ausgewählten Strassenachsen innerorts die Fahrstreifenbreiten aufgenommen. Im Vordergrund stand dabei die Frage, ob bei den, gegenüber den Normrichtwerten reduzierten Breiten ein erhöhtes Unfallgeschehen auftritt.

Im letzten Arbeitsschritt wurden die Grundlagen für die Normrevision erarbeitet (Kap. 5). Zu diesem Zweck wurde zuerst die bestehende VSS-Norm [1] einer detaillierten Analyse unterzogen. Bei der Erarbeitung der Empfehlungen für die Normung wurden die Erkenntnisse aus dem Fahrverhalten und die Erfahrungen mit reduzierten Fahrstreifenbreiten verarbeitet und auch neuere Forschungsarbeiten, Normen und Richtlinien mitberücksichtigt.

2.3 Grundlagen

Neben den bestehenden VSS-Normen der Gruppe "Knoten" bildeten die wichtigsten Grundlagen die neueren Richtlinien aus Deutschland, Österreich und Frankreich (vgl. Quellenverzeichnis). Auf weitere Unterlagen wird in Kapiteln 3 bis 5 eingegangen. Zusätzlich wurde auch das neueste Konzept der VSS-Subkommission 173/3 für die Revision der Normgruppe "Knoten" (Stand Januar 1996) berücksichtigt.

Bei der Erarbeitung von Normungsgrundlagen wurden auch Erkenntnisse aus der Vielzahl von am IVT durchgeführten verkehrstechnischen Unfallanalysen zur Sanierung von Unfallschwerpunkten in Knotenbereichen berücksichtigt.

Die Planunterlagen für Untersuchungsstrecken und -knoten im Rahmen des Vor- und Hauptversuches wurden vom Tiefbauamt des Kantons Zürich zur Verfügung gestellt, jene für die Sondererhebung Fahrstreifenbreiten (Kapitel 4) vom Tiefbauamt der Stadt Winterthur und der Stadtpolizei Zürich. Die beiden Städte haben auch die Unfalldaten für die Untersuchungsstrecken aufbereitet.

3. ERHEBUNGEN

Wie in 2.1 dargelegt, sollen mit Hilfe der verkehrstechnischen Erhebungen die Fahrtabläufe in Knotenbereichen erfasst werden. Das Ziel solcher Erhebungen besteht darin, die Auswirkungen der Knotengeometrie auf das Fahrverhalten zu ermitteln. Die bestehende Norm [1] wurde in einem Zeitraum erarbeitet als ausserorts noch keine generellen Tempolimits und innerorts eine solche von 60 km/h gegolten hatte. Es stellt sich somit auch die Frage, wie weit die damaligen Projektierungsempfehlungen für Knoten à niveau den inzwischen erfolgten Limiteänderungen noch gerecht sind.

3.1 Vorversuch

Um einen generellen Überblick über das Fahrverhalten in Knotenbereichen zu gewinnen, wurden in einem Vorversuch Messfahrten mit ausgewählten Fahrern durchgeführt. Bei dieser Versuchsart wurde angestrebt, möglichst viele, verschiedenartige Knotenanlagen durchzufahren und dabei kontinuierliche Fahrtabläufe aufzuzeichnen.

3.1.1 Versuchsanordnung

- **Versuchsstrecken**

Zur Durchführung der Messungen wurden zwei Versuchsstrecken nordöstlich von Zürich festgelegt (vgl. ANHANG, Beilage 1). Bei der Festlegung wurde darauf geachtet, dass die Knoten bezüglich folgenden Aspekten ähnliche Bedingungen aufweisen:

- möglichst gute Sichtverhältnisse in den Zufahrten
- das Temporegime darf in den einzelnen Knotenperimeter nicht ändern
- die Topographie soll keinen übermässigen Einfluss haben (keine grossen Längsneigungen)
- die Versuchsknoten sollen Normtypen entsprechen (keine "Erfindungen")
- während der Versuchsfahrten sollen die Witterungs- und Beleuchtungsverhältnisse möglichst ähnlich sein.

Längs der zwei gewählten Fahrrouten waren je ca. 30 Knoten, die teilweise auch mehrmals durchgefahren wurden. Sie befinden sich sowohl ausserorts (Tempolimit 80 km/h) als auch innerorts (Tempolimits 50 oder 60 km/h). Die Fahrrouten waren so angelegt, dass beim Befahren alle Verkehrsvorgänge an Knoten (Abbiegen, Einbiegen, Durchfahren) aufgetreten sind.

Die Geometrie im Bereich der einzelnen Knoten war nur in der Längsrichtung (entlang der Fahrt) und nur ungefähr bekannt.

- **Messeinrichtung**

Zur Erfassung der Fahrtabläufe wurde ein zu diesem Zweck entwickeltes elektronisches Aufzeichnungsgerät (ASSCI 1) eingesetzt. Dieses wurde im Versuchsfahrzeug des IVT (Opel Omega), das mit den entsprechenden Sensoren ausgerüstet war, installiert. Auf dem Vierkanalschreiber des Gerätes wurden folgende Daten aufgezeichnet:

- Längsbeschleunigung a in m/s^2
- Geschwindigkeit V in km/h
- Weg in m
- Über einen handbedienten Impulsgeber konnten während der Fahrt zusätzliche Wegangaben durch die Begleitperson im Fahrzeug eingegeben werden. Im vorliegenden Fall waren es jeweils der Anfang/das Ende der Inseln und Sperrflächen sowie die Lage der Haltelinien/-balken, die Knotenmitte (Schnittpunkt der Strassenachsen), Beginn des Ausscherbereiches und die Mitte des Rechtsabbiegebogens.

1) Aufzeichnungsgerät Acceleration-Speed-Stretch-Code-Indicator

Mit diesen Wegangaben wurde die Knotengeometrie in Längsrichtung ungefähr berücksichtigt (vgl. Abbildung 2). Die erste Wegangabe erfolgte dort, wo der Versuchsfahrer den Knoten erstmals als solcher erkannt hat.

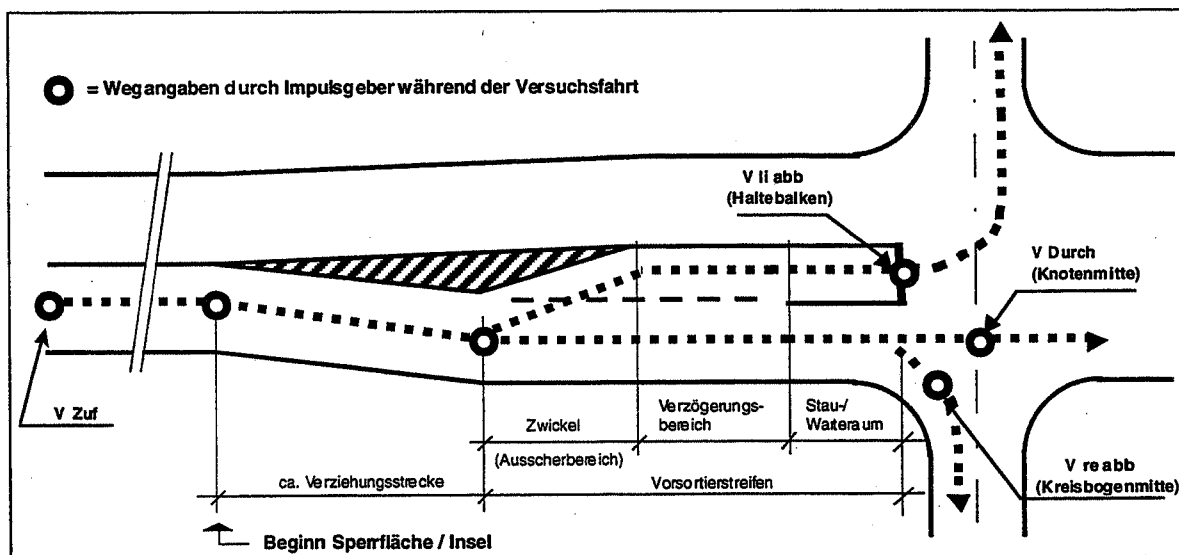


Abb. 2: Schematische Knotengeometrie am Beispiel der vortrittsberechtigten Zufahrt

Im ANHANG, Beilage 2 befindet sich ein Beispiel des Aufzeichnungsprotokolls (Zufahrt und Linksabbiegevorgang bei Knoten Nr. 21). Jedes Protokoll wurde zusätzlich mit einer Photoaufnahme in der entsprechenden Fahrtrichtung versehen.

Die Versuchsstrecken wurden durch 6 Versuchsfahrer, teilweise auch zweimal befahren. Die Fahrten fanden ausserhalb der Spitzenzeiten statt.

3.1.2 Auswertungen

Für Auswertezwecke wurden die aufgezeichneten Messprotokolle über der gesamten Versuchsstrecke so zerlegt, dass sie einzelne Knotenzufahrten enthielten. Anschliessend erfolgte eine Gliederung nach der Art der Verkehrsvorgänge. Bei den Abbiegevorgängen aus der vortrittsberechtigten Zufahrt wurde zudem nach der geltenden Tempolimits (80 km/h -ausserorts, 50 oder 60 km/h -innerorts) unterschieden.

Aufgrund dieser Aussortierung ergaben sich für insgesamt 7 Gruppen von Verkehrsvorgängen jeweils 4 bis 6 Knotenzufahrten (alle ohne Lichtsignalanlagen), mit der entsprechenden Anzahl von Versuchsfahrten (vgl. Tabelle 1). Insgesamt wurden 56 Knotenzufahrten und 361 Versuchsfahrten einbezogen.

Die einzelnen Knotenzufahrten haben unterschiedliche Längen. Dies ist am Beispiel der Gruppe 1 "Linksabbiegen - ausserorts" aus Abbildung 3 ersichtlich.

Gruppen von Verkehrsvorgängen	Anzahl Knoten pro Gruppe	Anzahl Versuchsfahrten pro Gruppe
1. Linksabbiegen - ausserorts	5	29
2. Linksabbiegen - innerorts	5	29
3. Rechtsabbiegen - ausserorts	4	28
4. Rechtsabbiegen - innerorts	6	41
5. Linkseinbiegen - alle	4	26
6. Rechtseinbiegen - alle	5	42
7. Durchfahren - alle	27	165
<i>Total</i>	<i>56</i>	<i>361</i>

Tab. 1: Stichprobengrösse im Vorversuch

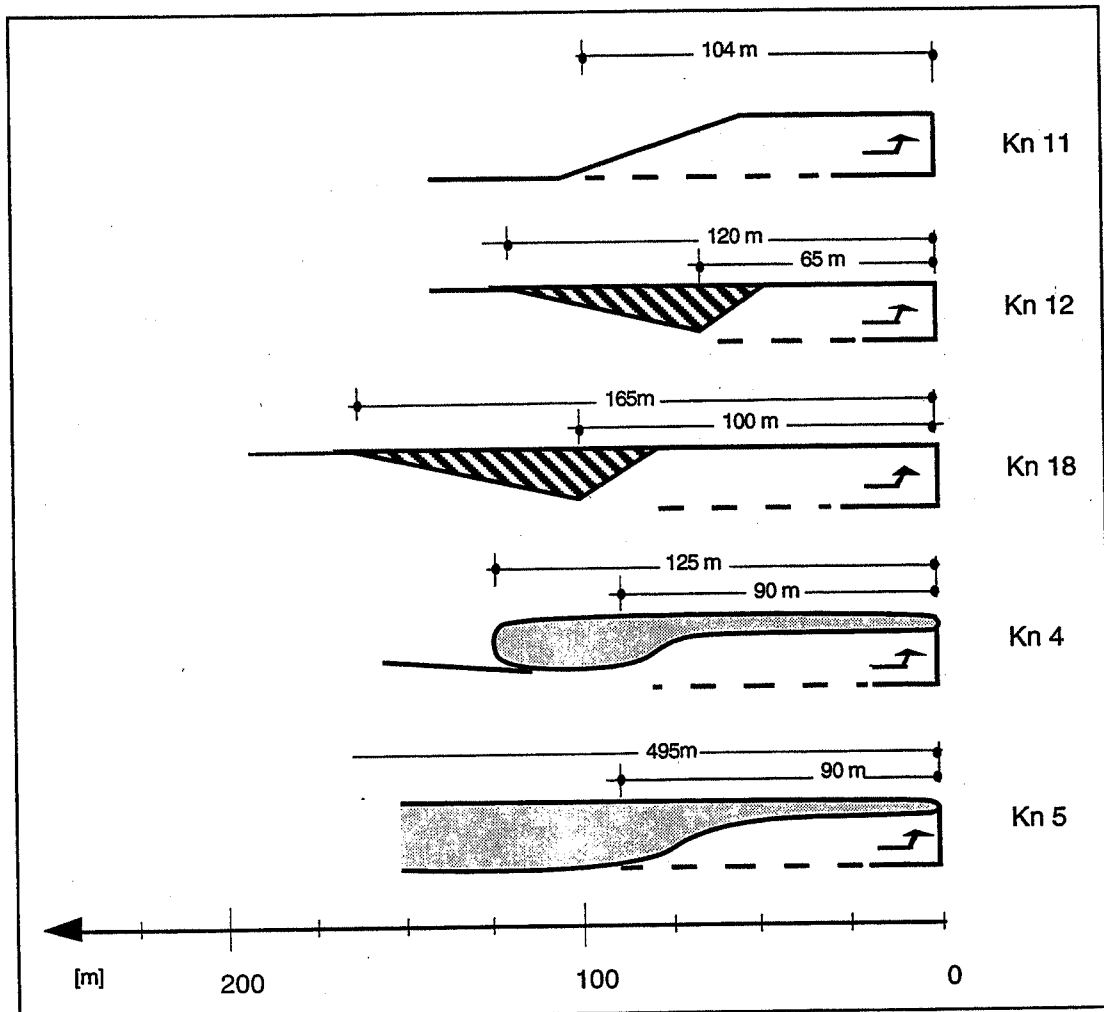


Abb. 3: Geometrische Angaben zu den Knotenzufahrten der Gruppe 1 "Linksabbiegen - ausserorts"

Die Aufbereitung der Daten aus den Messprotokollen war relativ aufwendig. Aus den Fahrtabläufen in den einzelnen Knotenzufahrten wurden für die Auswertungen folgende Merkmale aufbereitet:

- Reaktionen der Fahrzeuglenker zur Geschwindigkeitsanpassung

In den Zufahrten wurden drei Reaktionen unterschieden:

1. Reaktion: erstes Wegnehmen des Fusses vom Gaspedal
2. Reaktion: erstes leichtes Bremsen
3. Reaktion: starkes Bremsen

Diese Reaktionen liessen sich bei allen Fahrtabläufen feststellen, waren jedoch nicht gleichmässig ausgeprägt. Für diese drei Reaktionen wurden ermittelt:

- Lage (m) der Reaktionsorte, als Abstände bis zu Haltebalken/-linie (Linksabbieger und alle Einmünder), bzw. bis zur Mitte des Rechtsabbiegebogens (Rechtsabbieger), bzw. bis zur Knotenmitte (Durchfahrer)
- Grösse der Verzögerungen a_1 , a_2 und a_3 , (m/s^2) bezüglich obige Reaktionen.

Zusätzlich wurde noch die grösste Verzögerung a_{max} , die im Bereich der Zufahrt während der einzelnen Versuchsfahrten auftrat, ermittelt.

Zur Beurteilung der Lagen der Reaktionen wurde auch die Erfassungsdistanz D_E (Distanz in 12 s Fahrzeit) vor dem Knoten einbezogen. Als Erfassungsdistanzen wurden angenommen:

- $D_E = 270$ m, bei Knotenzufahrten "ausserorts" ($V_{zul} = 80 km/h$)
- $D_E = 170$ m bzw. 200 m, bei Knotenzufahrten "innerorts" ($V_{zul} = 50$ bzw. $60 km/h$)

- Geschwindigkeiten

- Zufahrtsgeschwindigkeit (V_{zuf}) unmittelbar vor der ersten Reaktion
- Geschwindigkeit am Ende des Vorsortierstreifens bei den Abbiegevorgängen (V_{abb}) bzw. beim Überqueren der Wartelinie bei den Einbiegevorgängen (V_{einb})
- Geschwindigkeit in der Knotenmitte (V_{durch}) bei den Durchfahrten.

- Geometrie

Bezüglich Geometrie (vgl. auch Abbildung 2) wurden ermittelt:

- Länge der Vorsortierstreifen
- Gesamtlänge zwischen Beginn der Sperrfläche und Ende der Vorsortierung (Haltebalken).

Ausgehend von den so aufbereiteten Grunddaten (vgl. Beispiel für die Gruppe 1 "Linksabbiegen - ausserorts" im ANHANG, Beilage 3) wurden verschiedene Auswertungen vorgenommen. Sie sind am Beispiel der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts" in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

Die *Abbildung 4* zeigt Zufahrtsgeschwindigkeiten (V_{zuf}) und Abbiegegeschwindigkeiten (V_{abb}) bei den einzelnen Versuchsfahrten sowie die entsprechenden Mittelwerte (V_m). Auffallend ist hier, dass trotz unterschiedlich langen Zufahrten (vgl. *Abbildung 3*) die Geschwindigkeiten in den einzelnen Knoten relativ nahe beieinander liegen. Bei Knotenzufahrten mit Inseln (Nr. 4 und 5) liegen die Zufahrtsgeschwindigkeiten tendenziell tiefer als bei Knotenzufahrten ohne Inseln.

Beim Knoten 5, wo insgesamt 10 Versuchsfahrten stattgefunden haben, musste öfters angehalten werden (keine Angabe der Abbiegegeschwindigkeit); auf die Zufahrtsgeschwindigkeiten hat dies jedoch kaum einen Einfluss ($74.5 km/h$ / $74.2 km/h$). Bei den übrigen Knoten wurde fast ausschliesslich ohne Halt abgebogen.

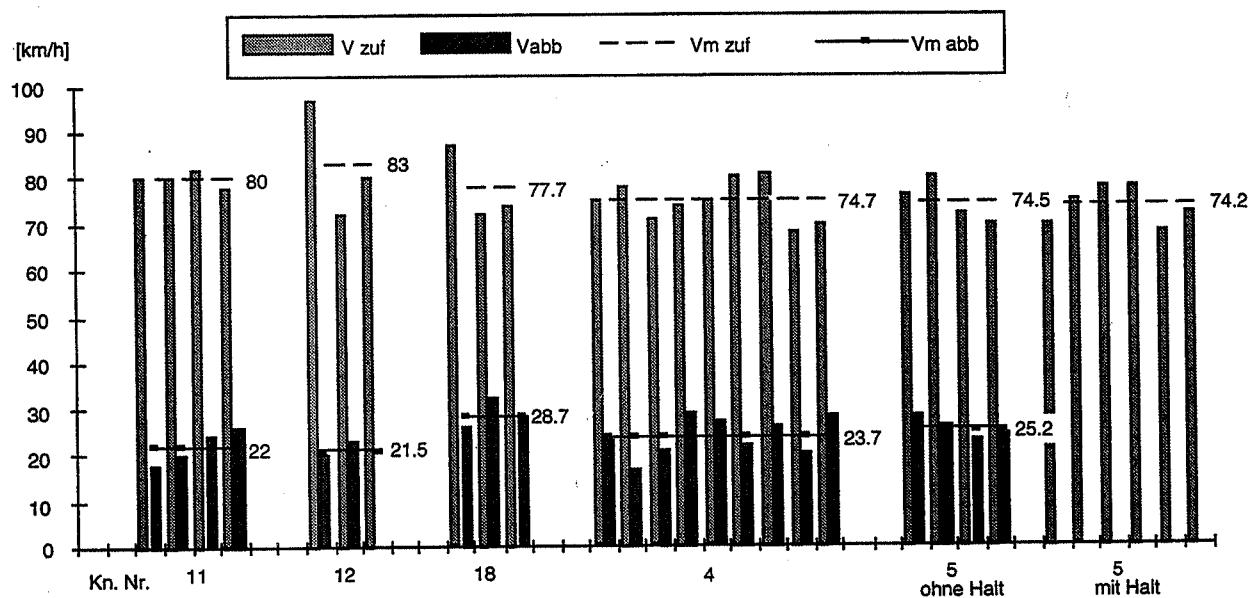


Abb. 4: Zufahrts- und Abbiegegeschwindigkeiten bei der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"

Die *Abbildung 5* zeigt die Abstände der Reaktionsorte (m) bis zum Haltebalken bei den einzelnen Versuchsfahrten. In der Darstellung sind auch die jeweiligen Längen der Vorsortierstreifen sowie die Längen bis zum Beginn der Insel oder Sperrfläche eingetragen.

Bezüglich der Abstände zeigen sich zwischen den einzelnen Versuchsfahrten und zwischen den einzelnen Knotenzufahrten sehr grosse Unterschiede. Bei einzelnen Versuchsfahrten wurde bereits weit vor der Erfassungsdistanz reagiert (1. Reaktion). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Ablesung der ersten Reaktion (meist nur eine geringfügige Veränderung der Verzögerung) aus dem Fahrtenprotokoll mit Ungenauigkeiten behaftet ist.

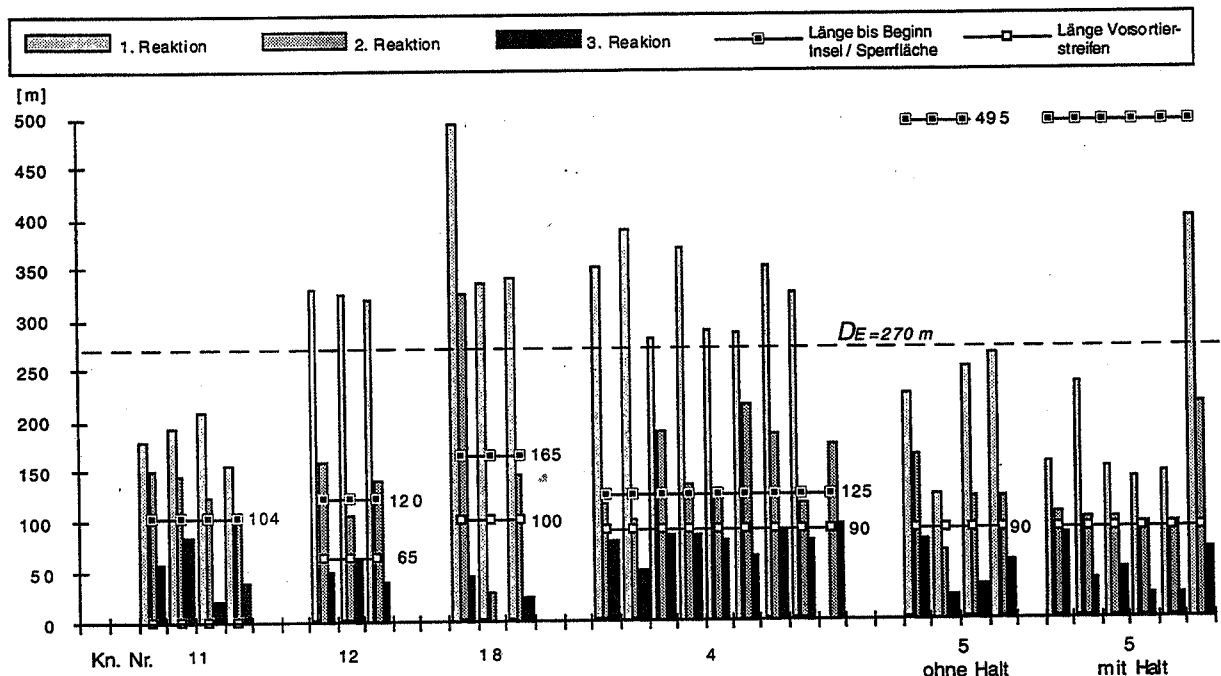


Abb. 5: Abstände der Reaktionsorte (m) bis zum Haltebalken bei der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"

Die *zweiten Reaktionen* erfolgten bei den Knoten Nr. 11, 12, und 4 ungefähr im Bereich des Beginns der Sperrfläche bzw. der Insel. Bei Knoten Nr. 18 ergab sich ein uneinheitliches Bild. Bei Knoten Nr. 5, mit einer sehr langen Trenninsel, traten die 2. Reaktionen erst zu Beginn des Vorsortierstreifens auf.

Die *dritten Reaktionen* (starkes Bremsen) sind bei allen Versuchsfahrten erst im Bereich der Vorsortierstreifen aufgetreten; bei den Knoten Nr. 11, 12, 18, und 5 in einem Abstand von ca. 20÷80 m, bei Knoten 4 ca. 50÷90 m vor dem Haltebalken.

Die *Abbildung 6* zeigt die Verzögerungswerte a_1 , a_2 und a_3 (m/s^2), die bei den drei Reaktionen aufgetreten sind. Bei der ersten Reaktion liegen die a_1 -Werte in einem Bereich zwischen ca. 0 und 0.5 m/s^2 . Bei der zweiten und dritten Reaktion ergaben sich grosse Streuungen: Die Verzögerungswerte liegen bei a_2 zwischen ca. 0.3 und 1.5 m/s^2 , bei a_3 zwischen ca. 1.0 und 2.8 m/s^2 .

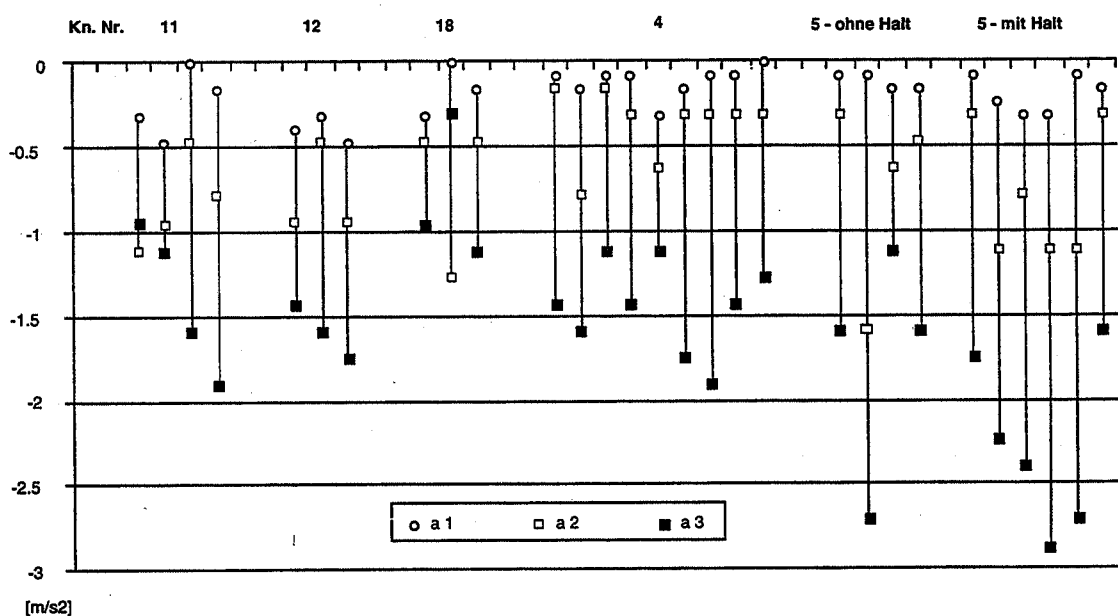


Abb. 6: Verzögerungswerte a_1 , a_2 und a_3 (m/s^2) bei den Reaktionen, am Beispiel der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"

In *Abbildung 7* wurden die maximalen Werte der Beschleunigung ($+a_{\max}$) und der Verzögerung ($-a_{\max}$), die im gesamten Zufahrtbereich aufgetreten sind, ausgewertet. Die Beschleunigungswerte beziehen sich in der Regel auf die Anfahrt nach dem Haltebalken.

Die Verzögerungen liegen vorwiegend im Bereich zwischen -1.0 und -2.0 m/s^2 , bei einigen Versuchsfahrten - vor allem bei jenen mit Halt - werden auch Werte von bis zu 4.0 m/s^2 erreicht. Die Beschleunigungen treten entweder nicht auf, oder sie liegen bei ca. 1.0 m/s^2 , bei Versuchsfahrten mit Halt treten auch Werte von über 2.0 m/s^2 auf.

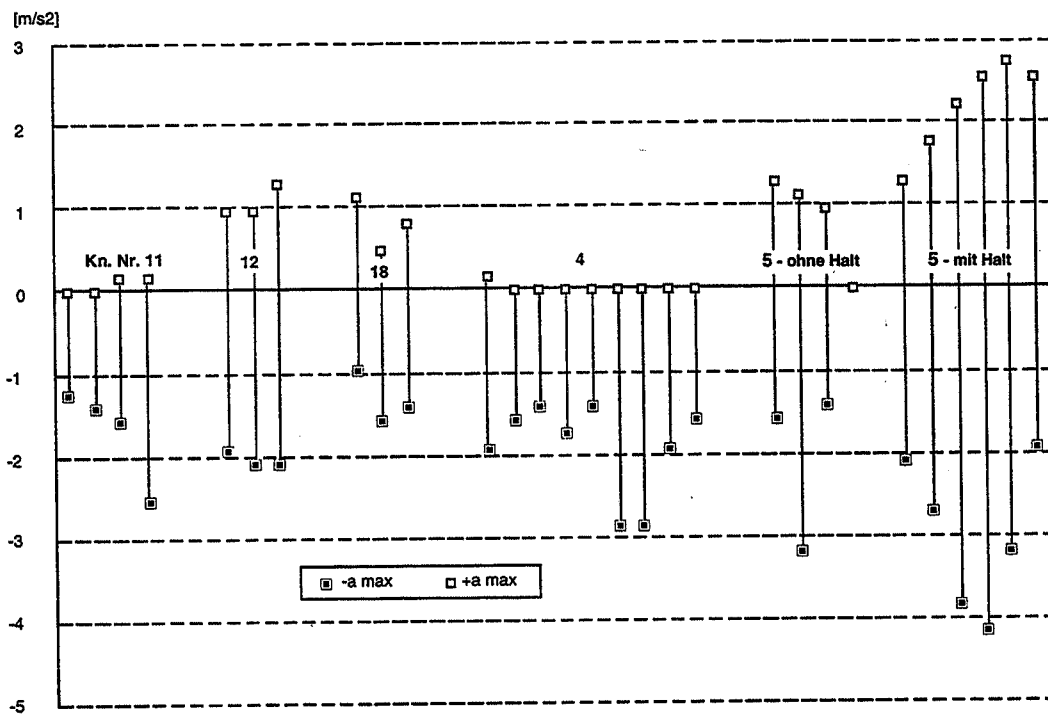


Abb. 7: Maximale Werte der Beschleunigung ($+a_{\max}$) und der Verzögerung ($-a_{\max}$) im gesamten Zufahrtsbereich, am Beispiel der Gruppe "Linksabbiegen - ausserorts"

3.1.3 Ergebnisse

Für die sieben in Tabelle 1 zusammengestellten Gruppen von Verkehrsvorgängen wurden die Geschwindigkeiten, die Abstände der Reaktionsorte in der Zufahrt sowie die in diesen Orten auftretenden Verzögerungen ausgewertet.

• Geschwindigkeiten

Bei den Auswertungen wurden Zufahrtsgeschwindigkeiten (V_{zuf}), Abbiege- und Einbiegegeschwindigkeiten (V_{abb} und V_{einb}) sowie Durchfahrtsgeschwindigkeiten (V_{durch}) aufbereitet (vgl. in 3.1.2). In Tabelle 2 sind für die einzelnen Gruppen die mittleren Geschwindigkeiten (V_m) aus den Versuchsfahrten zusammengestellt. Angegeben sind jeweils der minimale und maximale Durchschnittswert, der an einem Knoten der Gruppe ermittelt wurde. Dabei wurden bei den Abbiegegeschwindigkeiten (V_{abb}) die Vorgänge mit Halt nicht berücksichtigt.

- Zufahrtsgeschwindigkeiten

Die in Tabelle 2 angegebenen Bereiche der V_{zuf} widerspiegeln deutlich die interindividuelle Variabilität der Versuchsfahrer -auch hinsichtlich der Einhaltung der Tempolimits. Dennoch zeigt sich, dass das Annäherungstempo auch von der Art des Verkehrsvorganges beeinflusst wird. So wird die V_{zuf} bei Einbiegevorgängen deutlich niedriger gewählt als bei den Abbiegevorgängen.

Weiter zeigt sich, dass bei den *Linksabbiegevorgängen* die V_{zuf} höher liegt als bei den *Rechtsabbiegevorgängen*, und zwar sowohl ausserorts als auch innerorts. Obwohl hier neben der Art des Verkehrsvorganges vermutlich auch die unterschiedliche Knotengeometrie eine Rolle spielt, kann eine plausible Erklärung für die unterschiedliche V_{zuf} nicht ausgemacht werden.

Gruppe von Verkehrsvorgängen	mittlere Zufahrtsgeschwindigkeiten (km/h) min ÷ max	mittlere Geschwindigkeiten beim Ab- bzw. Einbiegen bzw. beim Durchfahren (km/h) min ÷ max
1. Linksabbiegen a.o. *)	V _m zuf: 74.2 ÷ 83.0	V _m abb: 21.5 ÷ 28.7
2. Rechtsabbiegen a.o.	V _m zuf: 62.5 ÷ 75.0	V _m abb: 25.5 ÷ 35.3
3. Linksabbiegen i.o.	V _m zuf: 55.5 ÷ 72.7	V _m abb: 21.0 ÷ 27.0
4. Rechtsabbiegen i.o.	V _m zuf: 48.0 ÷ 59.0	V _m abb: 21.0 ÷ 31.0
5. Linkseinbiegen - alle	V _m zuf: 36.5 ÷ 58.6	V _m einb: 3.0 ÷ 14.3
6. Rechtseinbiegen - alle	V _m zuf: 42.5 ÷ 65.0	V _m einb: 8.1 ÷ 19.7
7. Durchfahren - alle	V _m zuf: 47.0 ÷ 80.0	V _m durch: 50.0 ÷ 81.0

*) vgl. in Abbildung 4

Tab. 2: Minimale/maximale Werte der mittleren Geschwindigkeiten je Gruppe von Verkehrsvorgängen

- Abbiege-, Einbiege- und Durchfahrtsgeschwindigkeiten

Die geometrischbedingten *Abbiegegeschwindigkeiten* sind -unabhängig von der Tempolimits und der Abbiegerichtung- etwa gleich gross. Sie liegen im Bereich zwischen ca. 20 und 30 km/h.

In den *Einbiegegeschwindigkeiten* sind auch Vorgänge mit Halt enthalten. Beim Einbiegen *nach rechts* liegen die Geschwindigkeiten höher als beim Einbiegen *nach links*, weil bei den letzteren die Halte an der Wartelinie häufiger notwendig waren.

Bei den *Durchfahrtsgeschwindigkeiten* der Geradeausströme zeigen sich keine Unterschiede gegenüber den Zufahrtsgeschwindigkeiten; eine Geschwindigkeitsanpassung im Knotenbereich findet nicht statt.

• Lagen der Reaktionsorte

Die Lage der drei Orte, in welcher die massgebliche Geschwindigkeitsanpassung in der Knotenzufahrt erfolgte, wird am deutlichsten von der individuellen Fahrweise geprägt. Die *Abstände von den Haltebalken bzw. den Wartelinien* variieren von Fahrer zu Fahrer um einen Faktor zwischen ca. 3 und 8, und zwar *unabhängig* von der Art des Vorganges.

Die *ersten Reaktionen* (erstes Wegnehmen des Fusses vom Gaspedal) erfolgen in allgemeinen in einem Bereich zwischen ca. Erfassungsdistanz D_E und ca. 80÷100 m ausserorts bzw. ca. 40 m innerorts.

Die *zweiten Reaktionen* (erstes leichtes Bremsen) liegen in einem Bereich zwischen ca. 2/3 D_E und ca. 40÷50 m ausserorts bzw. ca. 20÷25 m innerorts.

Die *dritten Reaktionen* (starkes Bremsen) werden in einem Bereich zwischen ca. $\frac{1}{3} D_E$ und ca. 10÷20 m ausserorts bzw. ca. 5 m innerorts vorgenommen.

- **Verzögerungen**

Die Verzögerungswerte, die bei den drei erwähnten Reaktionen auftreten, variieren je nach Fahrer und Knoten ebenfalls. Dennoch lassen sich gewisse Zusammenhänge mit der Art des Verkehrsvorganges feststellen.

In Abbildung 8 sind für die ersten sechs Gruppen von Verkehrsvorgängen die Mittelwerte der durchschnittlichen Verzögerungen a_1 , a_2 und a_3 ($-m/s^2$) und ihre Schwankungen (Min-/Max-Werte, gestrichelt dargestellt) je Gruppe und Reaktion zusammengestellt. Bei der dritten Reaktion wird zudem unterschieden zwischen Fahrten ohne und mit Halt am Haltebalken bzw. an der Wartelinie.

Erwartungsgemäss zeigt sich, dass die Verzögerungen mit abnehmender Distanz zum Knoten zunehmen. Sie erreichen vor dem Ende des Verzögerungsstreifens Werte (a_3) in der Grössenordnung von 1.5÷2.0 m/s^2 . Dabei wird bei den Fahrten mit Halt deutlich stärker verzögert als bei jenen ohne Halt. Ausnahme bildet die Gruppe "Linkseinbiegen - alle".

Beim Vergleich der Abbiegevorgänge ausserorts und innerorts zeigt sich, dass ausserorts generell etwas höhere Werte auftreten. Die Unterschiede liegen im Bereich von ca. 0.5 m/s^2 .

Auffallend ist zudem, dass beim Rechtsabbiegen stärker verzögert wird als beim Linksabbiegen.

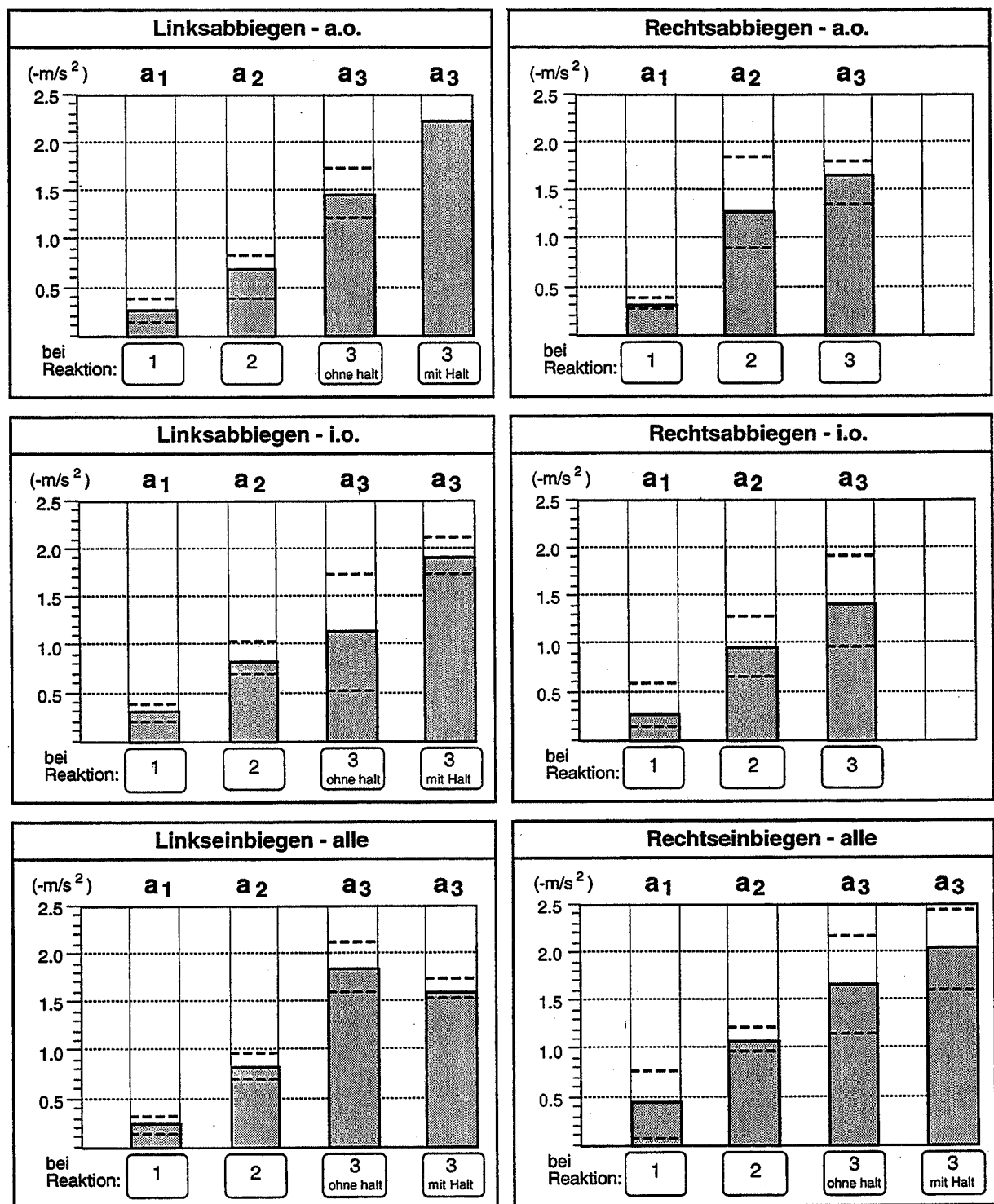


Abb. 8: Mittelwerte der durchschnittlichen Verzögerungen a_1 , a_2 und a_3 ($-m/s^2$), gegliedert nach Gruppen von Verkehrsvorgängen

Analog zu Abbildung 7 wurden auch die maximalen Verzögerungen ($-a_{max}$), die in gesamten Zufahrtsbereich aufgetreten sind, ausgewertet. Sie entsprechen in der Regel der 3. Reaktion. In Tabelle 3 sind für die 6 Gruppen von Verkehrsvorgängen die *Mittelwerte* der maximalen Verzögerungen je Gruppe zusammengestellt. Darin zeigt sich, dass zwischen den einzelnen Gruppen praktisch keine Unterschiede vorhanden sind. Ausserorts ergeben sich etwas höhere Werte als

innerorts und beim Rechtsabbiegen etwas höhere Werte als beim Linksabbiegen. Die höchsten Verzögerungen von bis zu 3.0 m/s^2 resultieren bei Fahrten mit Halt.

Gruppe von Verkehrsvorgängen	Mittelwerte der maximalen Verzögerungen	
	bei Fahrten ohne Halt (m/s^2)	bei Fahrten mit Halt (m/s^2)
1. Linksabbiegen a.o. *)	- 1.84	- 2.98
2. Rechtsabbiegen a.o.	- 1.97	—
3. Linksabbiegen i.o.	- 1.71	- 2.68
4. Rechtsabbiegen i.o.	- 1.91	—
5. Linkseinbiegen - alle	- 2.05	- 2.12
6. Rechtseinbiegen - alle	- 2.07	- 2.90

*) vgl. in Abbildung 4

Tab. 3: Mittelwerte der maximalen Verzögerungen gegliedert nach Gruppen von Verkehrsvorgängen

3.2 Hauptversuch

Beim Vorversuch hat sich unter anderem gezeigt, dass das Fahrverhalten in den Knotenzufahrten vor allem durch die interindividuelle Variabilität der Versuchsfahrer geprägt wird. Dennoch konnte innerhalb der Gruppen von Verkehrsvorgängen auch ein *Einfluss der Knotengeometrie* festgestellt werden. Dabei waren nur die ungefähren Längen der Vorsortierbereiche sowie jene der Verziehbereiche bekannt. Die Empfehlungen zur Ausbildung der Längen in der bestehenden Norm [1] sind gemäss 1.1 auch eines der in der Praxis umstrittenen Aspekte.

Das Ziel des Hauptversuches bestand deshalb primär darin, die Einflüsse der Längen im Bereich der Knotenzufahrt auf das Fahrverhalten aufgrund von verkehrstechnischen Messungen zu prüfen. Im Vordergrund stehen dabei die Länge des Verziehbereichs (Übergang freie Strecke / Knoten) und Längen im Bereich der Vorsortierung (Ausscherbereich bzw. Zwickel L_D , Verzögerungsbereich L_R und Stau- bzw. Warteraum L_S). Da die Vorsortierung in Knoten in den meisten Fällen für die Linksabbiegevorgänge ausgebildet wird, sollten die Messungen im Bereich von *Linksabbiegestreifen* erfolgen.

3.2.1 Untersuchungsknoten

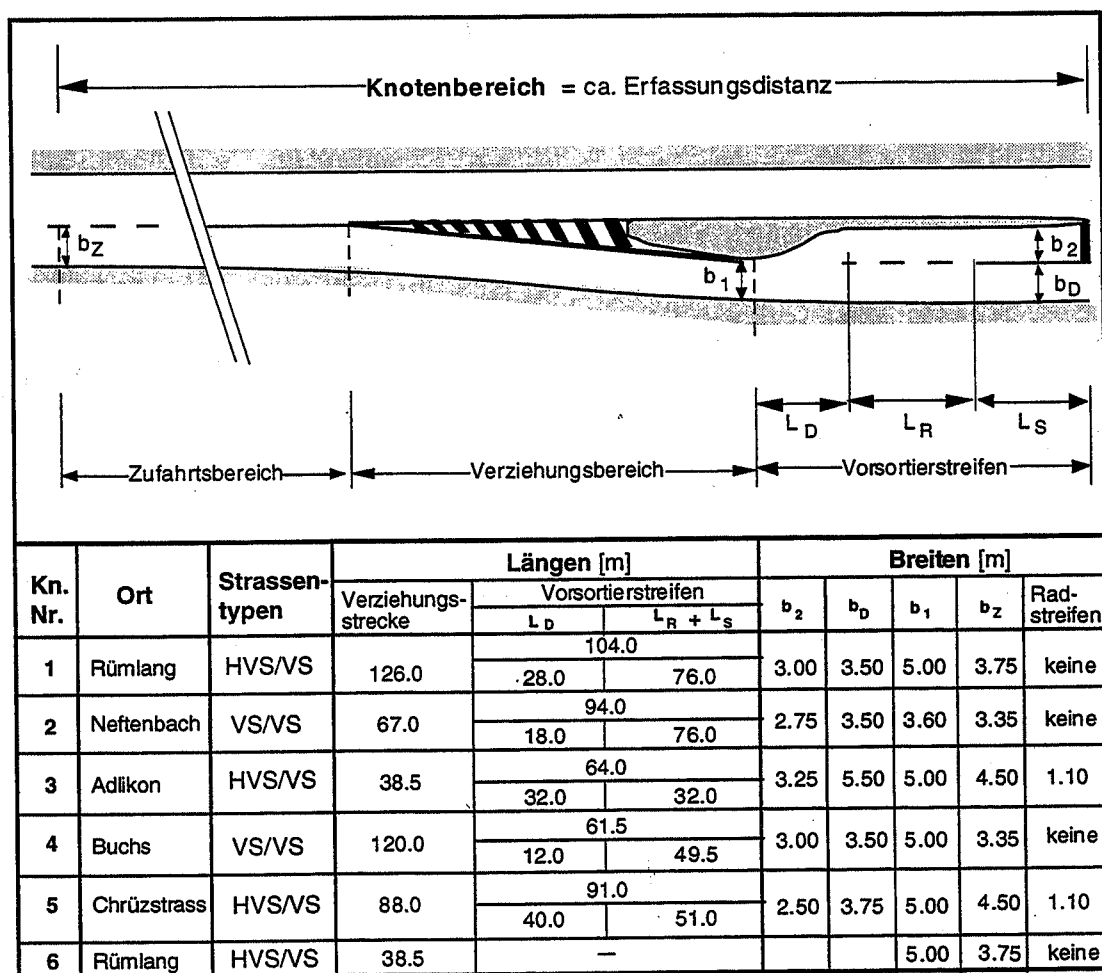
Die fahrdynamischen Bedingungen haben auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete eine untergeordnete Bedeutung. Deshalb wurden für den Hauptversuch Knoten ausserorts gesucht. Dabei ist man von drei Hauptanforderungen ausgegangen:

- unterschiedliche Längen der Verziehbereiche und der Linksabbiegestreifen ("kurz" / "lang"),
- Zufahrten mit und ohne Inseln und
- für Strassen ausserorts übliche Knotenelemente.

Zudem waren folgende Bedingungen im Knotenbereich einzuhalten:

- zulässige Höchstgeschwindigkeit 80 km/h
- möglichst gute Sichtverhältnisse
- gestreckte Linienführung in der untersuchten Zufahrt
- signalisierte Vortrittsregelung, ohne Lichtsignalanlagen
- keine Fussgängerquerungen
- genügende Verkehrsmengen, um auch in den Zwischenzeiten eine ausreichende Anzahl der Messwerte zu erhalten.

Ausgewählt wurden 6 Knoten im Kanton Zürich ¹⁾. Die wichtigsten geometrischen Merkmale der Untersuchungsknoten sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Der gesamte Knotenbereich wurde in Anlehnung auf den Vorversuch auf eine Länge, entsprechend der Erfassungsdistanz festgelegt (vgl. auch Abbildung 12). Die Bezeichnung der Strassentypen entspricht den VSS-Normen SN 640 040 bis 640 043.



Tab. 4: Geometrische Merkmale der Untersuchungsknoten

Im Gegensatz zu Vorversuch standen für die 6 Untersuchungsknoten Planunterlagen zur Verfügung (vgl. ANHANG, Beilagen 4.1÷4.6).

¹⁾ Eine grössere Stichprobe war wegen der beschränkten Kredithöhe leider nicht möglich.

3.2.2 Messanlage

Zur Erfassung des Fahrverhaltens in den Knotenzufahrten wurde eine spezielle Messeinrichtung zur Fahrzeugdetektion eingesetzt. Sie besteht aus bis zu 12 unabhängigen Messeinheiten, die in Strassenleitpfosten eingebaut sind ("Messpfosten"), sowie einem Steuergerät, mit dem die Messpfosten bedient werden. Die erfassten Daten werden je Messeinheit auf Speicherkarten abgelegt, die dann zur Auswertung im PC eingelesen werden können.

Die als Gehäuse der Messeinrichtung verwendeten Leitpfosten dienen zur Tarnung: Die Fahrzeuglenker können die Messpfosten von den übrigen Leitpfosten nicht unterscheiden (vgl. Abbildung 9). Dadurch kann ein unbeeinflusstes Fahrverhalten der Fahrzeuglenker erfasst werden. Die einzelnen Messpfosten erfassen folgende Größen:

- Durchfahrtszeiten der Fahrzeuge (in ms)
- Fahrtrichtung der Fahrzeuge (Hin-/Gegenverkehr)
- Fahrzeuglängen (in cm)
- Queraabstände der durchfahrenden Fahrzeuge zum Messort (in cm)

Die Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeiten erfolgt bei der Auswertung der gemessenen Durchfahrtszeiten zwischen den einzelnen Messpfosten. Dabei werden die Fahrzeuge mit Hilfe eines speziellen EDV-Programmes über alle Messpfosten verfolgt.

Als "Sinnesorgane" eines Messpfostens dienen vier Infrarot -Sender und -Empfänger, welche ununterbrochen die Fahrbahn überwachen, und ein Ultraschall-Distanzmesser, der auf dem Echolot-Prinzip basiert.

Die zwei Paare von Infrarot-Leuchtdioden sind im Messpfosten in einem Abstand von ca. 3 cm nebeneinander angeordnet und parallelgeschaltet. Dadurch entstehen zwei Kanäle (A und B), deren Strahlenbündel je nach Fahrtrichtung auf der Strasse in verschiedener Reihenfolge durchschnitten werden, sodass zwischen Hin- und Gegenverkehr unterschieden werden kann. Bei der Anordnung der Messpfosten am Strassenrand werden die Fahrzeuge in der betrachteten Fahrtrichtung als "Hinverkehr" erkannt (Kanalauslösung A -> B), bei der Anordnung auf der Insel in der Knotenzufahrt werden sie als "Gegenverkehr" betrachtet (Kanalauslösung B -> A).

Eine ausführliche Beschreibung der Messanlage ist in [5] enthalten.

