

# **Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 168**

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

# **Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit**

von

Uwe Frost  
Wolfgang Schulze

Dr. Brenner Ingenieurgesellschaft mbH  
Aalen

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 168**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M - Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.373/2004/DGB:**  
Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit

### Projektbetreuung

Birgit Hartz

### Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-86509-806-1

Bergisch Gladbach, März 2008

## Kurzfassung – Abstract

### **Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit**

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurden Nutzen und Kosten nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrssicherheit behandelt.

Für sechs ausgewählte Beispielknotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung wurde der Verkehrsablauf vor Ort beobachtet, in Simulationsmodellen nachgebildet und bei unterschiedlichen Belastungsverhältnissen analysiert. Ein wesentliches Ergebnis der Simulationsuntersuchung war, dass an den Beispielknotenpunkten bei nicht vollständiger Signalisierung der Verkehr bei einer Belastung von bis zu 2.000 Kfz/h in der Hauptrichtung (Querschnitt) und zwischen 100 Kfz/h bis 300 Kfz/h in der Nebenrichtung mit ausreichender Qualität bedient werden kann. Ein Vergleich mit den Simulationsergebnissen für den unsignalisierten Zustand ergab, dass bei nicht vollständiger Signalisierung der Verkehr deutlich leistungsfähiger abgewickelt werden kann. Durch eine Vollsignalisierung hingegen lassen sich gegenüber der nicht vollständigen Signalisierung in der Regel keine zusätzlichen Kapazitätsreserven mobilisieren.

Neben der Verkehrsqualität ist die Verkehrssicherheit das zweite maßgebende Kriterium für die Beurteilung der Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung. Die Verkehrsunfallanalyse erbrachte für die Innerortsknotenpunkte keine Erkenntnisse, die gegen die Einführung einer nicht vollständigen Signalisierung sprechen. Für Außerortsknotenpunkte wird empfohlen, die Untersuchungen zum Thema Verkehrssicherheit auf der Grundlage eines deutlich erweiterten Stichprobenumfangs zu vertiefen.

Die nicht vollständige Signalisierung stellt eine kostengünstige Alternative zur Vollsignalisierung dar. Die Investitionskosten für die nicht vollständige Signalisierung liegen bei 35 bis 70 Prozent der Investitionskosten für die Vollsignalisierung. Unter Berücksichtigung der Betriebskosten ergeben sich gegenüber der Vollsignalisierung Einsparungsmöglichkeiten in Höhe von 3.500-5.500 Euro/Jahr.

Der Originalbericht enthält Anhänge zu den Kapiteln 3 bis 7. Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

### **Costs and benefits of partial signalling with special consideration of traffic safety**

The present research project investigates the costs and benefits of partial signalling at traffic nodes with special consideration of traffic safety.

The traffic flow at six selected sample traffic nodes with partial signalling was monitored on site, mapped in simulation models and analysed under various load conditions. An important finding of the simulation study showed that the sample nodes with partial signalling could service traffic with appropriate quality at loads of up to 2,000 vehicles/hour in the primary direction (cross-section) and between 100 and 300 vehicles/hour in the secondary direction. A comparison with simulation results for traffic nodes without signalling showed that partial signalling clearly provides for better handling of the traffic. Full signalling usually mobilises no additional capacity reserves.

Traffic safety is, in addition to traffic quality, the second most important criterion for the evaluation of traffic nodes with partial signalling. The traffic accident analysis at traffic nodes within urban areas did not provide any arguments against the introduction of partial signalling. For traffic nodes outside urban areas, it is recommended to investigate traffic safety based on a significantly larger sample size.

Partial signalling provides a cost-efficient alternative to full signalling. The investment costs for partial signalling are only 35 to 70 percent of the investment costs for full signalling. When the operating costs are included, savings compared to full signalling amount to between 3,500 and 5,500 Euro/year.

The original report contains appendices to Chapters 3 to 7, which were not included in the

present publication. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to the appendices in the text of the report were retained for information purposes.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung, Zielsetzung und Definition</b> .....	7	4.5.3	Einbiegen/Kreuzen in Abhängigkeit vom Signalbild .....	21
1.1	Aufgabenstellung, Zielsetzung .....	7	4.5.4	Standzeiten an der Sichtlinie der Nebenrichtung .....	22
1.2	Definition .....	7	4.5.5	Geschwindigkeiten .....	22
<b>2</b>	<b>Methodische Vorgehensweise</b> .....	8	4.5.6	Annäherungsverhalten .....	22
			4.5.7	Zeitlücken .....	22
<b>3</b>	<b>Bestandsaufnahme</b> .....	10	4.6	Zusammenfassung .....	23
3.1	Bisherige Arbeiten .....	10	<b>5</b>	<b>Simulation des Verkehrsablaufs</b> ...	24
3.2	Bestandsaufnahme realisierter Lösungen .....	10	5.1	Zielsetzung .....	24
<b>4</b>	<b>Verkehrsablauf an sechs ausgewählten Beispielknotenpunkten</b> .....	12	5.2	Erstellen der Simulationsmodelle für die nicht vollständige Signalisierung .....	24
4.1	Zielsetzung .....	12	5.3	Eichen der Simulationsmodelle .....	26
4.2	Auswahl der Beispielknotenpunkte .....	13	5.4	Erstellen der Simulationsmodelle für den unsignalisierten Zustand .....	27
4.3	Verkehrsbeobachtungen .....	13	5.5	Erstellen der Simulationsmodelle für den Zustand mit Vollsignalisierung .....	27
4.3.1	Versuchsaufbau .....	13	5.6	Ermittlung des erforderlichen Stichprobenumfangs .....	28
4.3.2	Auswertungen .....	13	5.7	Dauer der Simulationsläufe .....	29
4.4	Beschreibung der untersuchten Knotenpunkte .....	14	5.8	Auswertungen .....	29
4.4.1	K1 Gablenberger Hauptstraße/ Libanonstraße (Stuttgart) .....	14	5.9	Bewertungsmaßstab .....	30
4.4.2	K2 Esslinger Straße/Jahnstraße (Ostfildern) .....	15	5.10	Ergebnisse für die Beispielknotenpunkte .....	30
4.4.3	K3 Hindenburgstraße/ Otto-Schuster-Straße (Ostfildern) .....	16	5.10.1	K1 Gablenberger Hauptstraße/ Libanonstraße (Stuttgart) .....	30
4.4.4	K4 Gebersheimer Straße/ Schweizermühle (Leonberg) .....	17	5.10.2	K2 Esslinger Straße/Jahnstraße (Ostfildern) .....	32
4.4.5	K5 L 1110 Südumgehung/ Im Erlengrund (Bietigheim-Bissingen) .....	18	5.10.3	K3 Hindenburgstraße/ Otto-Schuster-Straße (Ostfildern) .....	34
4.4.6	K6 Kuhbergring/Grimmfinger Weg (Ulm) .....	19	5.10.4	K4 Gebersheimer Straße/ Schweizermühle (Leonberg) .....	36
4.5	Ergebnisse .....	20	5.10.5	K5 L 1110 Südumgehung/ Im Erlengrund (Bietigheim-Bissingen) .....	38
4.5.1	Verkehrsbelastungen .....	20	5.10.6	K6 Kuhbergring/Grimmfinger Weg (Ulm) .....	40
4.5.2	Anzahl der Rotphasen in der Hauptrichtung .....	20			

5.11	Fazit hinsichtlich der Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung .....	42	<b>8 Zusammenfassung .....</b>	60
5.12	Fazit hinsichtlich der Einsatzbereiche der untersuchten Signalisierungsformen .....	44	8.1 Zielsetzung und Methodik .....	60
<b>6</b>	<b>Verkehrsunfallanalyse .....</b>	47	8.2 Ergebnisse und Empfehlungen .....	61
6.1	Zielsetzung und Vorgehensweise .....	47	8.2.1 Ergebnisse .....	61
6.2	Auswahl der Knotenpunkte für die Unfallanalyse .....	47	8.2.2 Empfehlungen zur Projektierung nicht vollständiger Signalisierungen ...	63
6.3	Erhebung und Aufbereitung der Unfalldaten .....	49	8.3 Forschungsbedarf .....	65
6.4	Ermittlung der Unfallkenngrößen .....	49	<b>Literatur .....</b>	65
6.5	Ergebnisse des Vorher-/Nachher-Vergleichs .....	51		
6.5.1	Ergebnisse ohne Berücksichtigung von Kontrollgruppen .....	51		
6.5.2	Maßnahmenwirkungen unter Berücksichtigung von Kontrollgruppen .....	53		
6.5.3	Differenzierung des Unfallkollektivs nach Unfalltypen und Unfallkategorien .....	53		
6.6	Vergleich der Unfallkenngrößen von Knotenpunkten mit unterschiedlichen Signalisierungsformen .....	54		
6.6.1	Vorgehensweise .....	54		
6.6.2	Vergleich der Unfallkenngrößen unsignalisierter und nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte .....	55		
6.6.3	Vergleich der Unfallkenngrößen vollständig signalisierter und nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte .....	55		
6.7	Gesamtkollektiv der Unfälle an nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten .....	56		
6.8	Fazit zur Verkehrssicherheit .....	57		
<b>7</b>	<b>Kostenvergleich .....</b>	58		
7.1	Herstellungskosten .....	58		
7.2	Betriebskosten .....	59		
7.3	Gesamtkosten .....	60		

# 1 Aufgabenstellung, Zielsetzung und Definition

## 1.1 Aufgabenstellung, Zielsetzung

Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung sind im öffentlichen Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland weit verbreitet. Wie aus einer stichprobenartig durchgeführten Bestandsaufnahme hervorgeht, sind in der BRD zahlreiche derartige Anlagen in Betrieb, teilweise bereits seit mehreren Jahrzehnten. Mit ihrem Einsatz werden vorrangig die folgenden Ziele verfolgt:

Ziele zur Verbesserung der Verkehrssicherheit

- Erhöhen der Verkehrssicherheit durch Minimierung riskanter Einfahrmanöver.
- Gefahrfreies Bedienen von Grundstücksausfahrten (z. B. Feuerwehr, Rettungsdienste).
- Gefahrfreies Bedienen einzelner Ströme, z. B. Sondersignalisierung bei Gleisquerungen.

Ziele zur Verbesserung des Verkehrsablaufs und zur Kapazitätserhöhung

- Verbessern der Verkehrsqualität in den Nebenrichtungen.
- Bevorzugen des (aus der Hauptrichtung abbiegenden oder aus den Nebenrichtungen zufahrenden) ÖPNV.
- Vermeiden des Überstauens von Zufahrten und Einmündungen im Einzugsbereich von Lichtsignalanlagen.
- Vermeiden unnötiger Halte in den Hauptrichtungen.
- Steigern der Kapazität hochbelasteter Knotenpunkte.

Ziele zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

- Schaffen kostengünstiger Lösungen.
- Verschieben der vollständigen Signalisierung auf einen späteren Zeitpunkt.
- Vermeiden flächenverbrauchender Ausbaumaßnahmen.

Trotz der vielfältigen Zielsetzungen und des verbreiteten Praxiseinsatzes gibt es nur in begrenztem Umfang wissenschaftliche Erkenntnisse über die Wirkungsweise, den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit an nicht vollständig signalisierten

Knotenpunkten. In den einschlägigen Richtlinien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen werden diese nicht behandelt.

Aufgabe des Forschungsvorhabens war es deshalb, ausgehend von Beispielen aus der Praxis den folgenden Punkten nachzugehen:

- Schaffen eines Überblicks über die Verbreitung und die Einsatzmöglichkeiten nicht vollständiger Signalisierungen.
- Präzisieren der Definition der nicht vollständigen Signalisierung.
- Aufzeigen der Einsatzgrenzen nicht vollständiger Signalisierungen und Bewerten von deren Wirkungsweise im Vergleich zur Wirkungsweise herkömmlicher Signalisierungsformen.
- Analysieren und Beurteilen des Unfallgeschehens an Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung.
- Ableiten von Hinweisen zum Entwurf und zur Steuerung nicht vollständiger Signalisierungen.
- Untersuchen der Wirtschaftlichkeit nicht vollständiger Signalisierungen und Quantifizieren der Kostenvorteile.