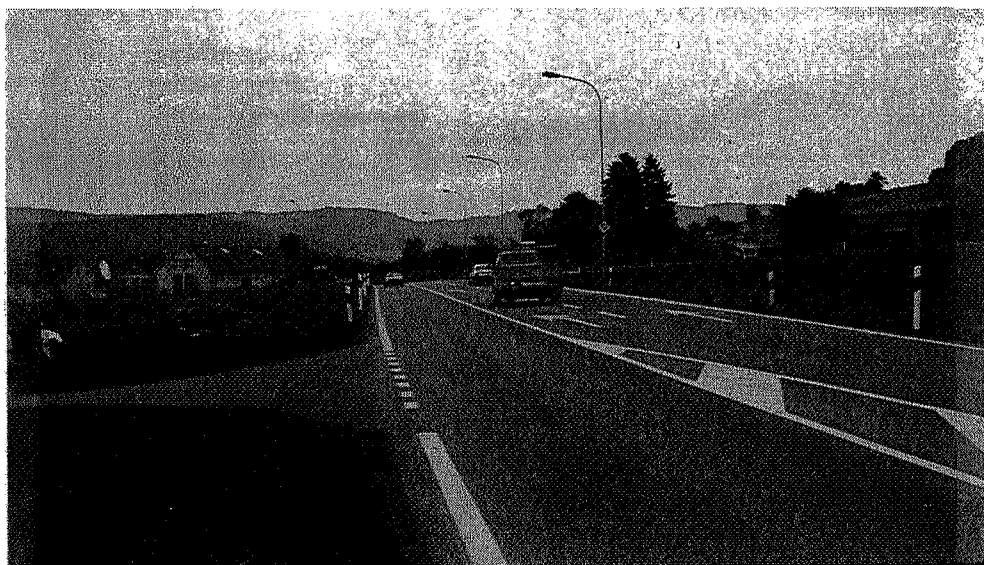
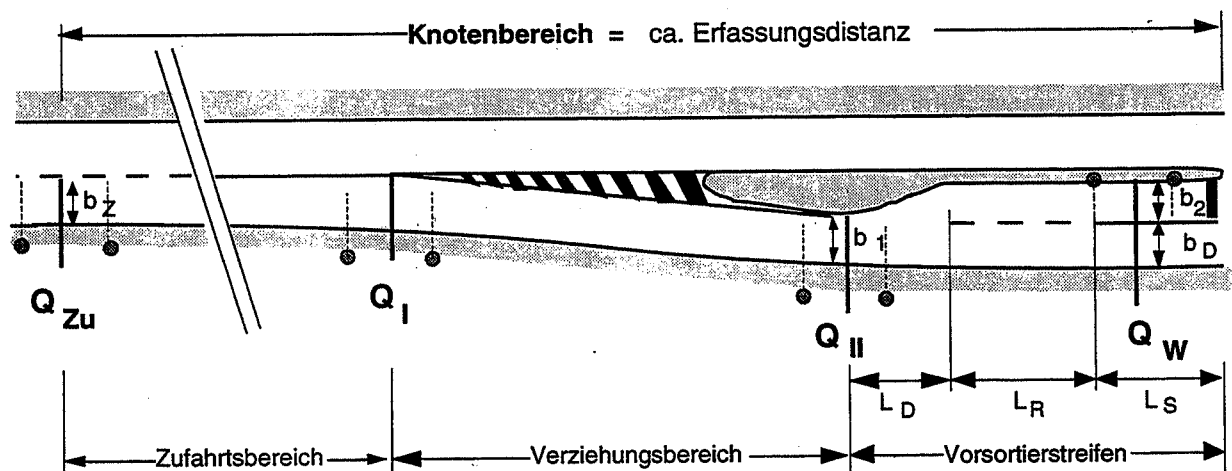


Abb. 9: Ansicht einer Knotenzufahrt mit aufgestellten Messpfosten

3.2.3 Messanordnung

Aufgrund des Vorversuchs wurden die Messpfosten im durch die Erfassungsdistanz vorgegebenen Knotenbereich so verteilt, dass einerseits die vom Knoten noch nicht beeinflusste Zufahrtsgeschwindigkeit und andererseits der Geschwindigkeitsverlauf im Bereich der Verziehung und des Linksabbiegestreifens erfasst werden konnten. In Abbildung 10 ist die Messanordnung schematisch dargestellt, die bei kurzen Verziehungslängen und kurzen Linksabbiegestreifen zur Anwendung kam. Zwischen den einzelnen Messpfosten sind Geschwindigkeitsquerschnitte (Q) definiert. Zu Vergleichszwecken wurden die Geschwindigkeitsquerschnitte im Abstand der Erfassungsdistanz (Q_{Zu}), am Anfang des Verziehungsbereiches (Q_I) und am Anfang des Linksabbiegestreifens (Q_{II}) vorgegeben. Der Geschwindigkeitsquerschnitt im Warteraum (Q_W) ist mit jenem im Vorversuch (Ableseung am Haltebalken, vgl. Abbildung 2) nicht exakt vergleichbar. Aus messtechnischen Gründen musste er etwas zurückversetzt angeordnet werden (in der Regel ca. 10÷15 m vor dem Haltebalken).

Der Abstand der Messpfosten eines Geschwindigkeitsquerschnittes betrug in der Regel 20 m. Die Lage der Messpfosten am Strassenrand oder auf der Trenninsel richtete sich nach den örtlichen Verhältnissen. Bei grösseren Verziehungslängen und langen Linksabbiegestreifen wurden zusätzliche Geschwindigkeitsquerschnitte eingefügt (z.B. Q_{Zu-1} und Q_{II-1} , vgl. Abbildung 11).



Geschwindigkeitsquerschnitte:	
Q_{Zu}	Knotenzufahrt
Q_I	Anfang Verziehungsbereich
Q_{II}	Anfang Vorsortierbereich
Q_W	im Warteraum
●----	Messpfosten

Abb. 10: Messanordnung bei kurzen Verziehungsbereichen und Linksabbiegestreifen

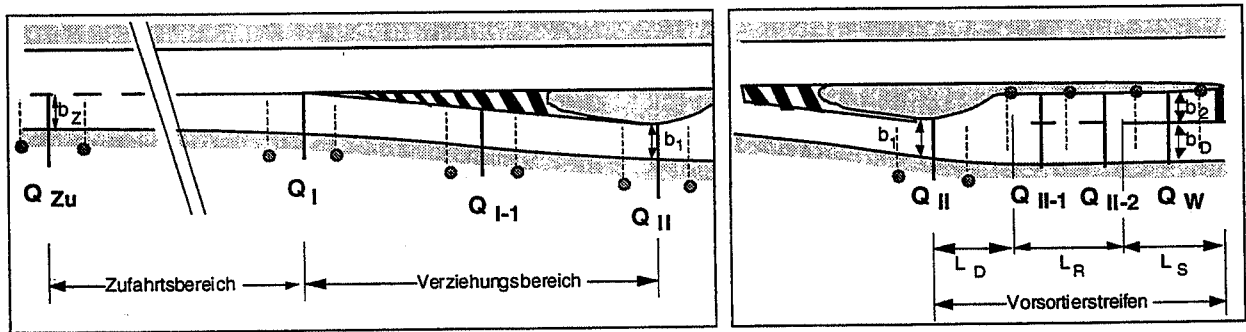


Abb. 11: Messanordnung bei langen Verziehbereichen und Linksabbiegestreifen

Die Anordnung der Geschwindigkeitsquerschnitte in den einzelnen Zufahrten der Untersuchungsknoten ist in Abbildung 12 schematisch dargestellt. Bei allen Untersuchungsknoten wurde in den vortrittsberechtigten Zufahrten gemessen. Beim Knoten Nr. 5 wurde auf die Auswertung im Bereich des Linksabbiegestreifens verzichtet, weil nur sehr wenige Linksabbieger vorhanden waren. Beim Knoten Nr. 6 handelt es sich um eine Zufahrt ohne Vorsortierung.

Die Messungen wurden wie beim Vorversuch in den Zwischenzeiten, am Tag und bei trockener Fahrbahn durchgeführt.

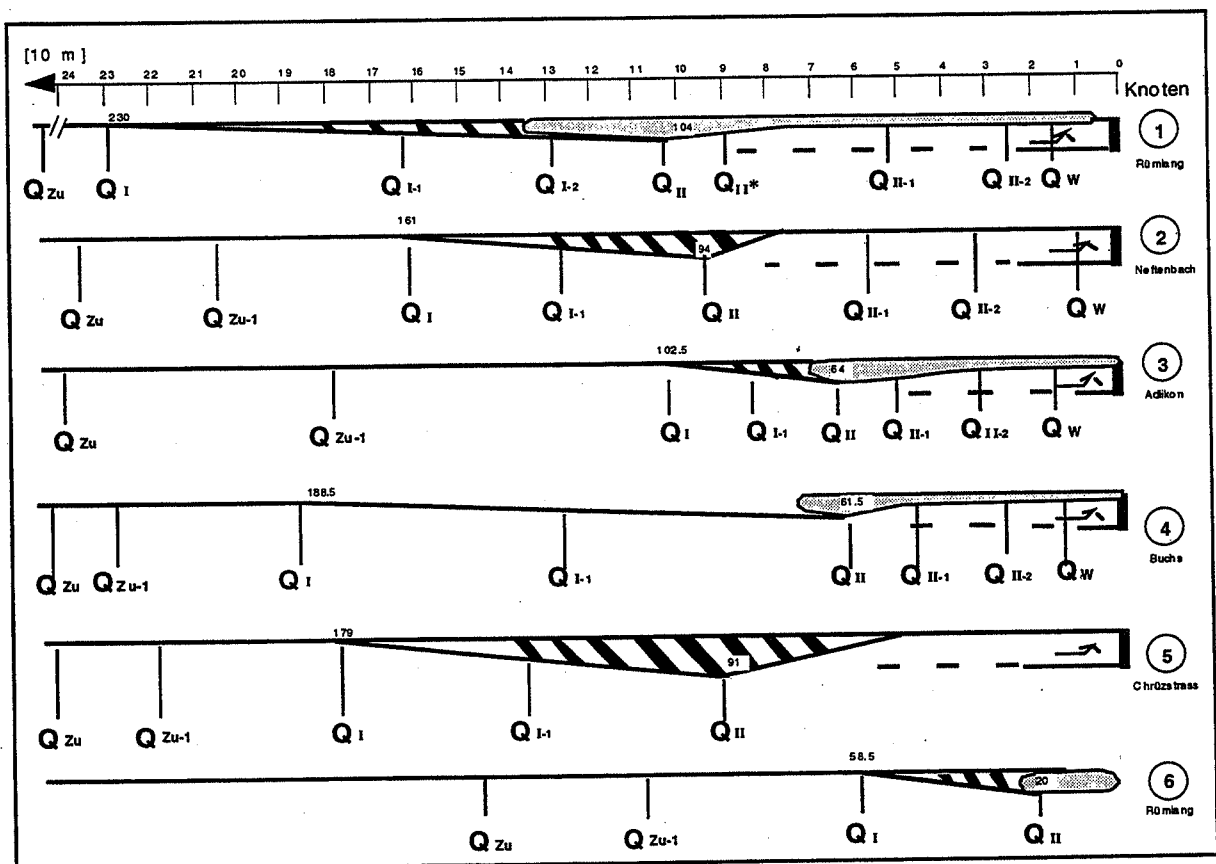


Abb. 12: Schematische Geometrie und Anordnung der Geschwindigkeitsquerschnitte in den Zufahrten der Untersuchungsknoten

Die in 3.2.2 beschriebene Messeinrichtung wurde für Fahrzeugverfolgungen auf der freien Strecke konzipiert. Im Bereich der Knotenzufahrten ist eine kontinuierliche Verfolgung schwierig, weil das Parallelfahren (abbiegende / durchfahrende Fz) oft zu Verdeckungen und zu Fehlmessungen führt, sodass eine einwandfreie Zuordnung nicht möglich ist. Deshalb mussten getrennte Stichproben,

eine für den Bereich der Knotenzufahrt und der Verziegungsstrecke und eine für die den Bereich der Vorsortierung verwendet werden.

3.2.4 Durchgeführte Auswertungen

Für jeden Untersuchungsknoten wurden folgende Auswertungen gemacht:

- *Geschwindigkeiten* (V) für die Teilgruppen "alle Fahrzeuge" (alle), "Linksabbieger" (Li) und "Durchfahrer" (Df):
 - Geschwindigkeitsverteilung an den einzelnen Querschnitten (Q)
 - Geschwindigkeitsverläufe der einzelnen Fahrzeuge (Einzelfahrzeuge) über die einzelnen Querschnitte
 - Geschwindigkeitsverläufe für die wichtigsten Geschwindigkeitsgrößen $V_{85\%}$ und die mittlere Geschwindigkeit V_m über die einzelnen Querschnitte.
- *Verzögerungen* (a) für die Teilgruppen "alle Fahrzeuge" (alle) und "Linksabbieger" (Li):
 - Verzögerungswerte für die einzelnen Fahrzeuge (Einzelfahrzeuge) in den Bereichen zwischen den einzelnen Geschwindigkeitsquerschnitten (Q)
 - Mittlere Verzögerungen (a_m) in den Bereichen zwischen den einzelnen Geschwindigkeitsquerschnitten (Q); diese wurden aus den Verzögerungswerten der einzelnen Fahrzeuge (Einzelfahrzeuge) errechnet.

Die Resultate der Auswertung wurden zudem für jeder Knoten in einer zusammenfassenden Übersicht tabellarisch dargestellt.

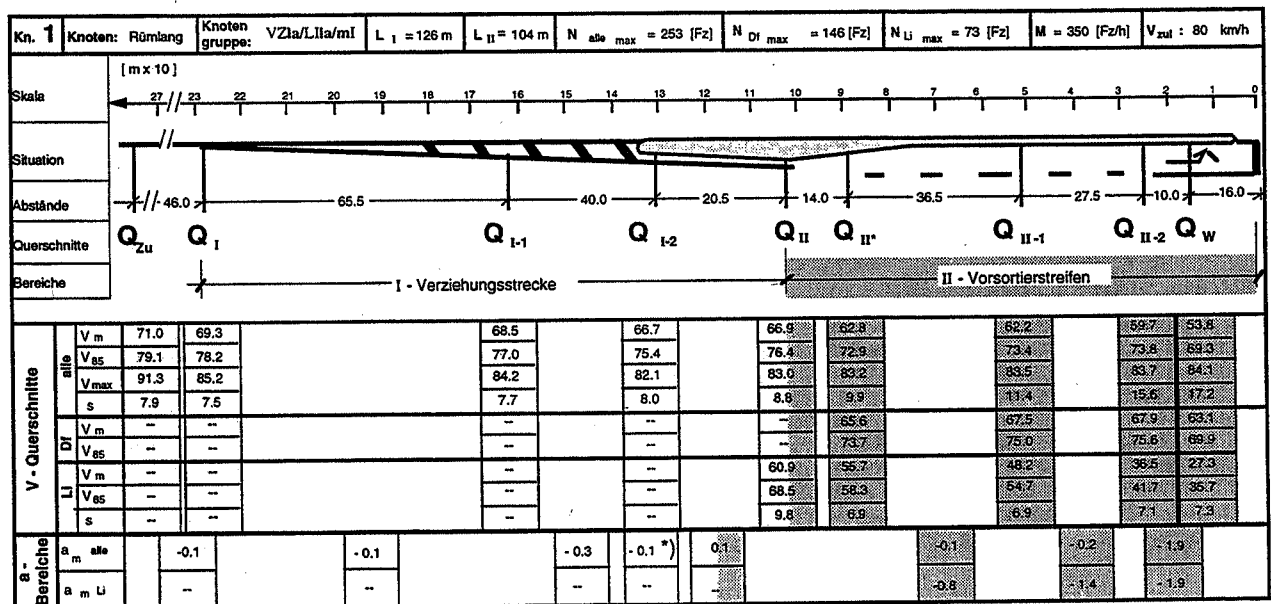
Nachfolgend sind die wichtigsten Auswertergebnisse am Beispiel des Knoten Nr. 1 erläutert. Eine vollständige Zusammenstellung für alle Knoten ist im ANHANG, Beilagen 5-10 enthalten.

• Zusammenfassende Übersicht

Die Tabelle 5 enthält die wichtigsten Auswertgrößen für die Geschwindigkeiten (V -Querschnitte) und die Verzögerungen (a -Bereiche). Die Verzögerungswerte sind in diesem Bericht mit negativen Vorzeichen, die Beschleunigungswerte mit positiven Vorzeichen angegeben.

Im oberen Teil der Tabelle sind die Geometrie der Knotenzufahrt und die Lage der Geschwindigkeitsquerschnitte (Q) schematisch veranschaulicht. Die Messpfosten für die Geschwindigkeitsquerschnitte Q_{Zu} bis Q_{II} wurden am rechten Strassenrand aufgestellt, während jene für die Geschwindigkeitsquerschnitte Q_{II}^* bis Q_W auf der Trenninsel angeordnet waren. Dementsprechend standen zwei getrennte Stichproben zur Verfügung (vgl. dazu in 3.2.3). Aus diesem Grund können zwischen Q_{II} und Q_{II}^* keine Verzögerungswerte angegeben werden.

Der Tabellenkopf enthält verschiedene Angaben zum Knoten und zu den Verkehrsmengen. Die L_I -Angabe bezieht sich auf die Länge der Verziegungsstrecke (126 m), L_{II} gibt die Länge des Linksabbiegestreifens (104 m) an. Bezüglich "Knotengruppe" wird auf 3.2.5 verwiesen. Mit "N" ist die Anzahl Fahrzeuge bezeichnet, die je Teilgruppe zur Auswertung gelang, wobei die maximale Anzahl an einem der Geschwindigkeitsquerschnitte angegeben ist. Unter "M" ist die aus der Messdauer hochgerechnete stündliche Verkehrsmenge pro Richtung angegeben.



*) Verzögerungswert zwischen den Querschnitten Q_{I-1} und Q_{II}

Tab. 5: Übersicht Auswertgrößen für Knoten Nr. 1

Aufgrund der Werte in Tabelle 5 wurden die Geschwindigkeitsverläufe und die Veränderungen der mittleren Verzögerungen graphisch dargestellt.

• Geschwindigkeitsverläufe

Die Abbildung 13 zeigt die Geschwindigkeitsverläufe der V_{85%} und der V_m für drei Teilgruppen von Fahrzeugen.

Die Darstellung für die Gruppe "Alle Fahrzeuge" zeigt den Verlauf über alle Querschnitte, aufschlussreich ist hier jedoch nur der (einstreifige) Bereich bis Ende der Verziehungsstrecke (Querschnitte Q_{Zu} bis Q_{II}). In diesem Bereich verändern sich die Geschwindigkeiten nur um ca. 3÷4 km/h.

Im Bereich der Vorsortierung (Querschnitte Q_{II*} bis Q_W) ist bei der Fahrzeuggruppe "Linksabbieger" eine deutliche Geschwindigkeitsabnahme bis zum Haltebalken (Q_W) ersichtlich (z.B. bei V_m eine Abnahme um ca. 27 km/h). Demgegenüber haben hier die "Durchfahrer" eine praktisch unveränderte Geschwindigkeit von ca. 66 km/h (V_m) bzw. 74 km/h (V_{85%}). Erst kurz vor dem Erreichen des Konfliktpunktes im Knoten verlangsamten sie geringfügig auf ca. 63 km/h (V_m) bzw. 70 km/h (V_{85%}).

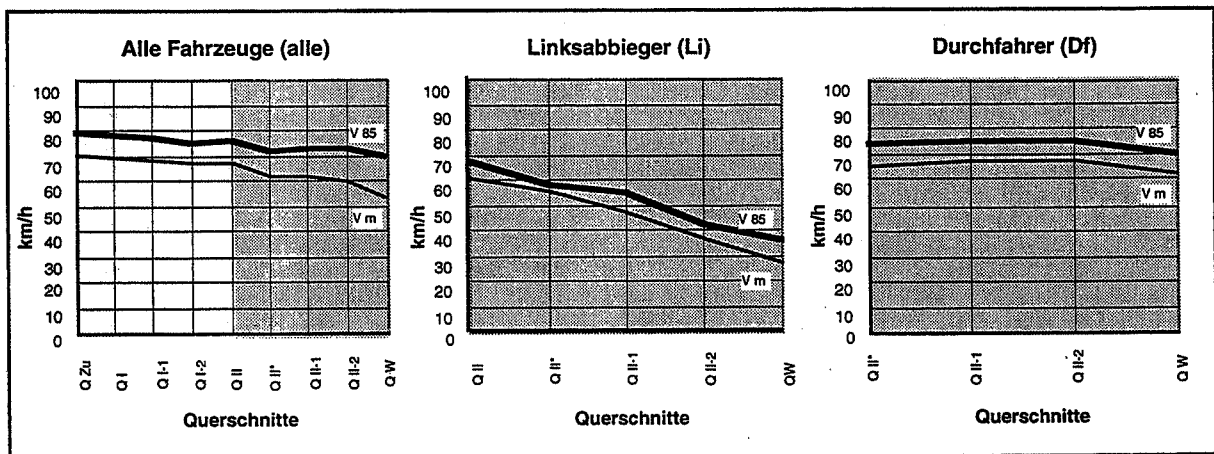


Abb. 13: Geschwindigkeitsverläufe der $V_{85\%}$ und der V_m am Beispiel des Knotens Nr. 1

• Mittlere Verzögerungen

Die mittleren Verzögerungen (a_m) in den einzelnen Bereichen zwischen den Geschwindigkeitsquerschnitten wurden nur für die Gruppe "alle Fahrzeuge" und die im Vordergrund stehende Teilgruppe "Linksabbieger" ausgewertet (vgl. Abbildung 14). Sie wurden als arithmetischer Durchschnitt aus den Verzögerungswerten der Einzelfahrzeuge (vgl. Abbildung 16) errechnet. Aus diesem Grund sind sie mit Werten, die sich aus den Differenzen der mittleren Geschwindigkeit V_m ergäben (vgl. Abbildung 13), nicht direkt vergleichbar.

Bei der Gruppe "alle Fahrzeuge" ergaben sich in der Knotenzufahrt nur kleine Verzögerungen, teilweise wurde auch leicht beschleunigt. Erst im letzten Bereich vor dem Haltebalken wird deutlich verzögert. Auf dem Linksabbiegerstreifen (Gruppe "Linksabbieger") wird bereits am Anfang verzögert und die Werte nehmen bis zum letzten Bereich vor dem Haltebalken kontinuierlich auf ca. 1.9 m/s^2 zu.

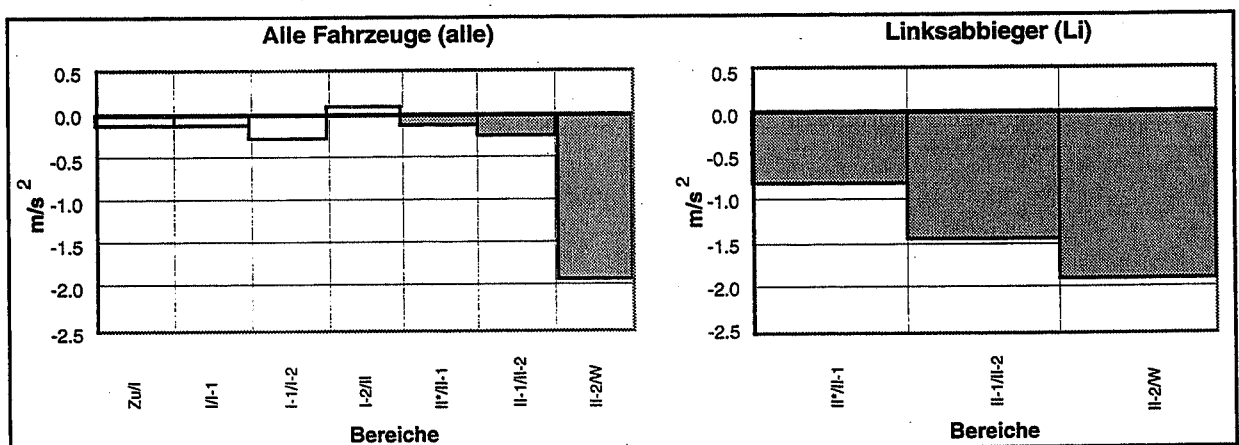


Abb. 14: Mittlere Verzögerungen (a_m) am Beispiel des Knotens Nr. 1

• Geschwindigkeitsverteilungen

In Abbildung 15 sind an einem Beispiel die Geschwindigkeitsverteilungen an den einzelnen Querschnitten dargestellt. Im einstreifigen Verziehungsbereich (Querschnitte $QZ_u + Q_{II}$) sind die Verteilungskurven ähnlich und dicht beieinander. Entsprechend der relativ homogenen Verteilung betragen die Standardabweichungen s zwischen 7.5 und 8.8 km/h (vgl. Tabelle 5). Am ersten Querschnitt QZ_u beträgt der Fahrzeuganteil mit Geschwindigkeit grösser als die V_{Zul}

ca. 12%; der $V_{85\%}$ -Wert der Knotenzufahrtsgeschwindigkeit liegt mit 79 km/h knapp unter der V_{zul} von 80 km/h.

Im Vorsortierbereich, wo nur die Linksabbieger ausgewertet wurden, verschieben sich die Verteilungskurven entsprechend der zunehmenden Verzögerung in Richtung zum Haltebalken. In diesem Bereich sind die Standardabweichungen s der Linksabbieger noch etwas kleiner als im einstreifigen Verziehungsbereich (vgl. Tabelle 5).

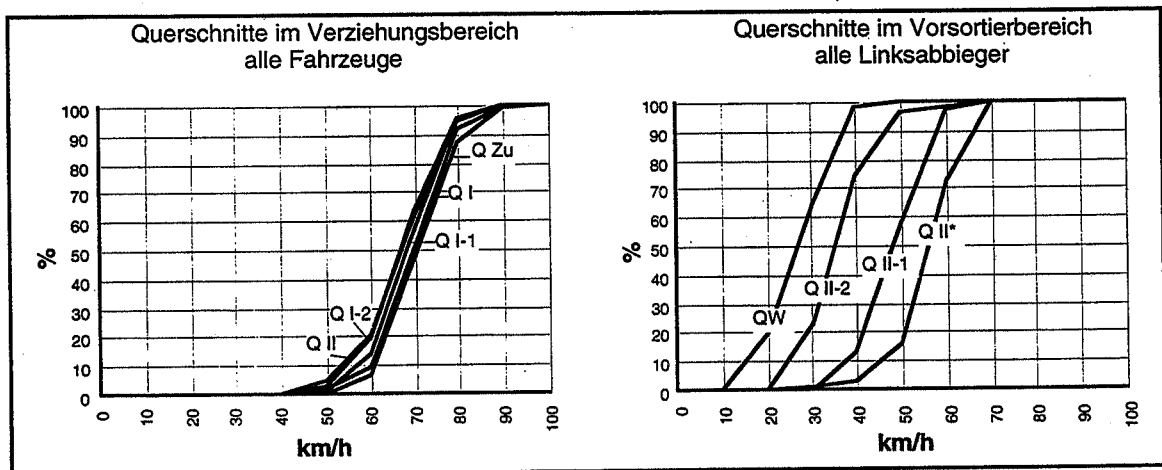


Abb. 15: Geschwindigkeitsverteilungen am Beispiel des Knotens Nr. 1

• Geschwindigkeitsverläufe und Verzögerungen der Einzelfahrzeuge

Die Abbildung 16 zeigt für die zwei Fahrzeuggruppen die Geschwindigkeitsverläufe (oben) und die daraus ermittelten Verzögerungen (unten) der Einzelfahrzeuge in den einzelnen Bereichen der Knotenzufahrt. Wie in 3.2.3 erwähnt, ergaben sich bei den Messungen zwei getrennte Stichproben (eine im Verziehungsbereich und eine im Vorsortierbereich). Aus diesem Grund können nicht durchgehende Geschwindigkeitsverläufe aufgezeichnet werden.

Im Bereich des Vorsortierstreifens ist die abnehmende Tendenz der Geschwindigkeiten deutlich sichtbar. Dennoch haben die Linksabbieger vereinzelt auch beschleunigt (vgl. untere Abbildung). Einige der Geschwindigkeitskurven sind nicht durchgehend. Bei diesen konnte im EDV-Programm die Fahrzeugverfolgung nicht durchgeführt werden. Solche Fälle ergeben sich gelegentlich, wenn sich Fahrzeuge auf den zwei parallelen Fahrstreifen im Bereich des Messpfostens "überdecken", oder wenn der Linksabbiegestreifen nur auf einem Teilstück befahren wird. In solchen Situationen ist eine plausible Zuordnung stark eingeschränkt.

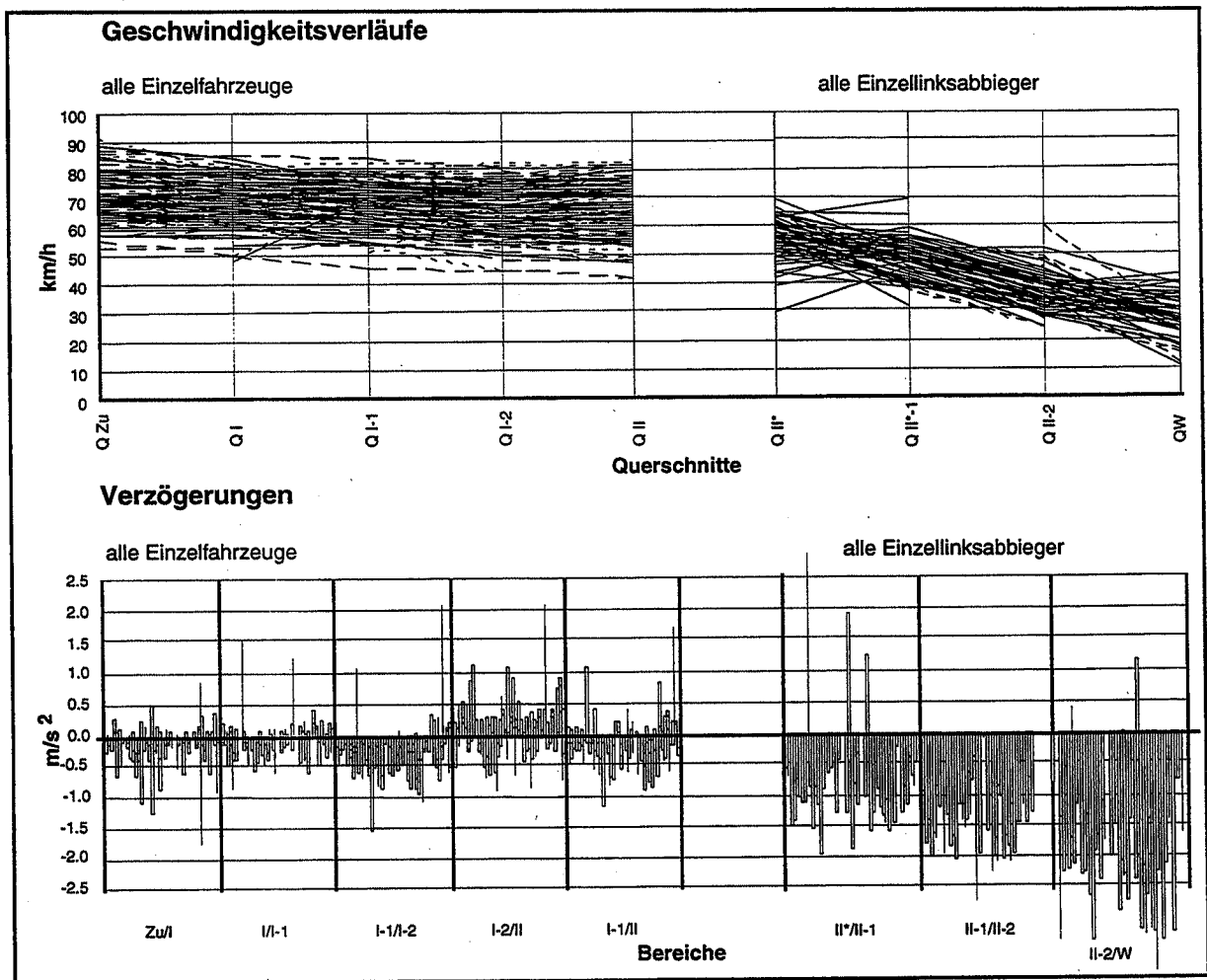


Abb. 16: Geschwindigkeitsverläufe und Verzögerungen für Einzelfahrzeuge am Beispiel des Knotens Nr. 1

3.3 Ergebnisse des Hauptversuches

Zur Beurteilung des Einflusses der im Vordergrund stehenden Längen in der Knotenzufahrt auf das Geschwindigkeitsverhalten wurden die 6 Untersuchungsknoten gruppiert. Für eine Regressionsanalyse ist die Anzahl der Messwerte zu klein (6 Werte bei den Verziehungslängen bzw. deren 4 bei den Linksabbiegestreifen). Um dennoch die grundsätzlichen Tendenzen besser zu erkennen, wurden zumindest bei den Verziehungsstrecken entsprechende Betrachtungen angestellt (vgl. in 3.3.3).

3.3.1 Knotengruppen

Die Gruppierung erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Länge der Verziehungsstrecke (VZ)
- Länge des Linksabbiegestreifens (LI)
- Einleitung und Ausbildung des Linksabbiegestreifens mit einer Insel (mI) oder ohne Insel (oI).

Das Kriterium bezüglich Art der Kanalisierung mit/ohne Insel wurde aufgrund der Erkenntnisse aus dem Vorversuch (vgl. 3.1.2) einbezogen. Bei den vorhandenen Längen wurde zwischen "kurz" (ku) und "lang" (la) unterschieden, wobei aufgrund der Geometrie bei den einzelnen Knoten (vgl. Tabelle 4) folgende Zuordnung vorgenommen wurde:

- Verziehungsstrecken "kurz" (**ku**), $L = 38.0 \div 67.0$ m
- Verziehungsstrecken "lang" (**la**), $L = 88.0 \div 126.0$ m
- Linksabbiegestreifen "kurz" (**ku**), $L = 61.5$ und 64.0 m
- Linksabbiegestreifen "lang" (**la**), $L = 94.0$ und 104.0 m

Aufgrund dieser Zuordnung ergaben sich die in Tabelle 6 zusammengestellten Knotengruppen. Für die Gruppe 8 mit kurzem Linksabbiegestreifen, ohne Insel konnte leider kein Untersuchungsknoten mit genügender Verkehrsmenge auf dem Linksabbiegestreifen gefunden werden.

Gruppe	Verziehungs- strecke	Linksabbiege- streifen	Insel	Abkürzungen	zugeordnete Knoten Nr.
1	"lang"		mit	VZla / mI	1, 4
2	"lang"		ohne	VZla / oI	5
3	"kurz"		mit	VZku / mI	3, 6
4	"kurz"		ohne	VZku / oI	2
5		"lang"	mit	Lla / mI	1
6		"lang"	ohne	Lla / oI	2
7		"kurz"	mit	Lku / mI	3, 4
8		"kurz"	ohne	Lku / oI	–

Tab. 6: Knotengruppen

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die vorhandenen Verziehungslängen (L_V) nur bei wenigen Untersuchungsknoten die gemäss VSS-Norm [1] erforderlichen Werte aufweisen. Wie aus Tabelle 7 ersichtlich, stimmen sie nur bei den Knoten Nr. 1 und 4 weitgehend überein. In einem Fall ist die vorhandene L_V grösser als die erforderliche L_V , in drei Fällen sind die vorhandenen Verziehungslängen kürzer. Beim Knoten Nr. 3 wird die erforderliche L_V um fast 90 m unterschritten.

Knoten Nr.	1	2	3	4	5	6
L_V -vorhanden [m]	126.0	67.0	38.5	120.0	88.0	38.5
L_V -erforderlich [m] (gemäss VSS-Norm [1])	116.5	85.0	126.5	122.0	56.5	85.0

Tab. 7: Verziehungslängen (L_V) bei den Untersuchungsknoten

3.3.2 Geschwindigkeits- und Verzögerungs- bzw. Beschleunigungswerte in den Knotengruppen

In Tabelle 8 sind die Geschwindigkeits- und Verzögerungs- bzw. Beschleunigungswerte im Bereich der *Verzierungsstrecken* (alle Fahrzeuge) für die Knotengruppen 1+4, in Tabelle 9 jene im Bereich der *Linksabbiegestreifen* (nur Linksabbieger) für die Knotengruppen 5+8 zusammengestellt. Bei Gruppen mit zwei Knoten wurden sie jeweils als gewichteter Mittelwert ermittelt.

Zur Beschreibung werden bei den Geschwindigkeiten der V₈₅%-Wert, der das Verhalten der schnelleren Fahrzeuggruppe repräsentiert, sowie die mittlere Geschwindigkeit V_m, mit der das durchschnittliche Verhalten ausgedrückt werden kann, verwendet.

• Bereich der Verzierungsstrecken

Aus Tabelle 8 ist ersichtlich, dass die V₈₅%-Werte zu Beginn der Knotenzufahrt (im Querschnitt Q_{Zu}) mit 83.5 bis 92.7 bei allen Gruppen deutlich über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul} von 80 km/h liegen. Wie aus den Geschwindigkeitsverteilungen (im ANHANG, Beilagen 5+10) hervorgeht, variiert dabei der Anteil von Fahrzeugen mit V > V_{zul} zu Beginn der Verzierung mit 8 bis 62% sehr stark. Obwohl diese Unterschiede auch auf die örtlichen Verhältnisse zurückgeführt werden können, zeigt sich, dass die Einhaltung der Tempolimits bei kurzen Verzierungen besser als bei den langen ist. Am schlechtesten wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei Knotenzufahrten ohne Inseln eingehalten.

Die mittlere Geschwindigkeit V_m zu Beginn der Knotenzufahrt variiert zwischen 74.0 km/h (Gruppe 3) und 81.7 km/h (Gruppe 4). Zum Vergleich lagen die mittleren Zufahrtsgeschwindigkeiten *beim Vorversuch* zwischen 74.2 km/h und 83.0 km/h (vgl. Tabelle 2), also in einer ähnlichen Grössenordnung.

		Verzierungsstrecke "lang"				Verzierungsstrecke "kurz"				
		Q _{Zu}	Q _I	Q _{I-1}	Q _{II}	Q _{Zu}	Q _{Zu-1}	Q _I	Q _{I-1}	Q _{II}
mit Insel		Gruppe ① (Knoten 1, 4)				Gruppe ③ (Knoten 3, 6)				
	V _m	77.1	75.2	73.6	67.0	74.0	73.9	72.6	73.6	74.9
	V ₈₅	86.0	83.8	83.1	77.7	83.5	83.3	82.2	81.2	83.3
	a _m	-0.2	-0.2	-0.5		0.0	-0.1	-0.6	0.4	
ohne Insel		Gruppe ② (Knoten 5)				Gruppe ④ (Knoten 2)				
	V _m	80.0	80.0	77.5	83.9	81.7	79.7	76.3	68.4	72.0
	V ₈₅	87.9	87.0	85.1	94.4	92.7	92.1	87.8	80.3	83.8
	a _m	0.1	-0.4	0.8		-0.2	-0.4	-1.7	0.7	

+a_m = mittlere Beschleunigung -a_m = mittlere Verzögerung

Tab. 8: Geschwindigkeiten und Verzögerungen der Fahrzeuggruppe "alle Fahrzeuge" im Bereich der Verzierungsstrecken

Bei den Verzögerungswerten a_m ist ein Vergleich mit dem Vorversuch nur bedingt möglich. Betrachtet man die 2. Reaktionen im Vorversuch, die etwa im Abstand zwischen 2/3 der Erfassungsdistanz D_E und 40+50 m vor dem Haltebalken -also etwa in der ersten Hälfte der Verzierungsstrecke- stattfanden, so könnte ein Vergleich mit dem Bereich zwischen den Querschnitten Q_I und Q_{I-1} wie folgt angestellt werden:

- Mittelwert *Vorversuch*: a_m = - 0.73 m/s² (Streubereich - 0.39 bis - 0.85 m/s²)
- Mittelwert *Hauptversuch*: a_m = - 0.64 m/s² (Streubereich - 0.20 bis - 1.70 m/s²)

Die Mittelwerte sind ähnlich, allerdings ergab sich im Hauptversuch eine grössere Wertestreuung.

• Bereich der Linksabbiegestreifen

Aus Tabelle 9 ist ersichtlich, dass die mittleren Geschwindigkeiten V_m am Ende des Linksabbiegestreifens (in Q_W) zwischen 27.3 km/h (Gruppe 5) und 37.6 km/h (Gruppe 6) variieren. *Beim Vorversuch* waren sie mit 21.5 bis 28.7 km/h (vgl. Tabelle 2) deutlich tiefer. Allerdings waren dort die Abbiegeschwindigkeiten am Haltebalken gemessen, also rund 10÷15 m weiter als im Hauptversuch.

		Linksabbiegestreifen "lang"				Linksabbiegestreifen "kurz"			
		Q_{II}	Q_{II-1}	Q_{II-2}	Q_W	Q_{II}	Q_{II-1}	Q_{II-2}	Q_W
mit Insel		Gruppe 5 (Knoten 1)				Gruppe 7 (Knoten 3, 4)			
	V_m	60.9	48.2	36.5	27.3	54.9	49.6	41.3	32.0
	V_{85}	68.5	54.7	41.7	35.7	61.4	57.7	47.6	38.4
	a_m	-0.8	-1.4	-1.9		-1.7	-1.6	-1.85	
ohne Insel		Gruppe 6 (Knoten 2)				Gruppe 8 (kein Knoten)			
	V_m		50.5	45.3	37.6				
	V_{85}		63.4	55.8	44.0				
	a_m		-1.1	-1.5					

+ a_m = mittlere Beschleunigung - a_m = mittlere Verzögerung

Tab. 9: Geschwindigkeiten und Verzögerungen der Fahrzeuggruppe "Linksabbieger" im Bereich der Linksabbiegestreifen

Hinsichtlich des Vergleichs der mittleren Verzögerungen gilt die gleiche Einschränkung wie bei den Verziegungsstrecken. Hier können die 3. Reaktionen im Vorversuch herangezogen werden. Sie erfolgten etwa im Abstand zwischen 1/3 der Erfassungsdistanz D_E und 10÷20 m vor dem Haltebalken, also etwa in der ersten Hälfte des Linksabbiegestreifens. Dies entspricht ungefähr dem Bereich zwischen den Querschnitten Q_{II-1} und Q_{II-2} . Der Vergleich ergibt:

- Mittelwert *Vorversuch* : $a_m = -1.49 \text{ m/s}^2$ (Streubereich - 1.23 bis - 1.76 m/s^2)
- Mittelwert *Hauptversuch* : $a_m = -1.40 \text{ m/s}^2$ (Streubereich - 1.10 bis - 1.80 m/s^2)

Aufgrund der Tabellen 8 und 9 wurden die Knotengruppen, die sich vor allem bezüglich der Längen im Bereich der Verziehung und der Vorsortierung unterscheiden, verglichen und näher analysiert.

3.3.3 Zusammenhänge im Bereich der Verziehung

In diesem Abschnitt werden die Geschwindigkeiten und Verzögerungen im Bereich der Verziegungsstrecken in den sechs Knotenzufahrten analysiert. Dabei wurden in einem ersten Schritt die Knotengruppen 1 und 2 (Verziegungsstrecke "lang") sowie die Knotengruppen 3 und 4 (Verziegungsstrecke "kurz") zusammengefasst.

• Vergleich alle "lang" / alle "kurz"

In Abbildung 17 sind die Mittelwerte der Geschwindigkeiten und der mittleren Verzögerungen in allen kurzen und allen langen Verziegungsstrecken einander gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, dass das Geschwindigkeitsniveau in der Fahrtrichtung zum Knoten generell leicht abnimmt. Bis ca. Mitte der Verziehung (Querschnitt Q_{I-1}) liegen die Geschwindigkeiten in *kurzen* Verziegungen (Knoten Nr. 2, 3 und 6 mit mittlerer Länge von ca. 52 m) etwas niedriger als in *langen* Verziegungen (Knoten Nr. 1, 4 und 5 mit mittlerer Länge von ca. 107 m). Die Unterschiede sind mit 2÷3 km/h ($V_{85\%}$) bzw. 2÷4 km/h (V_m) nur klein; ein Einfluss der Länge ist hier kaum auszumachen.

Bedingt durch die kürzeren Querschnittsabstände bei *kurzen* Verziehnungen erhöhen sich jedoch die Verzögerungen im mittleren Bereich der Verziehung stark (Abbildung 17 rechts). In der zweiten Hälfte der Verziehung (Bereich I-1/II) ändern sich die Verhältnisse: Während in langen Verziehnungen weiter verlangsamt wird, nimmt die Geschwindigkeit in kurzen Verziehnungen zu.

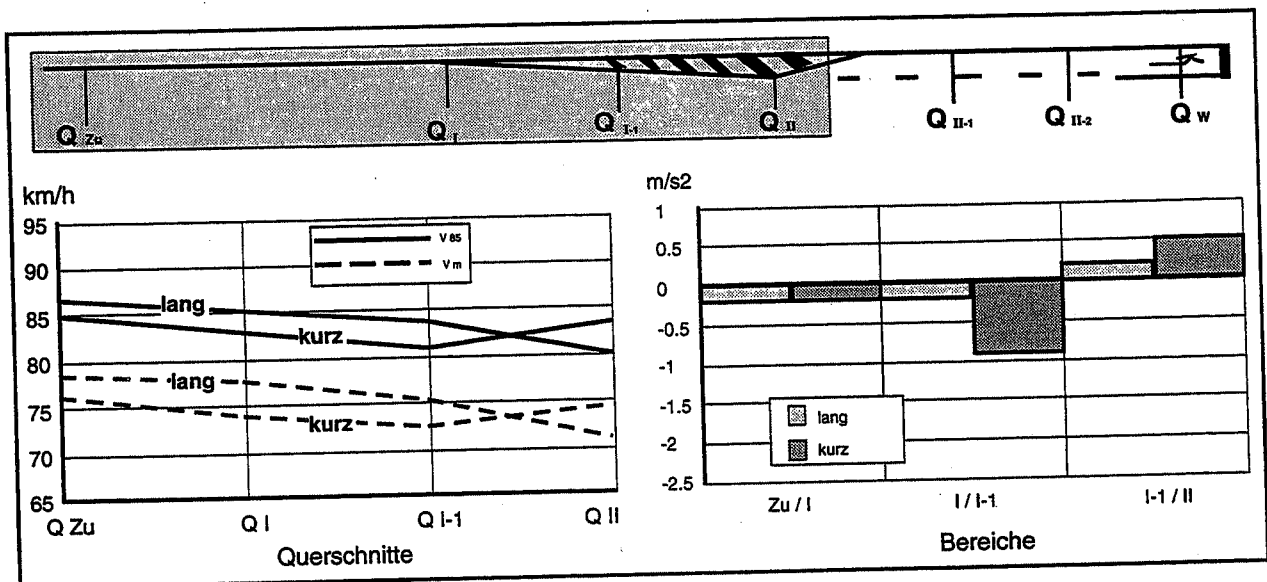


Abb. 17: Geschwindigkeiten $V_{85\%}$, V_m (links) und mittlere Verzögerungen a_m (rechts) aller Fahrzeuge in den Knotenzufahrten; Vergleich lange/kurze Verziehnungsstrecken

• Vergleiche "lang"/"kurz"-mit Insel und "lang"/"kurz"-ohne Insel

Um diese Zusammenhänge näher zu analysieren, wurde die Betrachtung in Abbildung 17 erweitert, indem die Stichprobe in Knotenzufahrten *mit Inseln* (Abbildung 18) und jene *ohne Inseln* (Abbildung 19) unterteilt wurde. Für diese getrennten Stichproben wurde wiederum ein Vergleich zwischen kurzen und langen Verziehnungsstrecken angestellt.

Bei Knotenzufahrten *mit Inseln* handelt es sich um den Vergleich zwischen der Knotengruppe 1 (mit langen Verziehnungsstrecken) und der Knotengruppe 3 (mit kurzen Verziehnungsstrecken), bei Knotenzufahrten *ohne Inseln* handelt es sich um den Vergleich zwischen der Knotengruppe 2 (mit langen Verziehnungsstrecken) und der Knotengruppe 4 (mit kurzen Verziehnungsstrecken).

Bei den Knoten *mit Inseln* (Abbildung 18) zeigt sich eine ähnliche Situation wie in Abbildung 17; die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen kurzen und langen Verziehnungsstrecken sind noch etwas kleiner. Demgegenüber ergeben sich bei den Knotenzufahrten *ohne Inseln* beträchtliche Unterschiede: Die Geschwindigkeiten in der Mitte und am Ende der Verziehung liegen bei kurzen Verziehnungsstrecken um ca. 10 km/h niedriger als bei langen Verziehnungen, und in beiden Fällen wird in der zweiten Hälfte der Verziehung beschleunigt.

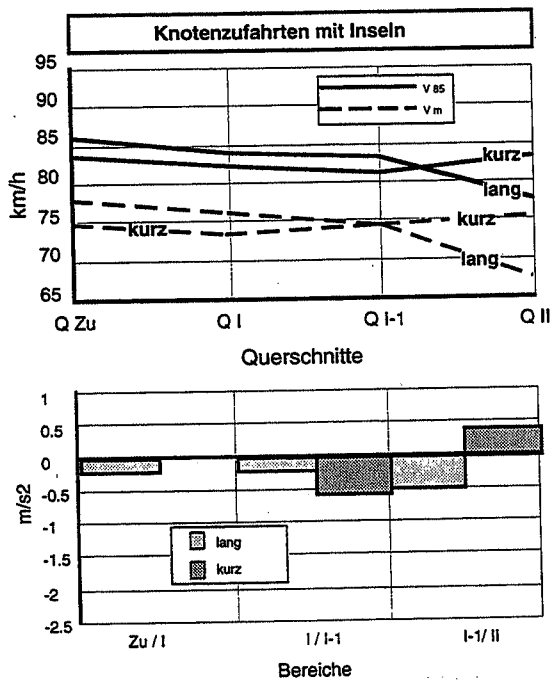


Abb. 18:
Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte
aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten *mit Inseln*;
Vergleich lange/kurze Verziegungsstrecken
(Knotengruppe 1/3)

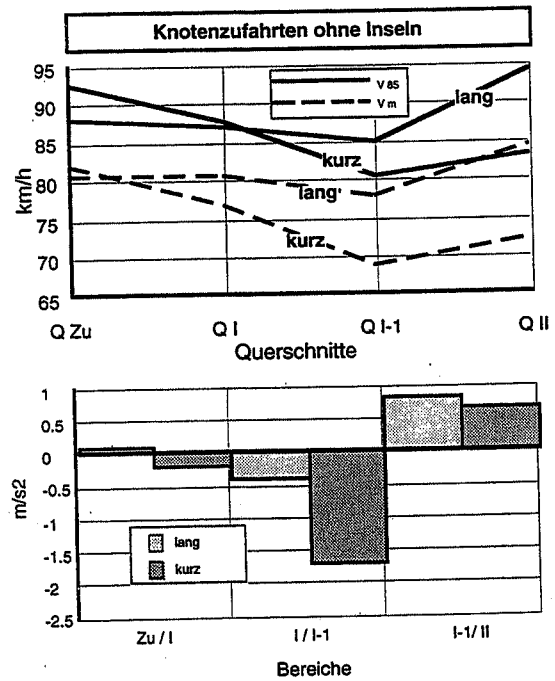


Abb. 19:
Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte
aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten *ohne Inseln*;
Vergleich lange/kurze Verziegungsstrecken
(Knotengruppe 2/4)

• Vergleiche mit / ohne Insel-"lang" und mit / ohne Insel-"kurz"

Damit drängt sich eine Betrachtung des Einflusses der Ausführungsart der Verziegungsstrecke -mit oder ohne Insel- auf. Die entsprechende Auswertung ist in den Abbildungen 20 (für lange Verziegungsstrecken) und 21 (für kurze Verziegungsstrecken) dargestellt. Bei Knotenzufahrten mit *langen* Verziegungsstrecken handelt es sich um den Vergleich zwischen Knotengruppe 1 (mit Inseln) und Knotengruppe 2 (ohne Inseln), bei Knotenzufahrten mit *kurzen* Verziegungsstrecken handelt es sich um den Vergleich zwischen Knotengruppe 3 (mit Inseln) und Knotengruppe 4 (ohne Inseln).

Die Ergebnisse bestätigen die bereits aufgrund der Auswertung in Abbildung 17 geäußerte Vermutung, dass die Längen der Verziegungsstrecken alleine einen nur untergeordneten *Einfluss auf die Zufahrtsgeschwindigkeiten* haben. Diese hängen mehr davon ab, ob in der Knotenzufahrt eine Insel angeordnet ist oder nicht: Aus den Abbildungen 20 und 21 ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeiten bis etwa zur Mitte der Verziehung in Fällen mit Inseln generell tiefer liegen als in Fällen ohne Inseln. Die Unterschiede der mittleren Geschwindigkeiten betragen in den ersten zwei Querschnitten ca. 3÷5 km/h (bei langen Verziegungen) bzw. 5÷10 km/h (bei kurzen Verziegungen).

In der zweiten Hälfte der Verziehung (zwischen den Querschnitten QI-1 und QII) wird bei *langen* Verziegungsstrecken *mit Inseln* weiter verlangsamt, während bei jenen *ohne Inseln* beschleunigt wird (Abbildung 20).

Bei den *kurzen* Verziegungsstrecken (Abbildung 21) erfolgt in der zweiten Hälfte der Verziehung eine Angleichung der Geschwindigkeiten. Dies führt bei Knotenzufahrten *ohne Inseln* zum starken Anstieg der mittleren Verzögerung im zurückliegenden Bereich I / I-1 (analog zur Abbildung 19).