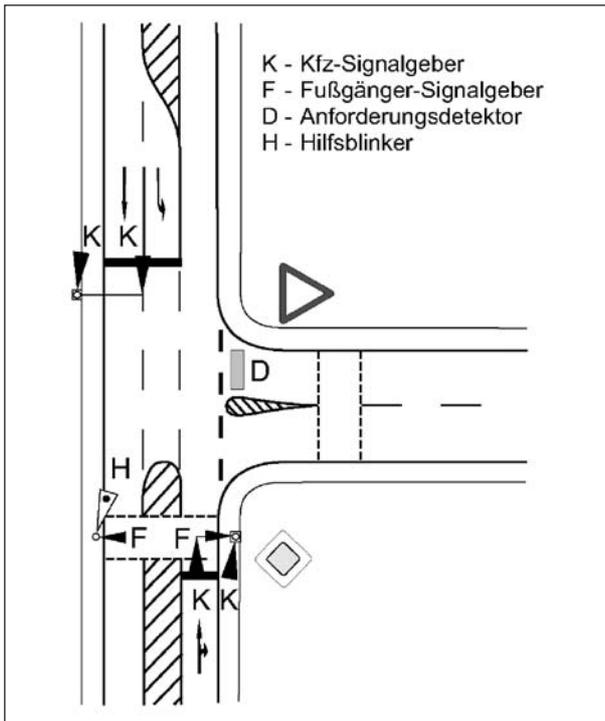
Für das Klären der vorgenannten Fragestellungen war der folgende Untersuchungsumfang zu berücksichtigen:

- Empirische Verkehrsbeobachtungen und modelltechnische Analysen für sechs ausgewählte Beispielknotenpunkte.
- Untersuchung der Fragen der Wirtschaftlichkeit am Beispiel der vorgenannten sechs Beispielknotenpunkte.
- Untersuchen des Unfallgeschehens an 20 ausgewählten Beispielknotenpunkten für einen Dreijahreszeitraum vor und nach Einführung einer nicht vollständigen Signalisierung.

Zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragestellungen wurde die in Kapitel 2 erläuterte Vorgehensweise gewählt.

## 1.2 Definition

Nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte werden, wie die bundesweite Umfrage bei Städten und Straßenbauverwaltungen zeigte, unterschiedlich interpretiert.



**Bild 1.1:** Prinzipische Skizze einer nicht vollständig signalisierten Einmündung

In einer früheren Arbeit von KARAJAN (2001) findet sich folgende Definition:

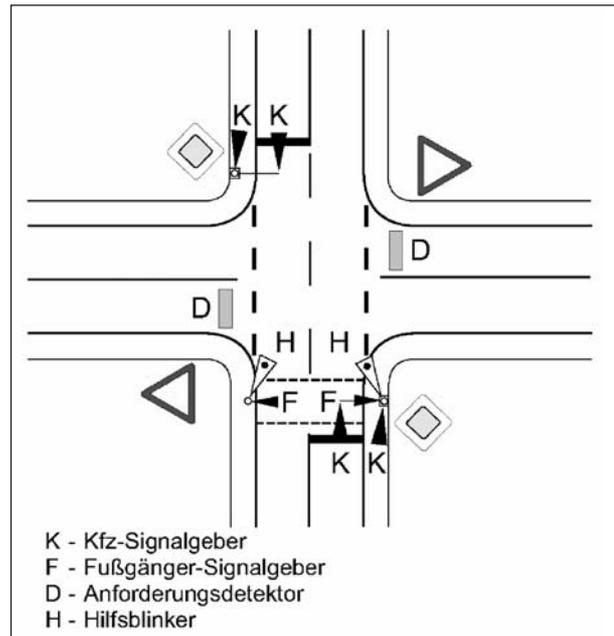
„Diese Signalisierungsformen heißen „nicht vollständig“, da die Signalisierung an diesen Knotenpunkten nicht alle Verkehrsteilnehmer erfasst. In zahlreichen Fällen erfolgt die Signalisierung von einzelnen Strömen nach Bedarf nur zeitweise.“

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ausgehend von den Ergebnissen der Umfrage und unter Berücksichtigung der Hauptanwendungsgebiete der nicht vollständigen Signalisierungen die folgende Definition festgeschrieben:

„Unter nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten werden Knotenpunkte verstanden, bei denen verschiedene, aber nicht alle Verkehrsbeziehungen signaltechnisch geregelt sind. Ein Kennzeichen nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte sind wartezeitbedingte Eingriffsmöglichkeiten durch Nebenströme.“

Zu den nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten zählen auch solche mit Überquerungsstellen für Fußgänger und Radfahrer, sofern nicht signalregelte Verkehrsströme einen wartezeitbedingten Einfluss auf die Signalsteuerung nehmen können.

Nach der vorstehenden Definition werden als nicht zugehörig erachtet:



**Bild 1.2:** Prinzipische Skizze einer nicht vollständig signalisierten Kreuzung

- Regelungen mit Grünpfeilschild gemäß StVO § 37, Absatz 2.7,
- signalisierte Knotenpunkte mit unsignalisierten Aus- oder/und Einfahrkeilen,
- Fußgängerschutzanlagen in der Nähe von Knotenpunkten ohne wartezeitbedingte Eingriffsmöglichkeiten durch den Nebenstrom.

Zur Veranschaulichung der Definition dienen die Bilder 1.1 und 1.2. Diese enthalten Prinzipische Skizzen für eine nicht vollständig signalisierte Einmündung und eine nicht vollständig signalisierte Kreuzung.

## 2 Methodische Vorgehensweise

Die methodische Vorgehensweise umfasst im Wesentlichen die folgenden Arbeitsschritte:

- Bestandsanalyse,
- empirische Verkehrsbeobachtungen,
- Simulation des Verkehrsablaufs,
- Verkehrssicherheitsanalyse,
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

Im Rahmen einer Bestandsanalyse wurde in einer bundesweit angelegten Befragung bei Städten und Straßenbauverwaltungen der Bestand an nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten erhoben, um

einen Überblick über die Häufigkeit, die Ausprägung und die räumliche Verbreitung derartiger Anlagen zu gewinnen und um die Beweggründe in Erfahrung zu bringen, die zur Einrichtung der nicht vollständigen Signalisierung führten. Des Weiteren diente die Bestandsaufnahme der Auswahl geeigneter Knotenpunkte für die empirischen Verkehrsbeobachtungen. Letztere orientierte sich an typischen Anwendungsfällen und beinhaltete Einmündungen und Kreuzungen aus dem Innerorts- wie auch Außerortsbereich.

Auf Basis der bundesweiten Umfrage wurden schließlich sechs Knotenpunkte ausgewählt, davon vier innerorts und zwei außerorts. Im Zusammenhang mit den empirischen Verkehrsbeobachtungen vor Ort wurden Videoaufzeichnungen erstellt. Sie ermöglichen die Reproduzierbarkeit der maßgebenden Einfahrvorgänge (Linkseinbiegen, Kreuzen, Rechtseinbiegen). Zur Erfassung der Gesamtsituation einschließlich des aktuellen Signalbildes kamen zwei Kameras zum Einsatz. Die Verkehrsbeobachtungen vor Ort und die nachgeschaltete Bildauswertung (24 Bilder je Sekunde) bildeten die Grundlage für die Eichung der Simulationsmodelle, mit deren Hilfe die Qualität des Verkehrsablaufs an den Beispielknotenpunkten untersucht wurde.

Für jeden Beispielknotenpunkt wurde ein maßstäbliches Simulationsmodell erstellt und anhand ausgewählte Parameter, wie z. B. der Standzeiten an der Sichtlinie oder der Anzahl der Rotanforderungen, geeicht. Sofern benachbarte Signalquerschnitte Einfluss auf das Verkehrsgeschehen am untersuchten Knotenpunkt nehmen, wurde das Simulationsmodell um die Signalquerschnitte dieser Knotenpunkte erweitert. Der methodische Ansatz der Simulation erlaubte nicht nur die Behandlung unterschiedlicher Verkehrsbelastungen in Haupt- und Nebenrichtung, sondern auch eine Betrachtung der Beispielknotenpunkte unter der Annahme, dass diese unsignalisiert oder vollsignalisiert betrieben werden. Hierzu wurden die Modelle unter Beibehaltung der Knotengeometrie entsprechend modifiziert. Im Vergleich der betrachteten Signalisierungsformen ließen sich auf diese Weise deren Einsatzgrenzen und die erreichbare Qualität des Verkehrsablaufs darstellen. Die Beurteilung der Verkehrsqualität erfolgte in Anlehnung an die Wartezeitkriterien laut dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS, 2001/2005).

Eine verlässliche Aussage hinsichtlich der Verkehrssicherheit von nicht vollständig signalisierten

Knotenpunkten lieferte die Betrachtung des Unfallgeschehens. Aus diesem Grunde wurden für die 6 Beispiel- und für weitere 21 Knotenpunkte Unfalldaten erhoben. Die Verkehrssicherheitsanalyse konzentrierte sich auf solche Knotenpunkte, für die Unfalldaten für einen Vorher-Zustand (unsignalisiert) und Nachher-Zustand (nicht vollständig signalisiert) verfügbar sind. Somit war es möglich, in einem Vorher-/Nachher-Vergleich unter vergleichbaren Randbedingungen die Maßnahmenwirkung zu beurteilen. Über die örtlichen Polizeiinspektionen erfolgte die Sammlung der Unfalldaten zu den letzten 6 Jahren. Die Unfalldaten wurden fallweise erfasst und in einer Datenbank abgelegt. Zusätzlich wurden aus dem näheren Umfeld der betrachteten Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung weitere unsignalisierte und vollsignalisierte Knotenpunkte mit vergleichbarer Verkehrscharakteristik und Knotengeometrie ausgewählt. Diese so genannten Vergleichsknotenpunkte fanden in zweierlei Hinsicht Verwendung:

- Für die Abschätzung der allgemeinen Unfallentwicklung im Betrachtungszeitraum und deren Berücksichtigung bei der Ermittlung der Maßnahmenwirkungen (als Kontrollgruppen für den Vorher-/Nachher-Vergleich).
- Zur Gegenüberstellung der Unfallsituation an vergleichbaren Knotenpunkten mit unterschiedlichen Signalisierungsformen.

Für die verschiedenen Unfallkollektive wurden Unfallkenngrößen wie die Unfallrate [U/106 Fz] und die Unfallkostenrate [Euro/103 Fz] ermittelt und als Grundlage für eine Bewertung der unterschiedlichen Signalisierungsformen einander vergleichend gegenübergestellt. Im Rahmen der Verkehrssicherheitsbetrachtungen wurden abschließend diejenigen nicht vollständig signalisierten Knotenpunkte mit erhöhten Unfallkennzahlen näher betrachtet und mit vergleichsweise sicheren Knotenpunkten aus dem Unfallkollektiv verglichen. Hieraus sowie aus den Ergebnissen der bundesweiten Umfrage, den vorliegenden praktischen Erfahrungen und den angeschlossenen Simulationsuntersuchungen ergaben sich Hinweise zur Steuerung nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte.

Da bei den Überlegungen zur Errichtung einer nicht vollständigen Signalisierung stets auch wirtschaftliche Aspekte eine wesentliche Rolle spielen, wurden für die Beispielknotenpunkte für den Fall einer nicht vollständigen Signalisierung wie für den Fall einer Vollsignalisierung exemplarisch die Investiti-

ons- und Betriebskosten ermittelt und einander vergleichend gegenübergestellt.

Die Untersuchung schließt mit Empfehlungen für den Einsatz nicht vollständiger Signalisierungen ab.

### 3 Bestandsaufnahme

#### 3.1 Bisherige Arbeiten

Nicht vollständige Signalisierungen sind im Straßennetz der BRD bundesweit vorzufinden. Entgegen dem Verbreitungsgrad und entgegen den teilweise langjährigen Erfahrungen finden sich jedoch nur wenige wissenschaftliche oder in Richtlinien verankerte Ausführungen zum Thema. Diese Aussage trifft auch für die Richtlinie für Lichtsignalanlagen (RiLSA, 1992, 2003) und das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001/2005) zu. Beide Werke enthalten keine Hinweise zu nicht vollständigen Signalisierungen.

Unter den Richtlinien, Merkblättern und Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen finden sich nur im Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen (FGSV, 1999) Hinweise zu Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung. Dort wird auf die Möglichkeit hingewiesen, sog. „Lückenampeln“ – ggf. in Verbindung mit vorhandenen Fußgänger-schutzanlagen – einzurichten und auf diese Weise längere Wartezeiten des ÖPNV in untergeordneten, nicht signalisierten Knotenpunktzufahrten abzubauen. In Bild 13 des Merkblattes ist die Prinzipskizze einer „Lückenampel“ dargestellt.

Aus einer nationalen Literaturrecherche sind zwei Diplomarbeiten aus Stuttgart und Darmstadt hervorzuheben. VESPER (2003) hat exemplarisch Verkehrsbeobachtungen an drei Knotenpunkten, mit nicht vollständiger Signalisierung, darunter einem innerörtlichen Kreisverkehrsplatz, durchgeführt und eine mehrjährige Unfalldatenanalyse in Form eines Vorher-/Nachher-Vergleiches vorgenommen. VESPER kommt für die drei untersuchten Knotenpunkte hinsichtlich der Qualität des Verkehrsablaufs, der Kapazität sowie hinsichtlich der Verkehrssicherheit zu positiven Ergebnissen.

KERSCHBAUM (2000) untersuchte 19 Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung. Im Ergebnis führt KERSCHBAUM aus, dass die nicht

vollständige Signalisierung dem unsignalisierten Zustand nicht generell „überlegen“ ist, sondern erst dann, wenn ein Teilstrom die Qualitätsstufe E erreicht. Er empfiehlt, bei der Erwägung einer nicht vollständigen Signalisierung alternativ die Wirkungen eine Vollsignalisierung zu betrachten. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit konnten aufgrund fehlender Unfalldaten zum Vorher-Zustand keine abschließenden Aussagen gemacht werden.

SCHNÜLL (2003) zeigt die Zielsetzungen auf, die mit nicht vollständigen Signalisierungen verfolgt werden können, und verweist auf die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten in der Verwaltungspraxis. Als wesentliche Einsatzgebiete der nicht vollständigen Signalisierung werden das Schaffen von Zeitlücken für Linkseinbieger an nicht vollständig signalisierten Einmündungen und die Priorisierung von Linienbussen benannt. Darüber hinaus macht SCHNÜLL auf Einsatzmöglichkeiten der nicht vollständigen Signalisierung im Zusammenhang mit der Verbesserung des Verkehrsflusses und der Verkehrssicherheit an großen Kreisverkehrsplätzen aufmerksam.

Eine Literaturrecherche für das Ausland erbrachte keine weiteren Hinweise zum Thema.

#### 3.2 Bestandsaufnahme realisierter Lösungen

Um einen Überblick über die Verbreitung der nicht vollständigen Signalisierung, die wesentlichen Gründe für deren Einführung und die möglichen Gestaltungsformen zu gewinnen, wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens eine bundesweit angelegte Befragung von Städten und Straßenbauämtern zu nicht vollständigen Signalisierungen durchgeführt. Insgesamt wurden rd. 100 Städte und Straßenbauverwaltungen ein Fragebogen einschließlich Erläuterungen zugestellt (Bild 3.1), von denen 55 einen ausgefüllten Erfassungsbogen samt beigefügten Planunterlagen zu den gemeldeten Anlagen (Lage, Signalzeitenpläne, Hinweise) zurückgesandt haben.

Die Struktur des Fragebogens und der Rücklauf sind in den Anhängen 3.1 und 3.2 dokumentiert. Die Anhänge sind nicht abgedruckt. Sie sind auf Anfrage gesondert bei der BAST erhältlich.

Die wesentlichen Ergebnisse der bundesweiten Umfrage lauten:

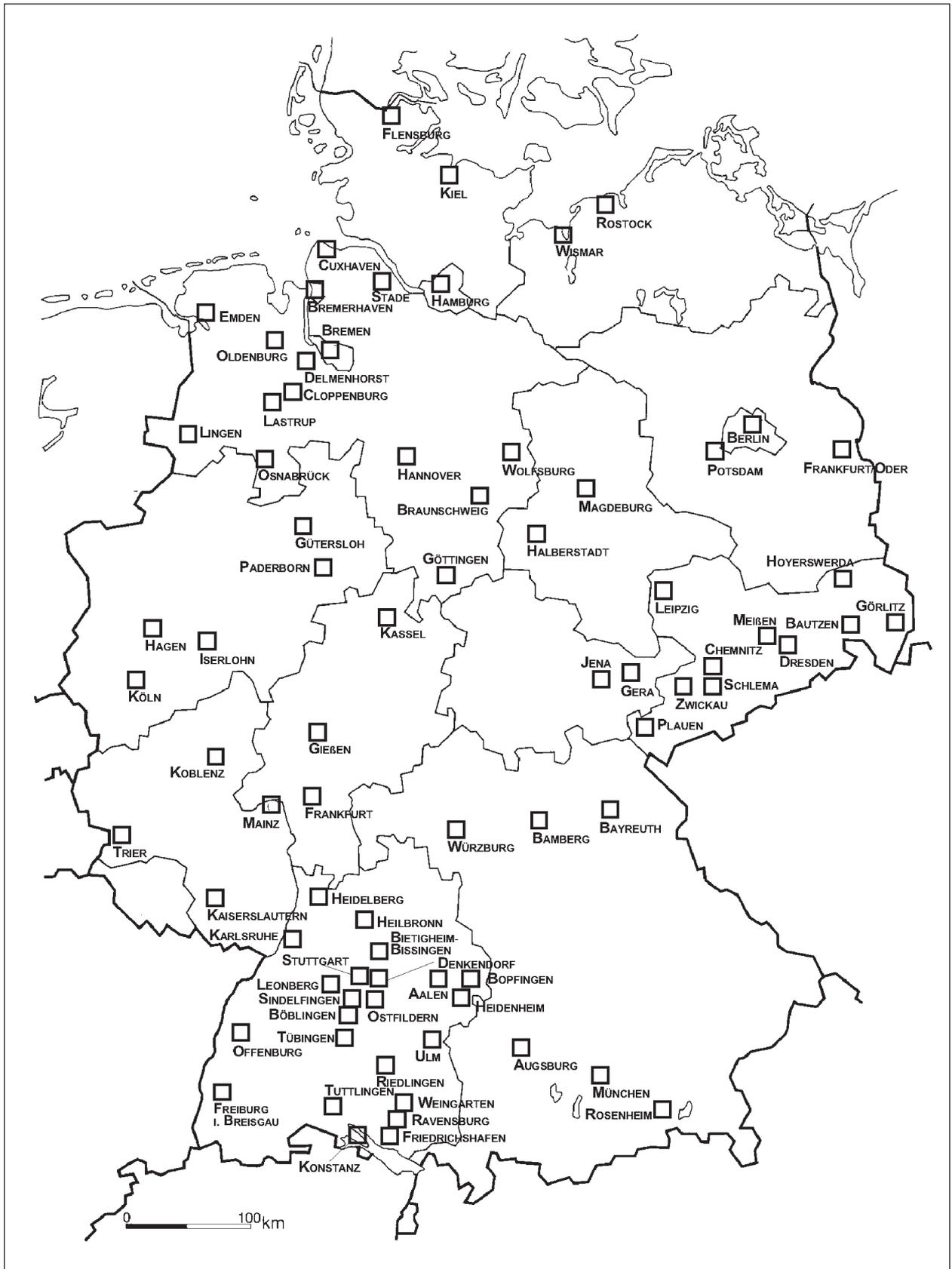
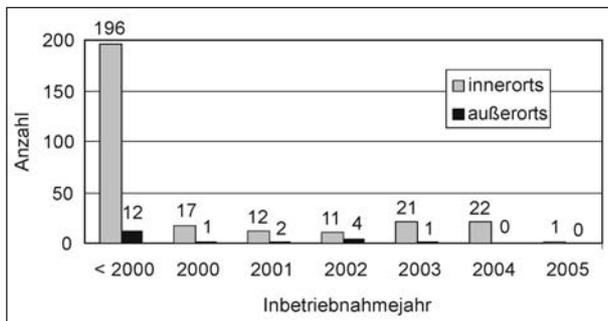
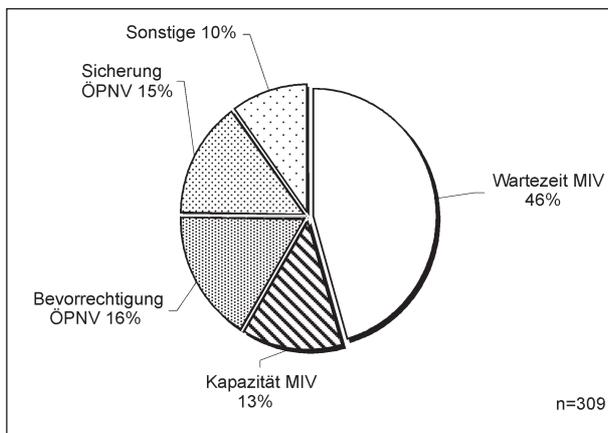


Bild 3.1: Angeschriebene Städte und Straßenbauverwaltungen zur Bestandsaufnahme nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte

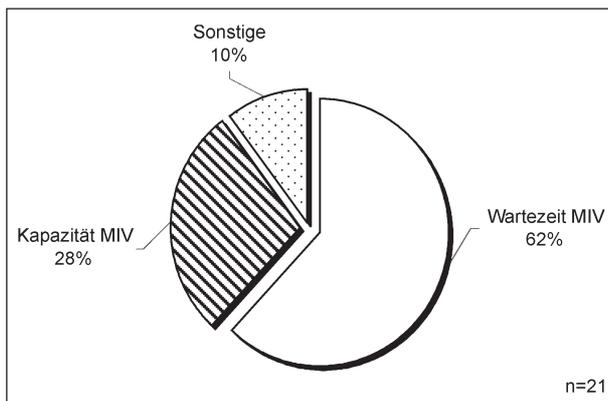
- Insgesamt wurden 330 Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung gemeldet, davon 309 im Innerorts- und 21 im Außerortsbereich.
- Zwei von 330 Meldungen bezogen sich auf einen Kreisverkehr.
- Das Gros der Meldungen betraf Knotenpunkte, an denen die nicht vollständige Signalisierung bereits vor dem Jahr 2000 eingeführt worden war (Bild 3.2).



**Bild 3.2:** Jahr der Inbetriebnahme gemeldeter nicht vollständiger Signalisierungen



**Bild 3.3:** Laut Umfrage angeführte Gründe für die Errichtung einer nicht vollständigen Signalisierung – innerorts



**Bild 3.4:** Laut Umfrage angeführte Gründe für die Errichtung einer nicht vollständigen Signalisierung – außerorts

- Kreuzungen und Einmündungen waren etwa zu gleichen Anteilen im Gesamtkollektiv vertreten.
- Als Gründe für die Einführung der nicht vollständigen Signalisierung wurden innerorts vorrangig die „Verringerung der Wartezeit im Nebenstrom“ (48 %) und die „Steigerung der Kapazität“ der Verkehrsanlage (13 %) genannt. Bei etwa einem Drittel (31 %) wurde mit der Einführung die Bevorrechtigung oder Sicherung des öffentlichen Personennahverkehrs angestrebt (Bild 3.3). Häufig wurde in die Maßnahme auch die Sicherung von Überquerungsstellen für Fußgänger und Radfahrer einbezogen, sodass sich Sekundäreffekte ergaben.
- Außerorts wird mit der Einführung der nicht vollständigen Signalisierung fast ausschließlich eine Verbesserung der Situation für den motorisierten Individualverkehr verfolgt (Bild 3.4).
- Die Mehrzahl der gemeldeten Anlagen, sowohl außer- wie innerorts, wird nur zeitweise betrieben, d. h., diese Anlagen sind entweder nachts abgeschaltet, oder es kommt infolge eines reduzierten Verkehrsaufkommens zu keiner Rotlichtanforderung durch einen Nebenstrom.
- Die Anzahl der gemeldeten Anlagen repräsentiert nur einen kleinen Teil der nicht vollständigen Signalisierungen. Deren Anzahl dürfte um ein Vielfaches höher liegen als die aus der Befragung bekannt gewordenen 330 Knotenpunkte.