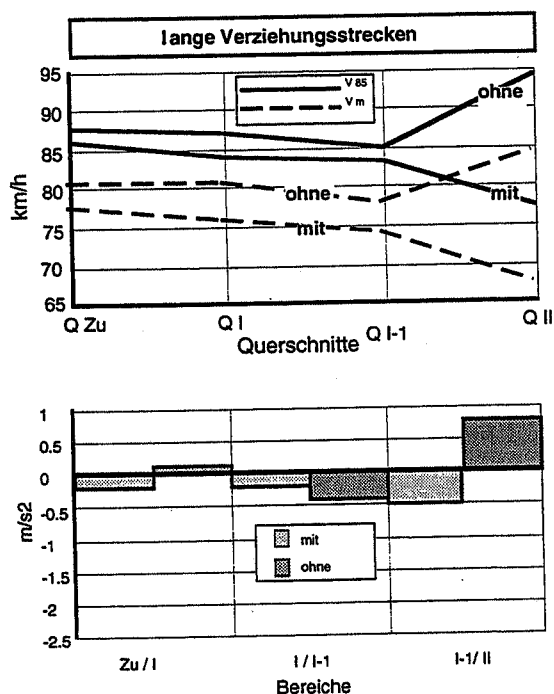


Abb. 20:
Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte
aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten mit *langen*
Verziegungsstrecken; Vergleich mit/ohne
Inseln (Knotengruppe 1/2)

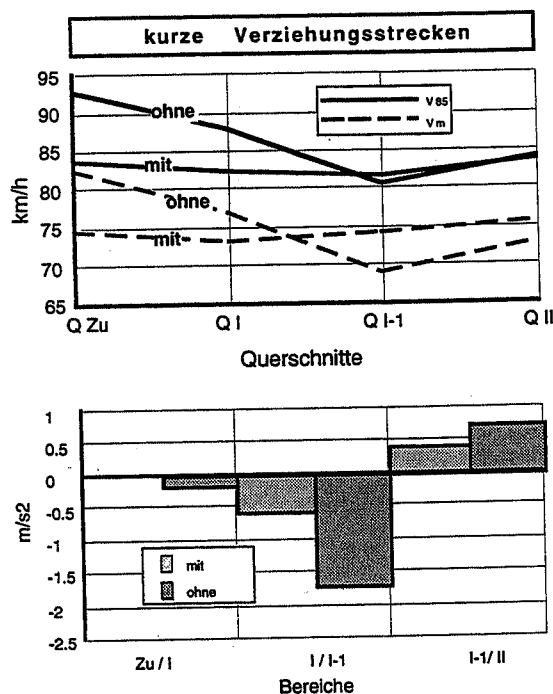


Abb. 21:
Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte
aller Fahrzeuge in Knotenzufahrten mit *kurzen*
Verziegungsstrecken; Vergleich mit/ohne Inseln
(Knotengruppe 3/4)

Über dem gesamten Knotenbereich resultieren bei Verziegungen *mit Inseln* auch gleichmässiger Geschwindigkeits- und Verzögerungsverläufe, was auch in den Geschwindigkeitsverteilungen zum Ausdruck kommt. Am deutlichsten kann dies am Beispiel der Knoten Nr. 1 (mit Insel) und 2 (ohne Insel) gezeigt werden (Abbildung 22). Die Standardabweichungen an den Querschnitten längs der Verziegungsstrecke (QZu bis QII) liegen beim Knoten Nr. 1 zwischen 7.5 und 8.8 km/h, während sie beim Knoten Nr. 2 mit Werten zwischen 10.5 und 11.8 km/h deutlich grösser sind.

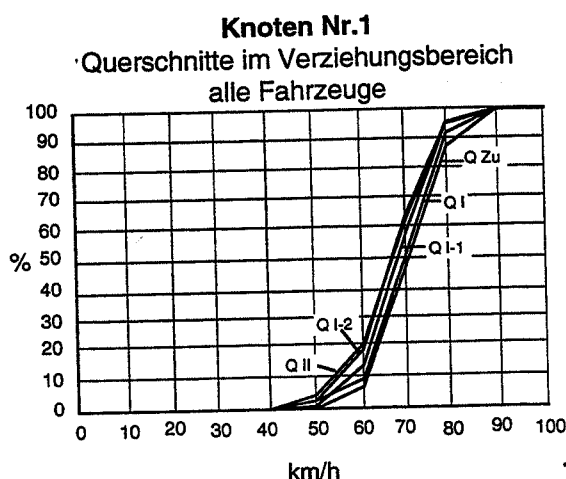


Abb. 22: Geschwindigkeitsverteilungen an Querschnitten in Verziegungsbereichen der Knoten
Nr. 1 und 2

• Längen der Verziegungsstrecken

Zuletzt wurden auch die *tatsächlichen Längen der Verziegungen* (L_V) in die Betrachtungen einbezogen.

Obwohl die Zahl der Untersuchungsknoten relativ klein ist, überprüfte man anhand von Regressionsberechnungen die allfälligen Zusammenhänge zwischen L_V und den Geschwindigkeiten der schnelleren Fahrzeuggruppe ($V_{85\%}$). Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 zusammengestellt.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass in den Querschnitten QZu bis QI-1 (ca. Mitte der Verziegungsstrecke) die Neigung der Regressionsgeraden sehr klein ist. Sie nimmt, wie auch das Geschwindigkeitsniveau, in der Fahrtrichtung von QZu zu QI-1 leicht ab.

Dieses Ergebnis bestätigt die aus vorangehenden Auswertungen abgeleitete Feststellung, wonach der Einfluss der Länge der Verziehung auf die Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich des Knotens nur geringfügig ist.

Die "umgekehrte" Abhängigkeit am Querschnitt QII (Ende der Verziegungsstrecke) kann nicht als Auswirkung der L_V gedeutet werden. Aus verkehrspsychologischen Untersuchungen ist hinlänglich bekannt, dass Fahrzeuglenker ihre Geschwindigkeit aufgrund der Antizipation an die in Fahrtrichtung nachfolgende Situation wählen. Im Querschnitt QII, wo die Verziegungsstrecke bereits durchgefahren wurde, spielen andere Faktoren, wie die Behinderungen durch ausserernde Linksabbieger und/oder die (antizipierte) Gestaltung der vorausliegenden Vorsortierstreifen eine Rolle.

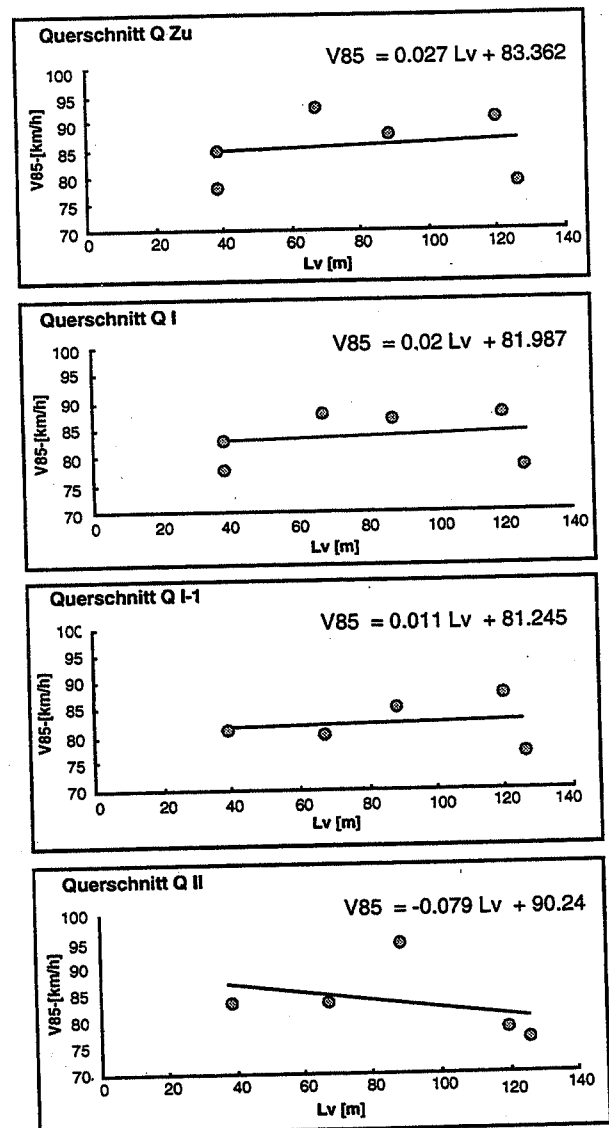


Abb. 23:
 $V_{85\%}$ in Funktion der Länge der Verziehung (L_V) in den Querschnitten QZu bis QII

3.3.4 Zusammenhänge im Bereich der Vorsortierung

Analog zu 3.3.3 wurden auch bei den Vorsortierungen zunächst die Knotengruppen 5 und 6 (Linksabbiegestreifen "lang") sowie die Knotengruppe 7 (Linksabbiegestreifen "kurz") zusammengefasst. Auf die Beurteilung der tatsächlichen Längen der Linksabbiegestreifen, wie sie in 3.3.3 für die Verziegungsstrecken angestellt ist, wurde mangels geeigneter Längenverteilung verzichtet.

• Vergleich alle "lang" / alle "kurz"

In Abbildung 24 sind die Mittelwerte der Geschwindigkeiten und der mittleren Verzögerungen in allen kurzen und allen langen Linksabbiegestreifen einander gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, dass das Geschwindigkeitsniveau in Fahrtrichtung zum Haltebalken deutlich abnimmt. Am Ende der Verziegungsstrecke (Querschnitt QII) liegen die Geschwindigkeiten der Linksabbieger bei *kurzen* Linksabbiegestreifen (Knoten Nr. 3 und 4 mit mittlerer Länge von ca. 63 m) ca. 6÷7 km/h tiefer als bei *langen* Linksabbiegestreifen (Knoten Nr. 1 und 2 mit mittlerer Länge von ca. 100 m); nach etwa einem Drittel des Linksabbiegestreifens (Querschnitt QII-1) gleichen sie sich jedoch weitgehendst an.

Dementsprechend resultieren am Ende der Verziegungsstrecke bzw. am Anfang der Vorsortierung bei *kurzen* Linksabbiegestreifen etwa doppelt so hohe Verzögerungswerte als bei *langen* Linksabbiegestreifen; im weiteren Bereich des Linksabbiegestreifens sind die Unterschiede nur gering. Die kürzeren Linksabbiegestreifen führen also in diesem Bereich nicht zu höheren Verzögerungen.

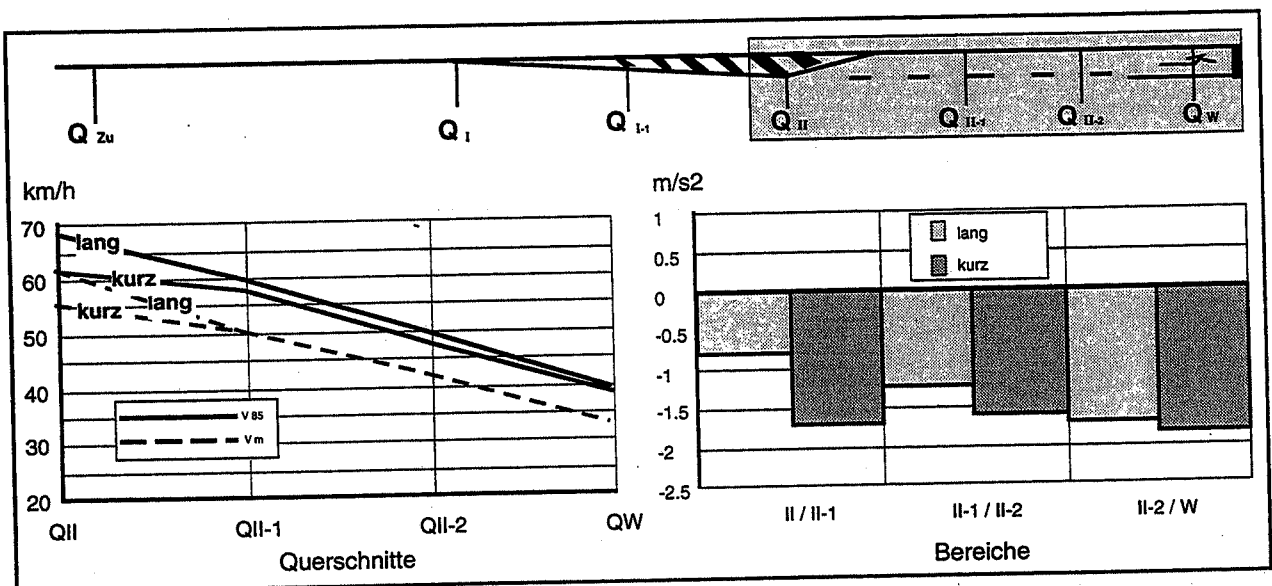


Abb. 24: Geschwindigkeiten $V_{85\%}$, V_m (links) und mittlere Verzögerungen a_m (rechts) aller Linksabbieger in den Vorsortierungen; Vergleich lange/kurze Linksabbiegestreifen

Die mittlere Verzögerungen im Verzögerungsbereich (LR) des Linksabbiegestreifens (hier etwa die Bereiche II/II-1 und II-1/II-2) liegen bei etwa 1.2 bis 1.7 m/s^2 . Wie aus den Beilagen 5÷8 im ANHANG hervorgeht, liegen die *maximalen* Verzögerungen an den einzelnen Knoten etwa zwischen 2.5 und 3.5 m/s^2 , vereinzelt werden auch Werte von 4.0 m/s^2 erreicht.

Aus Abbildung 24 ist auch ersichtlich, dass bei kurzen Linksabbiegestreifen die "mangelnde" Länge kompensiert wird, indem in allen drei Bereichen etwa die gleichen Verzögerungen auftreten, während diese in den langen Linksabbiegestreifen kontinuierlich zunehmen. Die Tatsache, dass die Geschwindigkeiten der Linksabbieger am Ende der Verziegungsstrecke (QII) bei *kurzen* Linksabbiegestreifen ca. 6÷7 km/h tiefer liegen als bei *langen* Linksabbiegestreifen, bestätigt zudem die in 3.3.3 gewonnene Erkenntnis, dass die Verzögerungsvorgänge bei *kurzen* Linksabbiegestreifen in den Verziegungsbereich vorverlegt werden.

• Vergleich mit /ohne bei langen Linksabbiegestreifen

Analog zu 3.3.3 wurde auch hier die Ausführungsart der Vorsortierung -mit oder ohne Inseln- geprüft. Wie der Tabelle 9 entnommen werden kann, ist diese Auswertung nur für die Knotengruppen mit langen Linksabbiegestreifen (Gruppen 5 und 6) möglich.

Aus Abbildung 25 ist ersichtlich, dass auch bei den Linksabbiegestreifen die Geschwindigkeiten in Fällen *mit Inseln* generell tiefer liegen als in jenen *ohne Inseln*. Die Unterschiede betragen bis zu 10 km/h (V_m) bzw. bis zu 15 km/h ($V_{85\%}$).

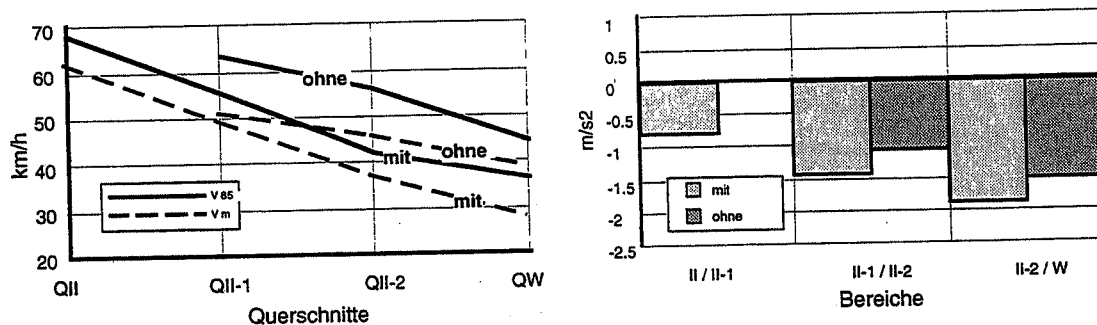


Abb. 25: Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte aller Linksabbieger in Knotenzufahrten mit langen Linksabbiegestreifen; Vergleich mit/ohne Inseln (Knotengruppe 5/6)

Die etwas höheren Geschwindigkeiten bei Linksabbiegestreifen ohne Inseln sind eine Folge des "Kurvenschneidens" im Knotenbereich. Im Gegensatz zu Linksabbiegestreifen mit Inseln, wo die Fahrspur bis zum Haltebalken baulich vorgegeben ist, wird -wie Beobachtungen zeigten- bei Linksabbiegestreifen ohne Inseln oft vor dem Haltebalken "abgedreht", was einen grösseren Abbiegeradius ermöglicht.

Die kleinsten Einzelgeschwindigkeiten am Ende des Messbereichs lagen bei 20÷25 km/h. Ob man anschliessend angehalten oder wieder beschleunigt hat, wurde nicht erfasst. Allerdings waren bei den herrschenden kleinen Verkehrsmengen eigentliche Anhaltvorgänge selten.

3.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Messungen haben gezeigt, dass die Geschwindigkeitswerte $V_{85\%}$ in den Knotenzufahrten mit ca. 83÷93 km/h deutlich über den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten liegen. Dabei ergab sich zwischen den Werten im Vor- und Hauptversuch eine gute Übereinstimmung (vgl. in 3.3.2). Für die Abbiegegeschwindigkeiten ergaben sich im Vorversuch etwa um 7÷9 km/h niedrigere Werte als im Hauptversuch. Dies ist jedoch durch die unterschiedlichen Lagen der Messquerschnitte begründet.

Bezüglich der mittleren Verzögerungen ergab sich sowohl im Bereich der ersten Hälfte der Verziegungsstrecke ($a_m = \text{ca. } 0.7 \text{ m/s}^2$) als auch in der ersten Hälfte des Linksabbiegestreifens ($a_m = \text{ca. } 1.45 \text{ m/s}^2$) eine gute Übereinstimmung zwischen dem Vor- und dem Hauptversuch.

• Verziegungsbereich

Die Länge der Verziegungsstrecke allein hat offensichtlich *keinen wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeiten in der Knotenzufahrt*. Bis etwa Mitte der Verziegung liegen sie bei Zufahrten mit kurzen Verziegungsstrecken nur ca. 2÷3 km/h niedriger, als bei jenen mit langen Verziegungsstrecken (Abbildungen 17, 18 und 22). Dabei sind in dieser Untersuchung die "langen" Verziegungen im Mittel etwa doppelt so lang wie die "kurzen" Verziegungen, und die Mehrzahl der Untersuchungsknoten weist zum Teil deutlich kürzere Verziegungsstrecken auf, als in der VSS-Norm [1] angegeben.

Die Zufahrtsgeschwindigkeiten hängen mehr davon ab, ob die Verziehung in der Knotenzufahrt auf eine vorausliegende (besser sichtbare) Insel erfolgt, oder ob sie nur mit einer Sperrfläche bzw. Führungslinie ausgebildet ist. Unabhängig von der Länge der Verziehung resultieren bis etwa zur Mitte der Verziehungsstrecke bei Zufahrten mit Inseln niedrigere Geschwindigkeiten und gleichmässiger Geschwindigkeitsverläufe als bei jenen ohne Inseln (Abbildungen 20, 21 und 22). Die Unterschiede betragen ca. 3÷5 km/h (bei langen Verziehungsstrecken) bzw. 5÷10 km/h (bei kurzen Verziehungsstrecken).

In den meisten Knotenzufahrten zeigen die Geschwindigkeitsverläufe bis etwa zur Mitte der Verziehung nur eine geringe Geschwindigkeitsanpassung (V_m -Abnahme lediglich ca. 3÷4 km/h); im letzten Bereich vor der Vorsortierung (Querschnitt QII) wird oft sogar beschleunigt¹⁾ (vgl. auch Geschwindigkeitsverläufe an den einzelnen Knoten, im ANHANG, Beilagen 5, 6, 8 und 9). Dabei wird hier die, infolge Insel- bzw. Sperrflächenaufweitung, vermeintlich "engste Stelle" durchgefahren. Diese sicherheitsmässig nicht unbedenkliche Situation dürfte auch durch die hier vorhandenen grossen Fahrstreifenbreiten (b_1) begünstigt werden: Bei fünf der sechs untersuchten Knotenzufahrten beträgt die Durchfahrtsbreite b_1 ca. 5.0 m (vgl. Tabelle 4).

Ausgeprägt sind die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen kurzen und langen Verziehungen in *Knotenzufahrten ohne Inseln*. Hier liegen die Geschwindigkeiten *bei kurzen Verziehungen* deutlich niedriger als bei langen Verziehungen (Abbildungen 19 und 21). Dabei ergeben sich auch starke Verzögerungen von im Mittel -1.70 m/s². Solche Werte entsprechen jenen, die erst gegen Ende der Linksabbiegestreifen auftreten. Der Umstand, dass anschliessend im Bereich I-1/II wieder beschleunigt wird (Abbildungen 19, 20 und 21), deutet auf Fehleinschätzungen der in Fahrrichtung nachfolgenden Situation. In *Knotenzufahrten mit Inseln* entstehen solche Unklarheiten nicht; die Geschwindigkeitsverläufe sind dort -auch bei kurzen Verziehungen- wesentlich gleichmässiger.

Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass in der Modellvorstellung der bestehenden Norm [1] im Bereich der Verziehung keine Geschwindigkeitsänderung angenommen wird.

• Vorsortierbereich

In den Linksabbiegestreifen nimmt das Geschwindigkeitsniveau in der Fahrrichtung zum Haltebalken erwartungsgemäss deutlich ab. Die *Geschwindigkeiten bei kurzen und bei langen Linksabbiegestreifen sind ähnlich*, gegen Ende der Vorsortierung sind sie praktisch identisch (Abbildung 24). Bei *kurzen Längen* der Linksabbiegestreifen resultieren somit *entsprechend höhere Verzögerungswerte*; zu Beginn des Linksabbiegestreifens sind sie mit ca. -1.7 m/s² doppelt so hoch wie bei langen Linksabbiegestreifen.

Die mittleren Verzögerungen im Verzögerungsbereich (LR) des Linksabbiegestreifens liegen zwischen etwa 1.2 bis 1.7 m/s². Dieses Ergebnis bestätigt den in der bestehenden Norm [1] für die Bemessung empfohlenen Verzögerungswert von -1.5 m/s².

Auch bei den Linksabbiegestreifen liegen *die Geschwindigkeiten* in Fällen *mit Inseln* im Mittel um bis zu 10 km/h *niedriger* als in Fällen ohne Inseln (Abbildung 25).

Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Fahrzeuglenker *ihre Geschwindigkeit im Linksabbiegestreifen weitgehend unabhängig von dessen Länge* wählen. Die kürzere Länge wird durch entsprechend stärkere Verzögerungen, die vor allem am Ende der Verziehungsstrecke auftreten, kompensiert.

¹⁾ Diese Aussage bezieht sich auf die Gruppe "alle Fahrzeuge".

3.4 Vergleiche mit anderen Messergebnissen

Zur Problematik der Ausbildung von Fahrstreifen in Knoten bestehen in der Fachliteratur zahlreiche Unterlagen. Fahrdynamische Untersuchungen, die auf Messungen des Fahrverhaltens in Knotenbereichen basieren, sind jedoch selten. Eine direkt vergleichbare Arbeit, die auch als Grundlage für die Revision deutscher Richtlinien für Knoten diene, wurde von SCHNÜLL und SCHREYER [6] durchgeführt. Sie enthält detaillierte Erhebungen, bei welchen u.a. etwa 1'500 Linksabbiegevorgänge an vier Knoten ausserorts erfasst wurden. Bei diesen Messungen waren die Anzahl und die Anordnung der Messquerschnitte in den Knotenzufahrten ähnlich wie in der vorliegenden Untersuchung.

In [6] wurden unter anderem das Geschwindigkeits- und Verzögerungsverhalten der Linksabbieger sowie das Abstandsverhalten zur Beurteilung von Behinderungen der Durchfahrer untersucht.

Die Abbildung 26 zeigt den Verläufe der *mittleren Geschwindigkeit* längs der Knotenzufahrt für die Teilgruppen von Fahrzeugen "Durchfahrer" und "Linksabbieger". Die Kurven wurden an Knotenzufahrten mit unterschiedlich langen Linksabbiegestreifen (Messstelle 1 ca. 150 m, Messstelle 2 ca. 70 m) erhoben. Die Zufahrten sind in Abbildung 26 schematisch eingezeichnet.

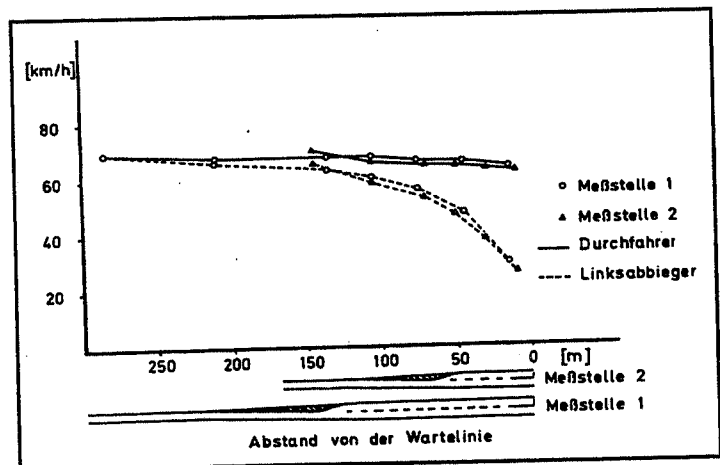


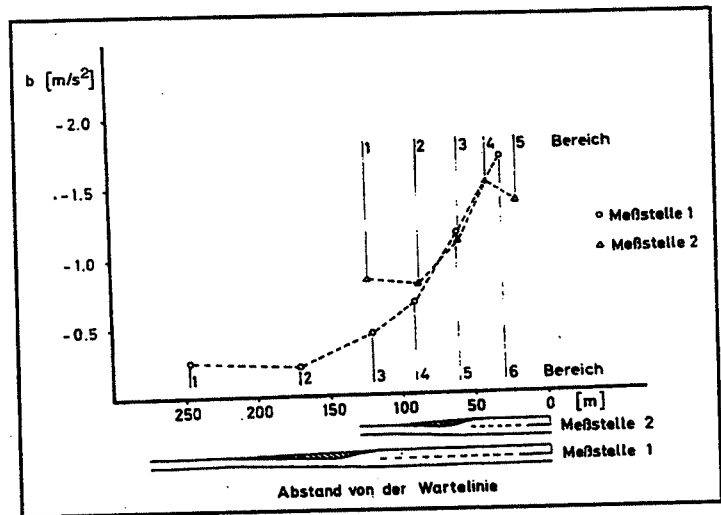
Abb. 26: Geschwindigkeitsverläufe aller Durchfahrer und Linksabbieger in Knotenzufahrten aus [6]

Aus Abbildung 26 ist ersichtlich, dass sich die zusammengehörigen Kurven praktisch nicht unterscheiden. Das heisst, dass sowohl die Linksabbieger als auch die Durchfahrer unabhängig von der Länge des Linksabbiegestreifens an beiden Knoten bei gleichen Abständen vom Haltebalken im Mittel etwa gleich schnell fahren. Sogar die mittleren Zufahrtsgeschwindigkeiten am ersten Querschnitt waren bei Durchfahrer und Linksabbiegern gleich gross.

Diese Tatsache wird durch die Verläufe der *mittleren Verzögerungen* bestätigt (vgl. Abbildung 27). Bei der Knotenzufahrt mit *langem* Linksabbiegestreifen beginnen die Verzögerungsvorgänge der Linksabbieger ca. 100 m vor dem Beginn des Linksabbiegestreifens, mit nur geringen Werten von ca. -0.2 m/s^2 . Die Verzögerungen nehmen kontinuierlich zu bis zum Maximum von -1.7 m/s^2 vor dem Haltebalken.

Bei der Knotenzufahrt mit *kurzem* Linksabbiegestreifen betrug die mittlere Verzögerung bereits 50 m vor dem Beginn des Linksabbiegestreifens etwa -0.8 m/s^2 und nahm dann in ähnlicher Weise zu. Bei kürzeren Linksabbiegestreifen resultieren also entsprechend höhere Verzögerungen und dieser "Komfortverlust wird von den Fahrern offensichtlich ohne weiteres hingenommen. Daraus wird in [6] gefolgert, dass durch die Ausbildung von kürzeren Verziegungsstrecken und Linksabbiegestreifen keine fahrdynamischen Probleme in Knotenzufahrten auftreten.

Abb. 27: Verläufe der mittleren Verzögerungen aller Linksabbieger in Knotenzufahrten aus [6]



Für die in [6] untersuchten Knoten wurden auch die mittleren *Verzögerungen über den gesamten Zufahrtsbereich* ermittelt. Dabei ergab sich eine deutliche Diskrepanz zwischen dem damals gültigen Bemessungsmodell [7], in welchem ein Wert von -2.0 m/s^2 angenommen war, und dem erhobenen Verhalten, bei dem eine mittlere Verzögerung von -0.57 m/s^2 (Zufahrt mit langem Linksabbiegestreifen) bzw. -1.05 m/s^2 (Zufahrt mit kurzem Linksabbiegestreifen) resultierte.

Aufgrund der Ergebnisse in 3.3.4 wäre zu vermuten, dass eine ähnliche Situation auch aus unseren Erhebungen resultiert. Zu diesem Zweck wurden zwei Paare von Knotenzufahrten mit unterschiedlichen Längen der Linksabbiegestreifen (L_{abb1}) verwendet: Knoten Nr. 2 ($L_{abb} = 94 \text{ m}$) und Nr. 3 ($L_{abb} = 64 \text{ m}$) sowie Knoten Nr. 1 ($L_{abb} = 104 \text{ m}$) und Nr. 4 ($L_{abb} = 61.5 \text{ m}$). Sie sind analog zu [6] in den Abbildungen 28 (Geschwindigkeitsverläufe) und 29 (Verläufe der mittleren Beschleunigungen) dargestellt.

Wie aus Abbildung 28 ersichtlich, können die Erkenntnisse aus [6] bestätigt werden. Die Geschwindigkeiten aller Fahrzeuge im Zufahrts- und Verziehungsbereich (jeweils im linken Teil der Darstellungen) sind mit jenen in Abbildung 26 nicht genau vergleichbar, weil dort nur jene der Durchfahrer dargestellt sind. Im Bereich der Vorsortierung, wo in beiden Fällen nur Linksabbieger dargestellt sind, zeigt sich eine ähnliche Situation: Die Geschwindigkeitsverläufe ähneln sich trotz verschieden langen Linksabbiegestreifen. Die beim Knoten Nr. 3 etwas niedrigere Geschwindigkeit am Ende des Linksabbiegestreifens (vgl. Abbildung 28 links) dürfte eher auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass im Knoten Nr. 3 eine Insel ausgebildet ist, während der Knoten Nr. 2 nur eine Sperrfläche hat. Zudem ist beim Knoten Nr. 3 eine um ca. ein Drittel kürzere Verziegungsstrecke vorhanden als beim Knoten Nr. 2.

Dementsprechend zeigt sich beim Vergleich der Knoten Nr. 1 und 4 (vgl. Abbildung 28 rechts), die beide mit Inseln ausgestattet sind und praktisch gleich lange Verziegungsstrecken aufweisen, eine bessere Übereinstimmung der zwei Geschwindigkeitskurven.

In Abbildung 29 sind die Verläufe der mittleren Verzögerungen a_m im Bereich der Linksabbiegestreifen dargestellt. Die ausgezogenen Linien beziehen sich nur auf Linksabbieger; ihre Fortsetzung ist gestrichelt dargestellt, weil die a_m -Werte am Ende der Verziegungsstrecken auf alle Fahrzeuge bezogen sind. Aus den Darstellungen ist ersichtlich, dass im letzten Teil des Linksabbiegestreifens (ca. 20+50 m vor dem Haltebalken) die a_m -Werte zwar in einer ähnlichen Größenord-

1) $L_{abb} = L_D + L_R + L_S$, vgl. Tabelle 4.

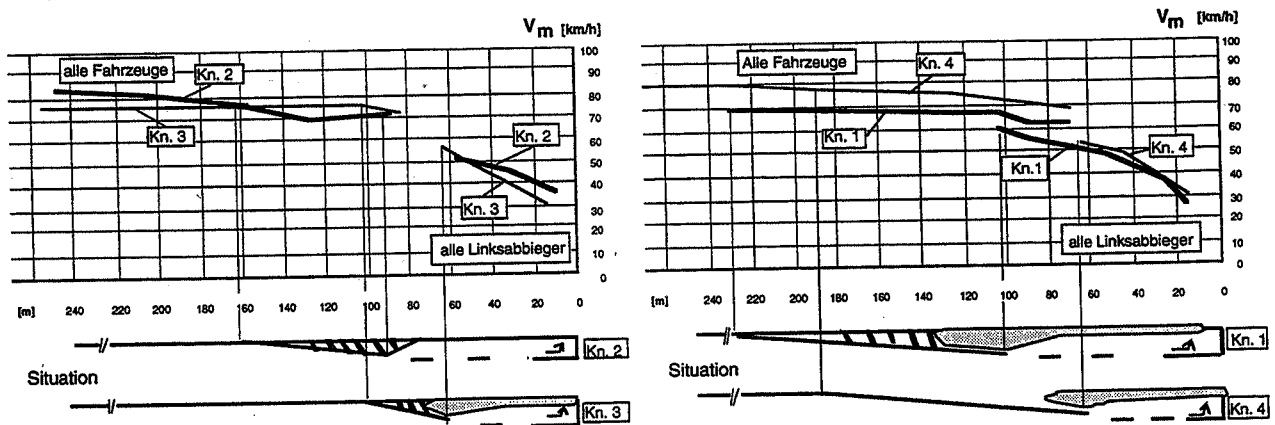


Abb. 28: Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe an Knoten Nr. 2 und 3 bzw. Nr. 1 und 4

nung sind, allerdings sind die zugehörigen Kurven nicht "praktisch deckungsgleich", wie in [6] festgestellt wurde (vgl. Abbildung 27).

Bei den bezüglich Ausstattung vergleichbaren Knotenzufahrten Nr. 1 und 4 (Darstellung rechts) erhöht sich die mittlere Verzögerung von ca. -0.8 m/s^2 (Knoten Nr. 1) bzw. ca. -1.0 m/s^2 (Knoten Nr. 4) auf ca. -1.9 m/s^2 . Beim Knoten Nr. 4, mit kurzem Linksabbiegestreifen wurde jedoch bereits in der Verziegungsstrecke mit ca. -0.8 m/s^2 deutlich verzögert, während im Knoten Nr. 1, mit langem Linksabbiegestreifen, am Ende der Verziegungsstrecke noch keine Verzögerungen auftraten. Dieser Unterschied bestätigt die Erkenntnisse aus [6].

Auch bei den Knotenzufahrten Nr. 2 und 3 erhöht sich im letzten Teil der Linksabbiegestreifen die mittlere Verzögerung ähnlich (Zunahme um ca. 0.4 bis 0.5 m/s^2). Die grossen Schwankungen der a_m -Werte bei Knoten Nr. 3 können jedoch nicht abschliessend erklärt werden. Möglicherweise ist hier ein Einfluss der, dem Linksabbiegestreifen vorgelagerten Verziegungsstrecke, die gemessen am Normrichtwert extrem kurz ist (vgl. Tabelle 7), wirksam.

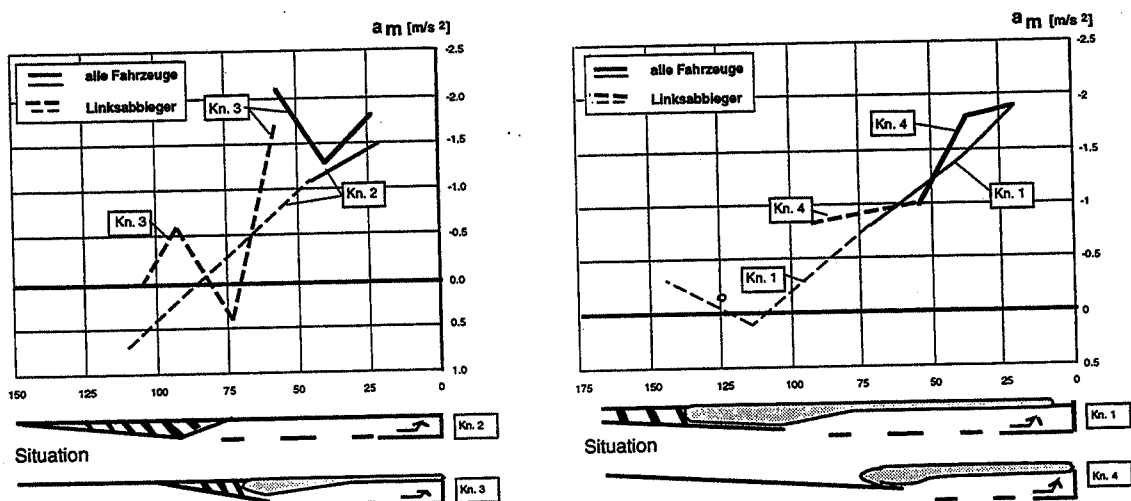


Abb. 29: Vergleich der Verläufe der mittleren Verzögerungen an Knoten Nr. 2 und 3 bzw. Nr. 1 und 4

Aufgrund der Auswertung des Geschwindigkeitsrückganges zwischen erstem Messquerschnitt und jenem zu Beginn des Linksabbiegestreifens wurden in [6] auch *Behinderungen der Durchfahrer* untersucht. Danach hatte die Länge des Linksabbiegestreifens keinen grossen Einfluss auf die Geschwindigkeit der von Linksabbiegern beeinflussten Durchfahrer: Der Geschwindigkeitsrückgang betrug zwischen 11.3 km/h (bei langem Linksabbiegestreifen) und 12.5 km/h (bei kurzem

Linksabbiegestreifen), während beim Knoten ohne Vorsortierung 26.5 km/h resultierten. Gemäss [6] lassen die Messergebnisse den Schluss zu, dass bereits kurze Linksabbiegestreifen von ca. 30 m Länge genügen, um den weitaus grössten Teil der Behinderungen der Durchfahrer zu vermeiden.

In einer kombinierten Auswertung der *räumlichen Fahrzeugabstände und deren Geschwindigkeitsdifferenzen* wurde in [6] zudem nachgewiesen, dass die Annahme, wonach durch grössere Verzögerungen vor Beginn der *kurzen* Linksabbiegestreifen häufiger gefährliche Situationen auftreten, nicht zutrifft. Die Mehrlänge des Linksabbiegestreifens bei der Messstelle 1 gegenüber der Messstelle 2 (vgl. Abbildung 26) führte mehr zu einer Erhöhung des Komforts als zu einer Erhöhung der Sicherheit.

Zusammenfassend folgern die Autoren in [6], dass sich die gesamten Verzögerungsvorgänge über einen viel grösseren Bereich erstrecken, als im Bemessungsmodell der Richtlinien [7] angenommen. Die Fahrzeuglenker verzögern -unabhängig von der Länge des Linksabbiegestreifens- schon weit vor Beginn des Vorsortierbereichs.

In einer weiteren deutschen Forschungsarbeit [8] zur "Überprüfung von Entwurfsstandards für Knoten an Ortsumfahrungen" wurden u.a. auch Geschwindigkeiten in Knoten gemessen und Zusammenhänge mit Merkmalen des Unfall- und Verkehrsgeschehens sowie mit verschiedenen Ausbauformen abgeleitet. Obwohl in dieser Untersuchung keine Bezüge zur Geometrie der Knotenelemente angestellt wurden, sind einige der dort gewonnenen Erkenntnisse von Interesse:

Das auffallendste Ergebnis der Geschwindigkeitsmessungen in [8] war, dass in allen Knoten die zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} zum Teil deutlich überschritten wird. Die (signalisierte) Geschwindigkeitsbeschränkung von 70 km/h¹⁾ wurde nur von wenigen Fahrern eingehalten: An den 11 Untersuchungsknoten lag die $V_{85\%}$ zwischen 87 und 109 km/h, die V_m zwischen 75 und 95 km/h (zum Vergleich bei den vorliegenden Messungen gemäss 3.3.2: $V_{85\%} = 83+93$ km/h und $V_m = 74+82$ km/h, bei V_{zul} von 80 km/h). Die grosse Streuung der Mittelwerte (V_m) bei gleicher zulässigen Höchstgeschwindigkeit deutet darauf hin, dass die signalisierte Tempolimite nur einen geringen Einfluss ausübt. In den Geschwindigkeitsprofilen längs ausgewählter Strecken zeigte sich auch, dass das Geschwindigkeitsniveau in Knoten gegenüber der freien Strecke nur geringfügig abgesenkt wird.

Weiter wurde in [8] festgestellt, dass die hohen Geschwindigkeiten von den vortrittsbelasteten Fahrzeuglenkern nicht richtig eingeschätzt werden können, vor allem bei ungünstigen Blickwinkeln. Hohe Geschwindigkeiten werden i.a. unterschätzt. Dies wurde durch Zeitlückenmessungen bestätigt: Bei gleich langer Wartezeit wurden bei höheren Geschwindigkeiten des vortrittsberechtigten Verkehrs kleinere Grenzzeitlücken gemessen. Die Grenzweglücken hingegen waren bei höheren Geschwindigkeiten länger. Es ist somit anzunehmen, dass die vortrittsbelasteten Fahrzeuglenker die Entscheidungen zum Einfahren in den Knoten mehr auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Weglücken treffen und weniger die Zeitlücken abschätzen.

Diese Erkenntnis, die für Einbiegevorgänge an Einmündungen gilt, wurde auch in [9] bestätigt. Sie steht jedoch im Gegensatz zu älteren Arbeiten über die Grenz- und Folgezeitlücken (z.B. von HARDERS[10]), die derzeit zur Leistungsschätzung an Knoten ohne Lichtsignalanlage verwendet werden.

3.5 Folgerungen aus den Erhebungen

Aufgrund der Ergebnisse der in dieser Untersuchung durchgeführten Erhebungen und unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus anderen Forschungsarbeiten lassen sich folgende direkte Folgerungen für die Knotenbereiche auf Strassen ausserorts ableiten:

1) Die generelle Tempolimite ausserhalb der Knoten beträgt auf Strassen ausserorts 100 km/h.

- ① *Die Geschwindigkeiten zu Beginn der Knotenzufahrt sind erhöht und die Reduktion der Geschwindigkeit im Knotenbereich selbst ist nur gering. Die $V_{85\%}$ -Werte liegen zum Teil deutlich über der Projektierungsgeschwindigkeit V_p , von der gemäss bestehender Norm [1] bei der Bemessung auszugehen ist.*
→ *Der Festlegung der massgebenden Bemessungsgeschwindigkeit kommt deshalb eine wichtige Bedeutung zu.*
- ② *Die weitgehend nur optisch begründbaren Längen der Verziehungsstrecken haben nur einen geringen Einfluss auf die Geschwindigkeiten.*
→ *Die Verziehungslängen, wie sie aus der Bemessung nach [1] resultieren, sind fahrdynamisch nicht gerechtfertigt. Sie können ohne Einbusse an Sicherheit und Verkehrsqualität deutlich kürzer ausgebildet werden.*
- ③ *Die Verzögerungsvorgänge der Linksabbieger beginnen -unabhängig von der Länge der Linksabbiegestreifen- bereits im Bereich der Verziehung. Eine Verkürzung der Linksabbiegestreifen führt in erster Linie zu einer räumlichen Ausdehnung der Verzögerungsvorgänge. Bei langen Linksabbiegestreifen wird nach anfänglicher Verzögerung sogar wieder etwas beschleunigt.*
→ *Die Gestaltung der Verzögerungsvorgänge zum Linksabbiegen ist ein Verhaltensphänomen der Fahrzeuglenker, von dem als von einer Tatsache ausgegangen werden muss. Eine gesonderte fahrdynamische Bemessung des Verzögerungsbereiches L_R zwischen Ausscherbereich L_D und Staauraum L_S erscheint deshalb als fraglich.*
- ④ *Im Linksabbiegestreifen wählen die Fahrzeuglenker ihre Geschwindigkeit weitgehend unabhängig von dessen Länge. Bei kurzen Linksabbiegestreifen ergeben sich dadurch entsprechend höhere Verzögerungen, die aber dennoch im Bereich der in [1] getroffenen Annahmen liegen.*
→ *Die in der Praxis häufig geäußerte Meinung, dass die in [1] für Bemessungszwecke angenommene mittlere Verzögerung von 1.5 m/s^2 zu niedrig sei (vgl. in 5.3.1) wird nicht bestätigt. Die Modellannahme in [1] trifft zu.*
- ⑤ *Durch die Anordnung von Inseln in Knoten ergeben sich im gesamten Knotenbereich etwas niedrigere Geschwindigkeiten (und somit eine bessere Einhaltung der Tempolimits) und vor allem gleichmässige Geschwindigkeitsverläufe als in Knotenzufahrten ohne Inseln. Diese Folgerung gilt wiederum unabhängig von den Längen der Verziehung und der Vorsortierung.*
→ *Die Wirkung der Inseln auf das Geschwindigkeitsverhalten in den Knotenzufahrten ist grösser als jene der Längen der Verziehung und der Vorsortierung.*
- ⑥ *In den Knotenbereichen lässt sich das Geschwindigkeitsniveau, vor allem jenes der schnelleren Fahrzeuggruppe, weder mit den Längen noch mit den Inseln massgeblich beeinflussen. Zu diesem Zweck müssen auch die Durchfahrtsbreiten im Knotenbereich einbezogen werden. Bei den Untersuchungsknoten waren die mittleren Breiten (b_1) am Ende der Verziehung mit ca. 5.0 m zu gross.*
→ *Durchfahrtsbreiten zwischen Fahrbahnrand und Insel bzw. Sperrfläche von über 4.5 m sind fahrdynamisch überflüssig und sicherheitstechnisch kontraproduktiv.*
- ⑦ *Aufgrund der Erkenntnisse aus [6] und [8] muss angenommen werden, dass auch die alleinige Anordnung von tieferen, örtlich signalisierten Tempolimits (in der Regel 60 km/h) im Knotenbereich keine hinreichende Geschwindigkeitsanpassung bewirkt.*

4. SONDERERHEBUNG FAHRSTREIFENBREITEN

Wie in 2.1 ausgeführt, ist für die Geschwindigkeitsanpassung in Knoten eine straffe optische Führung zwingend. Eines der Projektierungselemente welches hierzu beitragen kann, ist die Fahrstreifenbreite. In der Praxis werden die in [1] empfohlenen Breiten generell als zu gross erachtet. Die in den letzten Jahren ausgeführten Anpassungen in Knoten innerhalb besiedelter Gebiete bieten in diesem Zusammenhang eine Überprüfungsmöglichkeit, weil hier oft Einengungen, z.B. zur Verbesserung der Überquerbarkeit für Fussgänger vorgenommen wurden. Diese Reduktionen betreffen vor allem *Breiten im einstreifigen Bereich* zwischen erhöhten baulichen Randabschlüssen (i.a. zwischen Insel und Trottoir), für welche die bestehende Norm [1] Breiten von 4.5 oder 5.0 m empfiehlt, woraus eine deutliche Verbreiterung gegenüber der Fahrstreifenbreite auf der freien Strecke resultiert.

Aus diesem Grund wurde eine Erhebung durchgeführt. Mit ihr soll geprüft werden, ob die einstreifigen Bereiche zwischen Insel und Trottoir *mit gegenüber [1] reduzierten Breiten* eine erhöhte Unfallhäufigkeit aufweisen. Zu diesem Zweck wurden in den Städten Zürich und Winterthur an mehreren Strassenzügen die Breiten im Bereich von Inseln aufgenommen und anschliessend Unterlagen über das Unfallgeschehen auf diesen Strassenabschnitten eingeholt.

4.1 Untersuchungsstrecken

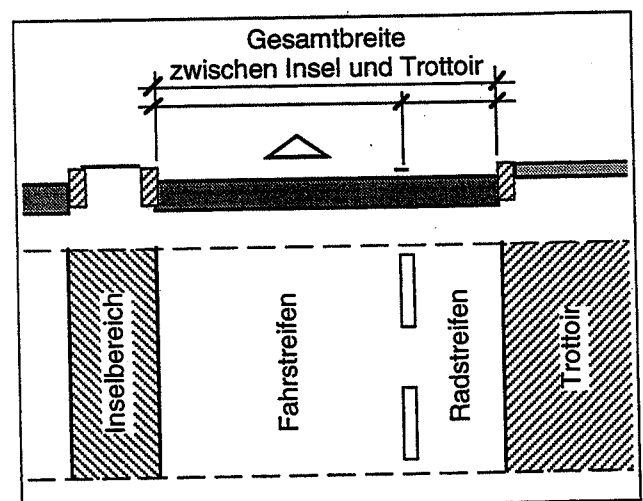
Für die Streckenauswahl wurden keine Vorbedingungen gestellt. Zur Begrenzung des Aufwandes für die Aufbereitung von Unfalldaten sollten lediglich zusammenhängende Strassenabschnitte abgegrenzt werden.

Die ausgewählten Strecken liegen im Bereich des übergeordneten Netzes (in der Regel radiale Ausfallachsen oder Tangentialverbindungen) und umfassen insgesamt 12 Strassenabschnitte. Sie wurden jeweils unterteilt in Teilabschnitte mit und solche ohne Inseln. Die durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge (DTV) liegt auf den meisten Untersuchungsstrecken zwischen ca. 15'000 und 25'000 Fz/Tag. Die DTV-Angaben waren jedoch nicht bei allen Strecken vorhanden. Auf diesen Strecken wurden bei insgesamt 70 Inselbereichen die Fahrstreifenbreiten gemessen. An den Messorten wurden gleichzeitig auch die Insellängen erfasst. Bei den Inseln handelt es sich um Leit- oder Trenninseln (in Zürich inklusive Haltestelleninseln) sowie reine Schutzinseln für Fussgänger. Im ANHANG, Beilage 11 sind die aufbereiteten Grunddaten für einige Messorte zusammengestellt.

Die Breiten wurden zwischen den Randstein-kanten gemessen, wobei auch die Breite der allfällig vorhandenen Radstreifen (bei 27 der insgesamt 70 Messorte) angegeben wurde (vgl. Skizze).

Die Abbildung 30 zeigt die Verteilung der Breiten zwischen Insel und Trottoir an den 43 Messorten in der Stadt Zürich. In den Breiten sind jene der allfälligen Radstreifen enthalten.

Die minimal gemessene *Fahrstreifenbreite* betrug im Bereich ohne Radstreifen 2.95 m, im Bereich mit Radstreifen 1.95 m. Die entsprechenden Maximalbreiten waren 4.20 m (Bereich ohne Radstreifen) und 3.40 m (Bereich mit Radstreifen).



Die Insellängen variieren zwischen ca. 6.5 m und mehreren hundert Meter (Trenninsel bei Tramführung auf dem Eigentrassée).

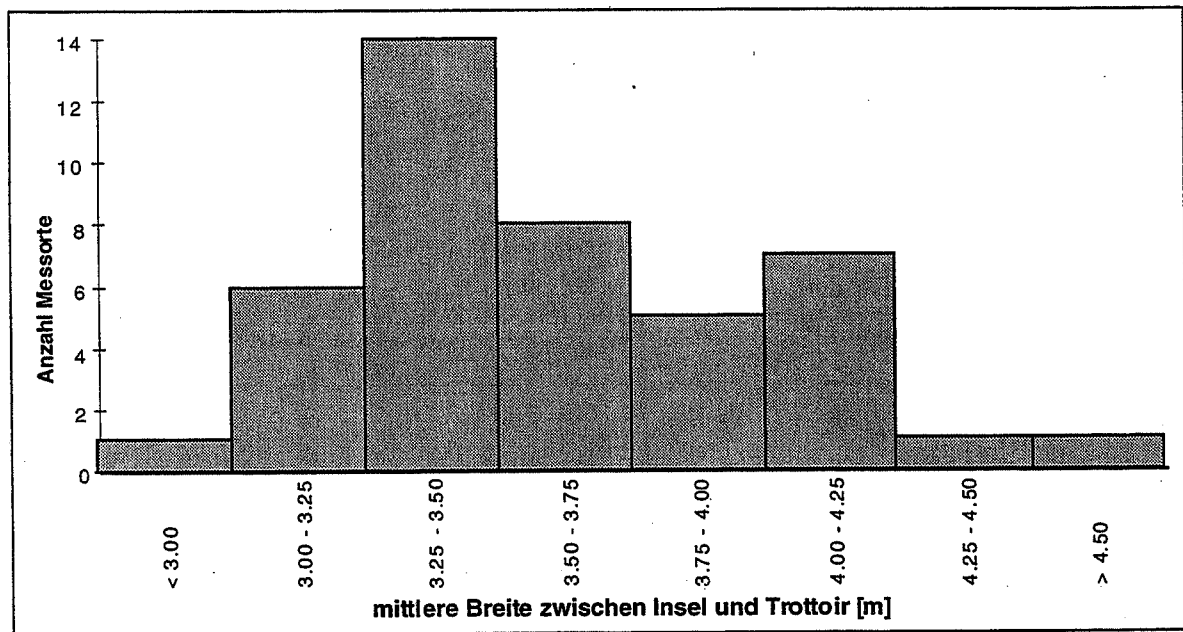


Abb. 30: Verteilung der Breiten zwischen Insel und Trottoir an den Messorten in der Stadt Zürich

4.2 Unfallgeschehen

Die eingeholten Unfalldaten beziehen sich jeweils auf die Gesamtlängen der Untersuchungsstrecken (insgesamt ca. 10.8 km). Erfasst wurden 315 Unfälle (195 in Zürich und 110 in Winterthur) aus der Zeitperiode 1993 bis 1995. Sie wurden bei den Stadtverwaltungen in die Übersichtspläne eingetragen. Die einzelnen Untersuchungsstrecken wurden in Abschnitte mit und ohne Inseln unterteilt und diesen anschliessend die Unfälle fahrtrichtungsweise zugeordnet (vgl. Beispiel im ANHANG, Beilage 11). Bei Abschnitten mit Inseln wurde zusätzlich ein vorgelagerter Zufahrtsbereich von 25 m Länge einbezogen.

Bei der Stadt Winterthur konnte leider nicht nach der Fahrtrichtung unterschieden werden. Deshalb musste bei diesem Teil der Stichprobe auf die Auswertung der Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und Fahrstreifenbreite verzichtet werden.