## 4 Verkehrsablauf an sechs ausgewählten Beispielknotenpunkten

### 4.1 Zielsetzung

Mit der Untersuchung des Verkehrsablaufs an sechs ausgewählten Beispielknotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung wurden zwei Zielsetzungen verfolgt. Vorrangig sollten auf der Grundlage von Verkehrsbeobachtungen die Verkehrsverhältnisse vor Ort reproduzierbar erfasst werden, um auf dieser Basis die für die Eichung der Simulationsmodelle erforderlichen Kenngrößen abzuleiten. Für das Nachbilden des Verkehrsablaufs im Simulationsmodell und die Eichung sind jedoch die verkehrlichen Kenngrößen alleine nicht ausreichend. Zusätzlich wurden für die sechs Beispiel-

knotenpunkte die Knotenpunktgeometrie, die Signalisierung und Steuerung analysiert und versucht, für die Beispielknotenpunkte Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufzuzeigen.

## 4.2 Auswahl der Beispielknotenpunkte

Die Auswahl der Beispielknotenpunkte erfolgte auf Grundlage der von den befragten Städten und Straßenbauverwaltungen erhaltenen Informationen. Dabei galt es, solche Beispiele mit nicht vollständiger Signalisierung auszusuchen, die als typisch und häufig verbreitet einzustufen sind. Laut Forschungsprogramm waren vier Knotenpunkte aus dem Innerorts- und zwei aus dem Außerortsbereich zu wählen. Unter diesen sollten sich sowohl Einmündungen wie auch Kreuzungen befinden. Nach einer Ortsbesichtigung der in Frage kommenden Knotenpunkte fiel die Wahl auf die folgenden sechs:

### Innerorts

- |    |  |
|----|--|
| K1 | Stuttgart<br>Gablener Hauptstraße/Libanonstraße,     |
| K2 | Ostfildern<br>Esslinger Straße/Ludwig-Jahn-Straße,   |
| K3 | Ostfildern<br>Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße, |
| K4 | Leonberg<br>Gebersheimer Straße/Schweizermühle.      |

### Außerorts

- |    |   |
|----|---|
| K5 | Bietigheim-Bissingen<br>L 1110 Südumgehung/Im Erlengrund, |
| K6 | Ulm<br>Kuhbergring (K 9915)/Grimmelfinger Weg.            |

Bei den Knotenpunkten K1, K2 und K3 sind Busse des öffentlichen Nahverkehrs zu berücksichtigen, bei den Knotenpunkten K1, K2, K4 und K5 sind signalisierte Fußgängerfurten vorhanden. Auf die Behandlung eines Kreisverkehrs wurde wegen fehlender Beispielknotenpunkte und der seltenen Anwendung verzichtet.

## 4.3 Verkehrsbeobachtungen

### 4.3.1 Versuchsaufbau

Für die Beobachtung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung wurde Videotechnik eingesetzt. Der Versuchsaufbau sah zwei erhöhte Kamerastandorte vor. Die Kameras wurden beidseitig der Vorfahrtsstraße und diagonal versetzt positioniert. Für die spätere Auswertung erwies es sich als vorteilhaft, vor Beginn der Videoaufzeichnungen ein 10-m-Abstandsraster einzumessen.

Die gewählten Kamerastandorte ermöglichten die Erfassung des Verkehrsablaufs in den Haupt- und Nebenrichtungen sowie eine eindeutige Identifizierung des Signalbildes der nicht vollständigen Signalisierung. Dies war insbesondere zur Feststellung der Häufigkeit der Schaltungen von Rotphasen in der Hauptrichtung wichtig. Der 2. Kamerastandort diente der Vervollständigung des Sichtfeldes und war vor allem bei schlecht erkennbaren Situationen, z. B. bei durch Fahrzeuge oder Hindernisse verdeckten Fußgängern, für die eindeutige Klärung der Gegebenheiten hilfreich. Zur Beobachtung des Verkehrsablaufs in der Nebenrichtung wurde stichprobenweise ein dritter Standort mit Blickrichtung in die Nebenrichtung eingenommen.

Für die Videoaufzeichnungen wurden eine Kamera mit Festplattenspeicher (JVC GZ-NG50E) und eine Kamera mit Bandlaufwerk (Panasonic NV-DS-5) eingesetzt.

### 4.3.2 Auswertungen

Die Videoaufzeichnungen dienten als Grundlage für das Erfassen der folgenden verkehrlichen Kenngrößen und Parameter:

- Verkehrsstrombelastungen einschließlich der Schwerverkehrsanteile,
- Geschwindigkeitsverhalten in der Haupt- und in der Nebenrichtung,
- aktuelles Signalbild,
- auslösendes Ereignis für das Sperren der Hauptrichtung,
- Anzahl der Rotphasen in der Hauptrichtung,
- Standzeiten von Fahrzeugen an der Sichtlinie der Nebenrichtung,
- vom Nebenstrom angenommenen Zeitlücken im Hauptstrom,

- Annäherungsverhalten in der Nebenrichtung.

Die Videoaufzeichnungen wurden durch geschultes Personal gesichtet und o. g. Kenngrößen unter Nutzung eines spezifischen Erfassungsbogens im Excel-Format erfasst. Anschließend wurden die o. g. Kenngrößen ermittelt.

#### 4.4 Beschreibung der untersuchten Knotenpunkte

##### 4.4.1 K1 Gablenberger Hauptstraße/Libanonstraße (Stuttgart)

Der Knotenpunkt Gablenberger Hauptstraße/Libanonstraße befindet sich im Osten von Stuttgart im Stadtteil Gablenberg.

Es handelt sich um eine vierarmige Kreuzung im Zuge einer zweistreifigen innerstädtischen Hauptverkehrsstraße. Alle vier Knotenpunktzufahrten sind angebaut, beidseitig sind Fußwege angeordnet, und es existieren keine gesonderten Fahrradwege. Die Knotenpunktgeometrie ist in Bild 4.1 dargestellt.

Die vorhandene Fußgängerschutzanlage in der südlichen Zufahrt der Gablenberger Hauptstraße wurde 2002 zu einem nicht vollständig signalisierten Knotenpunkt mit Anforderungsmöglichkeit durch Fahrzeuge der Nebenrichtung erweitert.

In der südlichen Zufahrt der Gablenberger Hauptstraße sind in beiden Fahrtrichtungen Bushaltestellen

angeordnet, die durchschnittlich alle 5 Minuten bedient werden. Die Fußgängerfurt in der Gablenberger Hauptstraße wird von ca. 100 Fußgängern pro Stunde genutzt.

Die Libanonstraße ist eine Wohngebietsstraße mit Tempo 30. Die Anbindung der Libanonstraße Ost endet in einer Sackgasse. Das Verkehrsaufkommen ist entsprechend gering.

Die Belastungssituation in der Spitzenstunde geht aus dem in Bild 4.3 beigefügten Verkehrsstrombelastungsplan hervor.

Mit der nicht vollständigen Signalisierung werden in beiden Nebenrichtungen die Standzeiten des jeweils ersten an der Sichtlinie haltenden Fahrzeugs erfasst. Überschreiten diese eine Dauer von 20 Sekunden, wird die Hauptrichtung gesperrt, sofern dort



Bild 4.2: K1 – Libanonstraße, Blickrichtung Westen

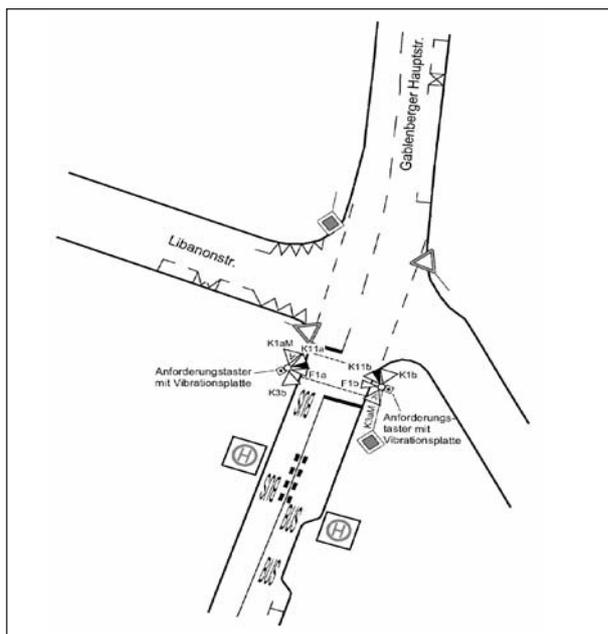


Bild 4.1: K1 – Signallageplan

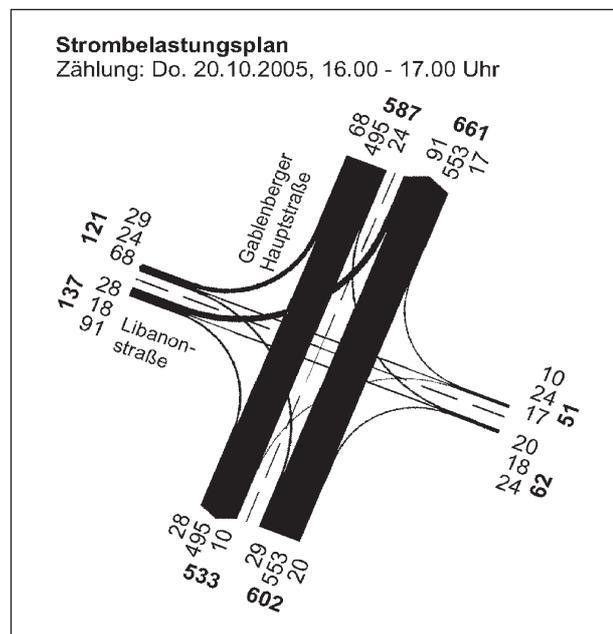
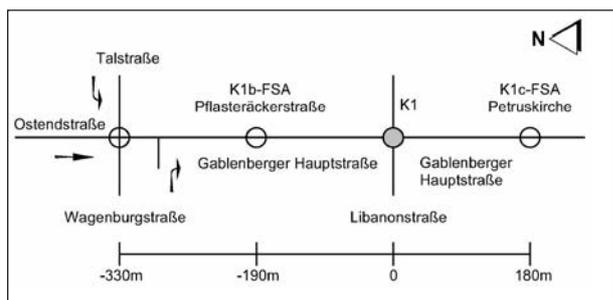


Bild 4.3: K1 – Verkehrsstrombelastung (Kfz/h)



**Bild 4.4:** K1 – benachbarte Lichtsignalanlagen

- eine Mindestgrünzeit von 29 s erreicht bzw. überschritten ist und
- kein Vorrang für den im Zuge der Gablenberger Hauptstraße verkehrenden ÖPNV eingeräumt werden muss.

Die Fußgänger erhalten auf Anforderung sofort Grün, sofern die genannten Bedingungen erfüllt sind. Eine Grünzeitverlängerung für den ÖPNV entfällt, wenn die Wartezeit der Fußgänger mehr als 60 s beträgt.

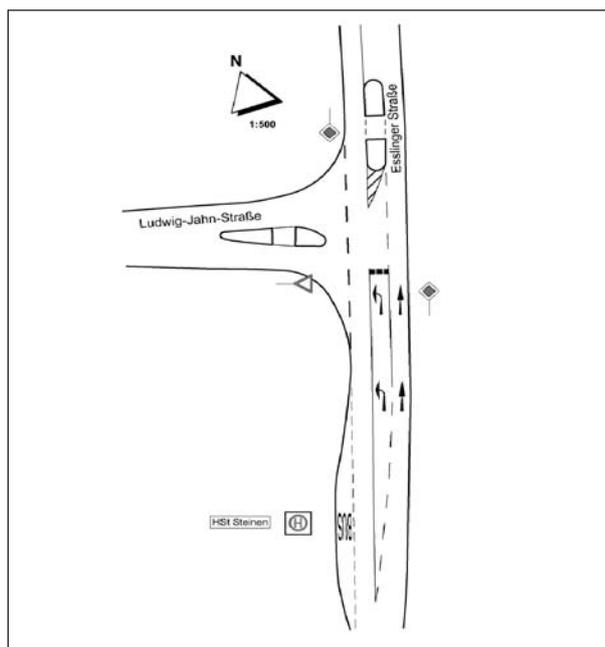
Der Knotenpunkt ist mit 3-feldigen Signalgebern ausgestattet, die zulässige Geschwindigkeit auf der Vorfahrtsstraße beträgt 50 km/h. In der Regel wird jedoch aufgrund der beengten Verhältnisse in der Gablenberger Hauptstraße deutlich langsamer gefahren.

Der Verkehrsablauf am Knotenpunkt K1 wird durch benachbarte Signalanlagen mitbestimmt. Diese verhindern eine gleich verteilte Fahrzeugankunft am Knotenpunkt und müssen deshalb bei der Nachbildung des Verkehrsablaufs im Simulationsmodell berücksichtigt werden (Bild 4.4).

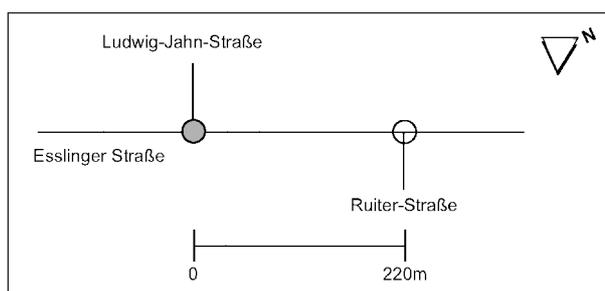
#### 4.4.2 K2 Esslinger Straße/Jahnstraße (Ostfildern)

Der Knotenpunkt K2 Esslinger Straße/Ludwig-Jahn-Straße befindet sich im Ortsteil Nellingen der Stadt Ostfildern. Die nicht vollständige Signalisierung wurde im Jahr 2000 zur Bevorrechtigung der aus der Ludwig-Jahn-Straße nach links in die Esslinger Straße einbiegenden Busse eingerichtet. In diesem Zusammenhang wurde auch für Fahrzeugströme der Nebenrichtung eine Anforderungsmöglichkeit geschaffen, damit diese leichter in die Haupttrichtung einbiegen können (Bild 4.5).

Ca. 220 m vom Beispielknotenpunkt K2 entfernt befindet sich die lichtsignalgeregelte Kreuzung Rüter Straße/Esslinger Straße (Vollsignalisierung), die mit



**Bild 4.5:** K2 – Signallageplan



**Bild 4.6:** K2 – benachbarte Lichtsignalanlage

der hier untersuchten LSA nicht koordiniert ist. Sie sorgt jedoch dafür, dass der Verkehr aus Richtung Norden gepulkt am Beispielknotenpunkt eintrifft, und muss deshalb für eine realitätsnahe Nachbildung des Verkehrsablaufs in die Simulationsuntersuchungen einbezogen werden (Bild 4.6).

Auf der Esslinger Straße dient eine baulich abgesetzte Fahrbahninsel als Querungshilfe für vereinzelt auftretende Fußgänger und Radfahrer, eine signalisierte Fußgängerfurt existiert nicht. An der Sichtlinie der Nebenrichtung wartende Fahrzeuge lösen die Sperrung der Haupttrichtung aus, wenn die Wartezeit mehr als 30 s beträgt und die Mindestdunkeldauer der Haupttrichtung (45 s) abgelaufen ist.

In den Haupt- und in den Nebenrichtungen verkehrende Busse werden absolut bevorrechtigt. Die aus der Nebenrichtung einbiegenden Busse können die Mindestdunkeldauer der Haupttrichtung auf 15 s verkürzen.

Die Lichtsignalanlage ist mit 2-feldigen Signalgebern ausgestattet. Das Signalbild ist aus der Nebenrichtung nicht einsehbar, d. h., einbiegende Kraftfahrer fahren erst dann ein, wenn aus dem Annäherungsverhalten der Fahrzeuge in der Hauptrichtung erkennbar ist, dass diese an den abgesetzten Haltlinien anhalten werden.

Die zulässige Geschwindigkeit auf der Esslinger Straße beträgt 50 km/h. Aus der freien Strecke aus Fahrtrichtung Norden kommende Fahrzeuge sind jedoch häufig etwas schneller (Bild 4.7). Die Ludwig-Jahn-Straße liegt in einer Tempo-30-Zone.

Die in Bild 4.8 dargestellten Verkehrsstrombelastungen verdeutlichen, dass nur wenige Fahrzeuge aus der Ludwig-Jahn-Straße ein- oder in diese abbiegen. Stärkste Abbiegebeziehung sind die Linkseinbieger aus der Ludwig-Jahn-Straße mit 99 Kfz/h.

Der Knotenpunkt wird auch vom ÖPNV in dichtem Takt befahren. In der Nachmittagsspitzenstunde



Bild 4.7: K2 – Esslinger Straße, Blickrichtung Osten

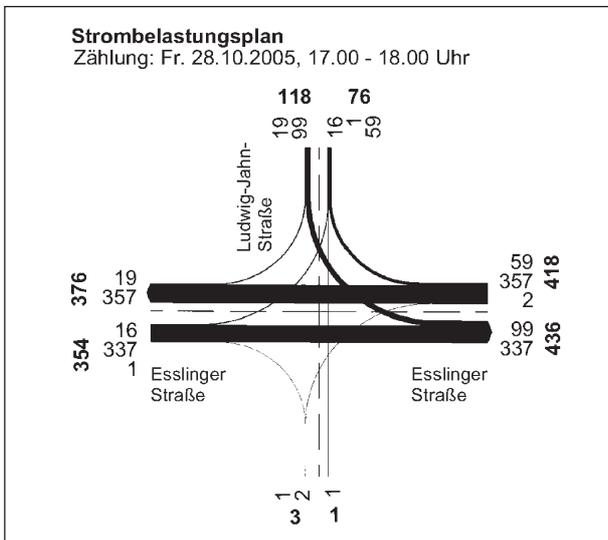


Bild 4.8: K2 – Verkehrsstrombelastung (Kfz/h)

fahren in der Nebenrichtung über die Haltestelle Ludwig-Jahn-Straße 5 Busse stadtaus- und 4 Busse stadteinwärts. In der Hauptrichtung verkehren 10 Busse/h.

#### 4.4.3 K3 Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße (Ostfildern)

Der Knotenpunkt K3 verknüpft die Hindenburgstraße mit der Otto-Schuster-Straße. Die Hindenburgstraße ist eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße mit regem Einkaufs- und Geschäftsverkehr (Bild 4.9). Über die Otto-Schuster-Straße (Nord) wird die neu eingerichtete Endhaltestelle der Stadtbahn angeschlossen.

Der Knotenpunkt wird im Zuge der Hindenburgstraße in beiden Fahrtrichtungen von Bussen befahren. Zudem verkehren Busse in der Relation Hindenburgstraße (Ost) -> Otto-Schuster-Straße (Nord). Für alle Busfahrbeziehungen sind Vorrangschaltungen realisiert.

Die nicht vollständige Signalisierung wurde im Zusammenhang mit dem Stadtbahnneubau im Jahr 2000 erweitert. Neben der Reduzierung der Wartezeiten des motorisierten Individualverkehrs (MIV) der Nebenrichtung und der Priorisierung des ÖPNV dient die Anlage zur Sicherung des Verkehrsraums für die in die Otto-Schuster-Straße abbiegenden Busse, deren Schleppkurven die Aufstellflächen der Nebenrichtungsfahrzeuge im Bereich der Sichtlinie komplett überdecken (Bild 4.10).

In der Hauptrichtung sind 3-feldige Signalgeber installiert. Der in der Nebenrichtung zur Sicherung des Verkehrsraums eingerichtete Signalquerschnitt ist mit 2-feldigen Signalgebern ausgestattet. Der Verkehr wird an diesem Querschnitt situationsab-



Bild 4.9: K3 – Otto-Schuster-Straße, Blickrichtung Süden

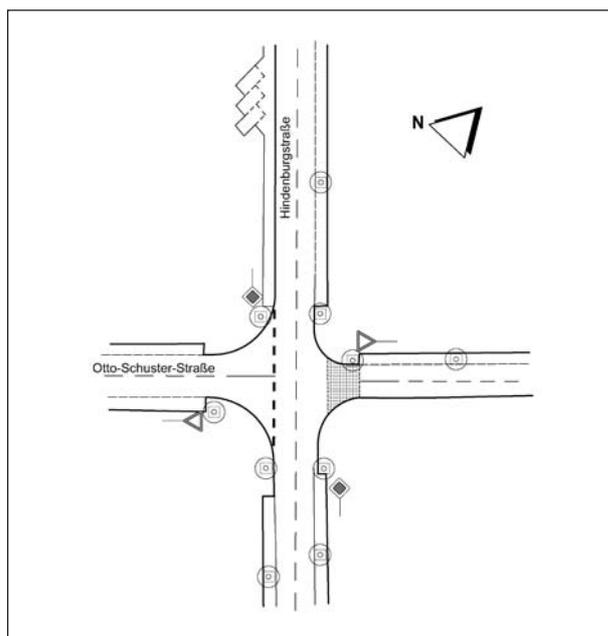


Bild 4.10: K3 – Signallageplan

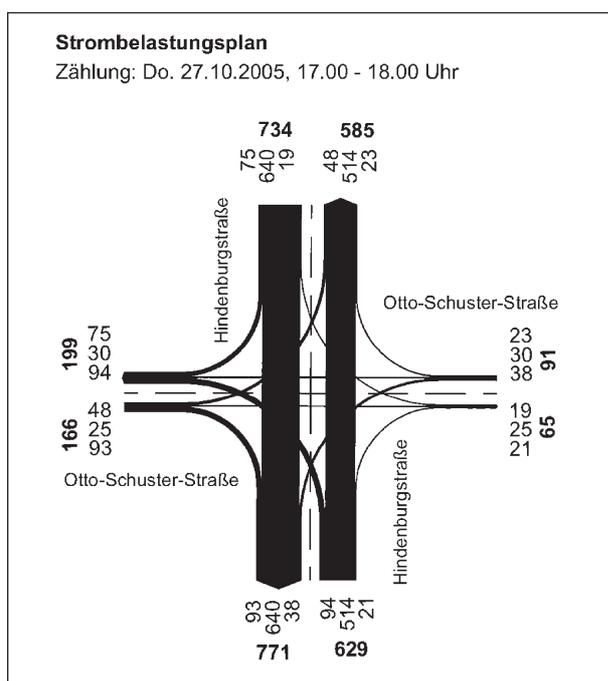


Bild 4.11: K3 – Verkehrsstrombelastung (Kfz/h)

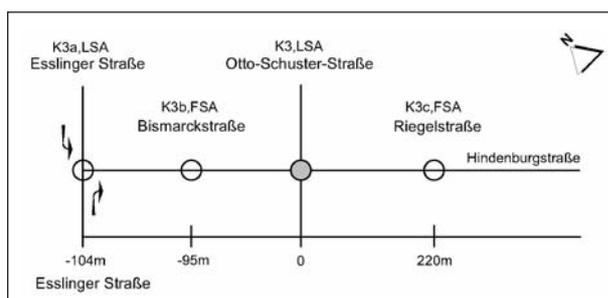


Bild 4.12: K3 – benachbarte Lichtsignalanlagen

hängig nur dann aufgehalten, wenn aus der Hauptrichtung Busse nach rechts abbiegen.

In der westlichen Knotenpunktzufahrt ist eine Fußgängerschutzanlage mit Anforderungstastern angeordnet. Hier überqueren viele Fußgänger und Radfahrer.

Die Fußgänger, die Fahrzeuge der beiden Nebenrichtungen und die Busse können die Hauptrichtung sperren. Eine Sperrung durch den MIV erfolgt, wenn die Standzeiten an der Sichtlinie 30 s überschreiten und für die Hauptrichtung eine Mindestfreigabezeit von 40 s gewährleistet ist. Bei Buseingriffen kann die Mindestfreigabezeit der Hauptrichtung auf 15 s gekürzt werden.