Für die Relativvergleiche wurde die *Unfalldichte* verwendet. Sie ist definiert als die Zahl der Unfälle pro Abschnitt, bezogen auf 100 m Länge und Jahr. Eine Unterscheidung nach Unfalltypen war im Rahmen dieser Zusatzerhebung nicht möglich.

4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse beziehen sich auf Erhebungen in der Stadt Zürich, wo eine exakte Zuordnung der Unfälle vorhanden war. Soweit möglich werden auch entsprechende Hinweise auf die Ergebnisse aus Winterthur gemacht.

Die Abbildung 31 zeigt die Verteilung der Unfalldichten auf Abschnitten ohne Inseln sowie auf drei Gruppen von Messorten mit Inseln, für letztere ist auch der Mittelwert (in Abbildung rechts) angegeben. Daraus ist ersichtlich, dass Abschnitte mit Inseln eine höhere Unfalldichte aufweisen als solche ohne Inseln. Dieses Ergebnis, das auch in der Stadt Winterthur bestätigt wurde, war zu erwarten, weil im Bereich von Inseln in Städten wesentlich mehr Querbeziehungen auftreten als auf der offenen Strecke. Die Abbildung 31 zeigt auch, dass zwischen den Inselarten Unterschiede bestehen.

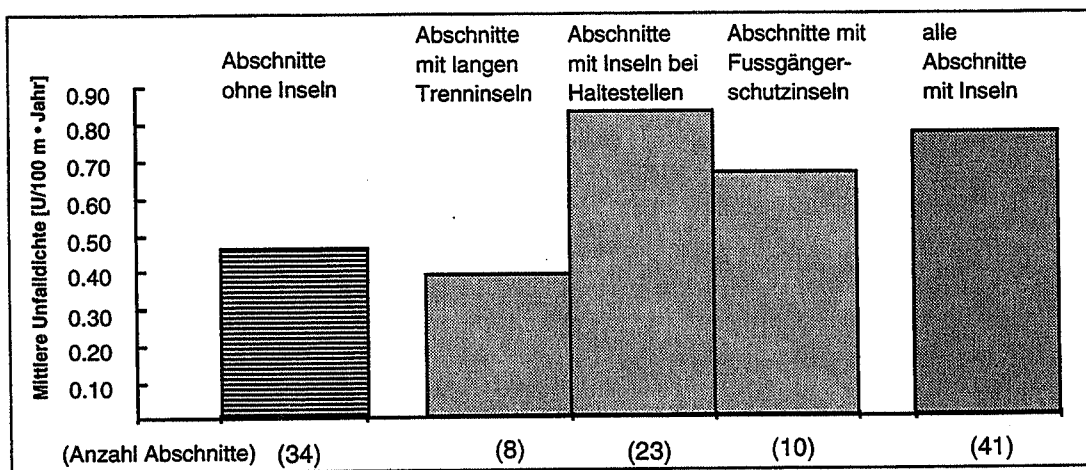


Abb. 31: Mittlere Unfalldichte nach Abschnittsgruppen

Dies ergibt sich auch aus der nächsten Auswertung in Abbildung 32. Darin wurden die Abschnitte mit Inseln nach der Insellänge in drei Gruppen unterteilt. Bei Inseln mit kurzer und mittlerer Länge resultieren deutlich höhere Unfalldichten als bei langen Inseln. Die Unterschiede zwischen den Inselarten hängen jedoch weniger mit der Insellänge zusammen als mit dem Umstand, dass bei den kurzen (Schutzinseln) und mittellangen (Haltestellenbereiche) Inseln konfliktrichtige Fussgängerbeziehungen häufig auftreten, während bei langen Trenninseeln solche selten sind.

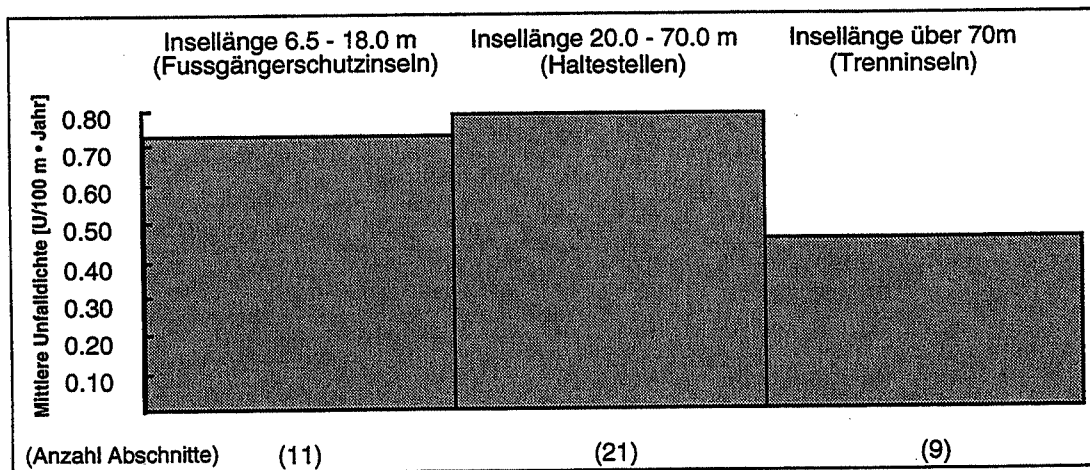


Abb. 32: Mittlere Unfalldichte bei Abschnitten mit Inseln gegliedert in Gruppen nach der Insellänge

In Winterthur waren nur kurze und mittellange Inseln in der Stichprobe enthalten. Auch hier weisen die Abschnitte mit mittellangen Inseln eine höhere Unfalldichte auf als jene mit kurzen Inseln; der Unterschied ist jedoch wesentlich grösser als in Zürich (Abbildung 32). Dabei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei den mittellangen Inseln in Winterthur nicht wie in Zürich um Inseln bei Haltestellen handelt.

Zur Überprüfung der im Vordergrund stehenden Frage, ob *schmalere Breiten im einstreifigen Bereich zwischen Insel und Trottoir eine erhöhte Gefährdung darstellen*, wurde der Zusammenhang Breite / Unfalldichte für die drei Gruppen von Insellängen gemäss Abbildung 32 untersucht. Auch hier wurden jeweils Gruppen von Breiten gebildet, wobei deren Abgrenzung aufgrund der Messwertverteilung (Punkteschar) erfolgte. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 dargestellt. Daraus ist grundsätzlich ersichtlich, dass die kleinsten Breiten keine erhöhten Unfalldichten aufweisen.

Bei Abschnitten *mit kurzen Inseln* zeigt sich mit zunehmender Breite eine Erhöhung der Unfalldichte, mit einem Höchstwert bei Breiten von 3.6÷4.0 m.

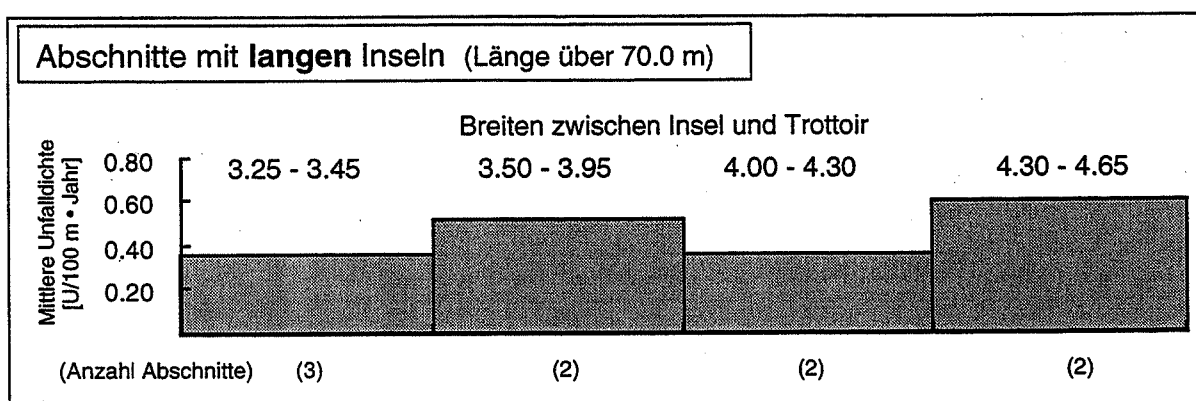
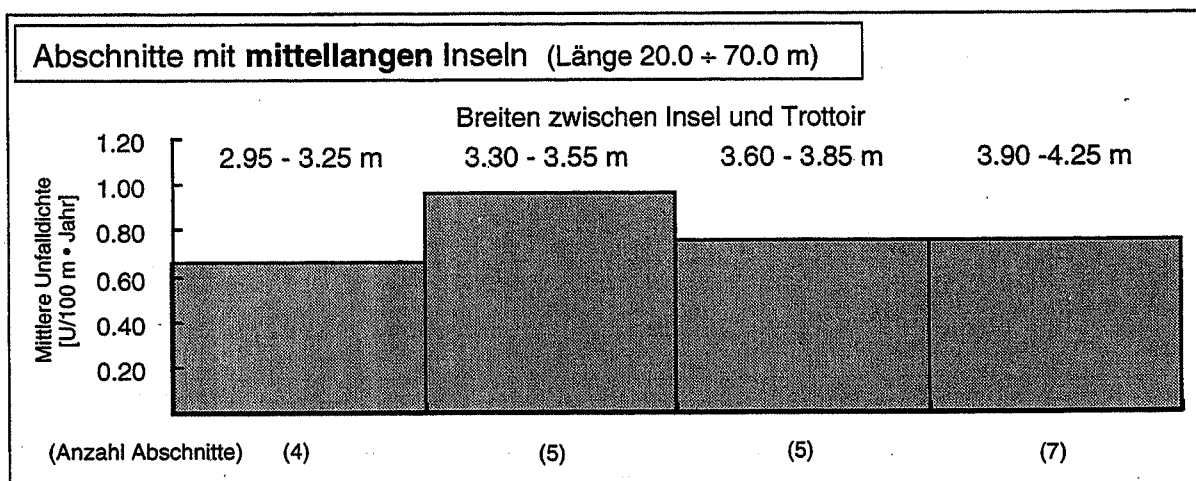
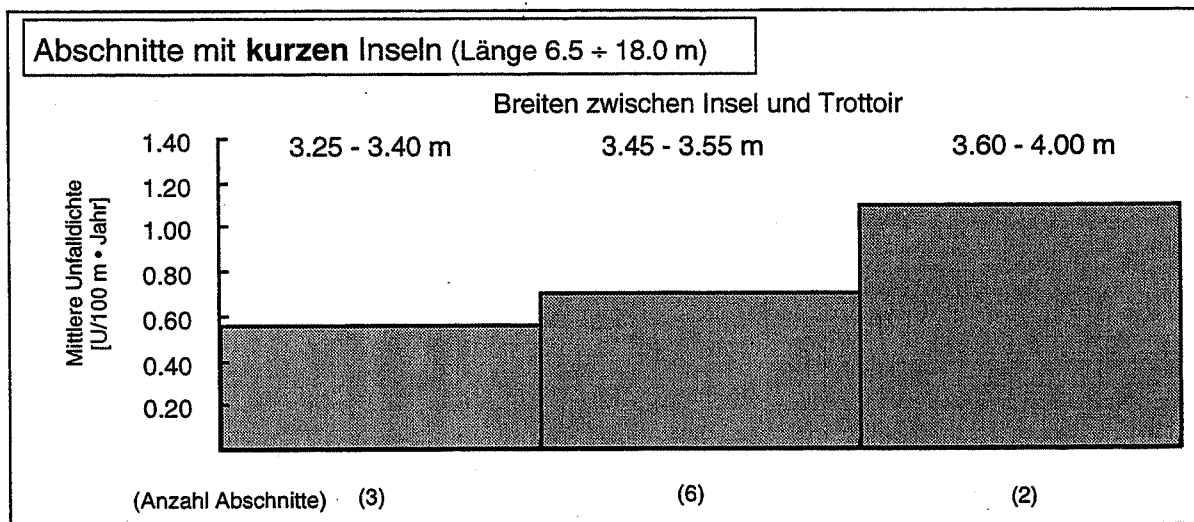


Abb. 33: Mittlere Unfalldichte in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite bei Abschnitten mit kurzen, mit mittellangen und mit langen Inseln

Bei den übrigen zwei Inselgruppen ist kein Trend erkennbar. Eine erhöhte Unfalldichte zeigen bei Abschnitten *mit mittellangen Inseln* die Breiten zwischen 3.30 und 3.55 m, die übrigen Breitengruppen weisen niedrigere Werte auf.

Bei Abschnitten *mit langen Inseln* fallen die Breitengruppen mit 3.50÷3.95 und 4.30÷4.65 m negativ auf, während jene mit 3.25÷3.45 und 4.00÷4.30 m günstigere Unfalldichten aufweisen. Allerdings liegen bei diesen Abschnitten die Unfalldichten deutlich tiefer als bei den Abschnitten mit kurzen und mittellangen Inseln.

Bei den Auswertungen in Abbildung 33 wurde die Gesamtbreite zwischen Insel und Trottoir in den Untersuchungsabschnitten verwendet, ohne Berücksichtigung der allenfalls markierten Radstreifen im Inselbereich. In der nächsten Auswertung (Abbildung 34) wurden die Untersuchungsabschnitte unterteilt in solche *ohne Radstreifen* im Inselbereich und jene *mit Radstreifen* im Inselbereich.

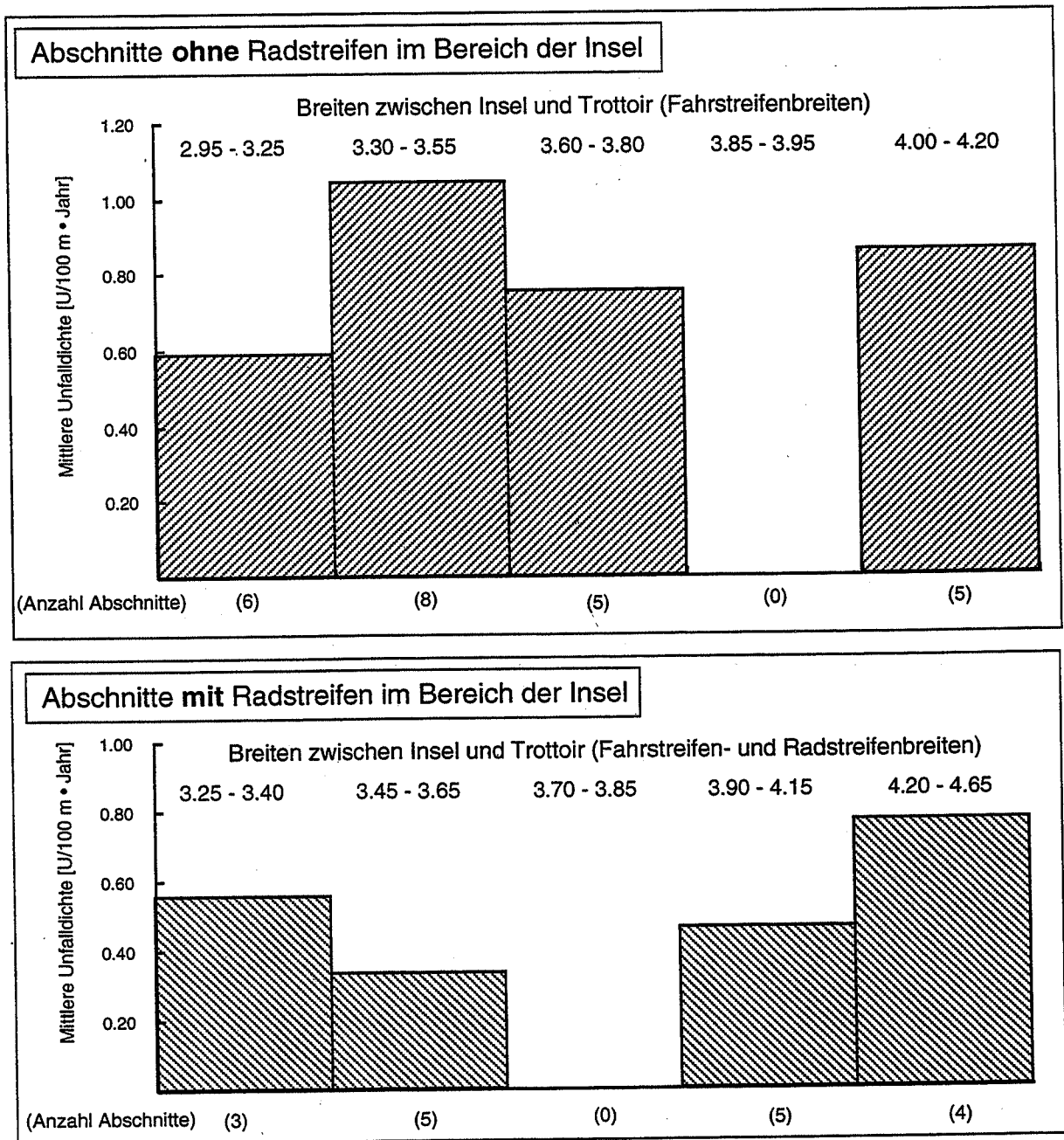


Abb. 34: Mittlere Unfalldichte in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite bei Abschnitten ohne und mit Radstreifen im Inselbereich

Bei den eigentlichen Fahrstreifenbreiten (Abschnitte ohne Radstreifen) erscheinen Grössen zwischen 2.95 und 3.25 m am günstigsten. Die höchsten Unfalldichten ergeben sich bei Fahrstreifenbreiten von 3.30 bis 3.55 m.

Bei den Abschnitten mit Radstreifen im Inselbereich ergeben sich bei den Gruppen mit kleinsten und grössten Gesamtbreiten die höchsten Unfalldichten. Am günstigsten zeigen sich Breiten zwischen 3.45 und 3.65 m. Bei den drei Abschnitten mit den kleinsten Gesamtbreiten (Gruppe mit 3.25÷3.40 m) handelt es sich um einen zusammenhängenden Streckenabschnitt. Der Radstreifen ist hier 1.30 m breit, die verbleibende Fahrstreifenbreite beträgt nur zwischen 1.95 und 2.10 m.

4.4 Folgerungen

Die für die Breitenauswertungen verwendete Stichprobe mit über 40 Untersuchungsabschnitten und mit ca. 200 Unfällen im Inselbereich erlaubt nicht eine abschliessende Beurteilung. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete die Ausführung von reduzierten Breiten im einstreifigen Bereich zwischen Insel und Trottoir nicht zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit in den Knotenzufahrten führt.

Hierfür spricht der Umstand, dass die gemessenen Breiten zum Teil erheblich unter den in der VSS-Norm [1] empfohlenen Werten liegen, und dass gerade die kleinsten Breiten von ca. 3.0÷3.4 m in der Regel die niedrigsten Unfalldichten aufweisen.

Bei den Abschnitten im Inselbereich mit markierten Radstreifen zeigt sich die günstigste Gesamtbreite in einem Bereich zwischen ca. 3.5 und ca. 4.1 m. Dieser Aspekt ist jedoch Gegenstand von näheren Untersuchungen, die im Rahmen eines anderen Forschungsauftrages des EVED vorgesehen sind.

Auf Vergleiche mit anderen Ergebnissen und Empfehlungen aus der Fachliteratur wird in 5.2.2 und 5.2.3 eingegangen.

5. GRUNDLAGEN FÜR DIE NORMUNG

5.1 Vorbemerkungen

5.1.1 Aufbau dieses Kapitels

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die Erarbeitung einer neuen VSS-Norm beschrieben. Dabei wird nach der Gliederung der bestehenden VSS-Norm [1] vorgegangen. Diese gliedert sich in sechs Hauptabschnitte:

- A. Gegenstand und Anwendungsbereich
- B. Breiten der Fahrstreifen
- C. Längen der Fahrstreifen
- D. Geometrie der Strassenränder und Fahrstreifen
- E. Inseln und Sperrflächen
- F. Elemente von Knoten

Bei den einzelnen Abschnitten wird in einem ersten Schritt eine detaillierte kritische Beurteilung der bestehenden Norminhalte vorgenommen, sowie auf fehlende materielle Aussagen hingewiesen.

Im zweiten Schritt werden neue, normungsrelevante Erkenntnisse bzw. Folgerungen aus eigenen Erhebungen (Kapiteln 3 und 4) angegeben.

Im dritten Schritt werden entsprechende Empfehlungen aus neueren ausländischen Richtlinien sowie aus den zugehörigen Forschungsarbeiten zusammengestellt. Bei der Forschungsstelle wurden Richtlinien aus Deutschland, Österreich und Frankreich gesichtet. Die österreichischen und französischen Richtlinien ([3], [4]) beschränken sich bzgl. Knoten auf die Angabe von Knotentypen und die Beschreibung deren Anwendungen. Zur Gestaltung und Bemessung einzelner Projektierungselemente der Knoten à niveau sind in diesen Richtlinien keinerlei Angaben enthalten. In österreichischen Richtlinien ist lediglich eine Zusammenstellung mit massstäblichen Musterplänen für die einzelnen Knotentypen vorhanden. Aus diesem Grund hat man sich auf Vergleiche mit deutschen Richtlinien beschränkt.

Im letzten Schritt werden dann aufgrund der Normkritik sowie der Beurteilung der Erhebungsergebnisse und der Empfehlungen anderer Richtlinien entsprechende Vorschläge für die neue VSS-Norm unterbreitet.

5.1.2 Neues Normungskonzept der VSS

Im Zusammenhang mit der Revision der Normgruppe "Knoten" hat die VSS-Subkommission 173/3 ein Konzept erarbeitet, von dem im Sinne einer Randbedingung auszugehen ist. Gemäss dem neuesten Stand (Januar 1996) ist ein Aufbau der Normgruppe in fünf Stufen vorgesehen. Das Normkonzept ist in Tabelle 10 dargestellt.

Die Erarbeitung eigentlicher Normen erfolgt im Rahmen eines Forschungsauftrages des EVED. Bei der zweiten Norm (Knotenelemente) kann auf den bereits abgeschlossenen Forschungsauftrag Nr. 23/88 [11] abgestützt werden. Zu den geplanten Normen Nr. 3 bis 6 sind Grundgearbeiten noch im Gang¹⁾. Bei der Norm Nr. 6 steht die Führung des leichten Zweiradverkehrs in Knoten im Vordergrund; ein entsprechender Forschungsauftrag wurde erteilt. Ob dabei die Belange des leichten Zweiradverkehrs in einer separaten Norm zusammengestellt, oder ob sie in verschiedenen Normen der Gruppe Knoten integriert werden, ist zur Zeit noch offen.

1) Forschungsaufträge des EVED Nr. 09/88 (vorliegende Arbeit), 17/93 und 03/95.

Stufe	Normtitel	Inhalte (Bemerkungen)
<i>Vorarbeiten</i>	1. Projektierung, Knoten Grundlagen und Vorgehen ("Kopfnorm")	- Definition "Knoten", Abgrenzungen - Knotenarten (in einer Ebene: à niveau und ohne / mit Kreisverkehr; in ≥ 2 Ebenen: kreuzungsfrei) - Knotenformen (bzgl. Anzahl Arme, Schnittwinkel, Kreiselform) - Gemeinsame Gestaltungs- und Kanalisierungsgrundsätze und Anforderungen (z.B. Erkennbarkeit, Übersichtlichkeit, Begreifbarkeit, Befahrbarkeit) - Grundlagen / Randbedingungen - Vorgehen beim Entwurf / bei den Kontrollen - Besondere Hinweise für einzelne Verkehrsarten - Überblick Aufbau der Normgruppe
<i>Entwurf: Planung</i>	2. Projektierung, Knoten Knotenelemente	- Begriffe "Knotenelement", "Projektierungselement", "Ausstattungsselement" - Gliederung nach Knotenart (z.B. Knotenelemente für kreuzungsfreie Knoten / für Knoten ohne Kreisverkehr usw.) - Zusammenstellung der Knotenelemente je Knotenart, mit Angaben zu deren Anwendung bzgl. Strassentyp, Art der Vortrittsregelung, Belastungsstruktur usw.
<i>Entwurf: Projektierung</i>	3. Projektierung, Knoten Kreuzungsfreie Knoten	Projektierungs-/Ausstattungsselemente für HLS-Anschlüsse (Ein-/Ausfahrten und Verzweigungen): Arten, Formen, Richtwerte
	4. Projektierung, Knoten Knoten ohne Kreisverkehr	Projektierungs-/Ausstattungsselemente für Kreuzungen und Einmündungen (Knoten "à niveau"): Arten, Formen, Richtwerte
	5. Projektierung, Knoten Knoten mit Kreisverkehr	Projektierungs-/Ausstattungsselemente für Kreisell: Arten, Formen, Richtwerte
	6. Spezielle Normen (Reserve-Nr.)	Anforderungen einzelner Verkehrsarten; z.B. Normen über Führung des leichten Zweiradverkehrs / der Fussgänger im Knotenbereich
<i>Kontrollen</i>	7. Projektierung, Knoten Kontrolle der Befahrbarkeit	(SN 640271, bereits vorhanden)
	8. Projektierung, Knoten Sichtverhältnisse	(SN 640273, bereits vorhanden)
<i>Darstellung</i>	9. Projektierung, Knoten Projektdarstellung bei Knoten	Art und Anzahl der Normen noch nicht festgelegt

Tab. 10: Konzept der Normgruppe "Knoten" gemäss VSS-Subkommission 173/3

Im Bezug auf die bestehende Norm [1] hat dieses Normkonzept folgende Konsequenzen:

- Der Abschnitt A (Gegenstand und Anwendung) wird unter Berücksichtigung der neuen "Kopfnorm" überarbeitet werden müssen. Es wird zudem davon ausgegangen, dass die in der bestehenden Norm [1] bisher fehlenden Projektierungsgrundsätze in der neuen "Kopfnorm" enthalten sein werden.
- Der Abschnitt F (Elemente von Knoten) wird entfallen und durch die geplante Norm Nr. 2 ersetzt.
- Wie aus Tabelle 10 ersichtlich, sind auf Stufe "Entwurf: Projektierung" drei Normen vorgesehen. Das bedeutet, dass Richtwerte und Konstruktionshinweise in der bestehenden, sehr umfangreichen Norm [1] in zwei Teile zu zerlegen sind, nämlich jene
 - für kreuzungsfreie Knoten im Bereich der HLS und solche
 - für die Knoten à niveau.

Die Normungsgrundlagen in der vorliegenden Arbeit beziehen sich dementsprechend auf *Knoten à niveau, ohne Kreisverkehr* (vgl. auch weitere Abgrenzungen in 1.3). Dies wird bei der Behandlung der Normabschnitte B bis E entsprechend berücksichtigt.

Die Projektierungsempfehlungen für *Knoten mit Kreisverkehr* werden im Rahmen eines anderen Forschungsauftrages erarbeitet.

5.2 Breiten der Fahrstreifen

5.2.1 Normkritik

Die Richtwerte für die Breiten der Fahrstreifen in [1] (Abschnitt B) hängen vom Strassentyp¹⁾, von der Lage des Knotens (innerorts / ausserorts) und von der Art des Fahrstreifens ab. In Abbildung 35 sind die Fahrstreifen in Knoten und deren Bezeichnungen gemäss [1] dargestellt. In der zugehörigen Tabelle sind in [1] jeweils Norm- und Mindestwerte angegeben, wobei letztere nur in Ausnahmefällen anzuwenden sind.

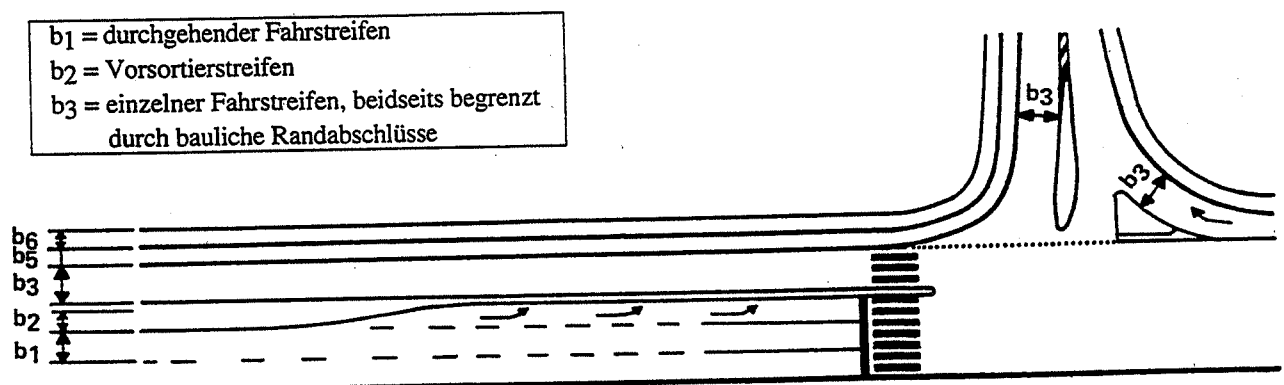


Abb. 35: Arten von Fahrstreifen in Knoten, aus [1]

Wie in 1.1 ausgeführt, wird in der Praxis bemängelt, dass die in [1] enthaltene Unterscheidung nach Strassentyp und Lage des Knotens den heutigen Anforderungen nicht genügt. Gewünscht ist eine weitergehende Differenzierung. Zudem werden die Fahrstreifenbreiten, vor allem innerorts als zu gross erachtet.

¹⁾ Die in [1] angegebenen Strassentypen stimmen mit jenen in den gültigen VSS-Normen nicht mehr überein.

Aus der Betrachtung der in Vordergrund stehenden Fahrstreifenbreiten b_1 bis b_3 in Abbildung 35 lassen sich die folgenden Feststellungen machen:

- Die Breiten des durchgehenden Fahrstreifens (b_1) beziehen sich offensichtlich entweder auf Fahrstreifen im mehrstreifigen Bereich oder auf Fahrstreifen, die nicht oder nur einseitig durch bauliche Randabschlüsse begrenzt sind. Letzteres wird durch die Umschreibung von b_3 bestätigt.
- Weiter fällt auf, dass sowohl bei b_1 als auch bei b_3 nicht unterschieden wird zwischen Knotenzufahrts- und Knotenausfahrtsrichtung. Dies widerspricht dem in 2.1 erläuterten Grundsatz, wonach in der Knotenzufahrt die Fahrzeuglenker zur Geschwindigkeitsanpassung veranlasst werden sollen, während in der Knotenausfahrt (nach der Überquerung der Konfliktzone) ein zügiges Abfließen u.U. erwünscht ist.
- Die Breiten b_3 beziehen sich auf einstreifige Bereiche mit beidseitigen baulichen Randabschlüssen. Die in [1] angegebenen Richtwerte von mindestens 4.0 m bei Erschliessungsstrassen bis 5.0 m (ausnahmsweise 4.5 m) bei Hauptverkehrsstrassen bedeuten, dass der in [1] ebenfalls enthaltene Grundsatz, wonach "die durchgehenden Fahrstreifen im Prinzip die Breite der freien Strecke beibehalten sollen", praktisch nie eingehalten werden kann. Zudem besteht in Knotenbereichen bei Durchfahrtsbreiten von ≥ 4.25 m die Gefahr des Parallelfahrens und des Überholens zweier Personenwagen, bei ungenügenden seitlichen Fahrzeugabständen.
- Die für b_3 empfohlenen, grossen Breiten hängen offensichtlich mit den Problemen zusammen, die sich vermeintlich in diesen Bereichen bei Pannen und Unfällen sowie bei den Unterhaltsarbeiten (Schneeräumung) stellen. Dabei wird verkannt, dass
 - Behinderungen infolge Pannen /Unfälle nur bei längeren Inseln relevant sein können, und dass zudem Inselkanten oder aber Bankette (ausserorts) überfahrbar bzw. befahrbar gestaltet werden können,
 - innerorts in der Regel genügend Umfahrungs- bzw. Ausweichmöglichkeiten bestehen,
 - die Schneeräumung nicht in allen Höhen- und Regionslagen massgebend ist, und dass zudem der Winkel des Schneepflugs bei den meisten Fahrzeugen an die Durchfahrtsbreite angepasst werden kann.

Diese Problematik hat in der Zwischenzeit unter anderem dazu geführt, dass auch in der Ausbildung an der ETH Zürich von den Normwerten teilweise abweichende Empfehlungen zu den Fahrstreifenbreiten in Knoten abgegeben werden (Tabelle 11).

Ein wesentlicher Aspekt in dicht bebauten Gebieten bilden Aufstellbereiche, die infolge ungenügender Breite das Markieren einer Leitlinie für die Vorsortierung nicht erlauben, im Verkehrsablauf dennoch eine Verbesserung ermöglichen. Auf diese "unvollständige" Vorsortierung wird in [1] gar nicht eingegangen. Demgegenüber werden solche Aufweitungen in [11] als ein Element für die neue Norm "Knotenelemente" (vgl. Tabelle 10) vorgeschlagen.

Fahrstreifenart	Fahrstreifenbreite (m)	
	normal	minimal
b_1 innerorts	gleich wie Fahrstreifen auf der freien Strecke, aber nicht über 3.50 m	2.75
b_1 ausserorts	gleich wie Fahrstreifen auf der freien Strecke, aber nicht über 3.75 m	3.00
b_2	3.00	2.75
b_3 mit längeren Verkehrsinseln ($L \geq \text{ca. } 20 \text{ m}$)	4.50	4.00
b_3 mit kürzeren Verkehrsinseln ($L \leq \text{ca. } 20 \text{ m}$)	4.00	3.75
b_3 nur mit Markierung (Sicherheitslinie oder Sperrfläche)	wie bei b_1	wie bei b_1

Tab. 11: Empfohlenen Fahrstreifenbreiten in Knoten aus [16]

5.2.2 Erkenntnisse aus den Erhebungen

In dieser Untersuchung konnten keine umfassenden Erhebungen des Fahrverhaltens zur Beurteilung von Breiten der Fahrstreifen in Knoten durchgeführt werden. Dazu war der finanzielle Kreditrahmen zu eng gewesen.

Die in der Sondererhebung (Kapitel 4) erfolgten, indirekten Abklärungen aufgrund des Unfallgeschehens beschränkten sich auf einstreifige Abschnitte zwischen Insel und Trottoir (betrifft Breiten b_3 gemäss [1]) in Innerortsgebieten. Sie haben gezeigt, dass die Anwendung von Breiten zwischen ca. 3.0 und 3.4 m auch bei längeren Inseln nicht ein höheres Gefahrenniveau bewirkt als jenes bei den wesentlich grösseren Breiten gemäss der bestehenden Norm [1].

Im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Kapitel 4 ist auch auf eine in der Schweiz durchgeführte Untersuchung [18] hinzuweisen, die sich mit den Durchfahrtsbreiten bei Inseln auf Strassen innerorts befasste. Sie wurde zwar primär auf Aspekte des Überholens zwischen Motorfahrzeugen und leichten Zweiradfahrern ausgelegt, die Ergebnisse sind dennoch von allgemeiner Bedeutung. Aufgrund der durchgeführten Messungen und Beobachtungen von Überholvorgängen auf 1-streifigen Bereichen bei Inseln wurden in [18] u.a. folgende Hypothesen verworfen:

- Bei Durchfahrtsbreiten *grösser 4.0 m* überholen die Motorfahrzeuge aller Kategorien mit einem genügenden seitlichen Abstand zu Zweirädern.
- Bei Durchfahrtsbreiten *zwischen 3.5 und 4.0 m* überholen die Personenwagen die Zweiräder mit einem genügenden seitlichen Abstand; die Lastwagen überholen mit ungenügendem Abstand.
- Bei Durchfahrtsbreiten *kleiner 3.0 m* werden Zweiräder von keinen Motorfahrzeugen überholt.

Hingegen konnte bestätigt werden:

- Bei Durchfahrtsbreiten *zwischen 3.0 und 3.5 m* überholen die Personenwagen die Zweiräder mit kritischem Abstand; die Lastwagen überholen nicht.

In [18] wurden auch Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Dabei ergab sich, dass die Geschwindigkeiten bei kurzen Inseln ($< 10 \text{ m}$) im Breitenbereich von 3.0÷4.1 m kaum beeinflusst

werden, während bei langen Inseln (> 10 m) die mittlere Geschwindigkeit bei Durchfahrtsbreiten $< \text{ca. } 3.5$ m signifikant abnimmt.

Aufgrund der Ergebnisse wurden in [18] auch Empfehlungen abgegeben, die jedoch einen provisorischen Charakter haben. Empfohlen wurde:

- Falls Platz vorhanden, sollen für genügende seitliche Abstände Motorfahrzeuge / Zweiräder Durchfahrtsbreiten von ≥ 4.0 m (bei kurzen Inseln) bzw. ≥ 4.2 m (bei langen Inseln) angewendet werden.
- Bei ungenügenden Platzverhältnissen und *kurzen Inseln* ist aus der Sicht Gefährdung der Zweiradfahrer angezeigt, eine Durchfahrtsbreite von entweder 3.6 m oder 3.0 m einzuhalten. Auf Zwischenmasse sollte verzichtet werden. Bei einer Breite von 3.6 m ist davon auszugehen, dass praktisch alle Personen- und Lieferwagen überholen werden, wobei in ca. 40% der Fälle ungenügende Abstände auftreten. Bei 3.0 m wird noch ca. ein Drittel der genannten Motorfahrzeuge überholen, allerdings mit durchwegs ungenügenden seitlichen Abständen; Überholungen durch Lastwagen treten nicht auf.

Für lange Inseln konnten im Rahmen dieser Untersuchung keine Empfehlungen abgeleitet werden.

5.2.3 Empfehlungen in anderen Richtlinien

Im deutschen Richtlinienwerk werden die Knoten à niveau in den Richtlinien RAS-K-1 [2] sowie den Empfehlungen EAHV 93 [13] und EAE 85 bzw. 95 [14] behandelt. Diese drei Unterlagen haben verschiedene Geltungsbereiche:

- Die RAS-K-1 gilt für Strassenkategorien der Gruppe A (anbaufrei, ausserhalb bebauter Gebiete) sowie BI und BII (anbaufrei, im Vorfeld und innerhalb bebauter Gebiete).
- Die EAHV gilt für Strassenkategorien der Gruppen C, D, E (angebaut und innerhalb bebauter Gebiete) sowie BIII.
- Die EAE gilt für die gleichen Strassenkategorien wie die EAHV, beschränkt jedoch auf flächenerschliessende und untergeordnete Strassenverbindungen.

Obwohl ein exakter Vergleich mit den schweizerischen Strassentypen gemäss VSS-Normen [15] nicht möglich ist, kann von einer Zuordnung ausgegangen werden, die in Tabelle 12 zusammengestellt ist.

Ferner sind auch die in der Schweiz zwischenzeitlich veröffentlichten VSS-Normen über das Geometrische Normalprofil [17] von Bedeutung.

In der RAS-K-1 [2] wird in Knoten zwischen durchgehenden und nicht durchgehenden Fahrstreifen unterschieden:

Die Breite der *durchgehenden Fahrstreifen* in Knoten richtet sich grundsätzlich nach den Richtlinien für Querschnitte ([19]). Sie soll gleich sein wie auf der freien Strecke, sofern nicht bauliche Randabschlüsse vorhanden sind. Bei beengten Verhältnissen kann die Breite um 25 cm reduziert werden, wenn die Fahrstreifen auf der freien Strecke ≥ 3.25 m breit sind. Bei mehrstreifigen Knotenzufahrten und bei massgebenden Knotengeschwindigkeiten von ≤ 50 km/h darf die Fahrstreifenbreite auch auf 3.00 m reduziert werden.

Nicht durchgehende Fahrstreifen (Abbiege- und Einbiegestreifen) können um 25 cm schmaler sein als die durchgehenden, sollen aber die Breite von 3.00 m nicht unterschreiten. Bei beengten Verhältnissen kann auch eine Breite von 2.75 m angewendet werden.

Für die *Aufstellbereiche* auf vortrittsberechtigten Knotenzufahrten (vorhandene Breite < 5.50 m) werden als Mindestbreiten 4.75 m ausserorts und 4.0 m innerorts angegeben.

Unterlage	Bezug zu Strassentypen der VSS
RAS-K-1 [2]	• HVS ausserorts • VS, Untertypen - Regionalverbindungsstrasse - Lokalverbindungsstrasse • nur bedingt: - HVS innerorts, Grundtyp - VS, Untertyp Verbindungsweg
EAHV 93 [13]	• HVS innerorts, alle Untertypen • SS, Untertyp Hauptsammelstrasse • nur bedingt: - HVS innerorts, Grundtyp - VS, Untertyp Verbindungsweg
EAE 85/95 [14]	• SS, Untertyp Quartiersammelstrasse • ES, alle Untertypen • nur bedingt: - VS, Untertyp Verbindungsweg

Tab. 12: Zuordnung deutsche Richtlinien / Strassentypen nach VSS

Die Fahrstreifenbreite im *1-streifigen Bereich zwischen baulichen Abschlüssen* ist nach [2] von der Geschwindigkeit und vom Bemessungsfahrzeug abhängig. Demgegenüber spielen die Länge des 1-streifigen Bereichs (bzw. der Insel) für die Breitenbemessung in der Regel eine untergeordnete Rolle. Bei Knotengeschwindigkeiten, die im Bereich der schweizerischen Tempolimits ausserorts liegen, werden als Breite 4.50 m, inklusive Randstreifen bzw. Randmarkierung¹⁾ empfohlen; bei Knotengeschwindigkeiten ≤ 50 km/h genügt die gleiche Breite wie auf der freien Strecke. Diese Breiten gelten sowohl für vortrittsberechtigten wie auch für vortrittsbelasteten Knotenzufahrten.

Die Durchfahrtsbreite von 4.50 m wirkt sich auf *vortrittsbelasteten* Zufahrten ungünstig auf die Verkehrssicherheit: In einer Forschungsarbeit in Deutschland [20] wurde bei Messungen auf Knoten ausserorts festgestellt, dass bereits ab dieser Breite Doppelaufstellungen und Parallelfahrten häufig auftreten. Dabei wurden auch Wartepositionen zweier Lieferwagen oft beobachtet. Dies führt zu gegenseitigen Sichtbehinderungen, die vor allem an Kreuzungen als gefährlich erachtet werden.

In den neueren deutschen Empfehlungen für Strassen innerorts (EAHV-93 [13] und EAE-85/95 [14]) werden Richtwerte angegeben, die von der RAS-K-1 teilweise abweichen.

Die EAHV-93 [13] gilt für Entwurfsgeschwindigkeiten von 70 km/h, sodass hier eine teilweise Überschneidung mit der RAS-K-1 besteht.

In [13] werden Standardbreiten für die freie Strecke angegeben, die je nach Schwerverkehrsanteil und Flächenverfügbarkeit zwischen 3.50 und 2.75 variieren. In Knotenzufahrten ist wie in [2] eine Reduktion um 0.25 m gegenüber der freien Strecke möglich und die Anwendung der Breite von 2.75 m ist für alle Arten von Fahrstreifen in begründeten Fällen erlaubt.

¹⁾ Da in Deutschland die Randstreifen auf Strassen ausserorts gemäss [19] 0.25 oder 0.50 m breit sind, während bei uns die zur Fahrstreifenbreite zählenden Randlinien nur mit ca. 0.15 m markiert werden, müssten für einen Vergleich ca. 0.10 bis 0.35 m von der empfohlenen Durchfahrtsbreite abgezogen werden.

Hinsichtlich der Fahrstreifenbreite im *1-streifigen Bereich zwischen baulichen Abschlüssen* werden in [13] Durchfahrtsbreiten von 3.00 bis 3.50 m, bei Strecken mit Buslinien ≥ 3.25 m empfohlen. Dies ist wesentlich weniger als in der RAS-K-1, obwohl sich die Bereiche der Bemessungsgeschwindigkeiten in beiden Regelwerken überlagern. Diese Breiten sind offensichtlich von der Insellänge unabhängig, werden doch in [13] auch 2x1-streifige Strassenquerschnitte mit durchgehenden Mittelstreifen angegeben, die ähnliche Fahrstreifenbreiten aufweisen.

Die EAE-85/95 [14] gilt nur für untergeordnete Strassen innerorts (vgl. Tabelle 12). In diesem Bereich wird die Anordnung von Vorsortierstreifen und Inseln nur als Ausnahmefall erachtet. Für die Durchfahrtsbreite im 1-streifigen Bereich zwischen baulichen Abschlüssen werden in [14] 3.00 bis 4.50 m angegeben; bei kurzen Inseln können ausnahmsweise auch 2.75 m angeordnet werden. Auffallend ist, dass der obere Richtwert wesentlich höher ist, als in [13] für höherrangige Strassen empfohlen wird.

5.2.4 Vorschläge für die neue Norm

Fahrstreifenbreiten werden im VSS-Normwerk in den Querschnittsnormen geregelt. Die im Herbst 1992 veröffentlichten Normen "Geometrisches Normalprofil" [17], welche die neueren Erkenntnisse aus Forschung und Praxis berücksichtigen, unterscheiden sich von den früheren Querschnittsnormen vor allem in der Anwendung grundlegend: Auf die frühere Angabe von standardisierten, strassentypenbezogenen Richtwerten wird in [17] verzichtet. Das Geometrische Normalprofil (GNP) muss fallweise, aus einzelnen Elementen erarbeitet werden. Die Ausgangslage ist somit eine andere als sie 1972 bei der Erarbeitung der nun zu revidierenden Norm "Knoten, Elemente" [1] war.

Da die Fahrstreifen in Knoten stets im Zuge jener auf der freien Strecke verlaufen, können sie nicht isoliert betrachtet werden. Dementsprechend sollte ihre Breitenbemessung nicht andersartig sein, wie jene für die freie Strecke. Im Geltungsbereich der Querschnittsnormen [17] werden auch die Knotenbereiche nicht ausgeschlossen, obwohl in Knoten (infolge allfälliger Aufweitung für die Vorsortierung) vom GNP der freien Strecke abgewichen wird. Für die neue Norm wird deshalb empfohlen, die *Fahrstreifenbreiten in Knoten grundsätzlich in Anlehnung an die Querschnittsnormen [17] zu bestimmen* 1). Diese Kontinuität innerhalb des VSS-Normwerkes wäre auch aus der Sicht der Normanwender vorteilhaft. Allerdings können die Empfehlungen in den Querschnittsnormen [17] für Knoten aus verschiedenen Gründen nicht vollständig übernommen werden:

- Die Notwendigkeit gewisser Teilelemente des Lichtraumprofils bzw. ihre Ausweisung muss im Knotenbereich neu geregelt werden.
- Die Angaben zu der massgebenden Geschwindigkeit (V_m) und zu der Begegnungsgeschwindigkeit (V_B) im Knotenbereich müssen angepasst bzw. ergänzt werden.
- Die Handhabung der geschwindigkeitsabhängigen Richtwerte (Bewegungsspielraum und Gegenverkehrszuschlag) muss präzisiert werden, weil die in [17] enthaltenen Angaben verschiedene Auslegungen zulassen.

① Teilelemente des Lichtraumprofils im Knotenbereich

Für die Regelung der Teilelemente des Lichtraumprofils gemäss [17] wird von den drei grundsätzlichen Formen der Vorsortierung (vgl. auch in 5.3) ausgegangen:

1) Dieser Grundsatz ist auch in den deutschen Richtlinien RAS-K-1 [2] enthalten: "Die Breite der durchgehenden Fahrstreifen in Knotenpunkten richtet sich nach den Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil: Querschnitte, RAS-Q."

- geschlossene Einleitung mit Insel
- geschlossene Einleitung mit Sperrfläche und
- offene Einleitung.

Sie sind in den Tabellen 13 bis 15 schematisch dargestellt. Die im Vordergrund stehenden Teilelemente betreffen den Bewegungsspielraum, den Sicherheitszuschlag und den Gegenverkehrszuschlag. Die Notwendigkeit und die Grösse des Bewegungsspielraumes hängen von der massgebenden Geschwindigkeit ab; auf diesen Aspekt wird weiter eingegangen.

Zur Notwendigkeit der Ausweisung der beiden Zuschläge innerhalb des Fahrbahnbereiches werden in Tabellen 13 bis 15 Vorschläge unterbreitet. Die Vorschläge beziehen sich auf die mit Nummern versehenen Breitenorte im Knotenbereich, und in allen Fällen wird ein schweres Lastfahrzeug (gemäss [17] mit Grundabmessung von 2.50 m Breite) als massgebend betrachtet. Die im Knotenbereich allenfalls vorhandenen Radstreifen sind dabei nicht berücksichtigt. Der Breitenort ③ im Linksabbiegestreifen gilt sinngemäss auch für den separaten Rechtsabbiegestreifen.

Knoten mit Inseln (geschlossene Einleitung)

Das Diagramm zeigt einen Knoten mit einer zentralen Insel (5) und einer Sperrfläche (6). Die Fahrstreifen sind mit den Nummern 1 bis 6 markiert. 1 und 2 sind die inneren Fahrstreifen, 3 und 4 die äusseren Fahrstreifen. 5 ist die Insel, 6 die Sperrfläche. Pfeile zeigen die Fahrtrichtung an.

Ort	Sicherheitszuschläge	Gegenverkehrszuschlag	Bemerkungen
①	beide innerhalb Fahrstreifen*)	kein ausweisen	*) Bei beschränkten Platzverhältnissen kann auf die Ausweisung eines, innerorts auch beider Zuschläge verzichtet werden **) jeweils in Fahrtrichtung betrachtet
②	linker**): innerhalb Fahrstreifen rechter**): ausserhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
②	Bei Mehrstreifigkeit erhalten die inneren Fahrstreifen beide Zuschläge	kein ausweisen	
③	linker**): ausserhalb Fahrstreifen rechter**): innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
④	beide innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
⑤	beide innerhalb Fahrstreifen*)	kein ausweisen	
⑥	beide innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	

Es wird von folgenden *minimalen Inselbreiten* ausgegangen:

- mit Strassensignalisation im Inselbereich 1.20 m
- ohne Strassensignalisation im Inselbereich 0.60 m

Tab. 13: Ausweisung der Zuschläge bei Knoten mit Inseln

Bei *Knoten mit Inseln* kann auf die Ausweisung des Gegenverkehrszuschlages grundsätzlich verzichtet werden. Die Sicherheitszuschläge im Vorsortierbereich können zumindest teilweise

ausserhalb der Fahrstreifen (in der Insel oder im Bankett bzw. im Trottoir) ausgewiesen werden. Bei der Einfahrt in den Vorsortierbereich (Ort ①) wird aus Sicherheitsgründen empfohlen, beide Zuschläge im Fahrstreifenbereich auszuweisen; bei beengten Platzverhältnissen sind jedoch, vor allem innerorts Reduktionen möglich. In der Ausfahrtsrichtung (Orte ④, ⑥) wird eine gewisse Verbreiterung bewusst angestrebt (zügiger Abfluss aus dem Konfliktbereich).

Knoten mit Sperrflächen (geschlossene Einleitung)			
Ort	Sicherheitszuschläge	Gegenverkehrszuschlag	Bemerkungen
①	einer innerhalb Fahrstreifen*)	kein ausweisen	*) Bei beschränkten Platzverhältnissen kann auf die Ausweisung des Zuschlages verzichtet werden **) jeweils in Fahrtrichtung betrachtet ***) Bei beschränkten Platzverhältnissen kann auf die Ausweisung des äusseren Zuschlages verzichtet werden
②	linker**): innerhalb Fahrstreifen rechter**): ausserhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
②	Bei Mehrstreifigkeit erhalten die inneren Fahrstreifen beide Zuschläge	kein ausweisen	
③	beide innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen, siehe unter ⑦	
④	beide innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
⑤	einer innerhalb Fahrstreifen*)	kein ausweisen	
⑥	beide innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
⑦	beide innerhalb Fahrstreifen***)	ausweisen (geschwindigkeitsabhängig)	

Tab. 14: Ausweisung der Zuschläge bei Knoten mit Sperrflächen

Bei *Knoten mit Sperrflächen* (Tabelle 14) drängt sich im Bereich der Vorsortierung, wo die beiden Fahrtrichtungen nur mit einer Sicherheitslinie abgetrennt sind, die Ausweisung des Gegenverkehrszuschlages auf. Er ist jedoch voll in der Ausfahrtsrichtung (Ort ⑦) auszuweisen.

Bei *Knoten mit offener Einleitung* (Tabelle 15), wie sie innerhalb besiedelter Gebiete üblich sind, ergeben sich die gleichen Vorschläge wie im Fall mit Sperrflächen; Unterschiede bestehen nur im vortrittsbelasteten Knotenast, wenn dort keine Aufweitungen vorgesehen sind. Im Gegensatz zum Breitenort ⑦ (durchgehender Fahrstreifen) wird zwischen den Fahrstreifen des vortrittsbelasteten Knotenastes (Orte ⑤ und ⑥) empfohlen, kein Gegenverkehrszuschlag auszuweisen, weil es sich hier um nichtdurchgehende Fahrstreifen handelt. Im näheren Kno-

tenbereich haben sowohl die zufahrenden als auch die wegfahrenden Fahrzeuge nur niedrige Geschwindigkeiten.

Knoten mit offener Einleitung			
Ort	Sicherheitszuschläge	Gegenverkehrszuschlag	Bemerkungen
①	einer innerhalb Fahrstreifen*)	kein ausweisen	*) Bei beschränkten Platzverhältnissen kann auf die Ausweisung des Zuschlages verzichtet werden **) jeweils in Fahrtrichtung betrachtet ***) Bei beschränkten Platzverhältnissen kann auf die Ausweisung des äusseren Zuschlages verzichtet werden
②	linker**): innerhalb Fahrstreifen rechter**): ausserhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
②	Bei Mehrstreifigkeit erhalten die inneren Fahrstreifen beide Zuschläge	kein ausweisen	
③	beide innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen, siehe unter ⑦	
④	beide innerhalb Fahrstreifen	kein ausweisen	
⑤	einer innerhalb Fahrstreifen*) oder wie auf der freien Strecke	kein ausweisen	
⑥	beide innerhalb Fahrstreifen oder wie auf der freien Strecke	kein ausweisen	
⑦	beide innerhalb Fahrstreifen***)	ausweisen (geschwindigkeitsabhängig)	

Tab. 15: Ausweisung der Zuschläge bei Knoten mit offener Einleitung

② Massgebende Geschwindigkeiten im Knotenbereich

Ein grundsätzlicher Unterschied gegenüber der freien Strecke besteht in Knoten im Bezug auf die Geschwindigkeiten, die zur Bemessung von Querschnittelementen anzuwenden sind. Je nach Verkehrsvorgang (ab- / einbiegen / durchfahren) und je nach Bereich (Zufahrt / Ausfahrt) sind (bzw. sollten) die Geschwindigkeiten verschieden (bzw. sein). Bei den hier unterbreiteten Vorschlägen wird von dem bereits in 2.1 dargelegten, sicherheitsorientierten Grundsatz ausgegangen, wonach die Gestaltung zur Geschwindigkeitsanpassung in der Knotenzufahrt veranlassen soll, während in der Knotenausfahrt ein zügiges Abfließen erwünscht ist.

Zu diesem Zweck werden für die Bereiche ausserhalb und innerhalb besiedelter Gebiete zwei bzw. drei grundsätzliche Fälle betrachtet.

- *ausserhalb* besiedelter Gebiete

Fall 1: Im Knotenbereich wird keine örtlich herabgesetzte Höchstgeschwindigkeit signalisiert und bezüglich Linienführung bestehen keine Restriktionen; die Zufahrtsgeschwindigkeiten (V_{zuf}) in der vortrittsberechtigten Knotenzufahrt betragen ca. ---> 80 km/h.

Fall 2: Im Knotenbereich wird eine örtlich herabgesetzte Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h signalisiert; die Zufahrtsgeschwindigkeiten (V_{zuf}) in der vortrittsberechtigten Knotenzufahrt betragen ca. ---> 70÷75 km/h.

Dieser Fall kann auch angenommen werden, wenn die Knotenzufahrt in grösserer Steigung ($i \geq 4.0\%$) und/oder in bzw.unmittelbar nach einer Kurve mit Radius ≤ 100 m liegt und keine örtlich herabgesetzte Höchstgeschwindigkeit signalisiert ist.

Für diese Fälle können die massgebenden Geschwindigkeiten V_m gemäss Tabelle 16 angewendet werden. Sie basieren auf den Ergebnissen der Erhebungen (Kapitel 3, vgl. auch in 5.3.4). Dabei wird unterschieden zwischen

- durchgehenden Fahrstreifen in der vortrittsberechtigten *Zufahrt*; die Richtwertangabe bezieht sich ca. auf den Bereich vor dem Beginn der Vorsortierung (Ort ①)
- Vorsortierstreifen; die Richtwertangabe bezieht sich auf den Bereich zwischen ca. Mitte und Ende des Verzögerungsbereiches, wobei hier kein Unterschied zwischen Ab- und Einbiegevorgängen gemacht wird (Orte ③ und ⑤),
- durchgehenden Fahrstreifen in der vortrittsberechtigten *Ausfahrt*; die Richtwertangabe bezieht sich ca. auf den Bereich nach der Durchfahrt der Konfliktzone (Orte ④ und ⑦),
- Ausfahrten in den vortrittsbelasteten Knotenästen (Ort ⑥).

Fall	V_{zuf} (km/h)	Massgebende Geschwindigkeit V_m im Knotenbereich (km/h)			
		durchgehende Fahrstreifen in der vortrittsberechtigten Zufahrt	Vorsortierstreifen für Abbieger und Einbieger	durchgehende Fahrstreifen in der vortrittsberechtigten Ausfahrt	Ausfahrten in den vortrittsbelasteten Knotenästen
1	80	70÷75	35÷39	80	wie Vorsortierstreifen
2	70÷75	60÷65	30÷35	70	

Tab. 16: Massgebende Geschwindigkeiten in Knoten ausserhalb besiedelter Gebiete

- *innerhalb* besiedelter Gebiete

Fall 1: Übergeordnete Strassen mit normalen Ausbaugrössen, wie sie bei zwei- und mehrstreifigen Hauptverkehrs- und Hauptsammelstrassen [15] üblicherweise angewendet werden; die Zufahrtsgeschwindigkeiten (V_{zuf}) in der vortrittsberechtigten Knotenzufahrt betragen ca. ---> 50 km/h.

- Fall 2: Untergeordnete Strassen mit reduzierten Ausbaugrößen, wie sie bei Quartiersammel- und Erschliessungsstrassen [15] üblicherweise angewendet werden; die Zufahrtsgeschwindigkeiten (V_{zuf}) in der vortrittsberechtigten Knotenzufahrt betragen ca. ---> 45 km/h.
- Fall 3: Strassen mit signalisierter Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h, in Innerorts-bereichen ohne oder mit nur lockerer Bebauung bzw. in den Übergangsbereichen ausser- / innerorts; die Zufahrtsgeschwindigkeiten (V_{zuf}) in der vortrittsberechtigten Knotenzufahrt betragen ca. ---> 60 km/h.

Bei den Richtwertangaben für Strassen innerhalb besiedelter Gebiete (Tabelle 17) wird auch berücksichtigt, dass hier -anders als ausserorts- eine geschwindigkeitsdämpfende Wirkung der Fahrstreifenbreiten kaum vorhanden ist (vgl. u.a. in [21], [22]).

Fall	V_{zuf} (km/h)	Massgebende Geschwindigkeit V_m im Knotenbereich (km/h)			
		durchgehende Fahrstreifen in der vortrittsberechtigten Zufahrt	Vorsortierstreifen für Abbieger und Einbieger	durchgehende Fahrstreifen in der vortrittsberechtigten Ausfahrt	Ausfahrten in den vortrittsbelasteten Knotenästen
1	50	50	30+35	50	wie Vorsortierstreifen
2	45	40	20+25	45	
3	60	55	35+39	55	

Tab. 17: Massgebende Geschwindigkeiten in Knoten innerhalb besiedelter Gebiete

③ Geschwindigkeitsabhängige Richtwerte

Die Bemessung des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlages erfolgt geschwindigkeitsabhängig. Die in [17] hierzu angegebenen Geschwindigkeitsstufen sind nicht kontinuierlich und (vermutlich bewusst) sehr grob gehalten, sodass je nach Auslegung und Interpolation durch den Normanwender verschiedene Zuordnungen möglich sind. Dies wird in den Knotenbereichen nicht als opportun erachtet.

Aus diesem Grund wird für die Bemessung in Knoten die in Tabelle 18 angegebene Zuordnung vorgeschlagen. Dabei werden in Abhängigkeit der massgebenden Geschwindigkeit V_m Breitenstufen von 5 cm beim Bewegungsspielraum und 10 cm beim Gegenverkehrszuschlag angewendet.

BEWEGUNGSSPIELRAUM			GEGENVERKEHRSZUSCHLAG		
Zuordnung nach [17] (freie Strecke)	VORSCHLAG für Zuordnung in Knoten		Zuordnung nach [17] (freie Strecke)	VORSCHLAG für Zuordnung in Knoten	
	V_m (km/h)	Breite (cm)		V_m (km/h)	Breite (cm)
0 ÷ 20	0 ÷ 29	0	0 ÷ 30	0 ÷ 39	0
30 ÷ 40	30 ÷ 49	10		40 ÷ 49	10
	50 ÷ 59	15		50 ÷ 59	20
50 ÷ 70	60 ÷ 69	20	40 ÷ 70	60 ÷ 69	30
	70 ÷ 79	25		70 ÷ 79	40
80 ÷ 100	≥ 80	30	≥ 80	≥ 80	50

Tab. 18: Vorschlag für die Bemessung des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlages in Knoten

④ Abmessungen der Fahrstreifen im Knotenbereich

Aufgrund der in den Abschnitten ① bis ③ unterbreiteten Vorschläge wurden Bemessungsberechnungen durchgeführt. Dabei wurden einbezogen Knoten mit Inseln und Knoten mit Sperrflächen sowie die Fälle 1 und 2 bei Knoten ausserhalb besiedelter Gebiete (Tabelle 16) und die Fälle 1 und 2 bei Knoten innerhalb besiedelter Gebiete (Tabelle 17). Der Fall 3 bei Knoten innerhalb besiedelter Gebiete ist für die Bemessung nicht relevant: Aufgrund der Vorschläge für die geschwindigkeitsabhängige Zuordnung des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlages (Tabelle 18) resultieren bei diesem Fall die gleichen Breiten wie beim Fall 1 ($V_{zuf} = 50$ km/h).

In Tabelle 19 ist die Berechnung für Knoten mit Inseln auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete, in Tabelle 20 jene für Knoten mit Sperrflächen auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete zusammengestellt. Bei den Berechnungen wird jeweils von der Grundabmessung eines schweren Lastfahrzeuges (Breite 250 cm) ausgegangen, in der zweiten Zeile ist der Bewegungsspielraum, in der dritten die Sicherheitszuschläge und in der vierten ist der allfällige Gegenverkehrszuschlag angegeben. Sicherheitszuschläge, die gemäss Tabellen 13 bis 15 ausserhalb des Fahrstreifens ausgewiesen werden, sind im Grauton geschrieben. In den resultierenden Breiten sind die üblichen Verbreiterungen in Kurven und im inneren Knotenbereich (Schleppkurven) nicht enthalten.

Auf diese Weise wurden die Berechnungen für sämtliche in ① und ② enthaltene Fälle durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabellen 21 und 22 zusammenfassend dargestellt (vgl. Seite 63).

Knoten mit Inseln (geschlossene Einleitung) ausserhalb besiedelter Gebiete							
Fall	Breitenorte der Fahrstreifen im Knotenbereich						
	①	②	②	③	④	⑤	⑥
1	V (km/h) 70÷75	V (km/h) 70÷75	V (km/h) 70÷75	V (km/h) 35÷40	V (km/h) 80	V (km/h) 35÷40	V (km/h) 35÷40
	250	250	250	250	250	250	250
	25 =50 25	25 =50 25	25 =50 25	10 =20 10	30 =60 30	10 =20 10	10 =20 10
	30 =60 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =60 30	30 =60 30
	360 (cm)	330 (cm) (345)*	360 (cm) (345)*	300 (cm)	370 (cm)	330 (cm)	330 (cm)
2	V (km/h) 60÷65	V (km/h) 60÷65	V (km/h) 60÷65	V (km/h) 30÷35	V (km/h) 70	V (km/h) 30÷35	V (km/h) 30÷35
	250	250	250	250	250	250	250
	20 =40 20	20 =40 20	20 =40 20	10 =20 10	25 =50 25	10 =20 10	10 =20 10
	30 =60 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =60 30	30 =60 30
	350 (cm)	320 (cm) (335)*	350 (cm) (335)*	300 (cm)	360 (cm)	330 (cm)	330 (cm)

*) Bei Mehrstreifigkeit erhalten alle durchgehenden Fahrstreifen die gleiche Abmessung; z.B. 2-streifig,
Fall 1: 360 (②) + 330 (②) = 690 ---> 2 x 345 cm

Tab. 19: Ermittlung von Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Inseln auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete

Knoten mit Sperrflächen (geschlossene Einleitung) innerhalb besiedelter Gebiete								
Breitenorte der Fahrstreifen im Knotenbereich								
Fall	①	②	②	③	④	⑤	⑥	⑦
1	V (km/h) 50	V (km/h) 50	V (km/h) 50	V (km/h) 30+35	V (km/h) 50	V (km/h) 30+35	V (km/h) 30+35	V (km/h) 50
	250	250	250	250	250	250	250	250
	15 =30 15	15 =30 15	15 =30 15	10 =20 10	15 =30 15	10 =20 10	10 =20 10	15 =30 15
	30 =30 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =60 30	30 =60 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =60 30
	310 (cm)	310 (cm) (325*)	340 (cm) (325*)	330 (cm)	340 (cm)	300 (cm)	330 (cm)	360 (cm) 20**)
2	V (km/h) 40	V (km/h) 40	V (km/h) 40	V (km/h) 20+25	V (km/h) 45	V (km/h) 20+25	V (km/h) 20+25	V (km/h) 45
	250	250	250	250	250	250	250	250
	10 =20 10	10 =20 10	10 =20 10	0 =0 0	10 =20 10	0 =0 0	0 =0 0	10 =20 10
	30 =30 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =60 30	30 =60 30	30 =30 30	30 =60 30	30 =60 30
	300 (cm)	300 (cm) (315*)	330 (cm) (315*)	310 (cm)	330 (cm)	280 (cm)	310 (cm)	340 (cm) 10**)

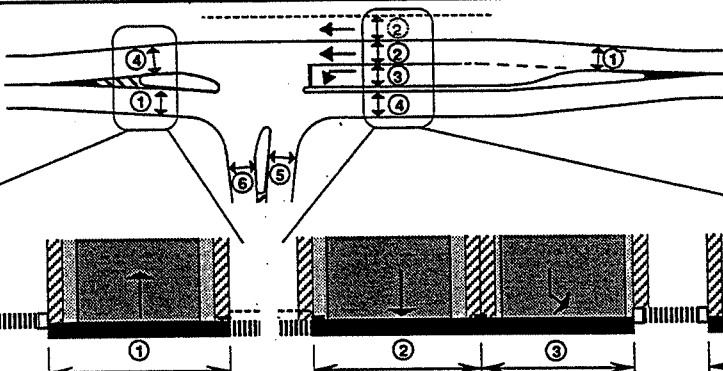
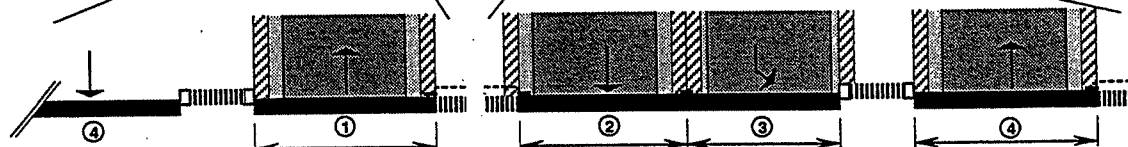
*) Bei Mehrstreifigkeit erhalten alle durchgehenden Fahrstreifen die gleiche Abmessung; z.B. 2-streifig,
Fall 1: 360 (②) + 330 (②) = 690 ---> 2 x 345 cm

**) Gegenverkehrszuschlag

Tab. 20: Ermittlung von Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Sperrflächen auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete

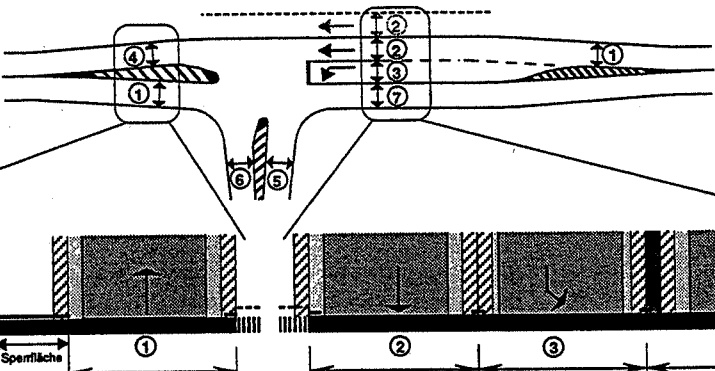
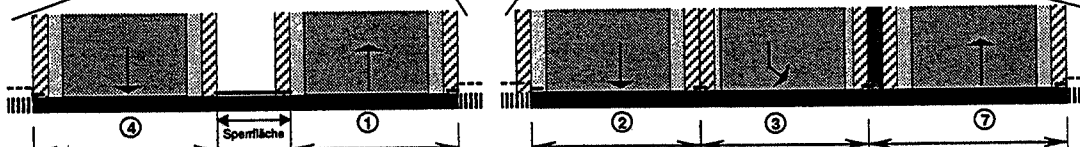
Aus den Übersichten in Tabellen 21 und 22 ist ersichtlich:

- Trotz unterschiedlichen Bemessungsgeschwindigkeiten (Tabellen 16, 17) resultieren bei den Fahrstreifenbreiten relativ kleine Unterschiede: Zwischen den Standardfällen 1-ausserorts ($V_{\text{zuf}} = 80 \text{ km/h}$) und 1-innerorts ($V_{\text{zuf}} = 50 \text{ km/h}$) beträgt die Breitendifferenz bei den durchgehenden Fahrstreifen 20 cm (Breitenorte ①, ②) bzw. 30 cm (Breitenort ④).
- Deutlichere Auswirkungen ergeben sich aus der Ausweisung der Sicherheitszuschläge innerhalb / ausserhalb der Fahrstreifen, sowie des Gegenverkehrszuschlages (Breitenort ⑦) bei Knoten ohne Inseln (gemäss Tabellen 14 und 15).

Knoten mit Inseln (geschlossene Einleitung)						
						
Abmessungen (m)						
Lage	Fall					
ausserorts	1 ($V_{zuf} = 80 \text{ km/h}$)	3.60 [3.30]	3.30 (3.45)	3.00	3.70	
	2 ($V_{zuf} = 70+75 \text{ km/h}$)	3.50 [3.20]	3.20 (3.35)	3.00	3.60	
innerorts	1 ($V_{zuf} = 50 \text{ km/h}$)	3.40 [3.10]	3.10 (3.25)	3.00	3.40	
	2 ($V_{zuf} = 45 \text{ km/h}$)	3.30 [3.00]	3.00 (3.15)	2.80	3.30	

Legende: [] = Reduzierte Breiten bei örtlich beschränkten Platzverhältnissen (gemäss Tabelle 13)
() = Breiten je Fahrstreifen bei Mehrstreifigkeit

Tab. 21: Übersicht Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Inseln

Knoten mit Sperrflächen (geschlossene Einleitung)						
						
Abmessungen (m)						
Lage	Fall					
ausserorts	1 ($V_{zuf} = 80 \text{ km/h}$)	3.70	3.30 [3.00]	3.30 (3.45)	3.30	4.20 [3.90]
	2 ($V_{zuf} = 70+75 \text{ km/h}$)	3.60	3.20 [2.90]	3.20 (3.35)	3.30	4.00 [3.70]
innerorts	1 ($V_{zuf} = 50 \text{ km/h}$)	3.40	3.10 [2.80]	3.10 (3.25)	3.30	3.60 [3.30]
	2 ($V_{zuf} = 45 \text{ km/h}$)	3.30	3.00 [2.70]	3.00 (3.15)	3.10	3.40 [3.10]

Legende: [] = Reduzierte Breiten bei örtlich beschränkten Platzverhältnissen (gemäss Tabelle 14)
() = Breiten je Fahrstreifen bei Mehrstreifigkeit

Tab. 22: Übersicht Fahrstreifenbreiten bei Knoten mit Sperrflächen

- Die Notwendigkeit der Ausweisung beider Sicherheitszuschläge innerhalb der Fahrstreifen bei den Linksabbiegestreifen in Knoten ohne Inseln (Tabelle 22) bewirkt, dass die Fahrstreifenbreiten für Linksabbiegestreifen (Breitenort ③) bis zu 20 cm grösser sind als jene der durchgehenden Fahrstreifen (Breitenort ②).

In solchen Fällen wird empfohlen, die Markierung zwischen dem durchgehenden Fahrstreifen und dem Linksabbiegestreifen so anzuordnen, dass beide Streifen die gleiche Breite erhalten (z.B. beim Fall 1-innerorts: statt 3.10 und 3.30 m ---> je 3.20 m).

- Da der Gegenverkehrszuschlag bei Knoten mit Inseln nicht ausgewiesen werden muss, ergeben sich im Breitenort ④, vor allem ausserorts deutlich kleinere Breiten als bei Knoten ohne Inseln, wo der Gegenverkehrszuschlag auszuweisen ist (z.B. beim Fall 1-ausserorts: 3.70 m gegenüber 4.20 m). Dennoch sind diese Durchfahrtsbreiten durchaus angemessen.

Im Bereich von *längeren (Trenn-) Inseln auf Strassen ausserorts* könnte jedoch auf betriebliche Probleme hingewiesen werden, die sich bei Pannen oder Unfällen und bei Unterhaltsarbeiten stellen würden. Bei solchen Fällen ist stets zu prüfen

- die Anordnung von überbreiten, befestigten Banketten im Inselbereich oder
- die Anordnung von überfahrbaren Inselrandabschlüssen und befestigten Inselflächen.

Wenn dies nicht möglich ist, können bei längeren Inseln breitere Fahrstreifen angeordnet werden (Breitenorte ① und ④). Die gesamte Durchfahrtsbreite im 1-streifigen Bereich soll jedoch 4.25 ¹⁾ m nicht übersteigen. Als längere Insel werden solche mit einer Gesamtlänge von mehr als ca. 50 m erachtet.

⑤ Folgerungen

Aufgrund der in den Abschnitten ① bis ④ unterbreiteten Vorschläge zu den Fahrstreifenbreiten in Knotenbereichen ergeben sich für die Normung zwei grundsätzliche Möglichkeiten.

Möglichkeit 1:

Die neue Norm beschränkt sich auf

- den Grundsatz, wonach die Fahrstreifenbreiten auch in Knoten nach den bestehenden Querschnittsnormen [17] zu bemessen sind und
- sie gibt für die drei grundsätzlichen Formen der Vorsortierung (geschlossene Einleitung mit Inseln oder mit Sperrflächen, offene Einleitung) zusätzliche Anweisungen zu
 - Ausweisen der Teilelemente des Lichtraumprofils (Sicherheitszuschläge und Gegenverkehrszuschlag, gemäss Tabellen 13+15),
 - massgebenden Geschwindigkeiten im Knotenbereich (je zwei Fälle ausserorts und innerorts, gemäss Tabellen 16 und 17),
 - Bemessung des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlages (gemäss Tabelle 18).

Die eigentliche Ermittlung der jeweiligen Breiten für die einzelnen Fahrstreifen wird den Normanwendern überlassen.

Möglichkeit 2:

Wie bei der ersten Möglichkeit wird in der neuen Norm

- der Grundsatz bzgl. Anwendung der Querschnittsnormen [17] postuliert und
- es werden die resultierenden Breiten für die einzelnen Fahrstreifen in Knoten im Sinne von Richtwerten angegeben (dies würde inhaltlich den Tabellen 21 und 22 entsprechen).
- Zusätzlich wird in verkürzter Form angegeben, auf welchen Überlegungen und Festlegungen (bzgl. Ausweisen der Zuschläge, massgebende Knotengeschwindigkeiten und Bemessung des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlages) die angegebenen

¹⁾ Dieser Richtwert wurde in Anlehnung an [2], [13] und [18] abgeleitet.

Richtwerte basieren. Dabei wäre auch ein Verweis auf den vorliegenden Forschungsbericht wesentlich.

Die erste Möglichkeit ist nicht unbedingt anwenderfreundlich, weil die Berechnungen für die einzelnen Fahrstreifenbreiten bei jedem Knoten durchgeführt werden müssten (analog zu den Beispielen in den Tabellen 19 und 20). Zudem wäre die Gefahr von Fehlinterpretationen nicht zu vermeiden.

Aus diesem Grund wird empfohlen, bei der Erarbeitung der neuen Norm die zweite Möglichkeit anzustreben. Sie hat neben der einfacheren Normhandhabung den Vorteil, dass in der Praxis einheitlichere Fahrstreifenbreiten in Knoten angewendet werden, was aus Gründen der Verkehrssicherheit (Angewöhnung der Fahrzeuglenker an ähnliche Ausbaustandards in Knoten) durchaus erwünscht ist.

5.3 Längen der Fahrstreifen

Eines der grundsätzlichen Mängel der bestehenden, umfangreichen Norm [1] ist die für den Anwender unübersichtliche Gliederung. So wird die Bemessung und die konstruktive Gestaltung von Längenelementen der Fahrstreifen im Knotenbereich in mehreren Abschnitten (in [1] Ziffern 4, 5, 9, 11, und 15) behandelt. Dieser Mangel sollte bei der Erarbeitung der neuen Norm behoben werden.

Zur besseren Übersicht werden in diesem Abschnitt alle Längenelemente behandelt, und zwar

- die Aufweitung der Fahrbahn vor dem Knoten (Verziehung) sowie
- alle Elemente der Vorsortierstreifen.

Am Ende des Abschnittes 5.3 werden auch entsprechende Hinweise zu den Längenelementen im Bereich von HLS-Anschlüssen (Verzögerungs- und Beschleunigungsstreifen) angegeben.

5.3.1 Normkritik

Nachfolgend wird auf die in der Praxis oft als Mängel bezeichneten Aspekte der bestehenden VSS-Norm [1] eingegangen. Wie in 1.1 erwähnt, sind die Längen der Verziehung und der Vorsortierstreifen umstritten, weil sie generell zu einer grossen Knotenausdehnung führen und vor allem innerhalb besiedelter Gebiete oft nicht realisiert werden können.

• Verziehungen

Die Bemessung der *Verziehungslänge* (L_v) für die Fahrbahnaufweitung vor dem Knoten basiert auf optisch-ästhetischen Überlegungen. Fahrdynamisch sind die aus der bestehenden Norm resultierenden Längen nicht begründbar. Es wird sogar vermutet, dass solch zügig trassierte Fahrbahnaufweitungen zu überhöhten Geschwindigkeiten in Knoten führen können. Schwer nachvollziehbar und sicherheitstechnisch völlig kontraproduktiv ist in diesem Zusammenhang die in [1] (Ziffer 7: Grundsätze) enthaltene Empfehlung, wonach die

"Geometrie eines Knotens so gestaltet werden soll, dass die vortrittsberechtigten Verkehrsströme die Geschwindigkeit der freien Strecke möglichst beibehalten können".

Wie in 2.1 dargelegt, sollten -im Gegensatz zur obigen Aussage- alle Fahrzeuglenker ihre Geschwindigkeit vor dem Knoten aus Sicherheitsgründen anpassen.

Aufgrund der in [1] empfohlenen Berechnungsgleichung resultieren bei einer üblichen Aufweitung d' um 1.5 m (für die symmetrische Anordnung eines 3 m breiten Fahrstreifens) Verziehungslängen von 73.5 m (bei V_p von 60 km/h) bis 98.0 m (bei V_p von 80 km/h). In Abbildung 36 sind die Verziehungslängen bei einer massgebenden Querverschiebung d' von 1.5 und 3.0 m nach [1] mit jenen nach den deutschen Richtlinien [2] verglichen. Daraus ist ersichtlich, dass die Verziehungslängen nach [1] wesentlich länger sind als jene nach [2].

$$L_v = V_p \cdot \sqrt{d'}$$

L_v [m]
 V_p [km/h]
 d' [m]

Eine weitere, für den Normanwender schwer nachvollziehbare Unstimmigkeit liegt darin, dass für Querschnittsaufweitungen auf der freien Strecke (wie sie bei der Anordnung von Zusatzstreifen auftreten) in einer anderen VSS-Norm [12] wesentlich kürzere Längen empfohlen werden als gemäss [1]. Dies obwohl in solchen Streckenbereichen keine Geschwindigkeitsanpassung notwendig ist.

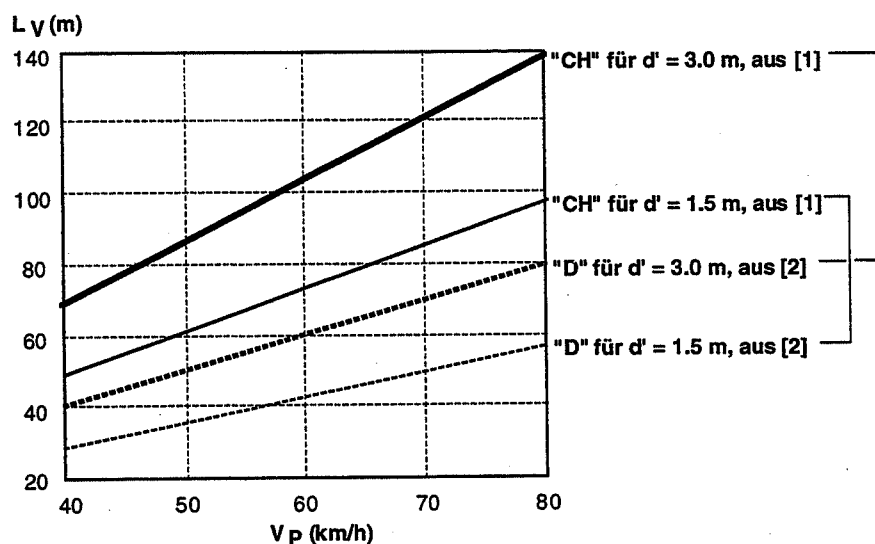
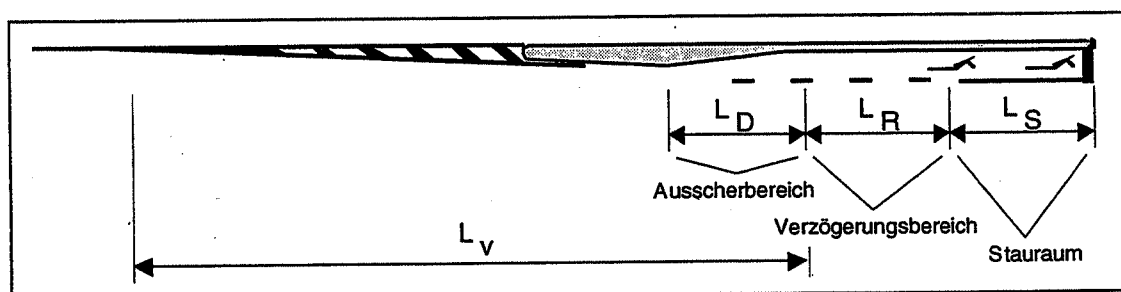


Abb. 36: Vergleich der Verziehungslängen L_V nach VSS-Norm [1] und nach deutschen Richtlinien [2]

Für die Aufweitung in *vortrittsbelasteten* Knotenästen werden in [1] andere Richtwerte angegeben (vgl. in 5.5.4).

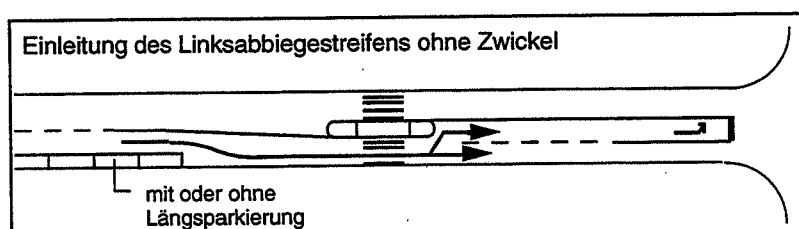
• Vorsortierstreifen

Gemäss [1] besteht der Vorsortierstreifen aus drei Bereichen (vgl. Skizze für ein Linksabbiegestreifen). Die Längen L_D , L_R und L_S werden einzeln bemessen.



- Ausscherbereich

Die Länge des Ausscherbereichs bzw. Zwickels wird in [1] in Abhängigkeit von der Projektierungsgeschwindigkeit V_P angegeben, wobei sie für $V_P \geq 60$ km/h konstant 40m lang ist; für $V_P = 40$ km/h werden 20 m empfohlen. Obwohl in [1] aufgeführt ist, dass die Fahrbahnaufweitung am Anfang des Vorsortierstreifens vor allem optisch auffallen muss und die Geometrie daher nicht unbedingt dem dynamischen Fahrverhalten entsprechen muss, werden die empfohlenen Längen in der Praxis als zu gross erachtet. Umstritten ist zudem, ob die Ausrundung des Zwickels immer zwingend ist bzw. ob nicht bei beengten Verhältnissen innerorts auch eine abrupte Einleitung des Vorsortierstreifens zur besseren Raumausnutzung angewendet werden kann (vgl. Skizze).



- Verzögerungsbereich

Die Länge des Verzögerungsbereiches wird in Anlehnung an den Energiesatz nach einer Faustformel, in der eine mittlere Verzögerung "d" von 1.5 bis 2.0 einzusetzen ist, berechnet. In der Praxis wird dieser Wertebereich als zu niedrig erachtet. Daraus würden sich zu lange Verzögerungsbereiche ergeben, die vor allem innerorts nicht ausgewiesen werden können¹⁾. In verschiedenen kantonalen und kommunalen Richtlinien wurden deshalb andere Richtwerte empfohlen (z.B. ist im Kanton Zürich von $d = 3.0 \text{ m/s}^2$ auszugehen).

Bei ebenen Verhältnissen ($i = 0\%$) resultieren aus [1] je nach Kombination der Ausgangs- und Endgeschwindigkeit folgende Längen der Verzögerungsbereiche:

60 / 10 km/h	---> 48 m	80 / 10 km/h	---> 88 m
60 / 30 km/h	---> 28 m	80 / 30 km/h	---> 70 m

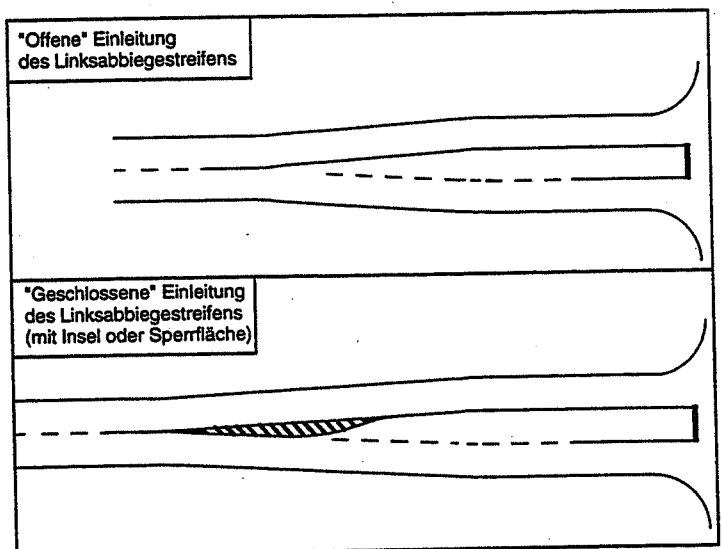
Unter Berücksichtigung von minimalen Längen für den Ausscherbereich und Staauraum ergibt sich daraus für Strassen ausserorts eine Gesamtlänge von mindestens 130 m. Ab dieser Grösse besteht aber bereits die Gefahr, dass der lange Linksabbiegestreifen zum missbräuchlichen Überholen vor dem Knoten verleiten kann. Eine Begrenzung der Länge der Vorsortierung ist in [1] nicht enthalten.

- Staauraum

Bezüglich der Länge des Stauraumes L_S werden in [1] für Knoten ohne Lichtsignalanlagen 20 m, bei starkem Anteil des Schwerverkehrs 40 m als Minimum angegeben. Auch hier wird in der Praxis eine grössere Differenzierung nach Strassentypen gewünscht.

Ferner wird auch hinterfragt, ob die einzelnen Bereiche der Vorsortierstreifen überhaupt ausgewiesen werden müssen, insbesondere auf Strassen mit Tempolimit innerorts.

Bei den Knotentypen wird schliesslich bemängelt, dass die "offene" Einleitung der Vorsortierstreifen (ohne Sperrfläche/Insel) im vortrittsberechtigten Knotenast, welche innerorts die eigentliche Grundform darstellt (vgl. Skizze rechts), in der bestehenden Norm fehlt. Dies umso mehr, als diese Form oft die einzige Möglichkeit bietet, eine minimale Vorsortierung in beengten Verhältnissen zu schaffen.



¹⁾ Die bestehende Norm [1] lässt jedoch bei beschränkten Platzverhältnissen eine (nicht näher definierte) Verkürzung des Verzögerungsbereiches zu.

5.3.2 Erkenntnisse aus den Erhebungen

- **Verziehungslängen**

Die in der Praxis kritisierte Längenbemessung wurde in den Erhebungen bestätigt (3.5, ②). Demnach können die Verziehungslängen, wie sie aus der Bemessung in [1] resultieren ohne Einbusse an Sicherheit und Verkehrsqualität deutlich kürzer ausgebildet werden.

Wie weit die zügig trassierten Fahrbahnaufweitungen zu überhöhten Geschwindigkeiten führen ist offen. Es kann jedoch umgekehrt nicht bestätigt werden, dass das Geschwindigkeitsniveau allein mit verkürzten Verziehungen massgeblich beeinflusst werden kann (3.5, ⑥).

- **Vorsortierstreifen**

Bei den Erhebungen des Fahrverhaltens war eine exakte Unterscheidung nach den Bereichen des Linksabbiegestreifens nicht möglich. Die Erkenntnisse beziehen sich deshalb auf den gesamten Vorsortierstreifen.

Aufgrund der Messergebnisse kann bestätigt werden, dass zumindest die getrennte Ausweisung des Ausscher- und des Verzögerungsbereiches nicht zwingend ist. Wie in 3.5, ③ und ④ ausgeführt, wählen die Fahrzeuglenker ihre Geschwindigkeit im Linksabbiegestreifen weitgehend unabhängig von dessen Länge und beginnen die Verzögerungsvorgänge bereits weit vor der Vorsortierung.

Hingegen kann die Vermutung, wonach die in [1] enthaltene Annahme der mittleren Verzögerung von 1.5+2.0 m/s² zu niedrig sei, nicht bestätigt werden. Aus den Messungen resultieren mit ca. 1.2+1.7 m/s² sogar etwas niedrigere Werte. Dieses Erkenntnis ist die Folge des Verzögerungsverhaltens, das sich -unabhängig von der Länge der Verziehung und der Vorsortierung- über eine deutlich grössere Länge erstreckt als bis anhin angenommen wurde. Dies bedeutet umgekehrt, dass das Bereitstellen von langen, und entsprechend viel Platz beanspruchenden Vorsortierstreifen nicht sinnvoll ist. Die Längen der Vorsortierstreifen gemäss [1] können somit auch auf Strassen ausserorts ohne weiteres verkürzt werden; allfällige Behinderungen der Durchfahrer können in Kauf genommen werden, sie werden auch von den Fahrzeuglenkern akzeptiert.

5.3.3 Empfehlungen in anderen Richtlinien

Wie bei den Breiten (Ziffer 5.2.3) beschränken sich die nachfolgenden Bemerkungen auf deutsche Richtlinien. Bei den Längenelementen basiert die deutsche RAS-K-1 [2] vor allem auf den Forschungsarbeiten in [6].

- **Verziehungslängen**

Die Bemessung der Verziehungslänge L_V in [2] erfolgt nach der Faustformel

$$L_V = V_K \cdot \sqrt{i/3}.$$

Darin ist "i" das Verbreitungsmass (analog zu d' in [1]) und V_K die massgebende Knotengeschwindigkeit, die in der Regel der zulässigen Höchstgeschwindigkeit entsprechen soll. Wie in 5.3.1 erwähnt (Abbildung 36), ergeben sich nach dieser Formel deutlich kürzere L_V als nach [1], und sie sind auch kürzer als nach der früher in Deutschland gültigen Richtlinie RAS-K-1 aus dem Jahre 1976 [7]. Im Forschungsauftrag [6] wird hierzu aufgeführt, dass die Länge der Fahrbahnaufweitung nur optisch begründbar sei; ihre Verkürzung würde den Knotenbereich verdeutlichen und über Geschwindigkeitsverringerungen auf der übergeordneten Strasse zu mehr Sicherheit führen.

Diese Bemessung gilt auch in der EAHV [13], allerdings ist für die entsprechenden Strassenkategorien erlaubt, bei beschränkten Platzverhältnissen auch kürzere L_V anzuordnen; als Minimum gelten 20 m.

Für Strassenkategorien der EAE [14] gilt die obige Formel nicht. Aufweitungen für die Vorsortierung an Knoten sollten bei den betreffenden Strassenkategorien (in CH: Erschliessungsstrassen und Quartiersammelstrassen) nur eine Ausnahme sein. In solchen Fällen wird empfohlen, die Aufweitung möglichst kurz auszubilden. Auch hier gelten 20 m als Minimum.

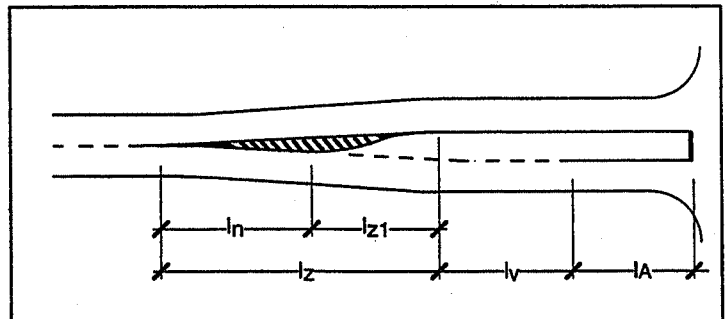
• Vorsortierstreifen

Bei der Bemessung von Vorsortierstreifen wird in der RAS-K-1 [2] unterschieden zwischen den Bereichen ausserhalb bebauter Gebiete, wo überwiegend fahrdynamische Grundsätze massgebend sind und jenen innerhalb bebauter Gebiete, wo die Beachtung fahrgeometrischer Grundanforderungen ausreichend ist. Zudem wird in [2] auch darauf hingewiesen, dass "mit dem Ziel einer frühzeitigen Geschwindigkeitsdämpfung" auch in den Übergangsbereichen ausserhalb / innerhalb bebauter Gebiete auf eine fahrdynamische Bemessung verzichtet werden kann.

- Bemessung des Ausscherbereiches (Zwickels)

Die Verziehung der Links- und Rechtsabbiegestreifen erfolgt mit zwei entgegengesetzten quadratischen Parabeln. Bei den Linksabbiegestreifen findet sie innerhalb der Verziehungslänge l_Z für die gesamte Fahrbahnaufweitung statt. In der folgenden Skizze sind die in [2] verwendeten Bezeichnungen veranschaulicht.

l_Z = gesamte Verziehungslänge
 l_{Z1} = Verziehung des Linksabbiegestreifens (Ausscherbereich)
 l_V = Verzögerungsbereich
 l_A = Aufstellbereich (Stauraum)



Der Beginn des Ausscherbereiches l_{Z1} liegt in einem Abstand l_n , wo die Fahrbahnverbreiterung eine Breite von 2.0 m, in bestimmten Fällen auch 1.5 m erreicht hat. Die Verziehungsneigung im Ausscherbereich ist somit deutlich steiler als jene der Gesamtaufweitung. Die Länge des Ausscherbereiches ist in [2] auf max. 30 m begrenzt:

$$l_Z - l_n \leq l_{Z1} \leq 30 \text{ m}$$

Bei beengten Verhältnissen an angebauten Strassen dürfen die Ausscherbereiche auch kürzer ausgebildet werden, in Minimum aber 20 m. In Verbindung mit Inseln in der Fahrbahnmitte wird in [2] auch eine abrupte Einleitung der Linksabbiegestreifen zugelassen.

Auf Strassenkategorien innerhalb bebauter Gebiete wird die Form mit geschlossener Einleitung der Linksabbiegestreifen in [2] und [14] nicht empfohlen. Die Frage der Bemessung des Ausscherbereiches stellt sich hier somit nicht.

- Bemessung des Verzögerungsbereiches (l_v)

Der Verzögerungsbereich wird in [2] gesondert ausgewiesen

- bei Rechtsabbiegestreifen
- bei Linksabbiegestreifen nur im Falle der geschlossenen Einleitung. Da diese Form nur auf Strassen ausserorts zur Anwendung gelangt, müssen auf Strassen innerorts keine Verzögerungsbereiche ausgewiesen werden.

Zur Festlegung der Länge l_v werden in [2] pauschale Werte angegeben. Ihre Wahl hängt ab

- von der Längsneigung i (3 Gruppen),
- von der Knotengeschwindigkeit, die weitgehend der zulässigen Höchstgeschwindigkeit entspricht und
- von der Verkehrsstärke q in der Fahrrichtung, aus der abgebogen wird (2 Gruppen).

Die Längen l_v variieren z.B. bei einer Knotengeschwindigkeit von 80 km/h zwischen

- 15 m (bei $i \geq +4\%$ und $q \leq 400$ Fz/Std/Richtung) und
- 60 m (bei $i \geq -4\%$ und $q > 400$ Fz/Std/Richtung).

In der Gruppe $-4\% < i < +4\%$ ergeben sich l_v von 20m ($q \leq 400$) bzw. 40 m ($q > 400$).

Zum Vergleich resultieren nach der VSS-Norm [1] bei $i = 0\%$ die folgenden Werte:

V-Übergang (km/h)	Länge Verzögerungsbereich (m)
80 / 20	83
80 / 30	70
80 / 40	42

- Bemessung des Warte- bzw. Staupraumes (l_a)

Bei Knoten mit Lichtsignalanlagen (LSA) soll die Länge l_a aus der Signalprogrammberechnung ermittelt werden.

Für Linksabbiegestreifen bei Knoten ohne LSA reicht gemäss [2] eine Länge von 20 m in der Regel aus. In Einzelfällen kann die Länge l_a auch kürzer angenommen werden, im Minimum sollte aber Platz für 2 PW (ca. 10 m) vorgesehen werden. Diese Empfehlungen gelten sowohl für die geschlossene als auch für die offene Einleitung und somit sowohl ausserorts als auch innerorts. Bei Rechtsabbiegestreifen wird die Länge l_a nicht ausgewiesen.

5.3.4 Vorschläge für die neue Norm

Aufgrund der kritischen Beurteilung der bestehenden VSS-Norm [1], der Erkenntnisse aus den Erhebungen und unter Berücksichtigung der Empfehlungen in neueren ausländischen Richtlinien werden zu den Längenelementen nachfolgend Vorschläge für die neue Norm unterbreitet. Dabei werden die Empfehlungen, die direkt für den Normtext vorgesehenen sind, *kursiv* geschrieben.

① Verziehung der Fahrstreifen

Für die Anordnung von Vorsortierstreifen und Inseln sind in den Knotenästen Aufweitungen bzw. Verengungen der Breiten notwendig.

*Auf vortrittsberechtigten Knotenästen ist die Verziehung der durchgehenden Fahrstreifen so zu gestalten, dass der Knoten deutlich erkennbar wird und die Fahrzeuglenker zur Geschwindigkeitsanpassung veranlasst werden. Die Länge der Verziehung L_v (m) ist abhängig von der Projektierungsgeschwindigkeit V_p (km/h) und der massgebenden Aufweitungs-
breite d' (m). Sie berechnet sich aus*

$$L_V = V_P \cdot \sqrt{d'/3}.$$

Im allgemeinen ist die L_V für alle Fahrstreifenränder eines Knotenastes gleich gross anzunehmen. Im Knotenast mit Linksabbiegestreifen endet die Verziehungsstrecke an der gleichen Stelle wie der Ausscherbereich L_D (vgl. hier Abbildung 37).

--> Abbildung 11 aus der bestehenden Norm [1], unverändert.

Die Konstruktion der Fahrstreifenränder ist in [entsprechende Ziffer in der neuen Norm, vgl. in 5.4.2] geregelt.

Auf untergeordneten Strassen des Typs Lokalverbindungsstrassen sowie auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete können bei beschränkten Platzverhältnissen auch kürzere Verziehungslängen angeordnet werden. In solchen Fällen kann in der obigen Gleichung $d'/5$ eingesetzt werden. Eine minimale Länge von 20 m sollte jedoch nicht unterschritten werden.

Die Verziehungslänge in vortrittsbelasteten Knotenästen ist in [entsprechende Ziffer in der neuen Norm, vgl. in 5.5.4] geregelt.

② Vorsortierstreifen

Für die Ausbildung und Bemessung von Vorsortierstreifen wird ein neues Konzept vorgeschlagen. Nach diesem müssen die einzelnen Bereiche (L_D , L_R und L_S) nicht bei jeder Art der Vorsortierung ausgewiesen werden. Für den Verzögerungsbereich L_R wird eine angepasste Bemessung empfohlen.

Im Vorsortierstreifen können drei Bereiche unterschieden werden.

- Ausscherbereich L_D
- Verzögerungsbereich L_R
- Stau- bzw. Warteraum L_S

Ihre Anwendung richtet sich nach der Art der Vorsortierung.

• Linksabbiegestreifen

Konstruktiv kann zwischen zwei Arten von Linksabbiegestreifen unterschieden werden (vgl. hier Abbildung 37):

- Linksabbiegestreifen mit geschlossener Einleitung
- Linksabbiegestreifen mit offener Einleitung

Linksabbiegestreifen mit offener Einleitung sollten nur auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete sowie auf untergeordneten Strassentypen ausserhalb besiedelter Gebiete (Lokalverbindungsstrassen und evtl. Regionalverbindungsstrassen) angewendet werden. Diese Anwendungsempfehlung sollte nicht hier, sondern in der geplanten Norm "Knotenelemente" (vgl. Tabelle 10), enthalten sein.

Bei der geschlossenen Einleitung wird der Verzögerungsbereich L_R nicht wie bisher in [1] anschliessend an den Ausscherbereich L_D ausgewiesen, sondern er beginnt an dessen Anfang¹⁾. Diese Anpassung und die damit verbundene "Vorverlegung" des Verzögerungsbeginns ist auch hinsichtlich der Geschwindigkeitsanpassung in der Knotenzufahrt

1) Wie aus den Erhebungen in Kapitel 3 hervorgeht, werden die Verzögerungsvorgänge im tatsächlichen Fahrverhalten bereits im Bereich der Verziehung eingeleitet.

erwünscht; die allfällige Komfortbeeinträchtigung für die durchfahrenden Fahrzeuge kann in Kauf genommen werden.

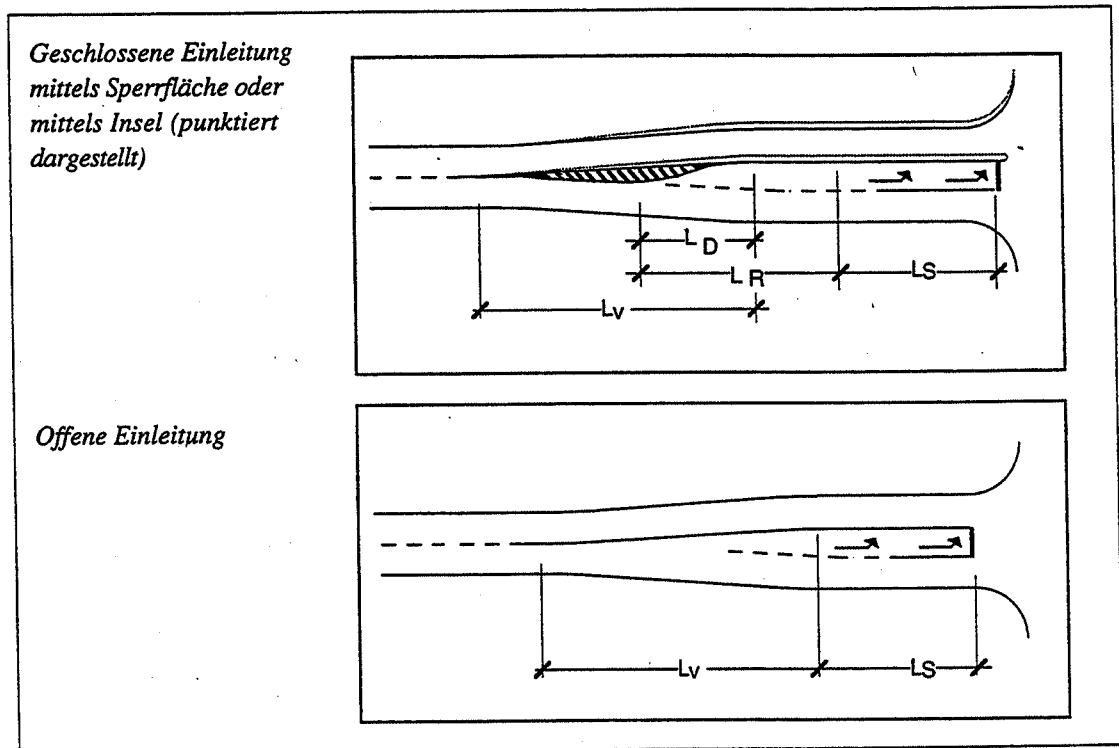


Abb. 37: Arten von Linksabbiegestreifen

Bei der offenen Einleitung wird kein Verzögerungsbereich ausgewiesen. Die Verzögerung erfolgt innerhalb der Verziegungsstrecke. Dies gilt sinngemäss auch für den Fall einer nur teilweisen Aufweitung (Aufstellbereich), bei welcher mangels genügender Breite kein separater Linksabbiegestreifen angeordnet werden kann.

- **Rechtsabbiegestreifen**

Bei Rechtsabbiegestreifen (vgl. hier Abbildung 38) wird unterschieden zwischen solchen mit und ohne Haltezwang.