Der Knotenpunkt ist zu den Spitzenzeiten des Verkehrsaufkommens stark belastet. Die beigefügten Verkehrsstrombelastungen verdeutlichen, dass in der Hauptrichtung eine hohe Verkehrsnachfrage vorliegt und vergleichsweise viel Verkehr in bzw. aus Richtung Stadtbahnendhaltestelle fährt (Bild 4.11).

In der Nähe des Beispielknotenpunkts liegen weitere Lichtsignalanlagen, welche den Verkehrsablauf am Knotenpunkt beeinflussen und deshalb ebenfalls im Simulationsmodell abgebildet werden müssen (Bild 4.12).

#### 4.4.4 K4 Gebersheimer Straße/Schweizermühle (Leonberg)

Am Knotenpunkt K4 werden über die Nebenrichtung Schweizermühle ein kleineres Gewerbegebiet und ein Einkaufsmarkt an die Gebersheimer Straße angebunden. Die Verkehrsbelastung der Nebenrichtung ist mit 95 Kfz/h in der Nachmittagsspitzenstunde vergleichsweise niedrig (Bild 4.13). Zum Zeitpunkt der Einführung der nicht vollständigen Signalisierung war der angesprochene Einkaufsmarkt der einzige im weiten Umkreis, sodass zu diesem Zeitpunkt ein deutlich höheres Verkehrsaufkommen zu bewältigen war. Mittlerweile haben sich in der näheren Umgebung weitere Einkaufsmärkte angesiedelt. In der Folge ist die Verkehrsnachfrage für die Nebenrichtung deutlich zurückgegangen.

Die nicht vollständige Signalisierung soll den Fahrzeugen der Nebenrichtung das Einbiegen in die Hauptrichtung erleichtern und zugleich Nachteile beim Einbiegen infolge eingeschränkter Sichtverhältnisse mildern. Deshalb wurde beidseits der Einmündung jeweils ein Signalquerschnitt eingerichtet, an welchem die Fahrzeuge der Hauptrichtung mit-

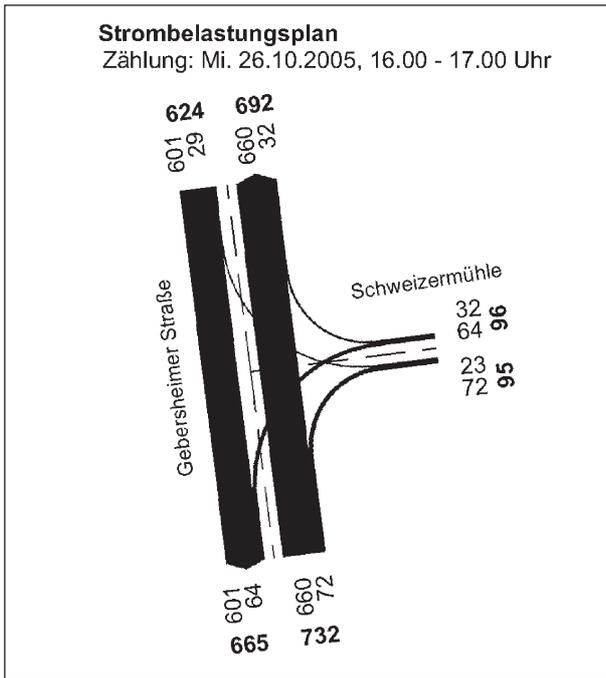


Bild 4.13: K4 – Verkehrsstrombelastung (Kfz/h)

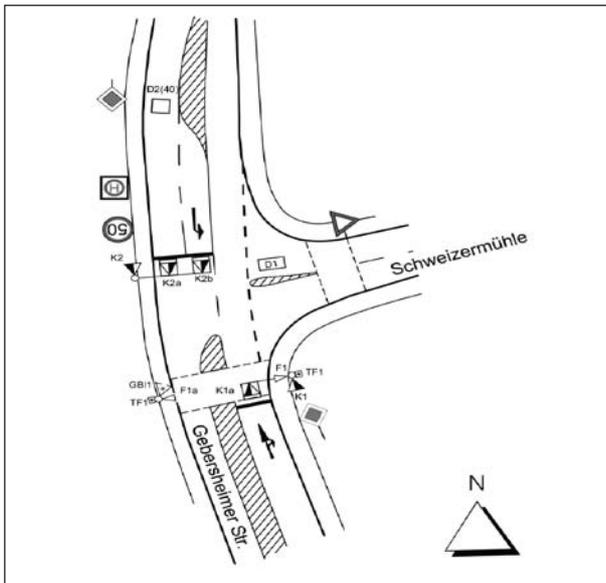


Bild 4.14: K4 – Signallageplan

tels Zweifeldsignalgebern aufgehalten werden können. Im Schatten des Linksabbiegestreifens ist eine signalisierte Fußgängerfurt eingerichtet, welche auf Anforderung bedingt verträglich mit der Nebenrichtung freigegeben wird (Bild 4.14).

Für die Bedienung der Fußgänger bzw. des Kfz-Verkehrs der Nebenrichtung wird die Hauptrichtung gesperrt, wenn deren Anforderungsdauer 20 s überschreitet und die Hauptrichtung mindestens 20 s frei hatte. Sofern dichter Verkehr in der Hauptrichtung vorliegt, kann die Bedienung der Ne-

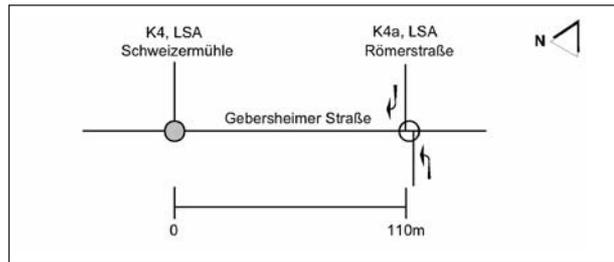


Bild 4.15: K4 – benachbarte Lichtsignalanlagen



Bild 4.16: K4 – Schweizer Mühle, Blickrichtung Westen

benrichtung über den Wartezeitgrenzwert hinaus um bis zu 5 s verzögert werden.

Südlich des Knotenpunktes befindet sich in ca. 110 m Abstand eine vollsignalisierte Kreuzung (Gebersheimer Straße/Römerstraße). Zwischen beiden Knotenpunkten erfolgt ein Datenaustausch, um eine verkehrsabhängige Koordination zu ermöglichen. Für am Nachbarknotenpunkt startende Pulks wird am Beispielknotenpunkt K4 in der Hauptrichtung eine koordinierte Freigabezeit von mindestens 15 s gewährleistet. Der Nachbarknotenpunkt muss deshalb in das Simulationsmodell einbezogen werden (Bild 4.15).

Aus Fahrtrichtung Norden fließen die Fahrzeuge der Hauptrichtung aus einer Gefällestrecke ebenfalls gepulkt zu. Dieses Verhalten wird im Simulationsmodell durch Berücksichtigung einer vergleichsweise großen Streuung der Fahrzeuggeschwindigkeiten nachgebildet.

Einen Überblick über die Örtlichkeit gibt das beigefügte Foto (Bild 4.16).

#### 4.4.5 K5 L 1110 Südumgehung/Im Erlengrund (Bietigheim-Bissingen)

Bei dem Außerortsknotenpunkt K5 handelt es sich um eine Kreuzung im Verlauf der Südumfahrung



**Bild 4.17:** K5 – Südumgehung, Blickrichtung Süd-Osten

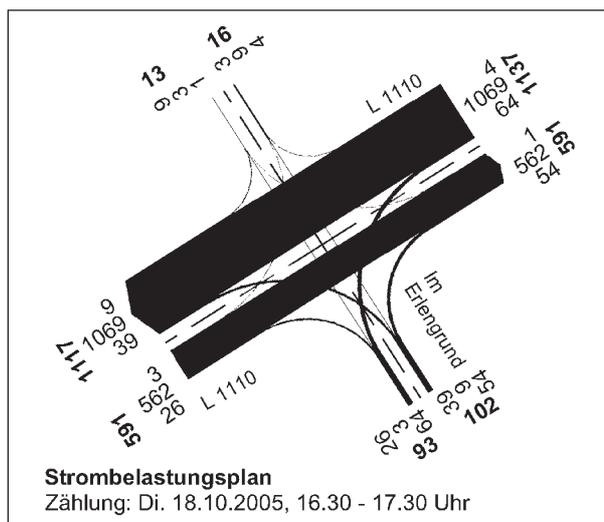
von Bietigheim-Bissingen (Landesstraße L 1110), an welcher über die Straße „Im Erlengrund“ eine Großgärtnerei und Einzelanwesen angeschlossen sind (vgl. Bilder 4.17 und 4.19).

Aufgrund der sehr starken Belastungen in der Hauptrichtung (Bild 4.18) dient die nicht vollständige Signalisierung vorrangig als Einfahrhilfe für die Fahrzeuge der Nebenrichtung. Die im Zusammenhang mit der nicht vollständigen Signalisierung eingerichtete Fußgängerfurt wird nur gelegentlich genutzt. Sie wird auf Anforderung bedingt verträglich mit den Nebenrichtungen freigegeben.

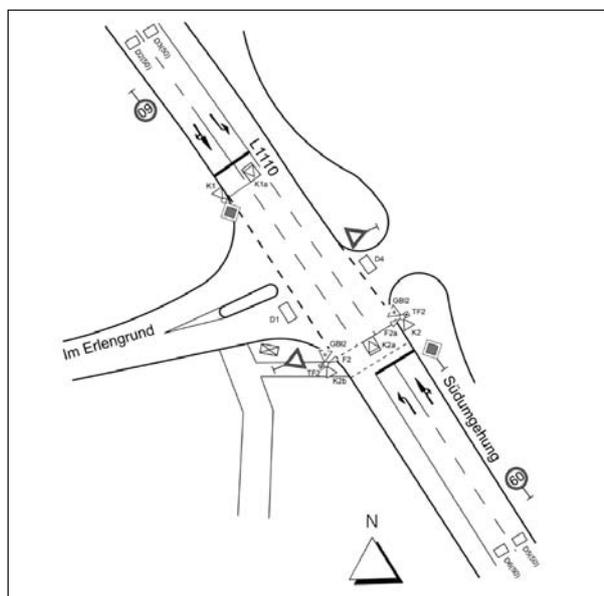
Die zulässige Geschwindigkeit auf der Südumfahrung beträgt im Knotenpunktbereich 70 km/h. In Fahrtrichtung Nord liegt vor dem Knotenpunkt eine lange Gerade, in Gegenrichtung kommen die Fahrzeuge aus einem ca. 300 m entfernten Tunnelabschnitt, in welchem Tempo 60 vorgeschrieben ist. Aufgrund der hohen Verkehrsbelastung der Südumgehung entstehen beim Einbiegen aus der Nebenrichtung lange Wartezeiten. Feldbewuchs erschwert in den Sommermonaten die Sicht für ein-fahrende Fahrzeuge (Bild 4.17).

Durch die nicht vollständige Signalisierung wird die Hauptrichtung unterbrochen, wenn

- in der Nebenrichtung für Kfz oder Fußgänger Wartezeiten von mehr als 30 s auftreten und
- in der Hauptrichtung der Verkehr für eine Dauer von mindestens 10 s bedient wurde und
- bei Erreichen des Wartezeitgrenzwerts der Verkehr in der Hauptrichtung seine Freigabe wegen des starken Verkehrsaufkommens und der auftretenden Pulks nicht für weitere 47 s verkehrsabhängig verlängern möchte.



**Bild 4.18:** K5 – Verkehrsstrombelastung (Kfz/h)



**Bild 4.19:** K5 – Signallageplan

Die Nebenrichtung kann die Sperrzeit der Hauptrichtung von mindestens 9 s bis auf 20 s verkehrsabhängig verlängern.

Die Hauptrichtung wird mit 2-feldigen Signalgebern mit Leuchtfelddurchmesser 300 mm signalisiert. Die Bemessungsschleifen der Hauptrichtung sind ca. 50 m vor den zugehörigen Haltlinien installiert.