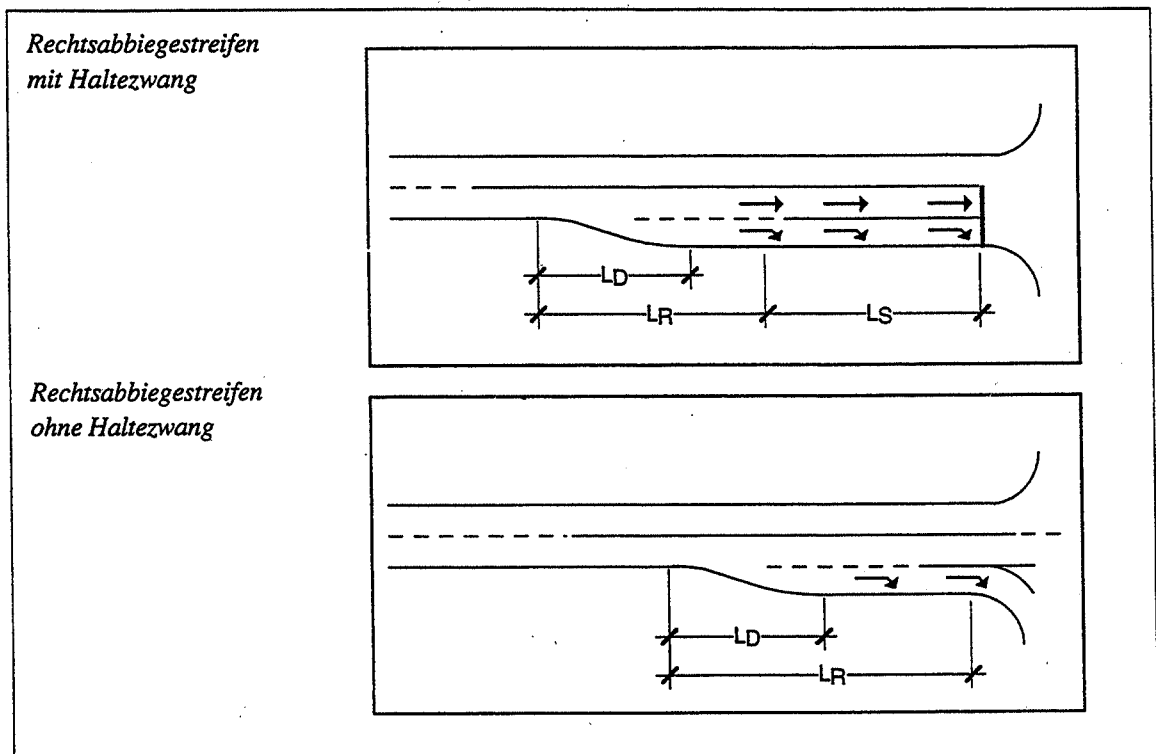


Abb. 38: Arten von Rechtsabbiegestreifen

③ Bemessung der Vorsortierstreifen

• Ausscherbereich L_D

Der Ausscherbereich beginnt an gleicher Stelle wie der Verzögerungsbereich.

Der Ausscherbereich soll erst dort beginnen, wo bereits eine genügende Aufweitung des durchgehenden Fahstreifens erreicht ist. Für die Einleitung eines Linksabbiegestreifens (Gesamtaufweitung von min. 2.8 m) wird in Anlehnung an [2] empfohlen, der Ausscherbereich dort zu beginnen, wo ca. zwei Drittel der Gesamtaufweitung erreicht sind.

Länge des Ausscherbereichs L_D :

- Auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete beträgt L_D generell 30.0 m. Bei Knotenzufahrten mit $V_p \leq 60$ km/h kann die Länge L_D bis auf 20.0 m verkürzt werden.
- Auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete beträgt L_D generell 20.0 m. Zur Gewinnung von zusätzlichen Aufstellfläche können Rechtsabbiegestreifen und Linksabbiegestreifen nach einem Mittelstreifen bzw. nach einer Mittelinsel auch abrupt eingeleitet werden.

• Verzögerungsbereich L_R

Der Verzögerungsbereich beginnt an gleicher Stelle wie der Ausscherbereich und schliesst konstruktiv an den Stauraum an.

In der bestehenden Norm [1] war der Verzögerungsbereich erst im Anschluss an den Ausscherbereich ausgewiesen.

Die bisherige Bemessung der Länge L_R in [1] erfolgte in Anlehnung an den Energiesatz nach folgender Näherungsgleichung:

$$L_R = \frac{V_1^2 - V_2^2}{26 \cdot (d + \frac{i}{10})}$$

V_1 = Ausgangsgeschwindigkeit ($0.75 V_P$)

V_2 = Endgeschwindigkeit

$V_1 > V_2$ (km/h)

d = mittlere Verzögerung (m/s^2)

i = Längsneigung (%), Steigung positiv, Gefälle negativ

An dieser Berechnung ist physikalisch nichts auszusetzen. Umstritten ist jedoch, ob die Genauigkeit -wie sie mit der Gleichung und den zugehörigen Diagrammen in [1] angedeutet wird- nötig bzw. sinnvoll ist. Die Verschiedenartigkeit der bei den Messungen erhobenen Verzögerungsabläufe von Einzelfahrzeugen spricht dagegen. Offen ist zudem die Grösse der in diese Gleichung einzusetzenden Geschwindigkeits- und Verzögerungswerte. Hinsichtlich der mittleren Verzögerung wurde der in [1] empfohlene Wert von $1.5 m/s^2$ bei den vorliegenden Messungen bestätigt (3.5, ④).

Hinsichtlich der Ausgangsgeschwindigkeiten kann von einem Wert V_1 von ca. $0.75 V_P$ ausgegangen werden, der allerdings bereits zu Beginn des Ausscherbereichs angenommen wird. Bei den Geschwindigkeiten zu Beginn des eigentlichen Stauraumes (ca. $15+25 m$ vor dem Haltebalken) kann, wie die Messungen gezeigt haben mit einem Wert V_2 von ca. $0.45 V_P$ (bei $V_P = 80 km/h$ ca. $36 km/h$) gerechnet werden.

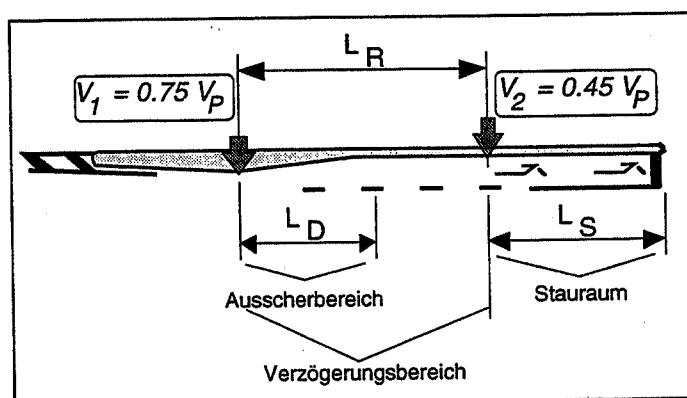


Abb. 39: Festlegungen zur Berechnung des Verzögerungsbereiches

Aufgrund dieser Vorgaben wurden Berechnungen der Längen L_R durchgeführt und für drei Gruppen von Längsneigungen gemittelt. Dabei wurden Aufrundungen auf $5 m$ vorgenommen. Im vorliegenden Normvorschlag werden ähnlich wie in [2] pauschale L_R -Werte empfohlen. Sie sind jedoch mit jenen in [2] nicht direkt vergleichbar; dazu müsste von diesen Werten die Länge L_D abgezogen werden.

Die Längen des Verzögerungsbereiches können der Tabelle [hier 23] entnommen werden. Auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete sind im Normalfall Werte für $V_P = 80 km/h$ zu verwenden. Sie sind vor allem bei stärker belasteten Knotenzufahrten angezeigt. Die reduzierten Werte können nur bei Knotenzufahrten mit $V_P \leq 60 km/h$ angewendet werden. Bei Vorsortierstreifen auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete sind in der Regel keine Verzögerungsbereiche auszuweisen.

V_P in der Knotenzufahrt	Länge L_R (m) bei Längsneigung i (%)		
	$i \leq -3.5\%$	$-3.5\% < i < +3.5\%$	$i \geq +3.5\%$
Normalfall: $V_P = 80 km/h$	90	65	50
Ausnahmefall: $V_P \leq 60 km/h$	55	40	30

Tab. 23: Längen der Verzögerungsbereiche L_R

• Stauraum L_S

Der Stauraum schliesst konstruktiv an den Verzögerungsbereich an und endet am Haltebalcken.

Die Länge des Stauraumes hängt von der Menge des Abbiegeverkehrs und des vortrittsberechtigten Gegenverkehrs ab. An Knoten mit Lichtsignalanlagen ergibt sich die Länge L_S aus den Signalzeiten. An Knoten ohne Lichtsignalanlagen genügt eine Stauraumlänge von 20 m in der Regel aus. Bei beschränkten Platzverhältnissen kann sie auch kürzer ausgebildet werden, eine Aufstellfläche für mindestens zwei Personenwagen soll jedoch gewährleistet werden.

In Tabelle 24 sind an einem Beispiel die Veränderungen in den Längenabmessungen zwischen der bestehenden Norm [1] und dem Vorschlag für die neue Norm zusammenfassend dargestellt. Dazu wird eine Knotenzufahrt auf Strassen ausserorts, bei $V_p = 80$ km/h, bei geschlossener Einleitung mit Sperrflächen und mit massgebender Aufweitung d' von 1.5 m betrachtet. Bei L_R nach der bestehenden Norm wurde mit einer Verzögerung auf $V_2 = 30$ km/h gerechnet.

	Verzögerungslänge L_V (m)	Bereiche des Vorsortierstreifens			Gesamtlänge (m)
		L_D (m)	L_R (m)	L_S (m)	
nach bestehender Norm [1]	98.0	40.0	bei $i = +3\%$: 53.4 bei $i = -3\%$: 81.1	20.0 (= min.)	$L = L_V + L_R + L_S$ 171.4 ÷ 199.1
gemäss neuem Vorschlag	56.6	30.0	bei $-3.5\% < i < +3.5\%$ pauschal: 65.0	10.0 (= min.)	$L = L_V - L_D + L_R + L_S$ 101.6

Tab. 24: Vergleich der Längenabmessungen gemäss [1] und nach neuem Vorschlag

5.3.5 Längenelemente bei HLS-Anschlüssen

Die Längenelemente bei den HLS-Anschlüssen umfassen Beschleunigungs- und Verzögerungstreifen. Wie in 1.3 erwähnt, müsste bei allfälligen Anpassungsvorschlägen für diese Elemente der Homogenität im Ausbaugrad des HLS-Netzes Rechnung getragen werden. Zu diesen Elementen sind auch keine kritischen Bemerkungen aus der Projektierungspraxis bekannt.

Im Rahmen einer Untersuchung des Bundesamtes für Strassenbau, die eine Überprüfung der Normen und Standards im Bereich der Nationalstrassen zum Gegenstand hatte [23], wurde auch ein Normenvergleich der Länder Schweiz, Deutschland und Frankreich durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Gesamtlängen der Beschleunigungs- und Verzögerungstreifen gemäss [1] kürzer oder höchstens in der gleichen Grössenordnung sind wie jene in den deutschen und französischen Richtlinien. Gemessen am ausländischen Ausbaugrad drängt sich somit eine Anpassung der Richtwerte in [1] nicht auf.

Bei erwähntem Normenvergleich wurde auch deutlich, dass die Bemessungsverfahren für Beschleunigungs- und Verzögerungstreifen im Ausland wesentlich einfacher sind als in [1]: In der Regel werden in Deutschland und Frankreich für die einzelnen Längenbereiche¹⁾ nur pauschale Richtwerte für standardisierte Typen von Beschleunigungs- und Verzögerungstreifen angegeben,

¹⁾ Ausscher-, Verzögerungsbereich bzw. Beschleunigungs-, Manövrier- und Einfädelungsbereich.

und bei den Beschleunigungsstreifen wird auf eine gesonderte Ausweisung für den Beschleunigungs- und Manövrierebereich sogar verzichtet.

Es wird deshalb empfohlen, bei der Erarbeitung der neuen Norm für die kreuzungsfreien Knoten (vgl. in Tabelle 10) zu prüfen, ob die bestehenden Bemessungsdiagramme (in [1] Abbildungen 7 und 9) nicht durch Angabe von pauschalen Richtwerten ersetzt werden sollen. Dies würde auch dem in der vorliegenden Untersuchung empfohlenen Konzept für die Bemessung der Verzögerungsstreifen bei Knoten à niveau entsprechen (vgl. 5.3.4 ② und ③).

5.4 Geometrie der Strassenränder und Fahrstreifen

Der Abschnitt D in der bestehenden Norm [1] enthält neben den Grundsätzen (Ziffer 7) die Anleitungen zur Verbindung der Knotenäste (äussere Kreisbogen für Rechtseinmünden / -abbiegen; Ziffer 8) und zur Aufweitung / Verengung der Knotenäste (Ziffer 9).

Auf die Grundsätze wurde bereits in 5.3.1 kritisch hingewiesen. Die darin enthaltenen Angaben sind entweder materiell nicht richtig oder haben als Grundsätze nur einen sehr beschränkten Aussagegehalt. Da zudem im neuen Normkonzept vorgesehen ist, eine neue Grundlagennorm zu erarbeiten (vgl. Tabelle 10), in welcher auch Grundsätze zur Knotengestaltung enthalten sein werden, wird hier empfohlen, auf diesen Abschnitt in der neuen Norm zu verzichten.

5.4.1 Verbindung der Knotenäste (Ziffer 8 in [1])

Die in Abbildung 10 der bestehenden Norm dargestellte Anweisung zur Verbindung der Knotenäste ("Eckausrundungen") kann übernommen werden. Anpassungen sind in diesem Abschnitt nur bei den Verweisen auf andere Normen notwendig. Demgegenüber werden folgende Ergänzungen als erwünscht erachtet:

- Angaben zur Grösse der Ein-/Abbiegeradien
- Hinweis auf die Prüfung der Möglichkeiten von Mitbenützung der benachbarten Verkehrsstreifen bei den Ein-/Abbiegevorgängen.

Vorschlag für den neuen Normtext:

Die Strassenränder der Knotenäste werden im allgemeinen durch einen dreiteiligen Korbbogen miteinander verbunden (Abbildung [10]).

--> Abbildung 10 aus der bestehenden Norm [1], unverändert

Dabei wird für die Radienfolge folgendes Verhältnis empfohlen:

$$R_1 : R_2 : R_3 = (2+3) : 1 : (3+5)$$

Die kleineren Werte für R_1 und R_3 sind bei grösseren R_2 anzuwenden. Für den mittleren Kreisbogen werden folgende Richtwerte empfohlen:

- Rechtseinbiegen: $R_2 = 8.0+10.0m$
- Rechtsabbiegen: $R_2 = 10.0+12.0m$

In Knoten auf untergeordneten Strassen (Strassentypen Lokalverbindungsstrasse, Quartiersammelstrasse und Erschliessungsstrasse) können einfache Kreisbogen angewendet werden. Ein minimaler Radius von 6.0 m sollte dabei nicht unterschritten werden.

Bei allen Knoten, für deren Benützung schwere Lastfahrzeuge massgebend sind, ist die Befahrbarkeit nach [VSS-Norm SN 640 271] stets zu kontrollieren. Dabei empfiehlt es sich, die Möglichkeiten der Beanspruchung von angrenzenden Verkehrstreifen in den untergeordneten oder/und übergeordneten Knotenästen zu prüfen.

Wird das Rechtsabbiegen durch entsprechende Signale unterbunden, so ist der Fahrbahnrand wie bei den Leitinseln auszurunden; in der Regel genügt hierzu ein Radius von 1.0 m.

5.4.2 Aufweitung und Verengung der Knotenäste

(Ziffer 9 in [1])

Die in diesem Abschnitt der bestehenden Norm [1] enthaltene Bemessung der Verziehung wurde bereits in 5.3.4 behandelt. Es verbleiben hier somit

- die Ausrundung der Fahbahnränder bei Verziegungsstrecken und
- die Ausrundung zur Einleitung der Vorsortierstreifen.

Die Konstruktionsregel, die in [1] in den Abbildungen 12 und 13a dargestellt sind, können übernommen werden; bei der Abbildung 13a ist jedoch -im Zusammenhang mit den Vorschlägen zur Bemessung der Fahrstreifenbreiten in 5.2.4- die Breitenbezeichnung "b₂" noch zu prüfen. Die Abbildung 13a gilt im Normalfall nur für die Einleitung des Rechtsabbiegestreifens¹⁾. Anzupassen wäre auch der Titel des Abschnittes, z.B. mit "*Konstruktion der Fahrstreifenränder in den Knotenästen*".

Vorschlag für den neuen Normtext:

Die Aufweitung und Verengung der Fahrbahn für die Verziehung in den vortrittsberechtigten Knotenästen ist gemäss Abbildung [12] zu konstruieren. Die Länge L_V ist der [entsprechende Ziffer in der neuen Norm, vgl. in 5.3.4] zu entnehmen.

Die Konstruktion der Verziehung in vortrittsbelasteten Knotenästen ist in [entsprechende Ziffer in der neuen Norm, vgl. in 5.5.4] geregelt.

--> Abbildung 12 aus der bestehenden Norm [1], unverändert (Titel: Konstruktion bei der Verziehung).

Der Fahbahnrand im Ausscherbereich (Zwickel) der Vorsortierung ist gemäss Abbildung [13a] zu konstruieren. Die Länge L_D ist der [entsprechende Ziffer in der neuen Norm, vgl. in 5.3.4] zu entnehmen.

--> Abbildung 13a aus der bestehenden Norm [1], unverändert (Titel: Konstruktion bei der Vorsortierung, Rechtsabbiegestreifen).

Die Konstruktion der Vorsortierung bei geschlossenenr Einleitung von Linksabbiegestreifen ist in [entsprechende Ziffer in der neuen Norm, vgl. in 5.5.5] geregelt.

¹⁾ Für Linksabbiegestreifen gilt sie nur in den seltenen Fällen, im Zuge von langen, überbreiten Mittelinseln auf mehrstreifigen Strassen.

5.5 Inseln und Sperrflächen

Dieses Kapitel der bestehenden Norm [1] umfasst sechs Ziffern, die wiederum in mehrere Teilabschnitte unterteilt sind. Ein Teil davon betrifft Anschlüsse bei den HLS. Darauf wird nicht weiter eingegangen, da dies inhaltlich in die neue Norm "Kreuzungsfreie Knoten" (vgl. Tabelle 10) gehört.

Die nachfolgend verwendeten Titel entsprechen jenen in [1].

5.5.1 Begriffe und Merkmale; Anwendungsbereich

(Ziffern 10 und 11 in [1])

Der Abschnitt "Begriffe und Merkmale" (Ziffer 10 in [1]) kann weitgehend übernommen werden. Der Normtext wird nachfolgend wiedergeben, wobei die Änderungsvorschläge mit *Kursivschrift* angegeben werden.

Die Tabelle 2 im "Anwendungsbereich" (Ziffer 11 in [1]) kann weggelassen werden, weil ihr Inhalt sinngemäss zum Gegenstand der geplanten Norm "Knotenelemente" (vgl. Tabelle 10) gehört. Die übrigen Ausführungen in Ziffer 11 müssen materiell bereinigt und ergänzt werden.

Es wird empfohlen, den Inhalt der Ziffern 10 und 11 aus [1] in einem Abschnitt unter dem Titel "Begriffe und Anwendung" zusammenzufassen.

Begriffe und Anwendung

Inseln und Sperrflächen stellen abgegrenzte Flächen des Knotens dar, die nicht zum Befahren vorgesehen sind. Als Kanalisierungselemente dienen sie der Trennung und Führung der verschiedenen Verkehrsströme. Bestimmte Inseln haben zudem auch eine Schutzfunktion. Mit Inseln und Sperrflächen werden in Knoten die Lagen der Konfliktstellen festgelegt.

Die Inseln sind erhöht und baulich abgegrenzt. Ihre Oberfläche kann begrünt oder gepflastert werden bzw. eine Deckschicht aufweisen. Die Inseln bilden Hindernisse in der Fahrbahn. Ihre Erkennbarkeit muss deshalb durch einleitende Fahrbahnmarkierung und durch beleuchtete Inselschutzpfosten gewährleistet werden.

Die Sperrflächen sind Fahrbahnmarkierungen, die nur notfalls überfahren werden dürfen. Ihre Abgrenzung entspricht jener der Fahrstreifen.

Die Anwendung der Inseln oder Sperrflächen hängt von der Wahl der Knotenelemente [Verweis auf die geplante Norm "Knotentypen", vgl. Tabelle 10] ab. Inseln sind besonders angezeigt, wenn

- Fussgänger oder Linksabbieger geschützt werden müssen*
- der Knotenast drei und mehr Fahrstreifen aufweist*
- Masten für die Signalisation und Beleuchtung in der Fahrbahn aufgestellt werden müssen.*

Wird der Knoten häufig mit Ausnahmetransporten befahren, so ist die Anordnung der Inseln, Schutzpfosten und Masten besonders zu überprüfen. Gegebenenfalls sind notfallmässige Überfahrten der Inseln zu gewährleisten.

In den Knotenzufahrten haben die Inseln und Sperrflächen vor allem die Aufgabe, auf den vorausliegenden Knoten aufmerksam zu machen und die Fahrzeuglenker zur Geschwindigkeitsanpassung zu veranlassen. Im Knoten selbst dienen sie der Kanalisierung der Verkehrsströme. Bei ihrer Anordnung sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Verkehrsströme sind vor dem Erreichen der Konfliktstellen zu führen
- Die Fahrstreifenbreiten in der kanalisierten Knotenzufahrt sind so zu wählen, dass sie auf das Fahrverhalten möglichst zwingend wirken
- Die Kanalisierungselemente sind so anzuordnen, dass falsches Fahren verhindert wird
- Durchgehende, vortrittsberechtigte Verkehrsströme auf schnell befahrenen Strassen sollten nicht abrupt abgelenkt werden
- Die Lage der Inseln ist auf die Fussgängerströme auszurichten.

5.5.2 Inseltypen

(Ziffer 12 in [1])

Der Abschnitt "Inseltypen" kann weitgehend übernommen werden. Es drängen sich jedoch gewisse begriffliche Anpassungen auf:

Nach Form und Aufgabe werden in Knoten ohne Kreisverkehr drei verschiedene Inseltypen unterschieden:

- Trenninseln
- Leitinseln
- Schutzinseln.

Die **Trenninsel** weist eine langgestreckte Form auf. Sie wird vor allem in vortrittsberechtigten Knotenästen verwendet und trennt Verkehrsströme, die in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung fahren. Trenninseln verhindern das Überholen und schützen wartende Linksabbieger. Der Mittelstreifen auf einer Strasse mit baulicher Richtungstrennung geht vor einem Knoten in eine Trenninsel über.

Die Leitinsel weist eine tropfenförmige oder dreieckige Form auf.

Die tropfenförmige Leitinsel kanalisiert die Einbiegeströme oder dient sie zur Verziehung der durchgehenden, vortrittsberechtigten Ströme in Knotenästen ohne Trenninseln.

Die dreieckförmige Leitinsel dient gewöhnlich zur Kanalisierung der Rechtsabbiegeströme. Sie wird nur bei grossflächigen Knoten angewendet.

Der Inseltyp "Schutzinsel" kann unverändert übernommen werden.

5.5.3 Mindestabmessungen der Inseln

(Ziffer 13 in [1])

Der Abschnitt "Mindestabmessungen der Inseln" kann weitgehend übernommen werden. Die darin angegebenen Richtwerte sollten jedoch überprüft werden.

Die minimale Länge der Trenninseln beträgt in Anlehnung an 5.3.4

- ca 30 m auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete
- ca 50 m auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete.

Für die Schutzinseln werden als eine minimale Gesamtlänge 4.50 m empfohlen.

5.5.4 Geometrie der Inseln

(Ziffer 14 in [1])

Diese Ziffer enthält in [1] vier Teilabschnitte a) bis d) zu Knoten à niveau. In Anlehnung an die neuen Erkenntnisse aus den Erhebungen und unter Berücksichtigung der ausländischen Richtlinien werden für die Ausbildung von Trenn- und Leitinseln neue Vorschläge unterbreitet.

Wie aus den Erhebungen hervorgeht (vgl. u.a. in 3.5) lässt sich das Geschwindigkeitsniveau in den Knotenzufahrten weder durch die Anordnung von Inseln noch durch die Verkürzung deren Längen hinreichend beeinflussen. Zu diesem Zweck müssen auch die Fahrstreifenbreiten beigezogen werden. Den Breiten sind jedoch -zu mindest auf Strassen, die mit allen Fahrzeugkategorien befahren werden dürfen- enge Grenzen gesetzt: Auch die für schwere Lastfahrzeuge minimalen Durchfahrtsbreiten wirken für Personenwagen nicht zwingend.

Die Wirksamkeit lässt sich erhöhen, wenn der dem Verkehr zugewandte Inselkopf so vom Fahrstreifenrand abgerückt wird, dass aus der Fahrersicht eine deutliche trichterförmige Einengung der Fahrbahn erscheint. Dadurch wird auch die Erkennbarkeit der Insel (als ein optisches Hindernis), sowie des nachfolgenden Knotens verbessert. Eine solche Abrückung ist auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete bei allen Inselarten angezeigt.

Diese Erkenntnis hat sich im Ausland durchgesetzt. In den deutschen Richtlinien ([2], [7]) sind entsprechende Empfehlungen schon seit längerer Zeit enthalten. Sie werden in den hier unterbreiteten Normungsvorschlägen berücksichtigt.

Die beschriebene Absicht ist in den Abbildungen 40 und 41 dargestellt. Auf die Konstruktion wird unter 5.5.4 ② eingegangen.

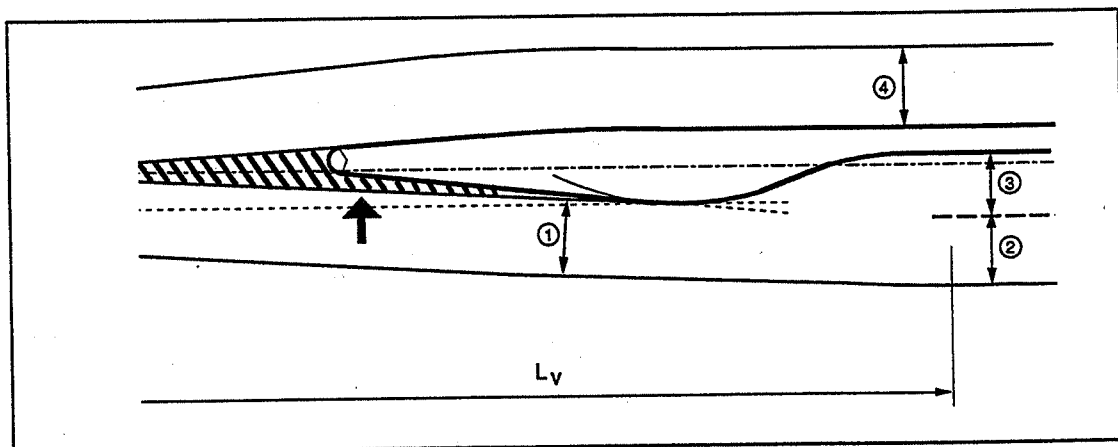


Abb. 40: Ausbildung des Inselkopfes bei einer Trenninsel

Vorschläge für die Normung:

Die Form der Insel wird durch ihren Zweck bestimmt. Die Geometrie ihrer Ränder wird aus der Geometrie der Fahrstreifen abgeleitet.

① Form der Trenninsel

Die Insel wird begrenzt durch die Ränder der sie umgebenden Fahrstreifen. Die Fahrstreifen im Bereich der Verziehung sind gemäss [Abbildungen 11 und 12 aus der bestehenden Norm [1]], im Bereich der Vorsortierung gemäss [hier Abbildung 45] zu konstruieren.

Der dem Verkehr zugewandte Inselkopf ist auf Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete gemäss Abbildung [hier Abbildung 41] abgerückt auszuführen. Auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete kann diese Abrückung reduziert ausgeführt werden.

② Form der tropfenförmigen Leitinsel

Die Insel wird ausgehend von der Bezugsachse ihres Knotenastes und von den Fahrstreifenrändern der vortrittsberechtigten Querachse wie folgt entworfen (Abbildung [hier 41]):

- Einzeichnen der Achse des vortrittsbelasteten Knotenastes. Dabei sind wenn immer möglich Schnittwinkel (τ) zwischen 90 und 110 gon anzustreben.
- Bestimmen der Winkel τ_1 und τ_2 zwischen den Achsen der Knotenäste (τ_1 liegt von der Insel aus gesehen links).
- Einzeichnen von zwei Parallelen zur Achse des vortrittsbelasteten Knotenastes im Abstand e (e aus dem Diagramm in Abbildung [hier 42, in [1] Abb. 16]).
- Konstruktion der Radien R_1 und R_2 zwischen der jeweiligen Parallele und dem entsprechenden Fahrstreifenrand des vortrittsberechtigten Knotenastes (R_1, R_2 aus dem Diagramm in Abbildung [hier 43, in [1] Abb. 17]).
- Festlegung des Punktes A im Abstand L (Länge der Verziehung) gemäss Tabelle [hier 25] und eintragen von Tangenten zu den Kreisbogen R_1 (Linie $\overline{AB''}$) und R_2 (Linie $\overline{AB'}$).

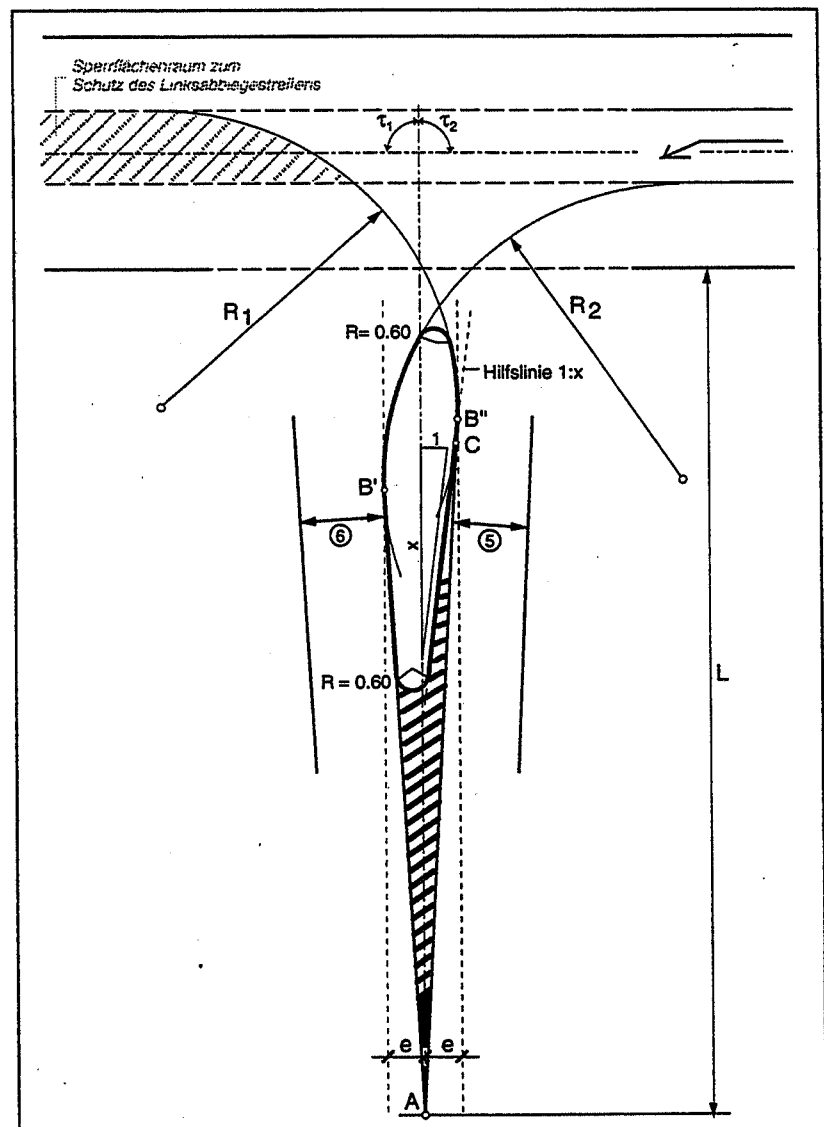
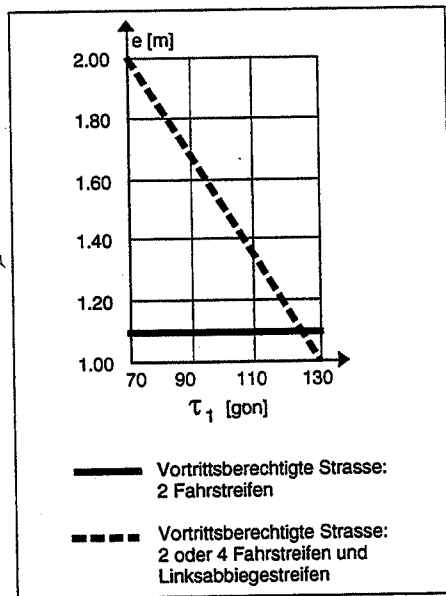
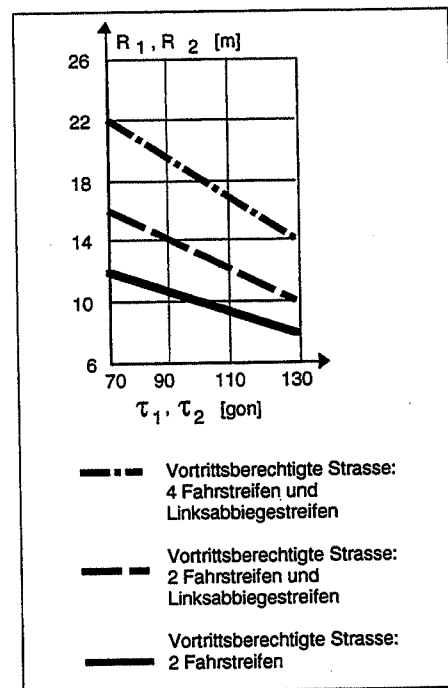


Abb. 41:
Ausbildung der tropfen-
förmigen Leitinsel


Abb. 42: Ermittlung von e

Abb. 43: Ermittlung von R_1 und R_2

- Einzeichnen einer Tangente zum Kreisbogen R_1 (Hilfslinie in Punkt C) unter einer Neigung $1:x$ gemäss Tabelle [hier 25]. Diese Hilfslinie, welche die Insel begrenzt, gewährleistet die notwendige Abrückung des Inselkopfes. Auf Strassen innerhalb besiedelter Gebiete kann die Abrückung reduziert werden.

Bei einer gekrümmten Einführung des vortrittsbelasteten Knotenastes ist die Abrückungskonstruktion sinngemäss anzuwenden. Dabei ist darauf zu achten, dass eine minimale Insellänge von 6.0 m eingehalten wird.

- Die Inselköpfe werden anschliessend mit $R = 0.60$ m abgerundet.
- Aufzeichnen von Fahrstreifenränder im Bereich der Knotenaufweitung (Parallelen im Abstand der Fahrstreifenbreiten gemäss [hier Breiten ⑤, ⑥ gemäss 5.2.4].
- Die Verbindung der Fahrbahnränder zwischen den Knotenästen erfolgt gemäss [hier: 5.4.1 "Verbindung der Knotenäste"]. Die Ausrundung der Fahrbahnränder zu Beginn der Verziehung im vortrittsbelasteten Knotenast (Querschnitt im Punkt A) kann mit einem Ausrundungsradius von ca. 200 m erfolgen.

Konstruktionsgrößen	Merkmale der vortrittsberechtigten Knotenäste		
	2 Fahrstreifen	2 Fahrstreifen und Linksabbiegestreifen	4 Fahrstreifen und Linksabbiegestreifen
$R_1 = R_2$ (m) (für $\tau = 100$ gon)	10.0	13.0	18.0
Verziehungslänge L (m)	20.0	40.0	40.0
Abrückungsneigung der Insel *)	1 : 4	1 : 8	1 : 8

*) Die Abrückung des Inselkopfes ist auch bei Trenninseln vorzunehmen; auf vortrittsberechtigten Knotenästen ist dabei eine Abrückungsneigung von 1 : 8 zu verwenden.

Tab. 25: Masse von tropfenförmigen Leitinseln

③ Form der dreieckigen Leitinsel

Die Richtwerte und die Abbildung in diesem Abschnitt können aus [1] übernommen werden. Die Anpassungen im Text sind wiederum *kursiv* angegeben:

Die Inselränder folgen den Fahrstreifenrändern. Längs eines gekrümmten Fahrstreifens wird der Inselrand nur dann gekrümmt *ausgeführt*, wenn er länger als 4.0 m ist.

Bei der Anordnung der dreieckigen Leitinsel ist in Abhängigkeit von der Projektierungsgeschwindigkeit V_p ein Rücksprung a des Inselrandes vom Fahrstreifenrand (Tabelle 4 und Abbildung 18 in [1]) wie folgt vorzusehen:

- mit einem *konstantem* Rücksprung (a_1) entlang eines durchgehenden Fahrstreifens
- mit einem Rücksprung entlang eines Rechtsabbiege- oder Rechtseinbiegestreifens, der vom Inselanfang bis zum Inselende von a auf Null abnimmt.

In beiden Fällen ist der Fahrstreifenrand mit einer durchgehenden Linie zu markieren.

--> Tabelle 4 und Abbildung 18 aus der bestehenden Norm [1], unverändert.

④ Form der Schutzinsel

In diesem Abschnitt der bestehenden Norm [1] ist nur die [Abbildung 19] anzupassen (Mindestlänge von insgesamt 4.50 m, vgl. Abbildung 44).

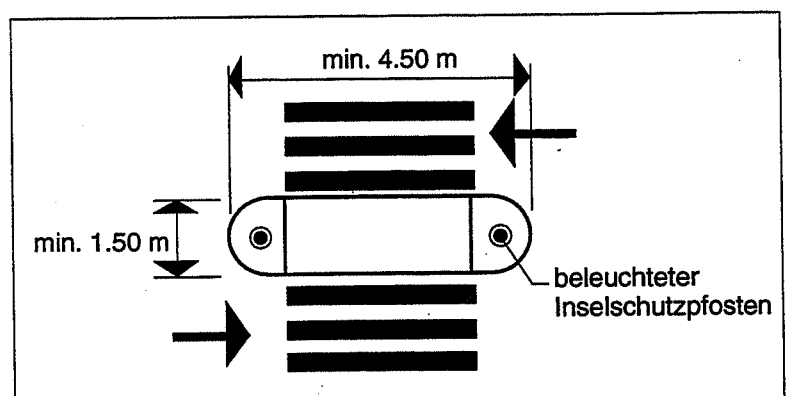


Abb. 44: Form der Schutzinsel

Die in [1] enthaltenen Abschnitte e) und f) betreffen Anschlüsse bei den HLS und werden in einer anderen Norm (vgl. Normkonzept in Tabelle 10) behandelt.

5.5.5 Geometrie der Sperrfläche

(Ziffer 15 in [1])

Die Konstruktion der Sperrfläche zur Einleitung des Linksabbiegestreifens musste im Zusammenhang mit den vorgeschlagenen Änderungen in Ziffer 5.3.4 (Verkürzung der Längenelemente gegenüber [1]) angepasst werden.

Wie aus Abbildung 45 ersichtlich, wird die Konstruktion nicht wie in [1] mit der Länge der Verziegungsstrecke, sondern mit jener des Ausscherbereiches L_D (Verbindungspunkte zur Abgrenzung der Sperrfläche in Abständen $L_D / 4$) gekoppelt. Geändert wurde auch der Ausrundungsradius R : Die Berechnung geht nicht mehr von der Verziegungsstrecke L_V aus (in [1] war $R = L_V^2 / 100$), sondern sie ist identisch mit jener bei der Einleitung der Rechtsabbiegestreifen (vgl. in 5.4.2 bzw. Abbildung 13a in [1]).

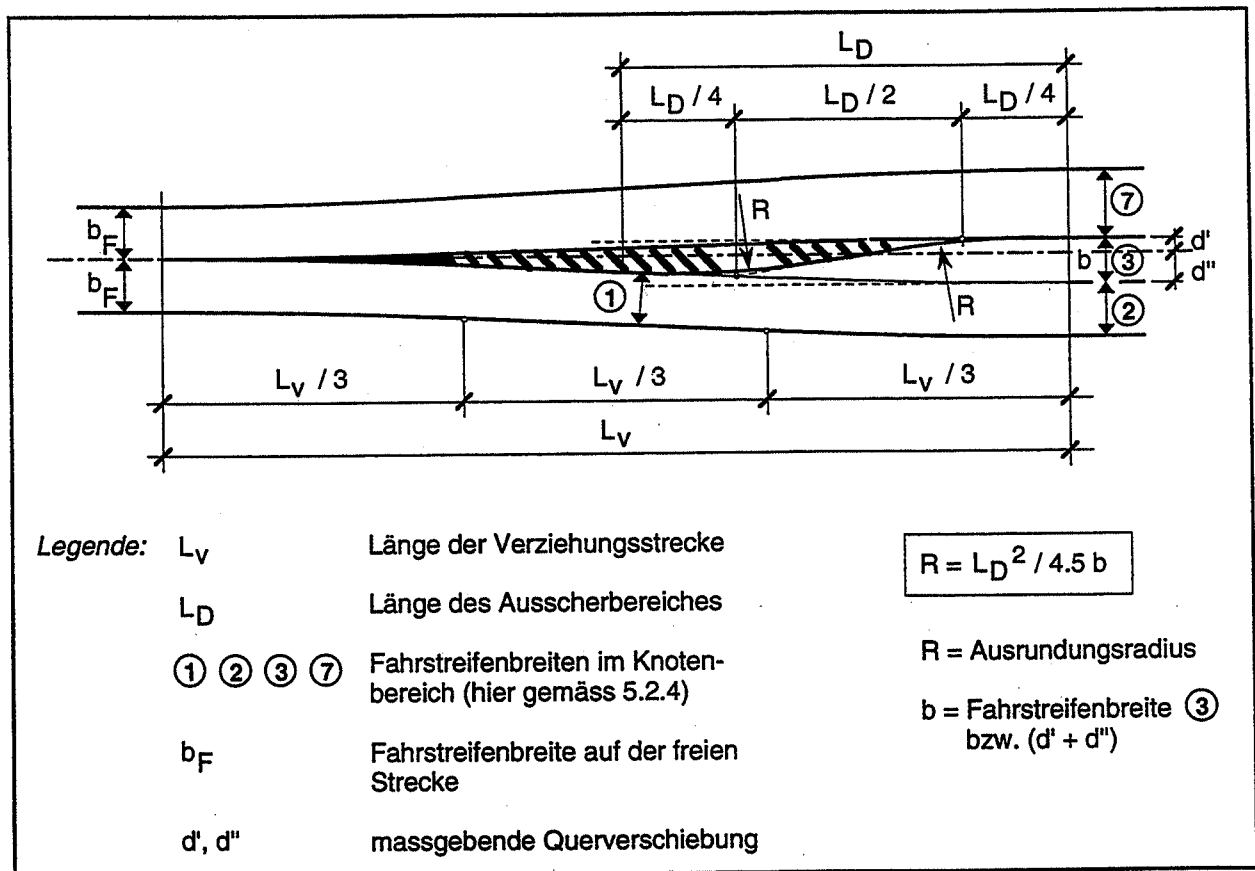


Abb. 45: Ausbildung der Sperrfläche zur Einleitung eines Linksabbiegestreifens

Diese Konstruktion gewährleistet, dass die Einleitung des Ausscherbereiches erst dann erfolgt, wenn die Fahrbahnaufweitung (und die Sperrfläche) eine genügende Breite erreicht hat.

Vorschlag für den neuen Normtext:

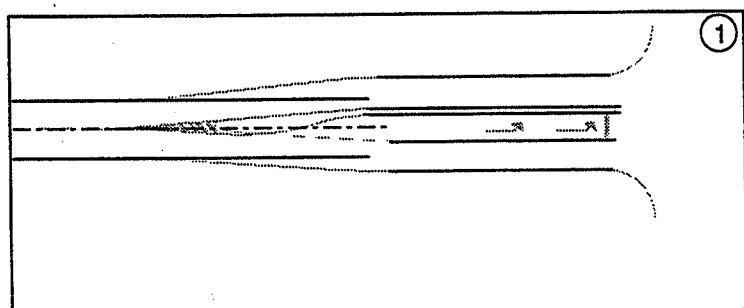
Die Ränder von Sperrflächen sind mit den Rändern der Fahrstreifen identisch. Die Ausführungsdetails für Sperrflächen sind in [Verweis auf die VSS-Norm SN 640 850] geregelt.

Die Konstruktion der Sperrfläche zur Einleitung eines Linksabbiegestreifens erfolgt gemäss Abbildung [hier Abbildung 45]. Sie ist bei der Einleitung mit einer Insel sinngemäss anzuwenden.

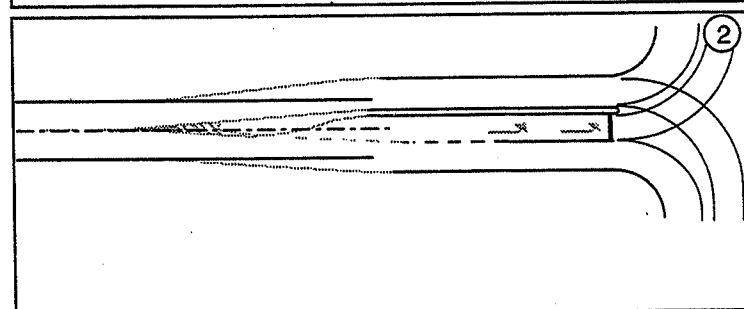
Der in [1] enthaltene Abschnitt b) (Sperrfläche zum Schutz eines Linksabbiegers, Abb. 24) wird als überflüssig erachtet.

5.6 Vorgehen bei der Konstruktion der Vorsortierstreifen

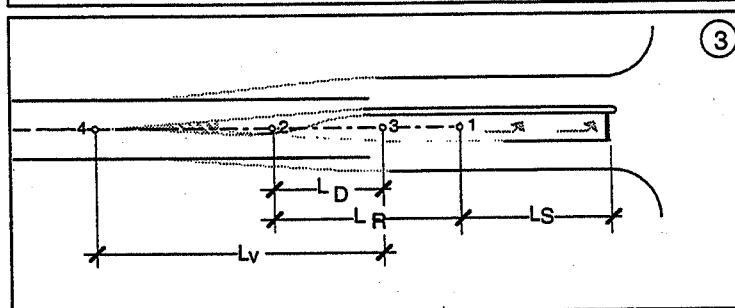
In Kapitel "Grundlagen für die Normung" wurden mehrere Vorschläge unterbreitet, die sich von der bisherigen Entwurfspraxis gemäss [1] unterscheiden. Aus diesem Grund wurde zur besseren Übersicht ein zusammenfassendes Vorgehen bei der Konstruktion der Vorsortierstreifen in Knoten entworfen. Dieses Vorgehen ist anhand von sechs Arbeitsschritten in Abbildung 46 dargestellt und beschrieben.



Festlegung der Breiten im Knotenbereich für die vorgesehenen Verkehrsstreifen (gemäß 5.2.4) und ihre Aufzeichnung im Situationsplan.

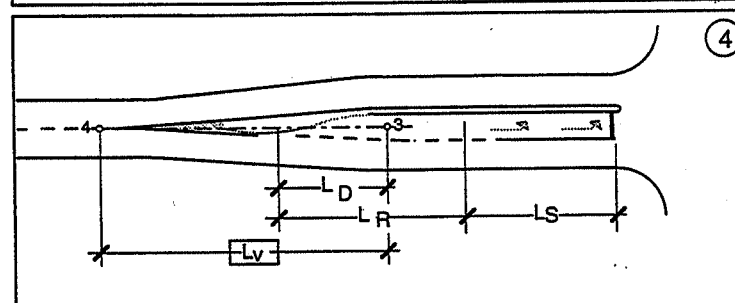


Entwurf der inneren Knotengeometrie (Ein-/ Abbiegeradien und Kontrolle der Schleppkurven). Aufgrund dieser Arbeiten können die Lagen der Haltebalken und der Inselköpfe bestimmt werden.

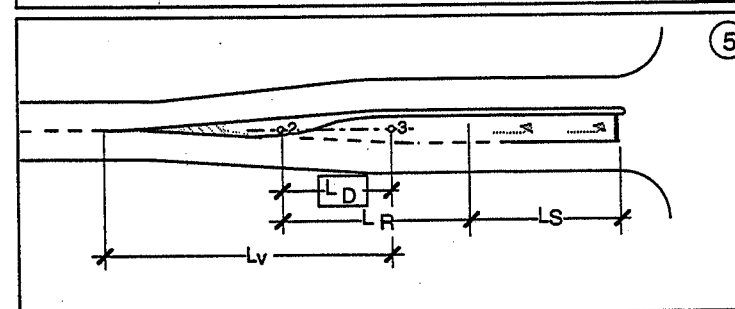


Auftragen der Längenelemente:

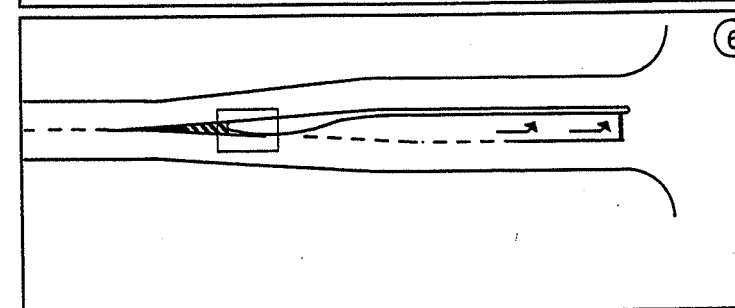
- Stauraum ab dem Haltebalken (1)
- Verzögerungsbereich ab dem Ende des Stauraumes (2)
- Ausscherbereich (2)-(3) in der Fahrtrichtung ab dem Ende des Verzögerungsbereiches (2)
- Verziehungsstrecke (3)-(4) gegen Fahrtrichtung ab dem Ende des Ausscherbereiches (3).



Konstruktion der Fahrstreifenränder in der Verziehungsstrecke (3)-(4), gemäß 5.3.4 ①.



Konstruktion des Fahrstreifenrandes im Ausscherbereich (2)-(3), vgl. Abbildung 45.



Ausbildung der Insel und/oder der Sperrfläche sowie der Fahrbahnmarkierung. Der Inselkopf ist in Anlehnung an Abbildung 41 auszubilden.

Abb. 46: Vorgehen bei der Konstruktion der Vorsortierung in Knoten

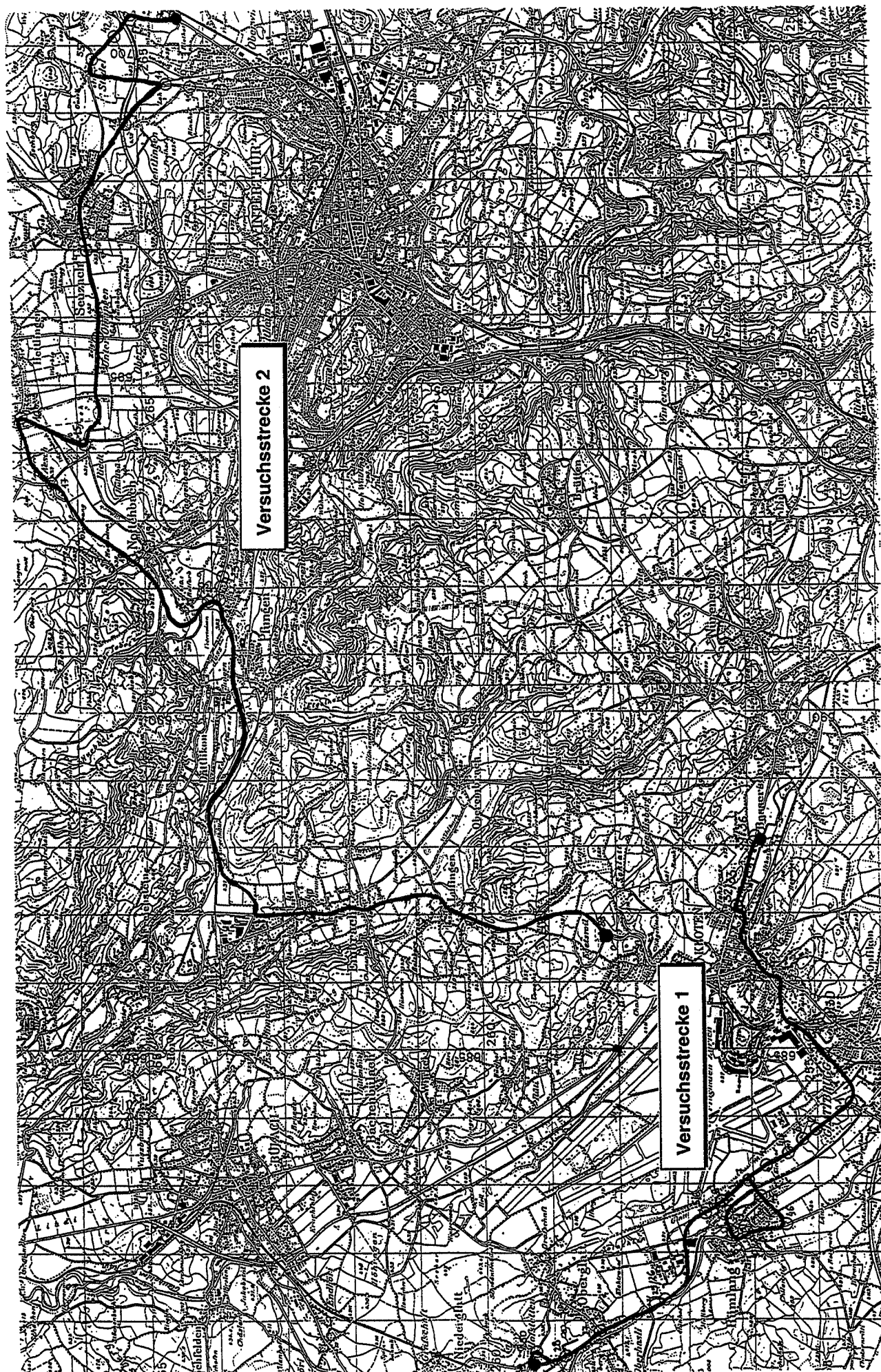
QUELLENVERZEICHNIS

- [1] VSS-Norm SN 640 266 "Knoten, Elemente"
- [2] Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil: Knotenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte RAS-K-1, Ausgabe 1988; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
- [3] Österreichische Richtlinien, Plangleiche Knoten, Ausgabe 1987 Forschungsgesellschaft für Verkehrs- und Strassenwesen (FVS), Wien
- [4] Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagements des Routes Nationales, I.C.T.A.R.N, le Service d'Etudes techniques des routes et Autoroutes (SETRA), Ausgabe 1994, Bagneux Cedex
- [5] U. Scheifele, P. Spacek: "Eine neue Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens auf Strassen", Strasse und Verkehr Nr. 7 / 1993
- [6] R. Schnüll, U. Schreyer: "Einsatzgrenzen und Bemessung von Linksabbiegespuren ausserhalb bebauter Gebiete", Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 373, Institut für Strassen- und Verkehrswesen der UNI Stuttgart, 1982
- [7] Richtlinien für die Anlage von Landstrassen, Teil: Knotenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte RAL-K-1, Ausgabe 1976; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
- [8] T. Richter, R. Schnüll: "Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen", Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 653, Institut für Strassen- und Verkehrswesen der UNI Stuttgart, 1993
- [9] T. Richter: "Sicherheitsvergleich der Knotenpunktgrundformen Kreuzung und Rechtsversatz an Strassen ausserhalb bebauter Gebiete", Strasse und Autobahn Nr. 10/1994
- [10] J. Harders: "Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstrassen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 216, Bonn 1976
- [11] R. Lanz: "Knotenelemente", EVED-Forschungsauftrag Nr. 23/88, Ingenieurbüro Balzari & Schudel, Bern 1993
- [12] VSS-Norm SN 640 138 "Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen"
- [13] Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstrassen, Ausgabe 1993, EAHV 93, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
- [14] Empfehlungen für die Anlage von Erschliessungsstrassen, Ausgabe 1985 (bzw. 1995), EAHV 85 (95), Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
- [15] Normgruppe "Strassentypen", VSS-Normen SN 640 040 bis SN 640 045
- [16] K. Dietrich, M. Rotach, E. Boppart: "Strassenprojektierung", Unterlagen zur Vorlesung Projektierung von Verkehrsanlagen GZ, 8. Auflage 1993, IVT - ETH Zürich
- [17] Normgruppe "Geometrisches Normalprofil", VSS-Normen SN 640 200 bis SN 640 202

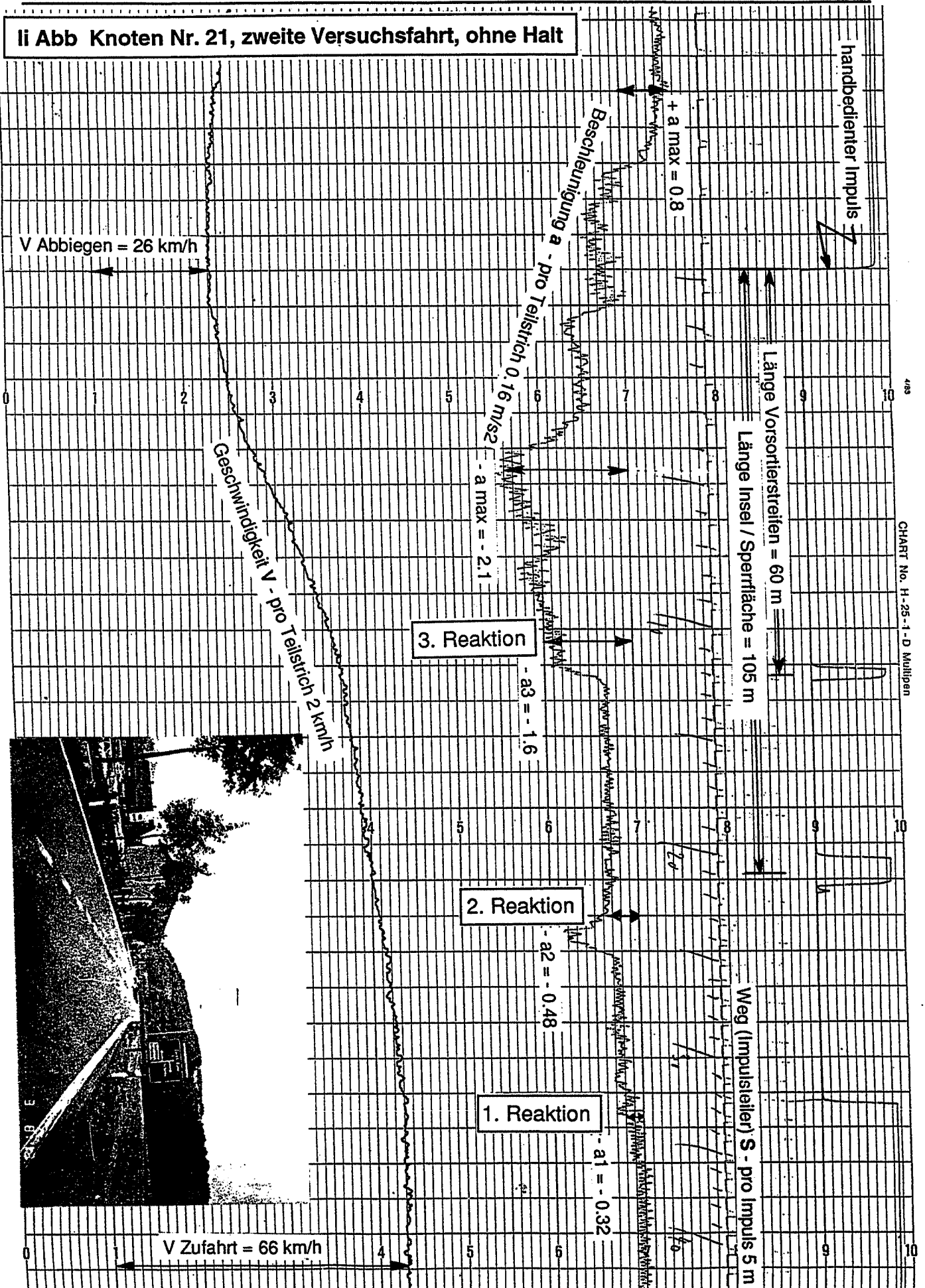
- [18] F. Bühlmann: "Durchfahrtsbreiten bei baulichen Hindernissen", eine verkehrstechnische Untersuchung im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Zürich, März 1990
- [19] Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil: Querschnitte, RAS-Q, Ausgabe 1982; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
- [20] R. Schnüll, H. Bergen: "Fahrbahnbreite neben dem Fahrbahnnteiler in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt", Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 373, Institut für Strassen- und Verkehrswesen der UNI Stuttgart, 1982
- [21] R. Meier, V. Meewes: "Fahrbahnbreite und Geschwindigkeitsverhalten", Strassenverkehrstechnik Heft 2/1990
- [22] R. Meier, V. Meewes: "Versuch Ortsdurchfahrten NRW, Kierspe-Rönsahl", Information der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Köln 1989
- [23] Bundesamt für Strassenbau: "Überprüfung der Normen und Standards im Bereich der Nationalstrassen", Kommissionsbericht, EVED in Zusammenarbeit mit dem EDI und EFD, Januar 1996

A N H A N G

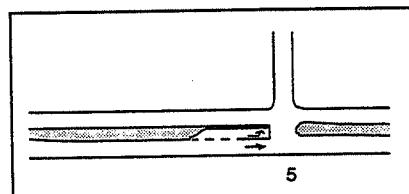
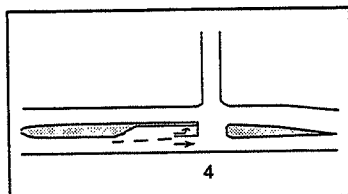
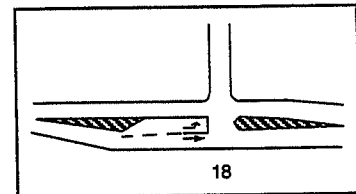
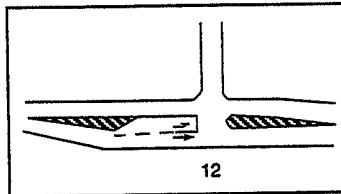
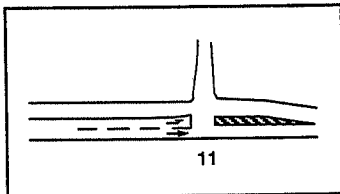
BEILAGE 1:	Versuchsstrecken im Vorversuch
BEILAGE 2:	Aufzeichnungsprotokoll einer Versuchsfahrt (Zufahrt und Linksabbiegevorgang bei Knoten Nr. 22)
BEILAGE 3:	Vorversuch; Grunddaten der Gruppe "Linksabbiegen ausserorts"
BEILAGE 4.1÷4.6:	Situationspläne der Untersuchungsknoten
BEILAGE 5:	Messauswertungen am Knoten Nr. 1
BEILAGE 6:	Messauswertungen am Knoten Nr. 2
BEILAGE 7:	Messauswertungen am Knoten Nr. 3
BEILAGE 8:	Messauswertungen am Knoten Nr. 4
BEILAGE 9:	Messauswertungen am Knoten Nr. 5
BEILAGE 10:	Messauswertungen am Knoten Nr. 6
BEILAGE 11:	Sondererhebung Fahrstreifenbreiten Auszug Grunddaten, Stadt Zürich

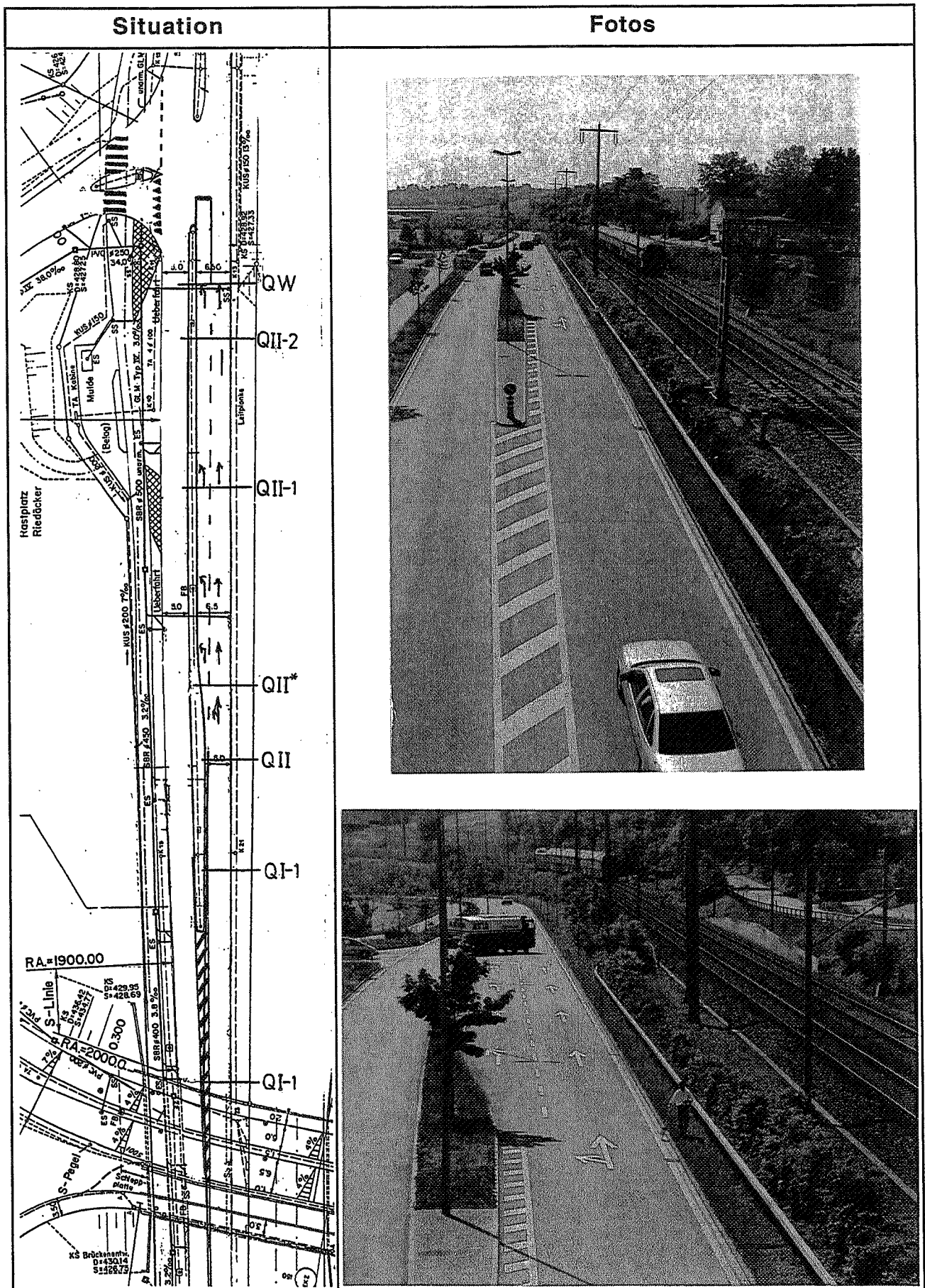


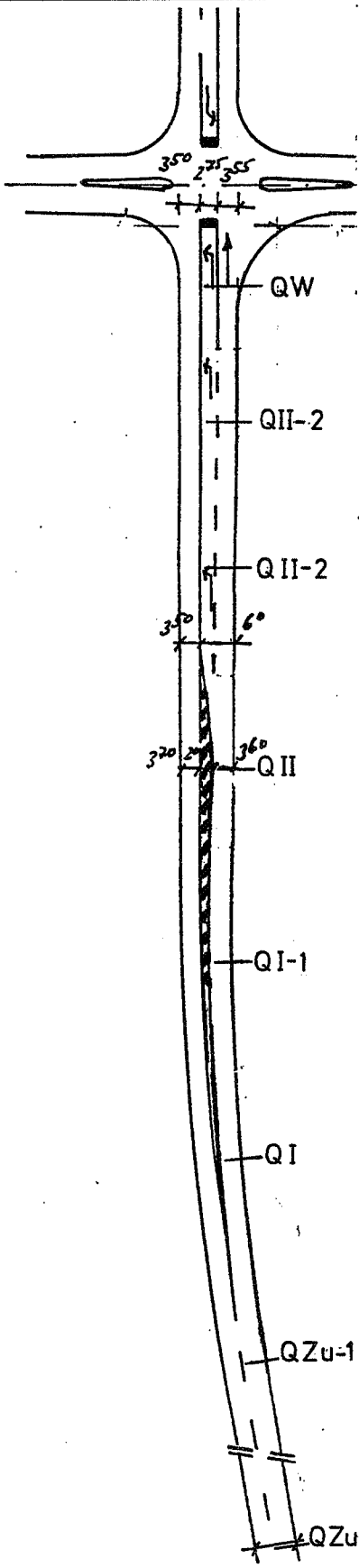
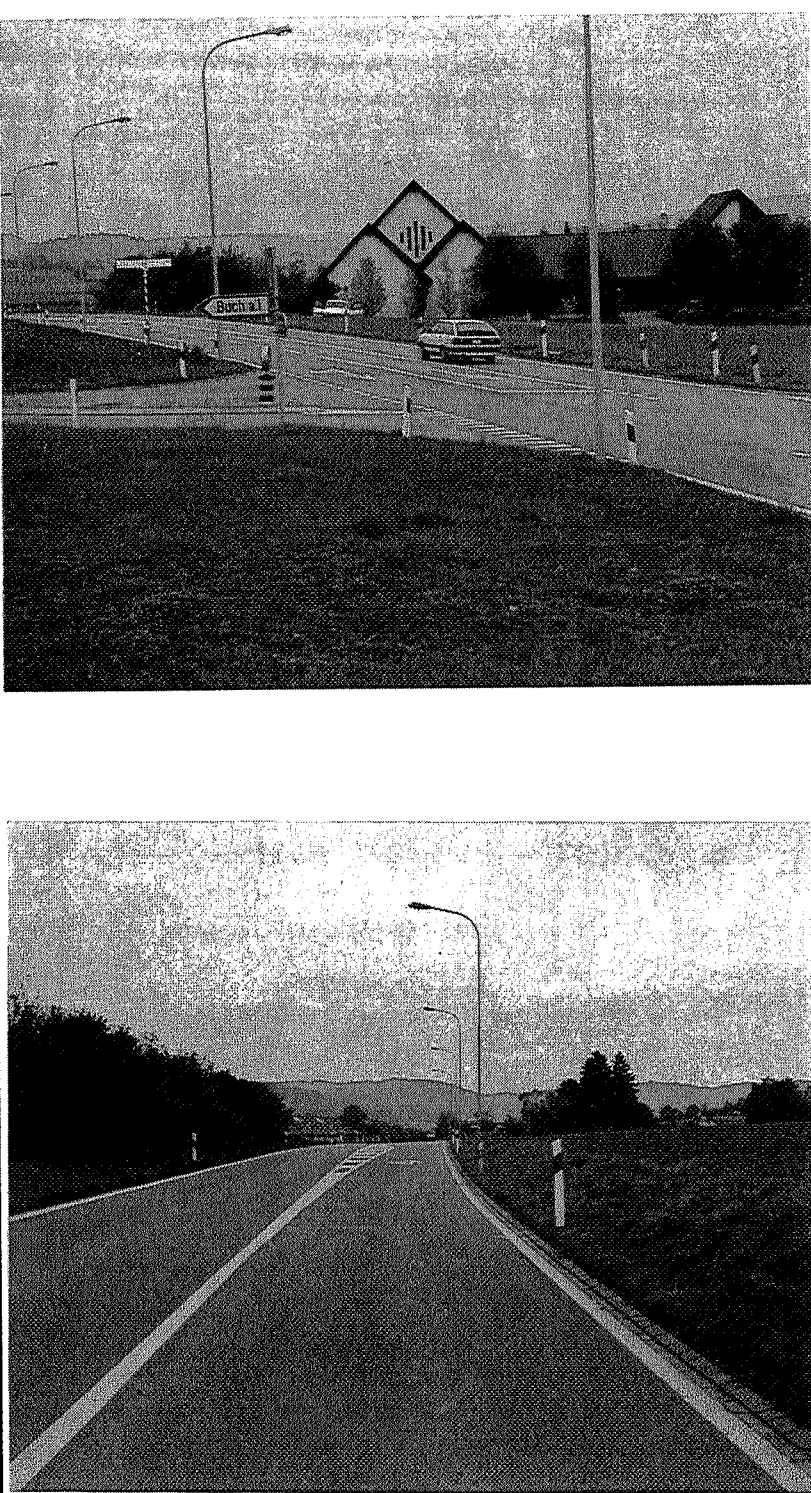
li Abb Knoten Nr. 21, zweite Versuchsfahrt, ohne Halt

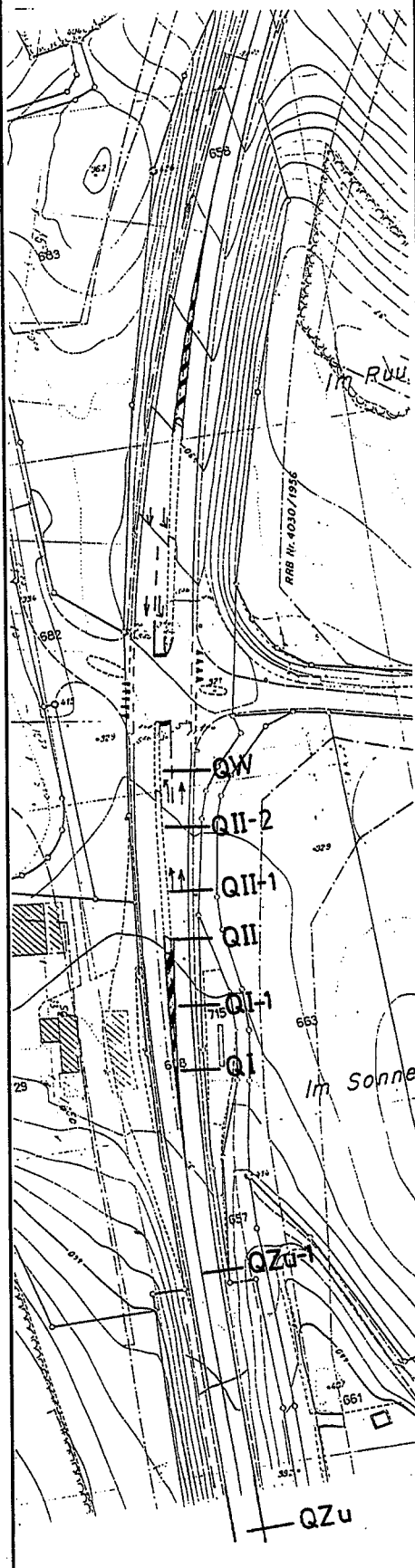
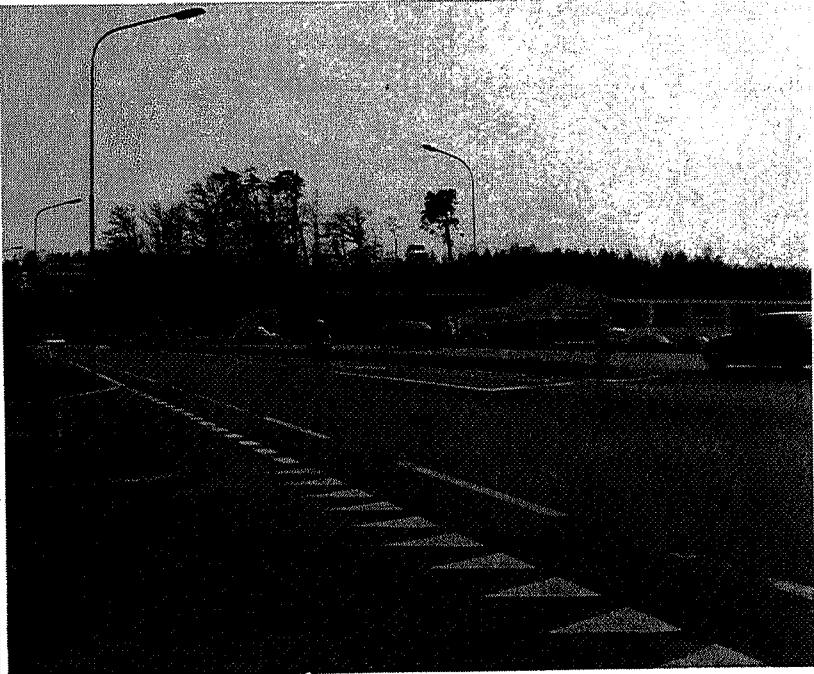


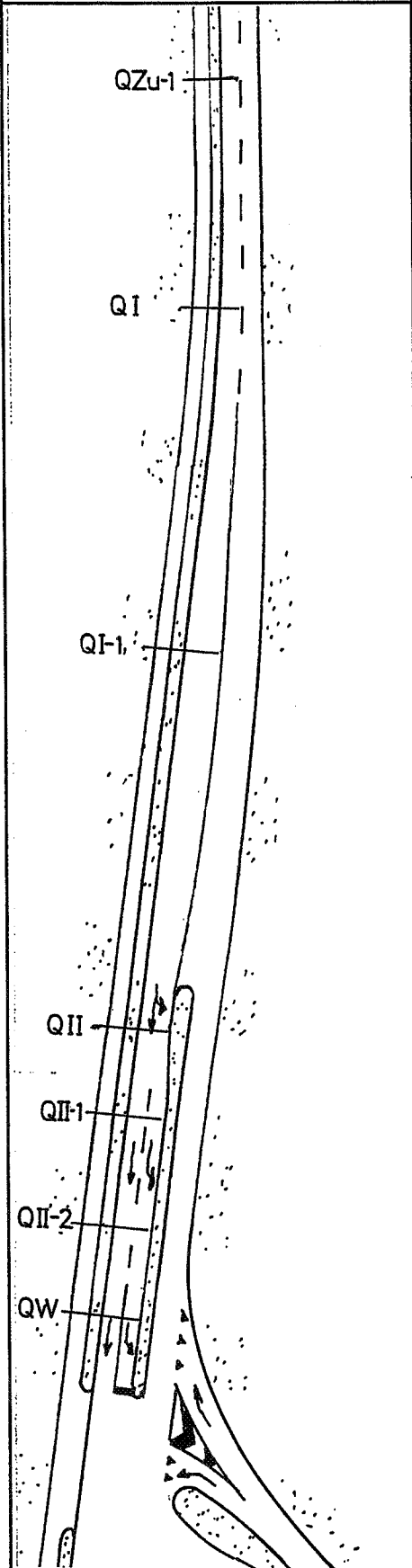
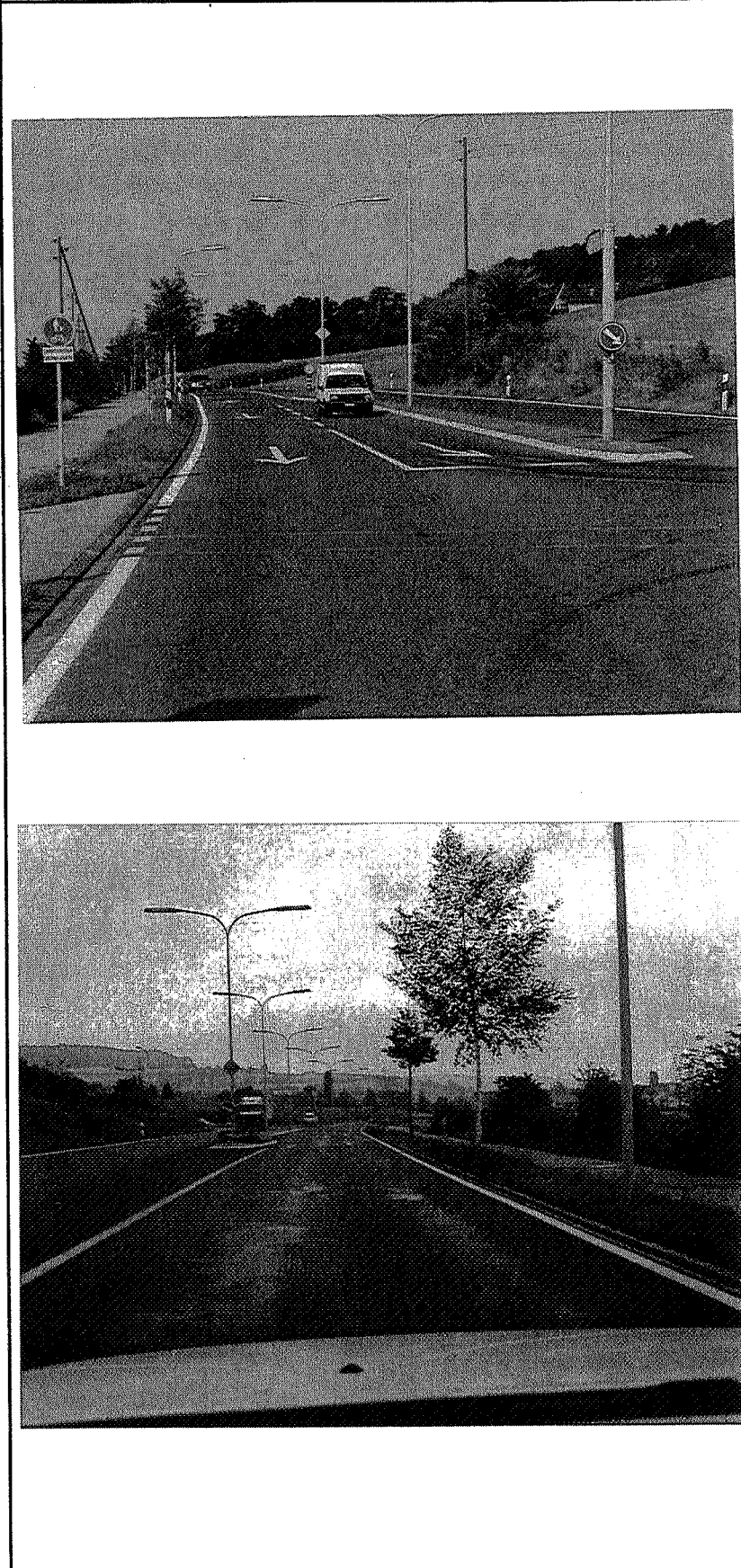
Gruppe "Linksabbiegen a.o."												
Kn.Nr	1. Reaktion	2. Reaktion	3. Reaktion	Gesamtl.	L.Vors.Str.	a 1	a 2	a 3	V Zuf.	V Abb.	-a max	+ a max
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[km/h]	[km/h]	[m/s ²]	[m/s ²]
11	180	150	60	104	0	-0.32	-1.1	-0.96	80	18	-1.3	0.0
	195	145	85	104	0	-0.48	-1	-1.12	80	20	-1.4	0.0
	210	125	20	104	0	0	-0.5	-1.6	82	24	-1.6	0.2
	155	100	40	104	0	-0.16	-0.8	-1.92	78	26	-2.6	0.2
12	330	160	50	120	65	-0.4	-1	-1.44	97	20	-1.9	1.0
	325	105	65	120	65	-0.48	-1	-1.76	80	0	-2.1	1.3
	320	140	40	120	65	-0.32	-0.5	-1.6	72	23	-2.1	1.0
18	495	325	45	165	100	-0.32	-0.5	-0.96	87	26	-1.0	1.1
	335	30	0	165	100	-0.32	-1.3	0	72	32	-1.6	0.5
	340	145	25	165	100	-0.16	-0.5	-1.12	74	28	-1.4	0.8
4	350	115	80	125	90	-0.08	-0.2	-1.44	75	23	-1.9	0.2
	390	100	50	125	90	-0.16	-0.8	-1.6	78	17	-1.6	0.0
	280	190	85	125	90	-0.08	-0.2	-1.12	71	21	-1.4	0.0
	370	135	85	125	90	-0.08	-0.3	-1.44	74	29	-1.8	0.0
	290	130	80	125	90	-0.32	-0.6	-1.12	75	27	-1.4	0.0
	285	215	65	125	90	-0.16	-0.3	-1.76	80	22	-2.9	0.0
	350	185	90	125	90	-0.08	-0.3	-1.92	81	26	-2.9	0.0
	325	115	80	125	90	-0.08	-0.3	-1.44	68	20	-1.9	0.0
5 - o. H.	0	175	95	125	90	0	-0.3	-1.28	70	28	-1.6	0.0
	225	165	80	495	90	-0.08	-0.3	-1.6	76	28	-1.6	1.3
	125	70	25	495	90	-0.08	-1.6	-2.72	80	26	-3.2	1.1
	250	120	35	495	90	-0.16	-0.6	-1.12	72	23	-1.4	1.0
5 - m. H.	265	120	60	495	90	-0.16	-0.5	-1.6	70	24	0.0	0.0
	155	105	85	495	90	-0.08	-0.3	-1.76	74	0	-2.1	1.3
	235	100	40	495	90	-0.24	-1.1	-2.24	75	0	-2.7	1.8
	150	100	50	495	90	-0.32	-0.8	-2.4	78	0	-3.8	2.2
	140	95	25	495	90	-0.32	-1.1	-2.88	78	0	-4.2	2.6
	145	95	25	495	90	-0.08	-1.1	-2.72	68	0	-3.2	2.7
	400	215	70	495	90	-0.16	-0.3	-1.6	72	0	-1.9	2.6

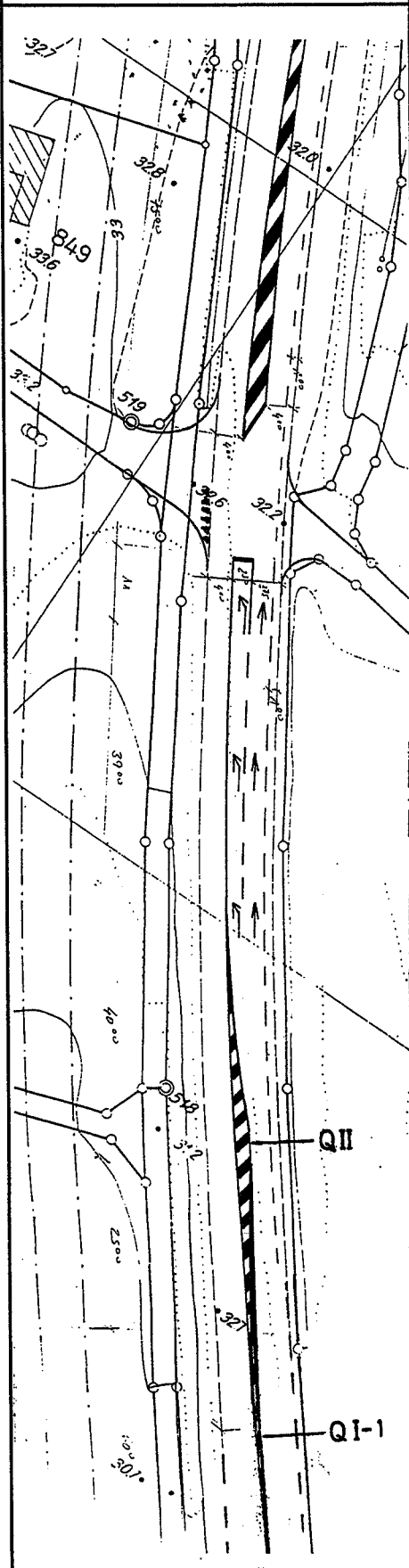
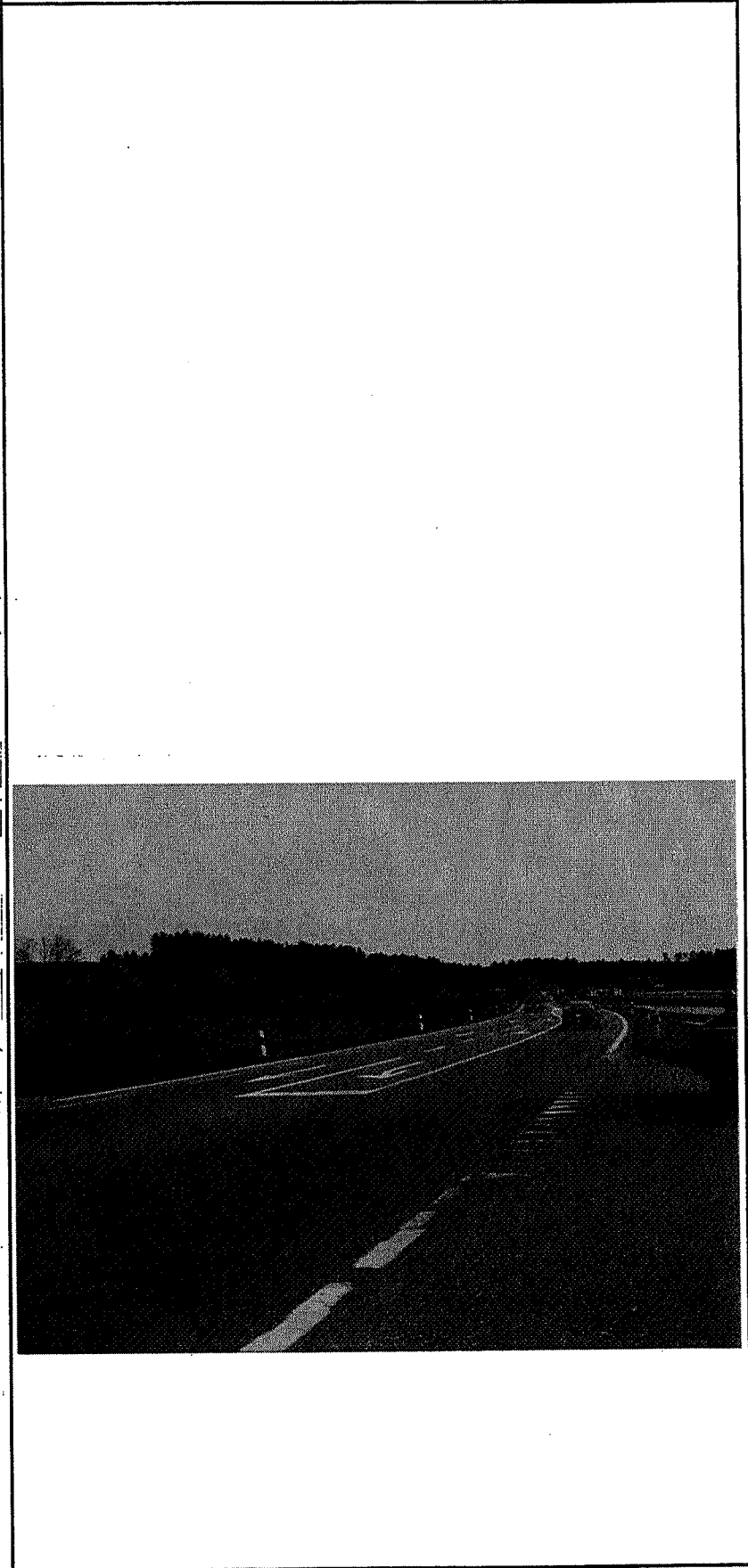


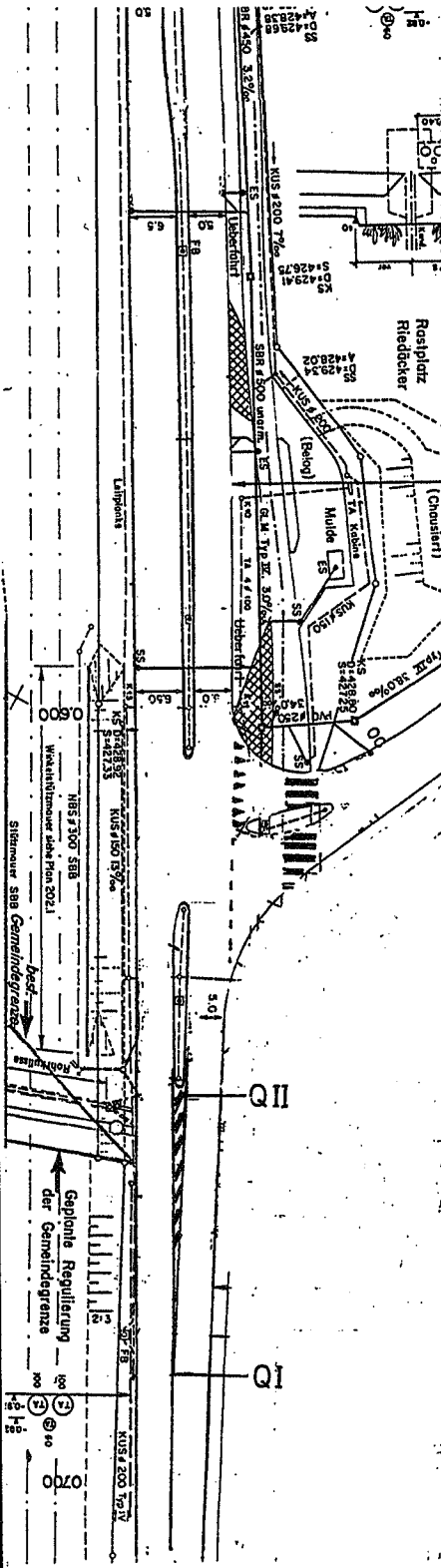
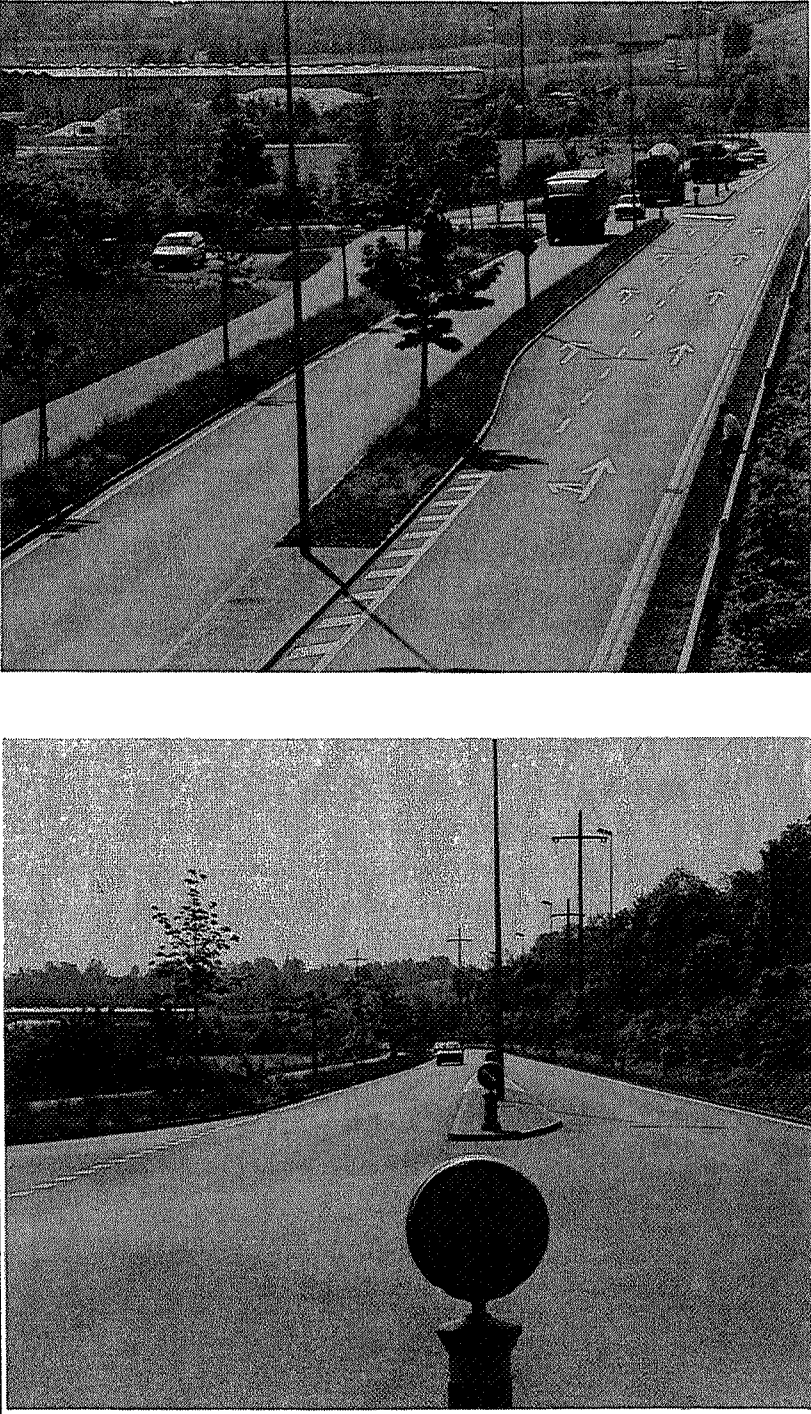


Situation	Fotos
	

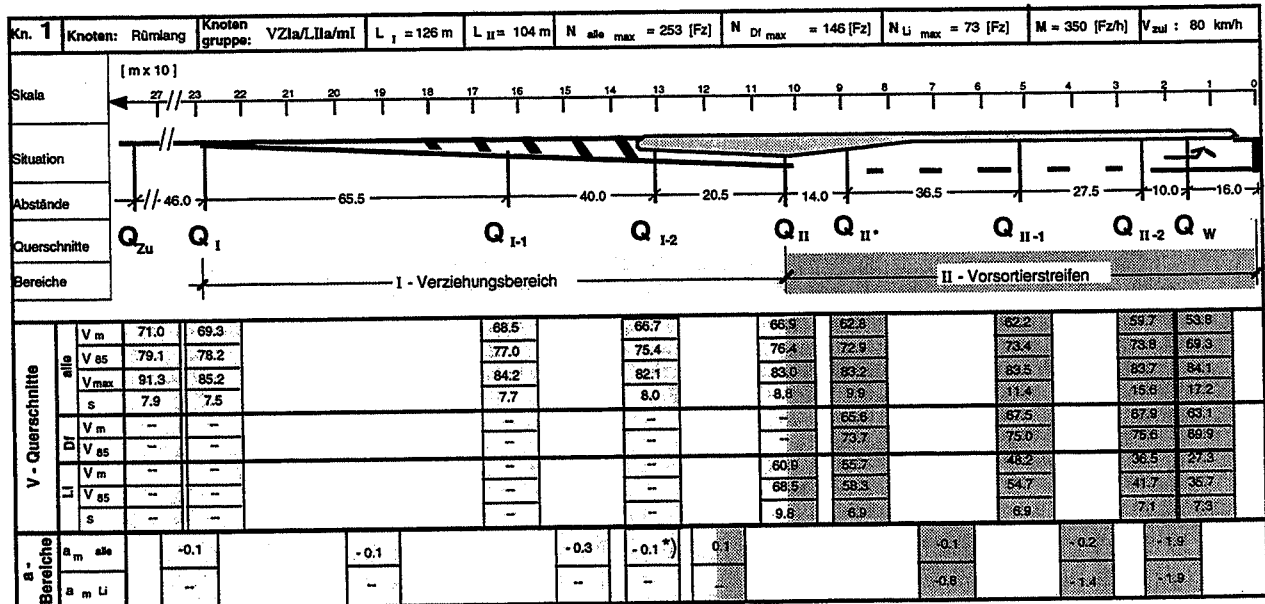
Situation	Fotos
 Topographic map showing a road intersection area. The map includes contour lines, a road layout, and various labels: QW, QII-2, QII-1, QII, QI-1, QI, QZu-1, and QZu. Handwritten notes 'Im Ruu.' and 'Im Sonne' are present. The map also shows a road labeled 'RBB Nr. 4030/1935'.	 Black and white photograph of a road intersection at night. The image shows lane markings, streetlights, and a dark sky. The road appears to be a multi-lane highway or main road.

Situation	Fotos
 Technical drawing of a road intersection. The drawing shows a main road with a dashed center line and solid edge lines. A side road branches off to the right. Labels indicate specific lane markings: QZu-1 (top left), QI (middle left), QI-1 (lower middle left), QII (bottom left), QII-1 (bottom left), QII-2 (bottom left), and QW (bottom left). Arrows indicate the direction of traffic flow.	 Two photographs of the road intersection. The top photo shows a view from the side road looking towards the main road. The bottom photo shows a view from the main road looking towards the side road.

Situation	Fotos
 Technical drawing of a road intersection (Knotenbereich). The drawing shows a road with multiple lanes and a central median. Elevation points are marked with numbers: 32.2, 32.8, 32.0, 33.6, 34.9, 35.2, 39.0, 40.0, 45.0, 50.0, 51.0, 52.0, 53.0, 54.0, 55.0, 56.0, 57.0, 58.0, 59.0, 60.0, 61.0, 62.0, 63.0, 64.0, 65.0, 66.0, 67.0, 68.0, 69.0, 70.0, 71.0, 72.0, 73.0, 74.0, 75.0, 76.0, 77.0, 78.0, 79.0, 80.0, 81.0, 82.0, 83.0, 84.0, 85.0, 86.0, 87.0, 88.0, 89.0, 90.0, 91.0, 92.0, 93.0, 94.0, 95.0, 96.0, 97.0, 98.0, 99.0, 100.0. The drawing also shows a hatched area representing a median or barrier. Labels QI and QII are present, indicating specific points or features on the road.	 Black and white photograph of a road intersection at dusk or night. The road is illuminated by streetlights, and the lane markings are visible. A central median is present, and the road curves to the right. The background shows a dark, silhouetted landscape with trees and hills.