#### 4.4.6 K6 Kuhberggring/Grimmfinger Weg (Ulm)

Der Knotenpunkt K6 Kuhberggring/Grimmfinger Weg liegt südlich von Ulm und östlich des Stadtteils Grimmelfingen. Der Knotenpunkt ist nach Lage und Charakteristik ein Außerortsknotenpunkt. Als Wohnvorort von Ulm prägt der Berufsverkehr das



Bild 4.20: K6 – Kuhbergring, Blickrichtung Süden

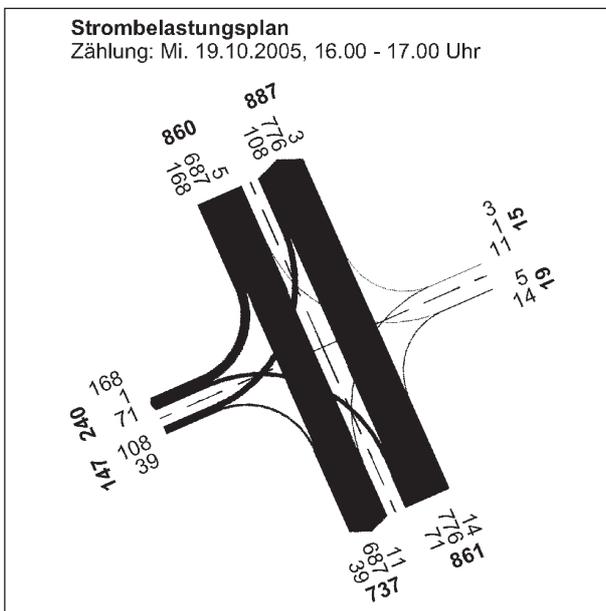


Bild 4.21: K6 – Verkehrsstrombelastung (Kfz/h)

Verkehrsgeschehen in der westlichen Nebenrichtung (Rathausstraße). Die 2. Nebenrichtung (Grimmelfinger Weg) ist nicht so stark belastet und war zum Zeitpunkt der Erhebung aufgrund von Bauarbeiten nur für Anlieger freigegeben. Der Kuhbergring weist von Ulm kommend in Fahrtrichtung Süden ein Längsgefälle von ca. 4 % auf, die Sichtbedingungen sind gut. Für Fußgänger und Radfahrer existiert eine eigene Unterführung (Bild 4.20).

Die Verkehrsstrombelastungen verdeutlichen die hohen Belastungen in den Hauptrichtungen und die Bedeutung des über die Rathausstraße ein- bzw. ausbiegenden Berufsverkehrs.

Die nicht vollständige Signalisierung wurde im Jahr 2001 errichtet, weil der Knotenpunkt Unfallhäufungsstelle war. Die Lichtsignalanlage ist durchgehend in Betrieb und in der Hauptrichtung mit 2-feldigen Signalgebern mit Leuchtfelddurchmessern

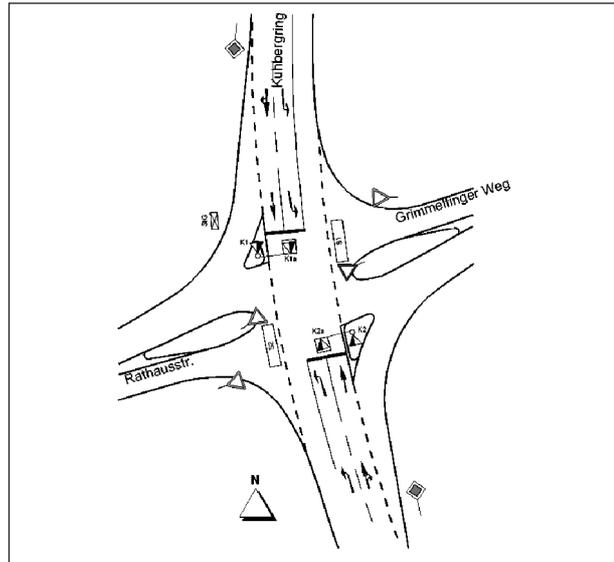


Bild 4.22: K6 – Signallageplan

von 300 mm ausgestattet. Die zulässige Geschwindigkeit im Knotenpunktbereich ist auf 70 km/h beschränkt.

Für die Bedienung der Nebenrichtung wird die Hauptrichtung gesperrt, sofern die Wartezeiten in den Nebenrichtungen einen Grenzwert von 45 s überschreiten und in der Hauptrichtung deren Mindestdunkeldauer von 10 s abgelaufen ist. Die Nebenrichtung kann die Sperrzeit der Hauptrichtung verkehrsabhängig von 3 s auf 20 s verlängern.

## 4.5 Ergebnisse

### 4.5.1 Verkehrsbelastungen

Die in Tabelle 4.1 angegebenen Verkehrsbelastungen beziehen sich auf die aus den Videoaufzeichnungen ermittelten Verkehrsbelastungen am Nachmittag (Spitzenstunde). Ausgewiesen sind die Zuströme der Haupt- (HR) und Nebenrichtung (NR) in Kfz/h, die über den Verkehrsknotenpunkt fahren.

Bei allen sechs Beispielknotenpunkten ist die Verkehrsbelastung in der Hauptrichtung deutlich höher als in der Nebenrichtung. Der Belastungsanteil der Nebenrichtung beträgt innerorts unter 20 % und außerorts unter 10 % der Gesamtbelastung. Die erhobenen Schwerverkehrsanteile liegen allesamt im niedrigen Bereich (< 6 %).

### 4.5.2 Anzahl der Rotphasen in der Hauptrichtung

Die Anforderung einer Rotschaltung in der Hauptrichtung kann bei nicht vollständigen Signalisierun-

	innerorts			außerorts		
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Zufluss HR	1.189 Kfz/h	1.268 Kfz/h	1.363 Kfz/h	1.356 Kfz/h	1.728 Kfz/h	1.721 Kfz/h
Zufluss NR	188 Kfz/h	140 Kfz/h	257 Kfz/h	96 Kfz/h	115 Kfz/h	162 Kfz/h
Anteil NR	13,6 %	9,9 %	15,9 %	6,6 %	6,2 %	8,6 %
Zufluss ges.	1.377 Kfz/h	1.408 Kfz/h	1.620 Kfz/h	1.452 Kfz/h	1.843 Kfz/h	1.883 Kfz/h
querende Fg	97 Fg/h	12 Fg/h	79 Fg/h	10 Fg/h	4 Fg/h	keine
SV-Anteil	3,6 %	1,8 %	2,2 %	2,2 %	3,9 %	5,2 %

Tab. 4.1: Verkehrsbelastungen für die Beispielknotenpunkte (Nachmittagsspitze)

Ursachen	innerorts			außerorts		
	K1 Rot/h	K2 Rot/h	K3 Rot/h	K4 Rot/h	K5 Rot/h	K6 Rot/h
FG/Rad (HR)	37	/	33	1	4	/
Kfz (NR)	20	17	14	16	17	14
ÖPNV	/	5	9	0	0	/
Gesamt	57	22	56	17	21	14
Anteil Kfz [%]	35	77	25	94	81	100

Tab. 4.2: Rotphasenanforderungen und Ursachen für die Beispielknotenpunkte (Nachmittagsspitze)

Einbiegen/ Kreuzen	innerorts			außerorts		
	K1 Kfz/h	K2 Kfz/h	K3 Kfz/h	K4 Kfz/h	K5 Kfz/h	K6 Kfz/h
bei Grün	42	97	57	73	67	110
bei Rot	95	41	109	23	35	37
gesamt	137	138	166	96	102	147
Anteil „bei Rot“ [%]	69,3	29,7	65,7	24,0	34,3	25,2

Tab. 4.3: Einbiegen/Kreuzen für die Beispielknotenpunkte in Abhängigkeit vom Signalbild (Nachmittagsspitze)

gen i. d. R. unterschiedliche Ursachen haben. Neben überquerenden Fußgängern, Radfahrern und Fahrzeugen der Nebenrichtung können auch einbiegende Fahrzeuge des öffentlichen Nahverkehrs ein rotes Signalbild für die Hauptrichtung anfordern. Die Anforderung geschieht entweder per Drucktaster, Induktionsimpuls oder Datentelegramm. In Abhängigkeit von der Steuerlogik erfolgt die Anforderung entweder unmittelbar oder zeitversetzt.

Die unterschiedlichen Häufigkeiten und Ursachen für eine Rotphasenanforderung an den 6 Beispielknotenpunkten weist die Tabelle 4.2 aus.

Im innerörtlichen Bereich überlagern sich die Rotphasenanforderungen von Fußgängern und Fahrzeugen der Nebenrichtung, d. h., die Kraftfahrer nutzen häufig das von einem Fußgänger angeforderte Rotsignal zeitgleich mit. Außerorts ist eine

Rotlichtanforderung vielfach auf in der Nebenrichtung wartende Fahrzeuge zurückzuführen.

#### 4.5.3 Einbiegen/Kreuzen in Abhängigkeit vom Signalbild

Das Verhältnis der Kfz-Einbieger bei rot oder grün bzw. dunkel für die Hauptrichtung spiegelt den Nutzen einer nicht vollständigen Signalisierung wider. Je weniger Kraftfahrzeuge der Nebenrichtung bei Grün bzw. Dunkel in der Hauptrichtung einbiegen (können), desto vorteilhafter ist die nicht vollständige Signalisierung aus Sicht der Kraftfahrer.

Wie die Tabelle 4.3 ausweist, nutzen bis zu 70 % der Kraftfahrer Rotphasen für das Einbiegen (K1 und K3), wobei die Anforderung durch die wartenden Fahrzeuge selbst, durch wartende Fahrzeuge

der anderen Nebenrichtungen, durch Fußgänger oder den ÖPNV erfolgt. An den weniger frequentierten Knotenpunkten K2 und K4 sind dies etwa 30 %. Außerorts liegen diese Werte bei 25 bzw. 35 % (K5, K6).

#### 4.5.4 Standzeiten an der Sichtlinie der Nebenrichtung

Eine wichtige Eichgröße waren die durchschnittlichen Kfz-Standzeiten an der Sichtlinie der Nebenrichtung, die gut aus den Videoaufzeichnungen sowie den Simulationen ermittelt werden können. Unter der Standzeit an der Sichtlinie wird die Zeitdauer angesehen, die vom Ankommen an der Sichtlinie bis zur Überquerung bzw. dem Beginn des Einbiegeprozesses verstreicht. Bei einer direkten Einfahrt ohne Halten beträgt die Standzeit an der Sichtlinie null, ansonsten wurden Werte im Sekunden- und vereinzelt im Minutenbereich gemessen. Zum Vergleich der 6 Beispielknotenpunkte sind in der Tabelle 4.4 die mittleren Standzeiten an der Sichtlinie differenziert nach den möglichen Fahrmanövern (Rechts-/Linkseinbiegen (RE/LE), Kreuzen) dargestellt.

Aufgrund des höheren Geschwindigkeitsniveaus an Knotenpunkten im Außerortsbereich sind an den beobachteten Knotenpunkten (K5, K6) die durchschnittlichen Standzeiten an der Sichtlinie größer als innerorts. Die Fahrmanöver Linkseinbiegen und Kreuzen bedingen deutlich längere Standzeiten an der Sichtlinie als das Rechtseinbiegen.

#### 4.5.5 Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten frei fahrender Fahrzeuge wurden stichprobenartig aus den Videoaufzeichnungen ermittelt. Der Messabschnitt war durch den Aufnahmebereich der Videokamera bestimmt. Der begrenzte Messabschnitt und optische Verzerrun-

gen erlaubten nur eine Abschätzung des Geschwindigkeitsniveaus.

#### 4.5.6 Annäherungsverhalten

Für die Abbildung des Annäherungsverhaltens im Simulationsmodell wurden stichprobeartig Videoaufzeichnungen für eine ausgewählte Nebenrichtung erstellt. Dazu wurde gegenüber der ausgewählten Nebenrichtung ein leicht versetzter Kamerastandort eingenommen, von dem aus ca. 50 m der Nebenrichtung eingesehen werden konnten. Zudem wurde das Annäherungsverhalten während der Messungen durch Verfolgungsfahrten einzelner Fahrzeuge mit einem Pkw überprüft.