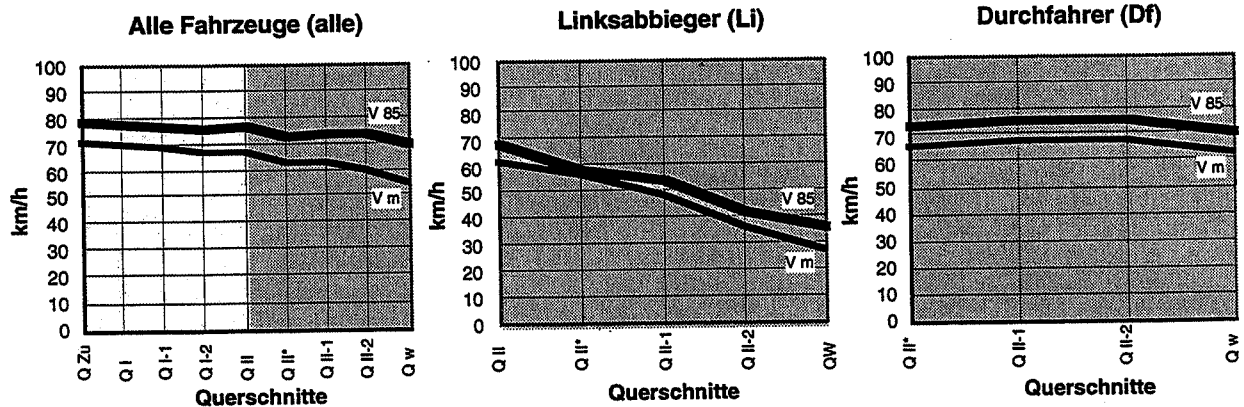
Situation	Fotos
	

Übersicht

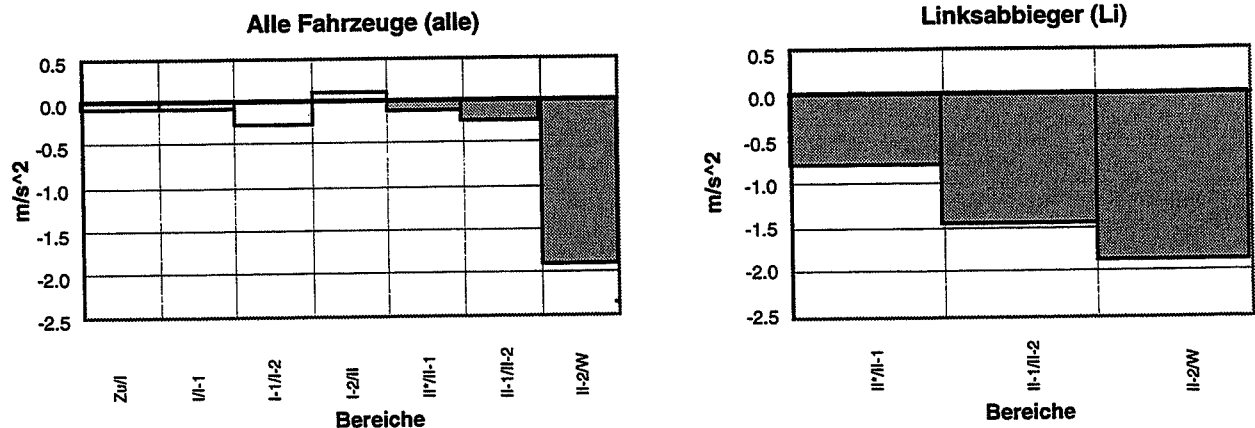


*) Verzögerungswert zwischen den Querschnitten QI-1 und QII

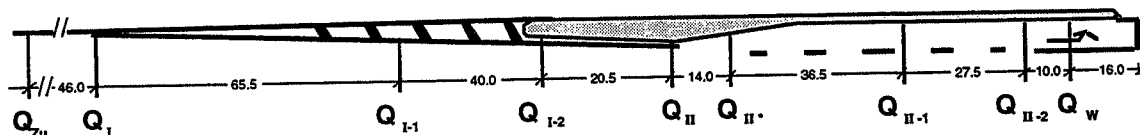
Geschwindigkeitsverläufe



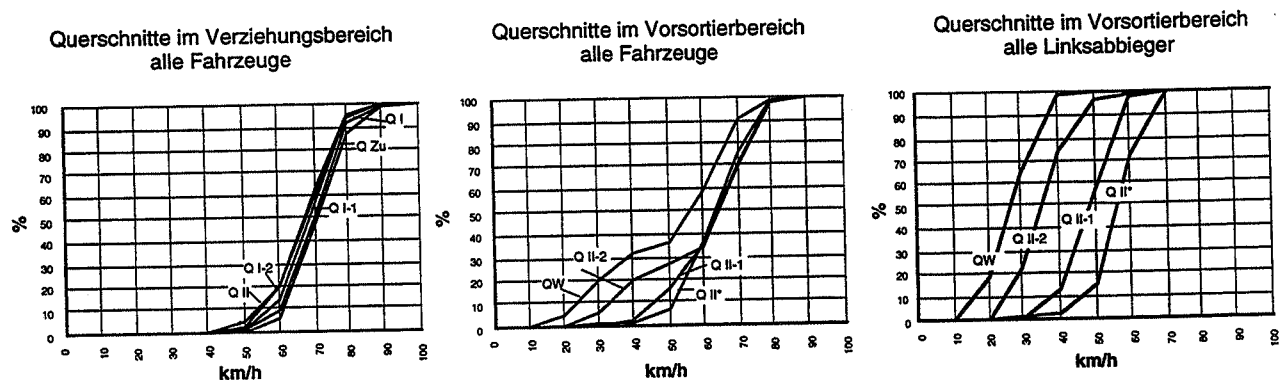
Mittlere Verzögerungen



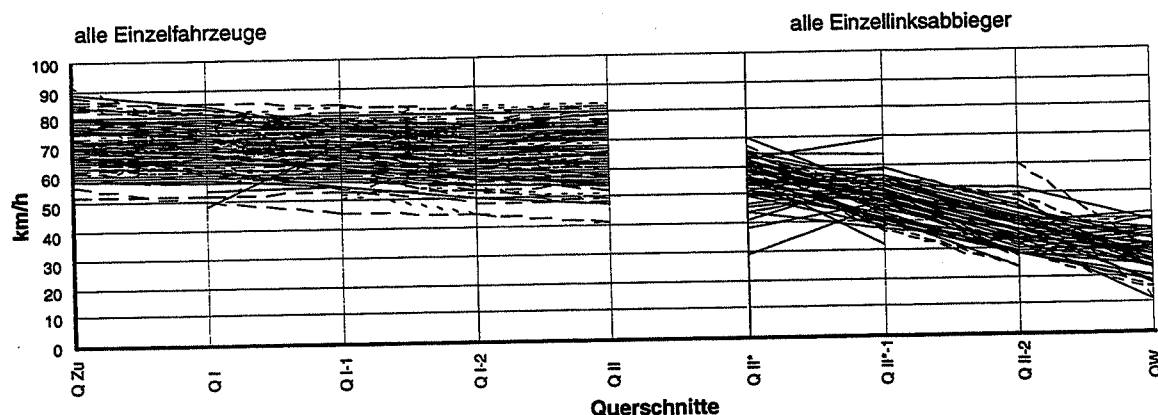
Schematische Geometrie Knoten Nr.1



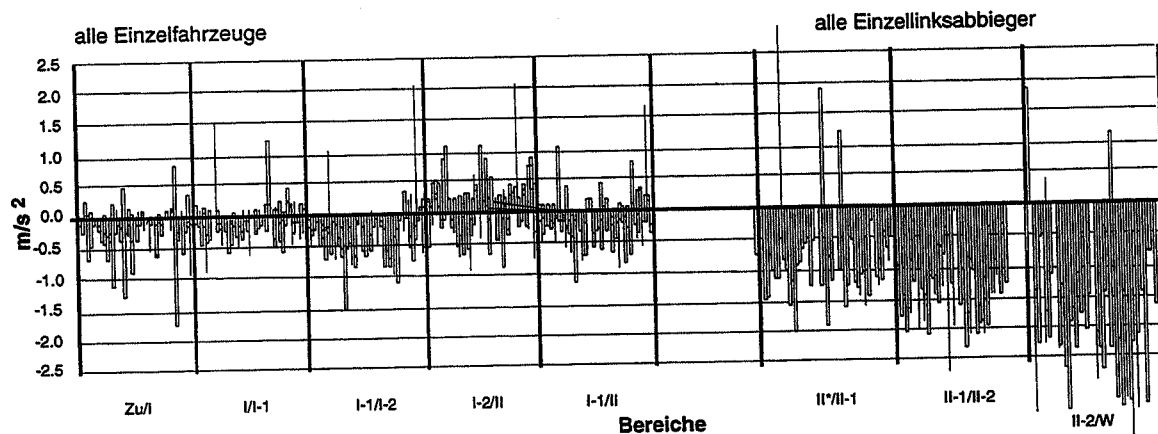
Geschwindigkeitsverteilung



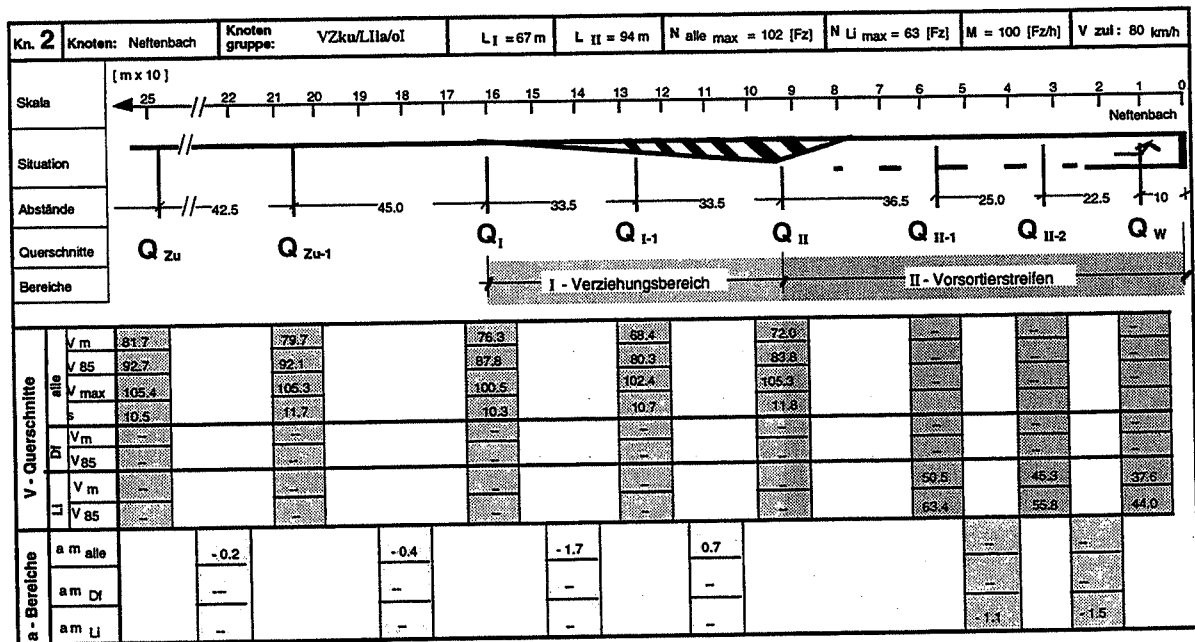
Geschwindigkeitsverläufe



Verzögerungen

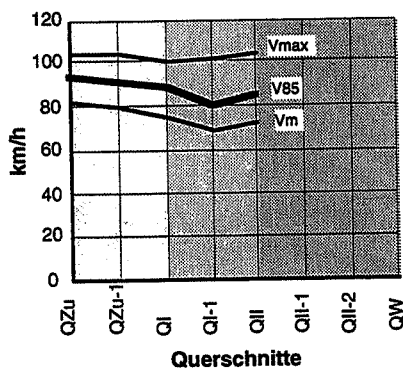


Übersicht

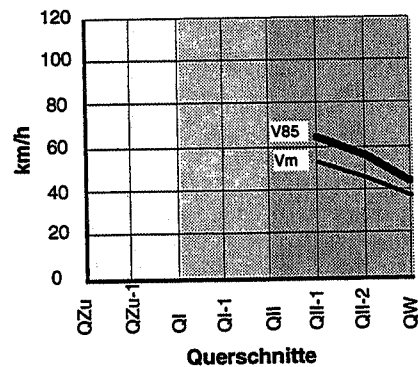


Geschwindigkeitsverläufe

Alle Fahrzeuge (alle)

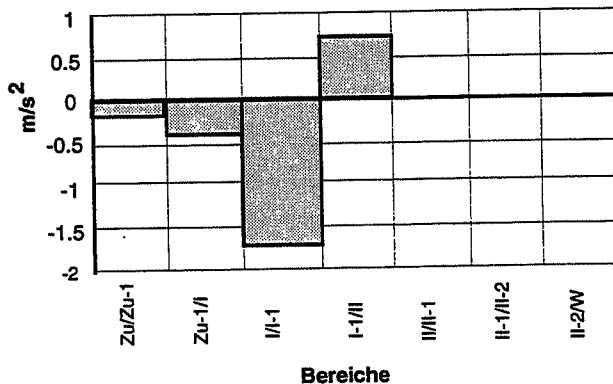


Linksabbieger (Li)

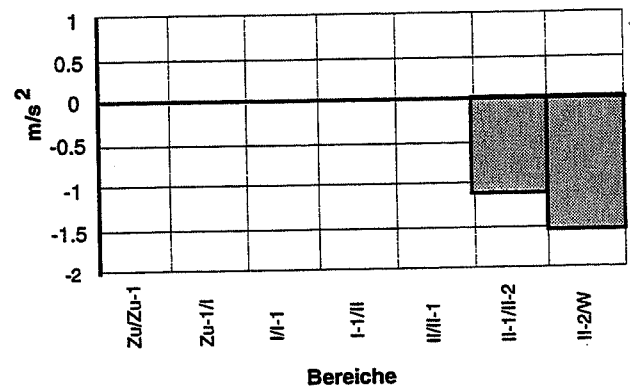


Mittlere Verzögerungen

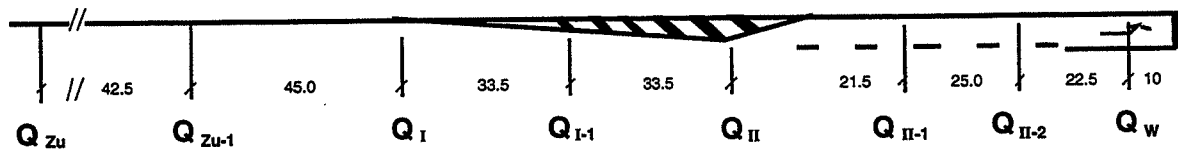
Alle Fahrzeuge (alle)



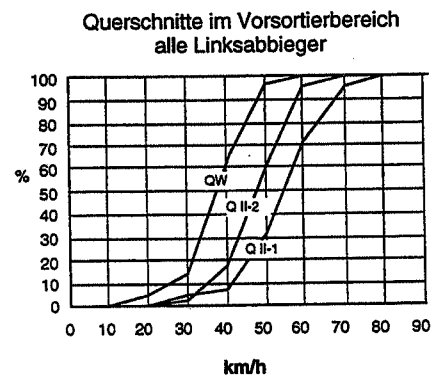
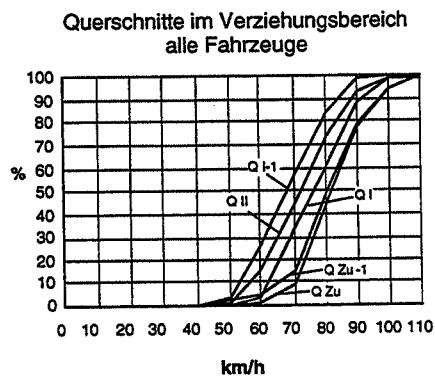
Linksabbieger (Li)



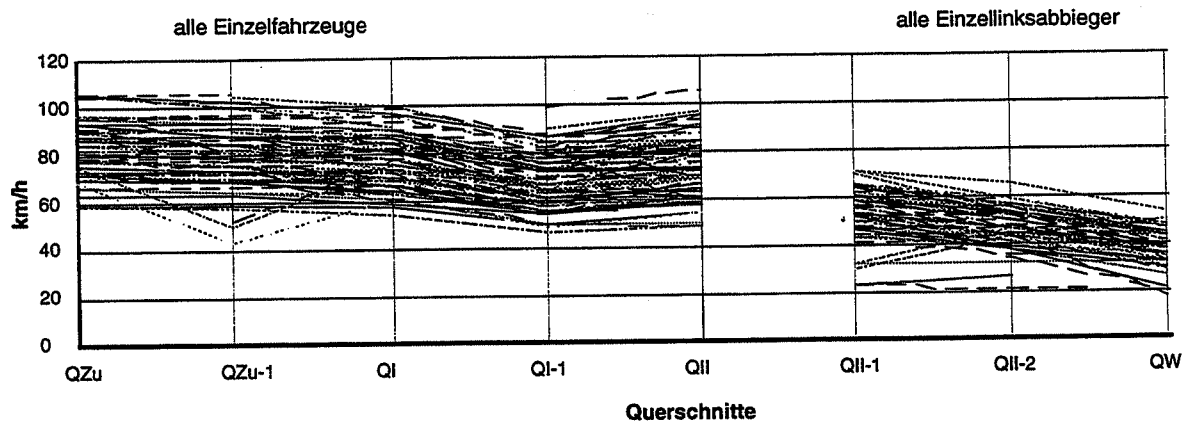
Schematische Geometrie Knoten Nr. 2



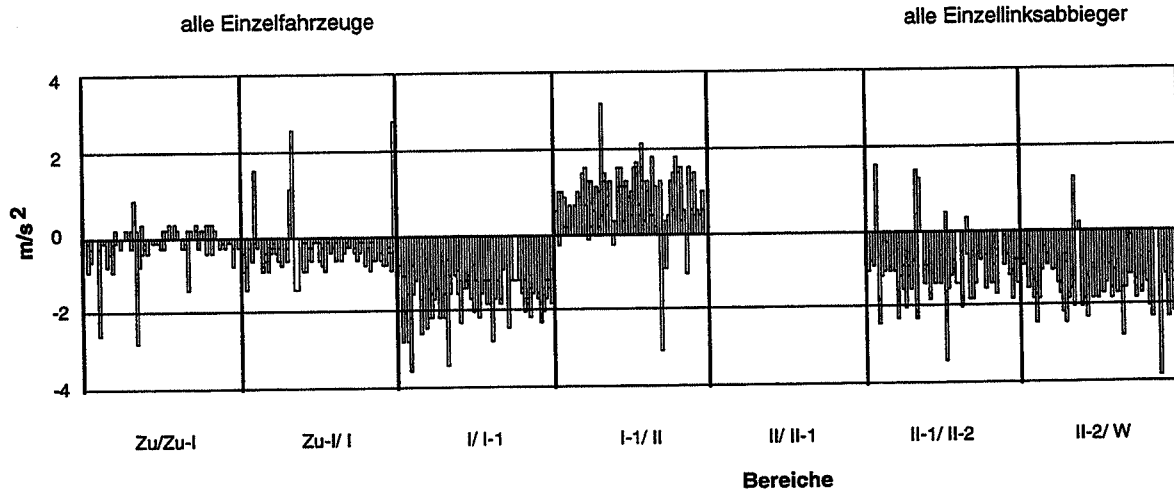
Geschwindigkeitsverteilung



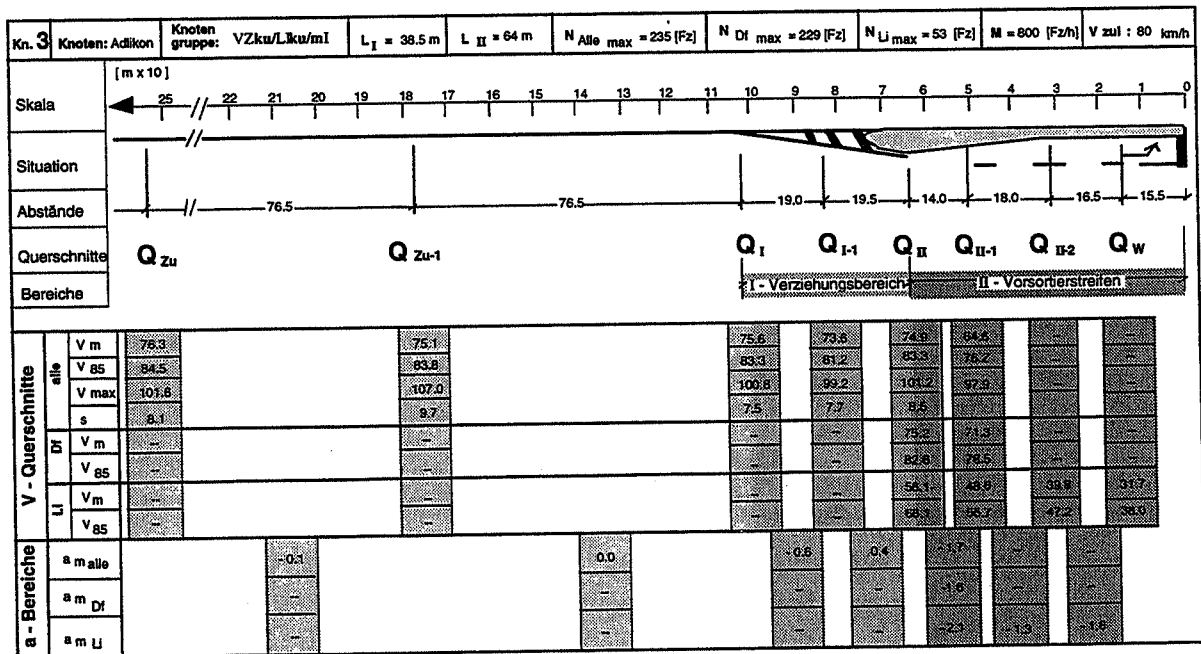
Geschwindigkeitsverläufe



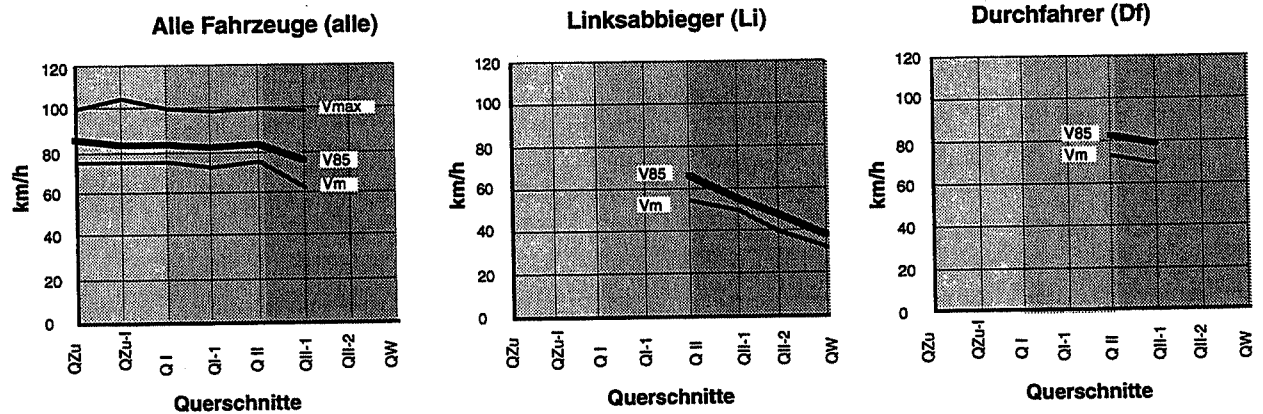
Verzögerungen



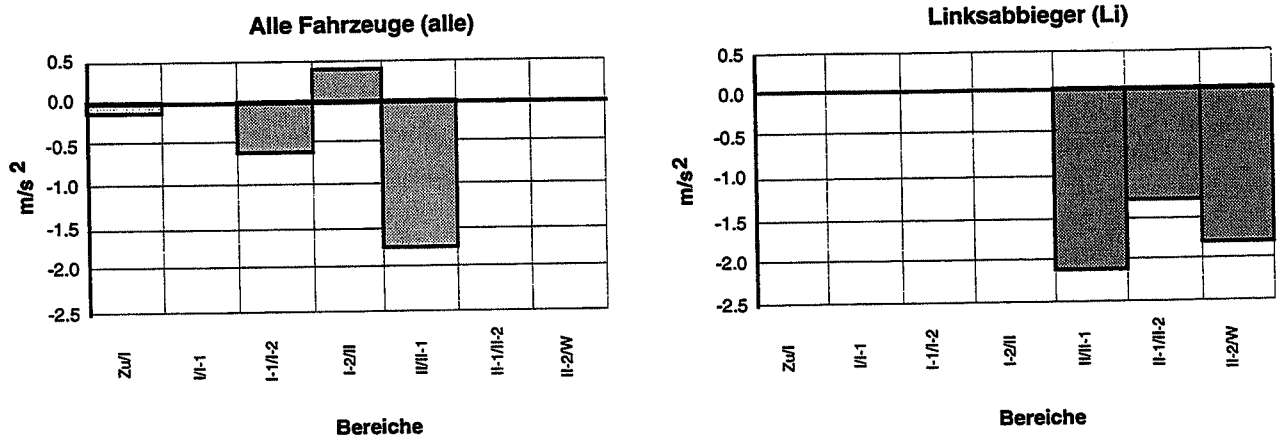
Uebersicht



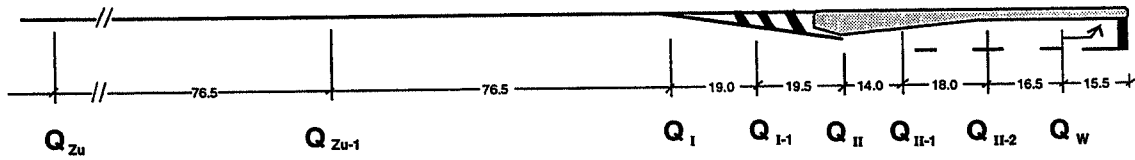
Geschwindigkeitsverläufe



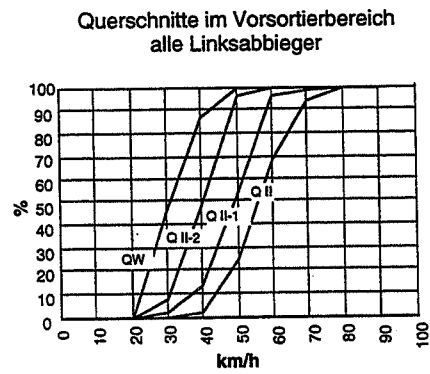
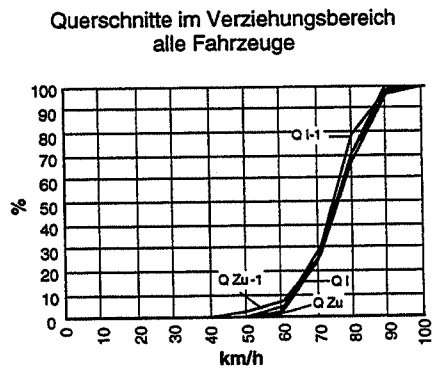
Mittlere Verzögerungen



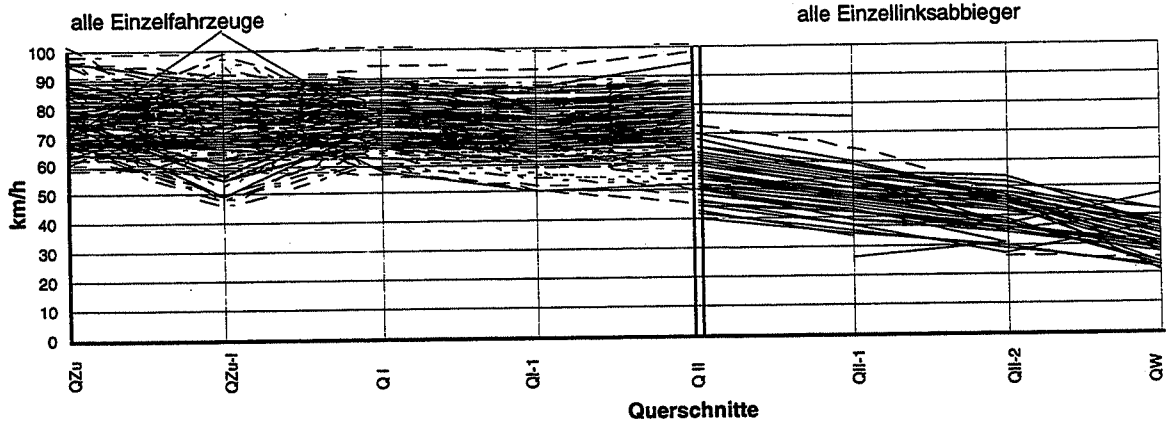
Schematische Geometrie Knoten Nr. 3



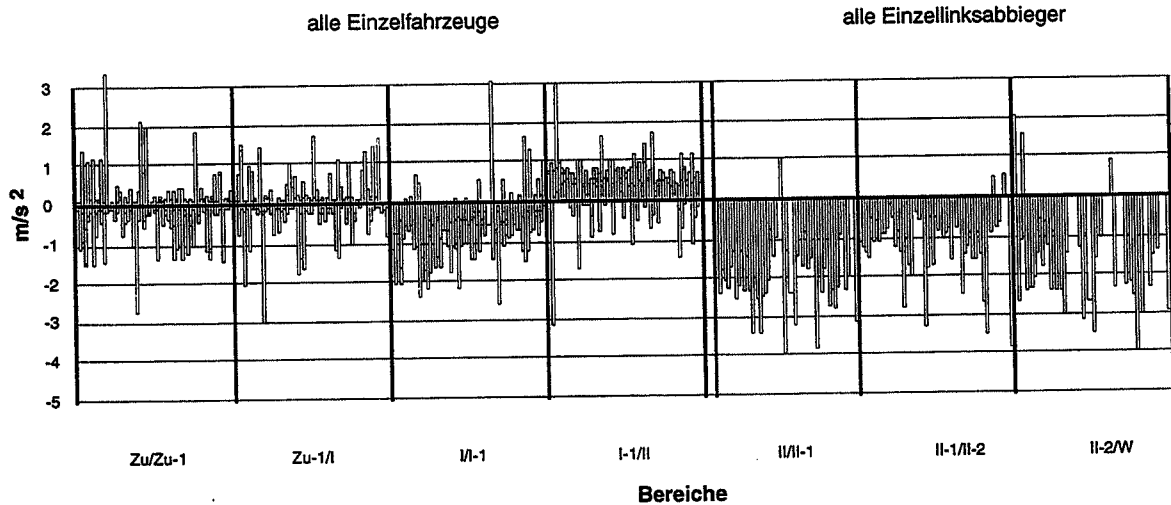
Geschwindigkeitsverteilung



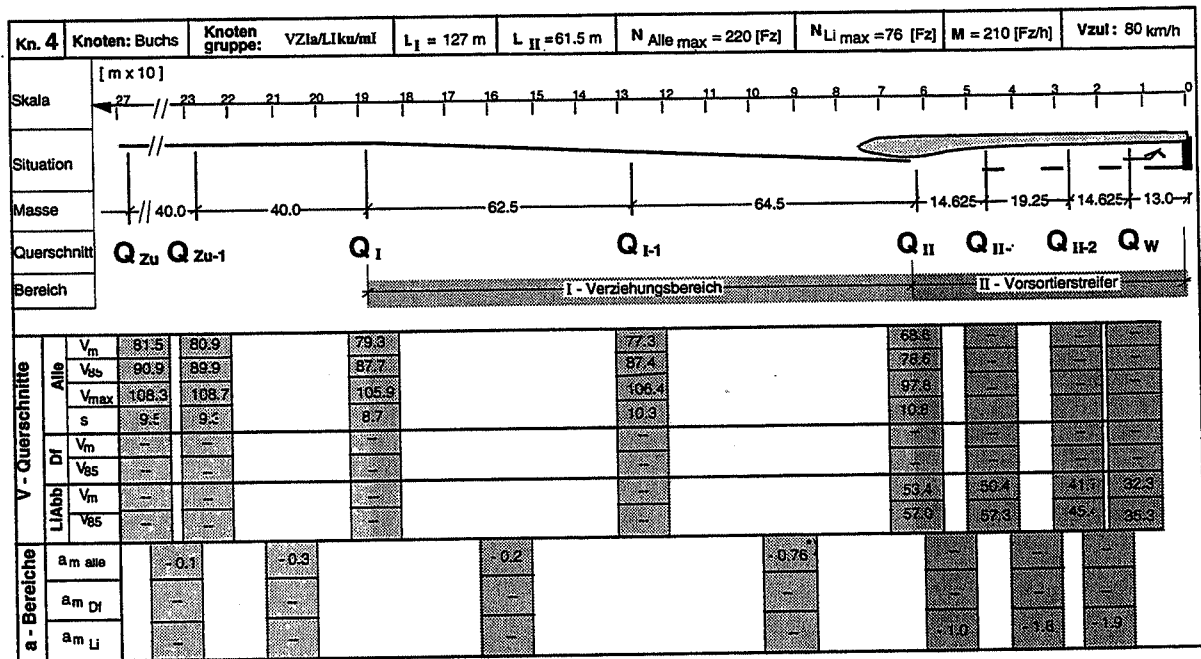
Geschwindigkeitsverläufe



Verzögerungen



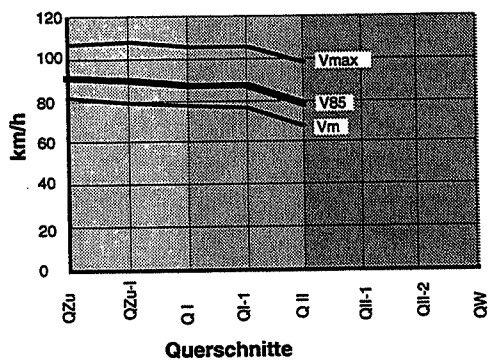
Uebersicht



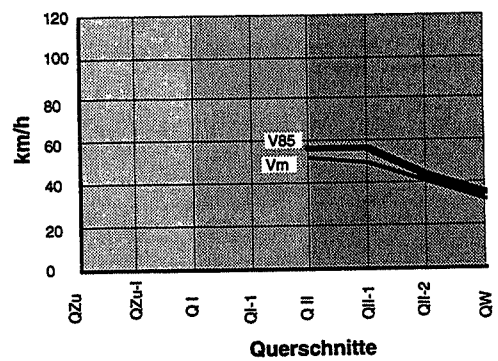
*) Die Verzögerung wurde aus den mittleren Geschwindigkeitswerten berechnet.

Geschwindigkeitsverläufe

Alle Fahrzeuge (alle)

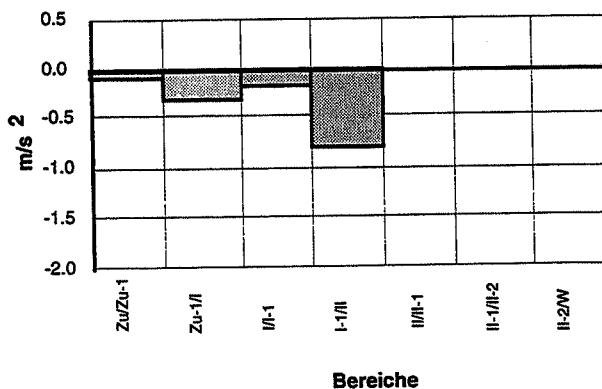


Linksabbieger (Li)

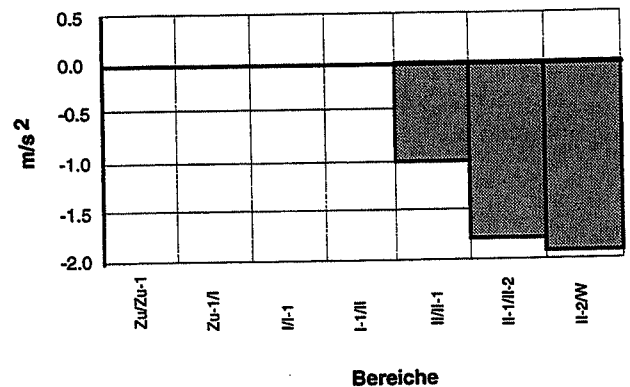


Mittlere Verzögerungen

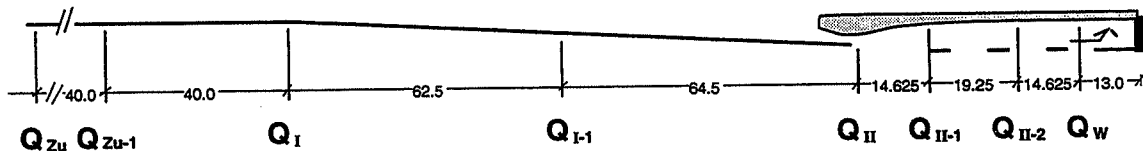
Alle Fahrzeuge (alle)



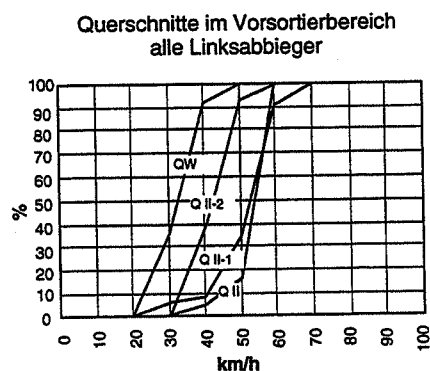
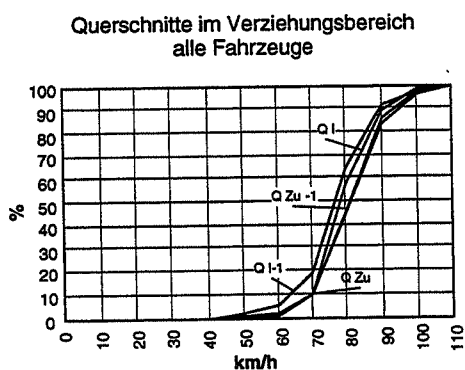
Linksabbieger (Li)



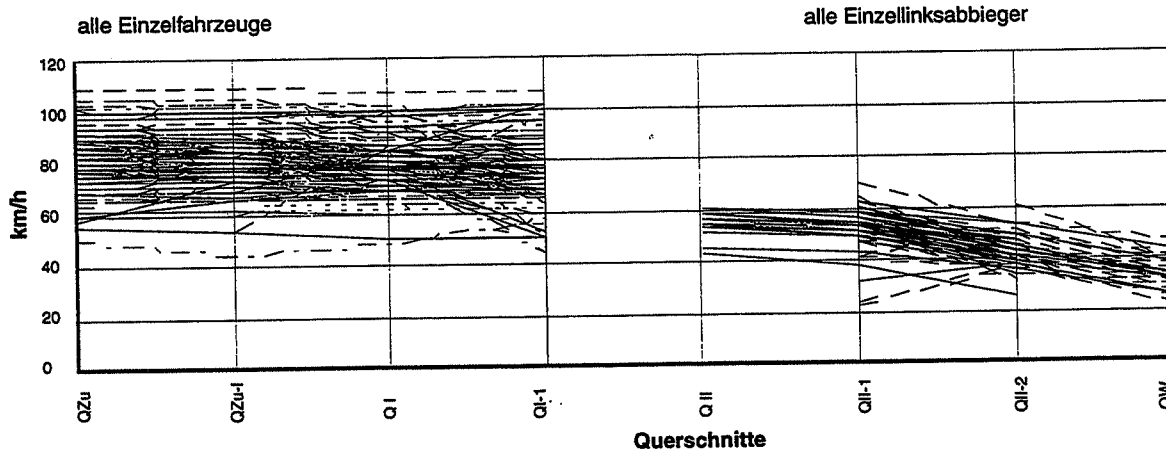
Schematische Geometrie Knoten Nr. 4



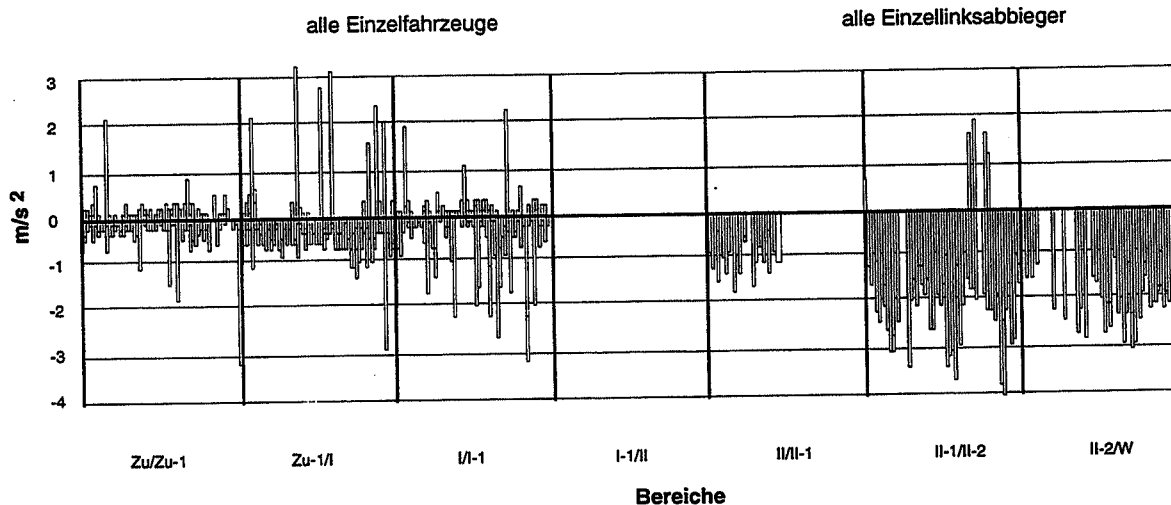
Geschwindigkeitsverteilung



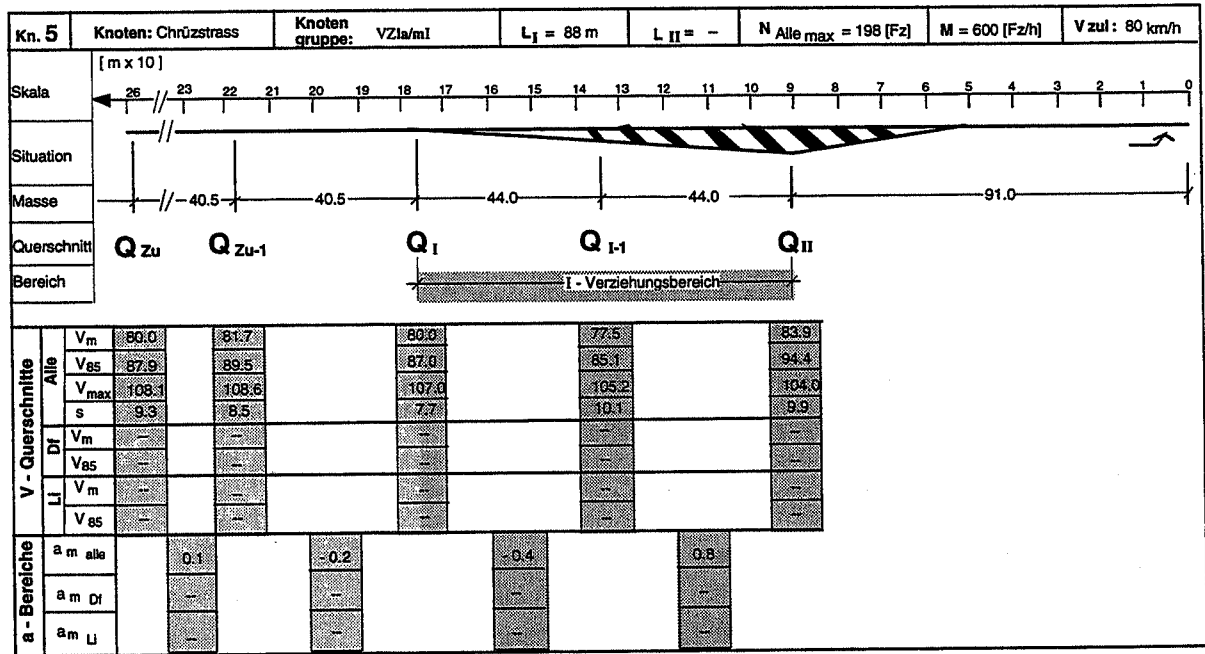
Geschwindigkeitsverläufe



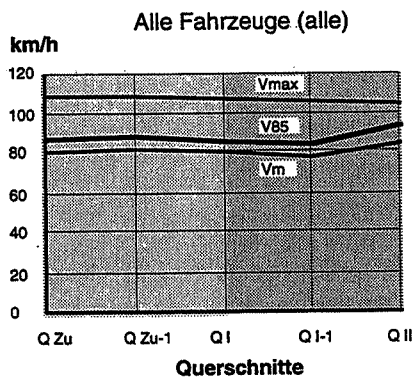
Verzögerungen



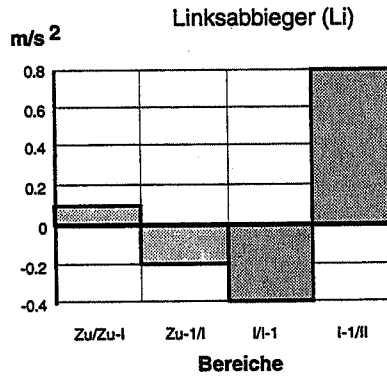
Uebersicht



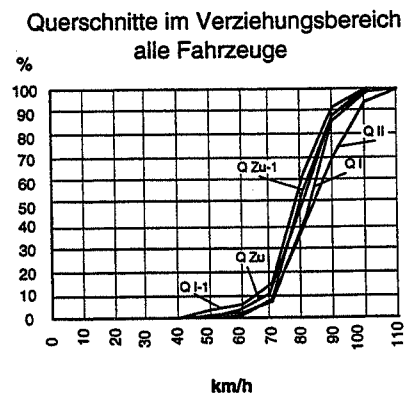
Geschwindigkeitsverläufe



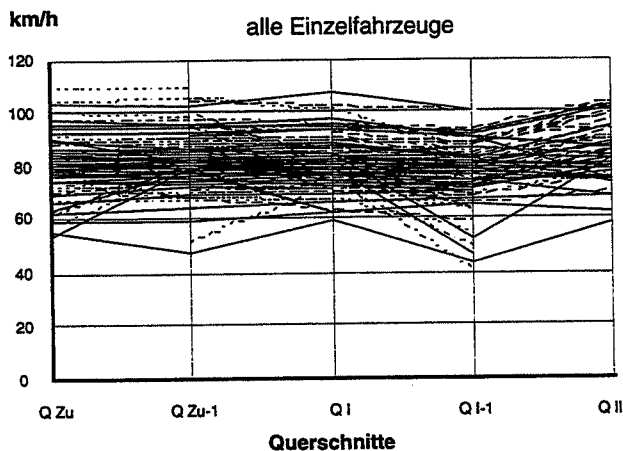
Mittlere Verzögerungen



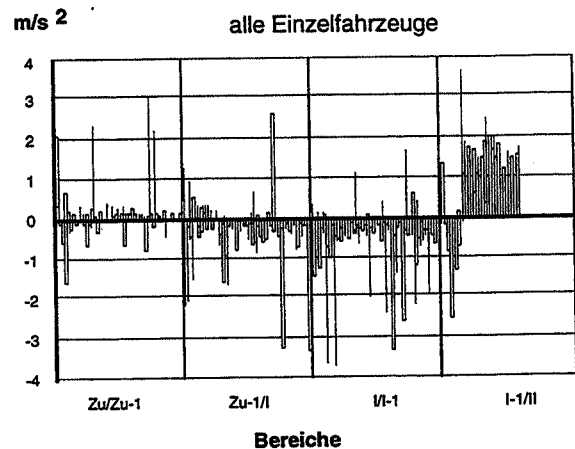
Geschwindigkeitsverteilung



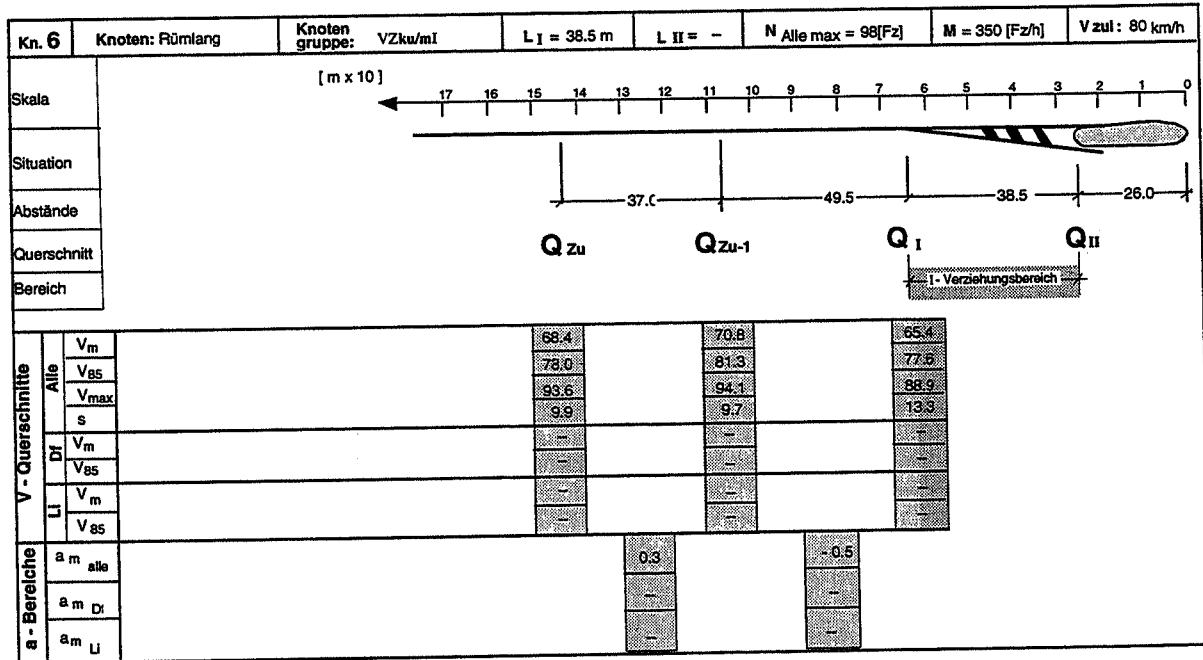
Geschwindigkeitsverläufe



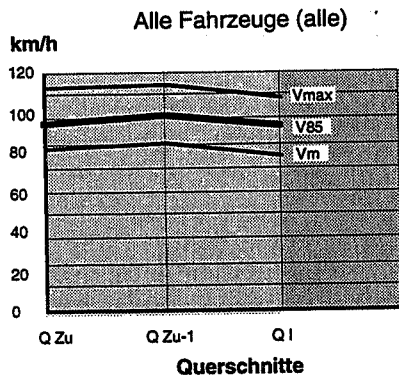
Verzögerungen



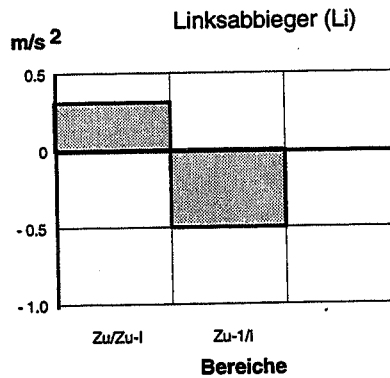
Uebersicht



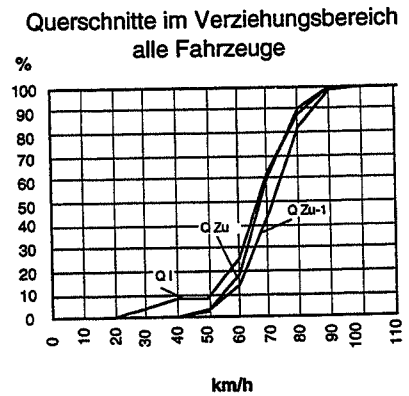
Geschwindigkeitsverläufe



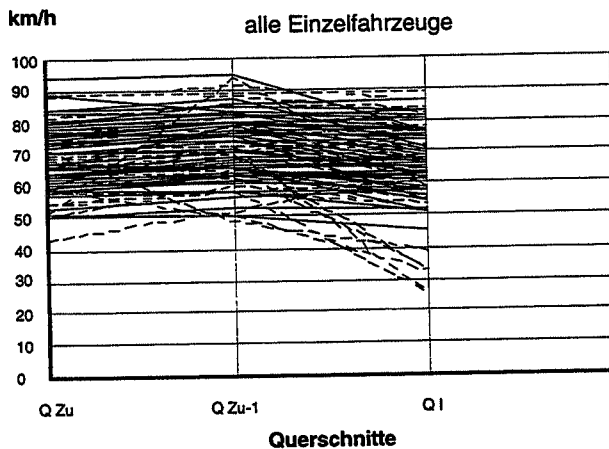
Mittlere Verzögerungen



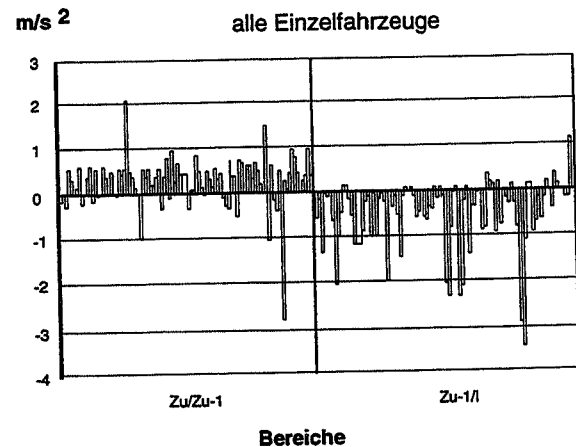
Geschwindigkeitsverteilung



Geschwindigkeitsverläufe



Verzögerungen



AUSZUG GRUNDDATEN, Messorte in der Stadt Zürich

Fahrbahnbreiten, Unfälle und Unfalldichten im Bereich der Trenninseln										
Nr. Insel	Typ des Bereiches	Länge des Bereiches	Fahrstreifenbreiten im Inselbereich				Länge Insel [m]	Anzahl Unfälle pro Rtg in 3 Jahren	Unfall- dichte [U/100m.Jahr]	V.zul.
			Fahrstr.	Radstr.	Σ ohne Radstr.	Σ mit Radstr.				
1	Trenninsel	480	2.65	1.25		3.90	>150	10	0.69	50
2	Trenninsel	480	2.65	1.25		3.90	>150	5	0.35	50
3	Trenninsel	665	3.25		3.25		>150	9	0.45	50
4	Trenninsel	665	3.25		3.25		>150	8	0.40	50
5	Trenninsel	320	2.90	1.35		4.25	>150	5	0.52	50
6	Trenninsel	320	2.70	1.35		4.05	>150	2	0.21	50
7	Trenninsel	140	3.45		3.45		>150	1	0.24	50
8	Trenninsel	160	3.00	1.35		4.35	>150	1	0.21	50
Fahrbahnbreiten, Unfälle und Unfalldichten im Bereich der Haltestellen										
Nr. Insel	Typ des Bereiches	Länge des Bereiches	Fahrstreifenbreiten im Inselbereich				Länge Insel [m]	Anzahl Unfälle pro Rtg in 3 Jahren	Unfall- dichte [U/100m.Jahr]	V.zul.
			Fahrstr.	Radstr.	Σ ohne Radstr.	Σ mit Radstr.				
1	Haltestelle	200	3.40	1.25		4.65	150	6	1.00	50
2	Haltestelle	75	3.55		3.55		50	1	0.44	50
3	Haltestelle	50	4.00		4.00		18	2	1.33	50
4	Haltestelle	75	3.15		3.15		50	4	1.78	50
5	Haltestelle	75	3.15		3.15		50	2	0.89	50
6	Haltestelle	75	3.40		3.40		50	3	1.33	50
7	Haltestelle	75	3.30		3.30		50	2	0.89	50
8	Haltestelle	95	4.00		4.00		70	7	2.46	50
9	Haltestelle	95	2.65	1.35		4.00	70	3	1.05	50
10	Haltestelle	75	3.75		3.75		50	1	0.44	50
11	Haltestelle	75	3.65		3.65		50	1	0.44	50
12	Haltestelle	75	3.25		3.25		45	0	0.00	50
13	Haltestelle	75	3.40		3.40		45	3	1.33	50
14	Haltestelle	75	4.20		4.20		50	1	0.44	50
15	Haltestelle	75	4.20		4.20		50	0	0.00	50
16	Haltestelle	80	3.60		3.60		45.0	4	1.67	50
17	Haltestelle	80	3.60		3.60		45.0	2	0.83	50
18	Haltestelle	100	2.90	1.35		4.25	60.0	4	1.33	50
19	Haltestelle	100	2.70	1.35		4.05	60.0	0	0.00	50
20	Haltestelle	80	3.70		3.70		50.0	1	0.42	50
21	Haltestelle	80	3.40		3.40		50.0	2	0.83	50
22	Haltestelle	50	2.95		2.95		25.0	0	0.00	50
23	Haltestelle	40	4.10		4.10		30.0	0	0.00	50
Fahrbahnbreiten, Unfälle und Unfalldichten im Bereich der Fussgängerschutzinsel										
Nr. Insel	Typ des Bereiches	Länge des Bereiches	Fahrstreifenbreiten im Inselbereich				Länge Insel [m]	Anzahl Unfälle pro Rtg in 3 Jahren	Unfall- dichte [U/100m.Jahr]	V.zul.
			Fahrstr.	Radstr.	Σ ohne Radstr.	Σ mit Radstr.				
1	FG Überq.	40	3.45		3.45		7.5	3	2.50	50
2	FG Überq.	40	3.45		3.45		7.5	1	0.83	50
3	FG Überq.	40	2.10	1.35		3.45	7.5	1	0.83	50
4	FG Überq.	40	2.10	1.35		3.45	7.5	0	0.00	50
5	FG Überq.	40	2.05	1.35		3.40	7.5	1	0.83	50
6	FG Überq.	40	2.10	1.35		3.45	7.5	0	0.00	50
7	FG Überq.	40	2.10	1.30		3.40	7.5	0	0.00	50
8	FG Überq.	40	1.95	1.30		3.25	7.5	1	0.83	50
9	FG Überq.	40	2.20	1.35		3.55	7.5	0	0.00	50
10	FG Überq.	40	2.30	1.30		3.60	7.5	1	0.83	50