#### 4.5.7 Zeitlücken

Für die Simulation des Verkehrsablaufs ist die Versorgung der Grenzzeitlücke erforderlich, die jene Zeitgrenze im vorfahrtberechtigten Strom kennzeichnet, die von Fahrzeugführern aus der Nebenrichtung zum Einbiegen in bzw. Kreuzen des Hauptstroms zu gleichen Teilen (50 %) genutzt und abgelehnt wird.

Um ortsspezifische Besonderheiten zu berücksichtigen, wurden die Videoaufzeichnungen für den Beispielknotenpunkt K1 hinsichtlich der angenommenen und der abgelehnten Zeitlücken ausgewertet. Die Auswertungen ergaben jedoch, dass der Erhebungsumfang – vor allem was die angenommenen Zeitlücken betrifft – bei weitem nicht ausreicht, um eine statistisch gesicherte Grenzwertbestimmung vorzunehmen.

Insofern wurde in den Simulationsmodellen je nach Örtlichkeit auf die Grenz- und Folgezeitlücken nach HARDERS (1968, 1976) bzw. dem HBS (2001/2005) zurückgegriffen (vgl. hierzu auch WEINERT (2002)).

Fahrmanöver	innerorts			außerorts		
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
	s	s	s	s	s	s
RE	3,9	2,0	5,1	7,2	6,5	5,4
LE	8,5	9,6	12,0	10,8	20,8	15,4
Kreuzen	8,6	k. A.	9,6	/	16,6	k. A.
Mittelwert	7,6	8,1	7,6	9,6	12,8	12,9

Tab. 4.4: Mittlere Standzeiten [s] an der Sichtlinie von Fahrzeugen der Nebenrichtung, differenziert nach Fahrmanöver (Nachmittagsspitze)

## 4.6 Zusammenfassung

Die ausgewählten Beispielknotenpunkte decken die meisten der laut Befragung (vgl. Kapitel 3) mitgeteilten Anwendungsfälle ab. Die ausgewählten Beispiele verdeutlichen, dass trotz einheitlicher Zielsetzungen unterschiedliche Lösungen für die Realisierung nicht vollständiger Signalisierungen bestehen, die sowohl Einfluss auf die Verkehrsqualität wie auch auf die Verkehrssicherheit haben können. Die unterschiedlichen Lösungsansätze betreffen den Entwurf, die Signalisierung und die Steuerung.

Hinsichtlich des Entwurfs ist Folgendes hervorzuheben:

- Der Grundsatz, bei einer nicht vollständigen Signalisierung die Haltlinien in der Hauptrichtung möglichst weit von den Konfliktflächen abzusetzen, damit die Fahrzeuge der Nebenrichtung das Annäherungsverhalten der Fahrzeuge in der Hauptrichtung frühzeitig zutreffend beurteilen können, wird häufig nicht eingehalten. Meist konnten die Haltlinien insbesondere im Zusammenhang mit der Einbeziehung von Fußgängerfurten oder anderen baulichen Randbedingungen nicht entsprechend dieser Forderung abgerückt werden. In der Regel betragen die Abstände zur Konfliktfläche 10-15 m. Besonders kurz (< 5 m) sind die Abstände an den Beispielknotenpunkten K4 und K6.

Hinsichtlich der Signalisierung sind die folgenden Punkte von Bedeutung:

- Bei der Hälfte der Beispielknotenpunkte sind in der Hauptrichtung 3-feldige Signalgeber angeordnet. In der Grundstellung hat die Hauptrichtung Grün. Diese Regelung wird insbesondere dort angetroffen, wo Fußgängerfurten in die nicht vollständige Signalisierung eingebunden sind (K1, K3, K5). An den übrigen Beispielknotenpunkten sind in der Hauptrichtung 2-feldige Signalgeber installiert. In der Grundstellung ist das Signalbild dunkel.
- Bei vier der sechs Beispielknotenpunkte werden Fußgänger in die nicht vollständige Signalisierung einbezogen. Drei dieser Fußgängerfurten (K3, K4, K5) werden nicht unter vollem Signalschutz, sondern bedingt verträglich mit der unsignalisierten Nebenrichtung bedient, sodass Fahrzeuge der Nebenrichtung an der Furt unter

Beachtung des Vorrangs der Fußgänger frei abfließen können.

- Bei vier der sechs Beispielknotenpunkte sind die Detektionsfelder in der Nebenrichtung so angeordnet, dass alle einbiegenden bzw. kreuzenden Fahrzeuge erfasst werden. Bei den übrigen (K4, K5) werden nur die Linkseinbieger – und ggf. auch die kreuzenden – Fahrzeuge erfasst. In der Regel ist dies ohne Bedeutung, da die Rechtseinbieger häufiger Lücken im übergeordneten Strom finden und dann Eingriffe ohnehin nicht erforderlich sind. Abgesehen davon muss die Steuerung der Signalanlage so eingestellt sein, dass beim Einbiegen ausholende Rechtseinbieger keinen Eingriff in den Verkehrsablauf verursachen.
- Bei vier der sechs Beispielknotenpunkte (K1, K3 bis K5) sind an den Furten über die Hauptrichtung die Fußgängersignalgeber bzw. die Hilfsignalgeber (gelbes Blinklicht) so angeordnet, dass diese von an der Sichtlinie wartenden Fahrzeugen der Nebenrichtung im Prinzip eingesehen werden können. In der Folge können ortskundige Fahrer in Kenntnis des aktuellen Signalisierungszustandes einbiegen oder kreuzen.

Hinsichtlich der Steuerung sind die folgenden Randbedingungen festzuhalten:

- Die Wartezeitgrenzwerte, ab denen zugunsten der Nebenrichtung ein Eingriff in die Hauptrichtung erfolgt, liegen vorwiegend zwischen 20 und 30 s.
- Für die Hauptrichtung werden stets Mindestfreigabezeiten bzw. Mindestdunkeldauern zwischen 15 und 20 s gewährleistet. Sofern keine ÖPNV-Eingriffe zu berücksichtigen sind, können auch längere Mindestfreigabezeiten vereinbart sein.
- Der Abbruch der Hauptrichtung erfolgt meist ohne Rücksicht auf die dort vorliegende, aktuelle Verkehrssituation. Eine verkehrsabhängige Verlängerung der Freigabezeiten in der Hauptrichtung ist nur an zwei der sechs betrachteten Knotenpunkte realisiert (K4, K5).
- Die Nebenrichtungen können die Sperrzeit der Hauptrichtung verkehrsabhängig verlängern (K2, K3, K5, K6). Nur an den Anlagen, an welchen für die Bedienung der Nebenrichtungen die Freigabezeiten der parallelen Fußgängerfur-

ten maßgebend sind, wird auf die verkehrshängige Verlängerung der Sperrzeit der Hauptrichtung verzichtet (K1, K4).

Die getroffene Auswahl an untersuchten Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung wurde aus einer Vielzahl von Meldungen festgelegt. Trotz lokaler Besonderheiten werden sie als typische Anwendungen angesehen. Die in den vorstehenden Tabellen ausgewiesenen Kennwerte kennzeichnen die Situation an den sechs ausgewählten Beispielknotenpunkten und waren Grundlage für die Versorgung und Eichung der Simulationsmodelle.

## 5 Simulation des Verkehrsablaufs

### 5.1 Zielsetzung

Ein wesentliches Kriterium für die Beurteilung der unterschiedlichen Signalisierungsformen ist die mit diesen erreichbare Qualität des Verkehrsablaufs. Maßgeblich für die Einstufung der Verkehrsqualität ist nach dem HBS die mittlere Wartezeit. Sie kann im Prinzip für die sechs in die Untersuchung einbezogenen Beispielknotenpunkte aus den Videoaufzeichnungen (siehe Kapitel 4) abgeleitet und dargestellt werden. Eine Einstufung hinsichtlich der Verkehrsqualität war jedoch nur für die realisierten Signalisierungsformen und die während der Messung vorliegende Verkehrssituation möglich. Für weiterführende Erkenntnisse ist dies jedoch nicht ausreichend. Folgende Fragestellungen bedürfen der Klärung:

- Welche Verkehrsqualität kann mit den unterschiedlichen Signalisierungsformen bei identischer Ausgangssituation erreicht werden?
- Welche Verkehrsqualität stellt sich für die einzelnen Signalisierungsformen bei Variation der Ausgangssituation ein?
- Gibt es hinsichtlich der Verkehrsqualität Grenzen für den Einsatz der betrachteten Signalisierungsformen?

Für die Untersuchung der vorgenannten Aspekte musste der Verkehrsablauf an den sechs Beispielknotenpunkten jeweils in einem Simulationsmodell nachgebildet werden. Hierzu waren die folgenden Arbeitsschritte erforderlich:

- Abbilden des Netzmodells mit originalgetreuer Darstellung der Knotenpunktgeometrie unter Einbeziehung der drei alternativen Signalisierungsformen.
- Nachbilden der Steuerung für die alternativen Signalisierungsformen.
- Eichen des Simulationsmodells anhand der Bestandsituation unter Nutzung der aus den Videoaufzeichnungen abgeleiteten und ggf. nachträglich zusätzlich erhobenen Messgrößen.
- Durchführen der Simulationsläufe für einen ausreichend großen Stichprobenumfang.
- Auswerten und Interpretieren der Ergebnisse.

Mit Hilfe der Simulation ließen sich die aufgeworfenen Fragen zunächst nur für jeden der sechs Beispielknotenpunkte einzeln beantworten. Anschließend wurde versucht, auf der Grundlage der Einzelergebnisse Gemeinsamkeiten aufzuzeigen, Unterschiede zu begründen und Einsatzbereiche abzuleiten.

### 5.2 Erstellen der Simulationsmodelle für die nicht vollständige Signalisierung

Für die mikroskopische Simulation wurde das Programm VISSIM in der Version 3.70 der PTV AG, Karlsruhe, eingesetzt. Für eine realitätsnahe Abbildung des Verkehrsablaufs wurde die Knotenpunktgeometrie einschließlich der Zulaufstrecken und ggf. auch der Nachbarknotenpunkte auf der Grundlage aktueller Signallagepläne und Luftbilder nachgebildet.

Versorgt wurden die aus den Messungen abgeleiteten Verkehrsstrombelastungen unter Berücksichtigung des beobachteten Schwerverkehrsanteils, die Wunschgeschwindigkeiten, der Fahrplankontakt des Busverkehrs sowie dessen Haltestellenaufenthalts- und Fahrzeiten. Auch die Fußgängerfrequenzen wurden entsprechend den Videobeobachtungen eingestellt. Hinsichtlich des Beschleunigungs- und Verzögerungsverhaltens der Fahrzeuge wurden die Standardeinstellungen aus VISSIM übernommen.

Zusätzlich mussten die folgenden Versorgungsarbeiten durchgeführt werden:

- Nachbilden und Versorgen der Steuerungssoftware für die nicht vollständige Signalisierung an

den sechs Beispielknotenpunkten unter Berücksichtigung der dort realisierten Verkehrsabhängigkeiten, ggf. unter Berücksichtigung einer Busbevorrechtigung.

Grundlage für das Nachbilden der Steuerungssoftware waren die steuerungstechnischen Unterlagen des Bestands. Die wesentlichen Schaltbedingungen gehen aus Tabelle 5.3 hervor. In einem Fall (Beispielknotenpunkt K1) konnte auf die in SiTraffic Language (TL) erstellte und vor Ort implementierte Originalsoftware zurückgegriffen werden. In zwei weiteren Fällen konnte die in VISVAP erstellte und in VISSIM lauffähige Steuerungssoftware des Bestands eingesetzt werden (Beispielknotenpunkte K2 und K3). Für die Knotenpunkte K4, K5 und K6 wurden die Steuerungen gemäß den vorliegenden verkehrstechnischen Unterlagen in SiTraffic Language (TL) nachgebildet. Die Unterlagen zum Knotenpunkt K4 waren als Flussdiagramm verfügbar. Die Unterlagen zu den Knotenpunkten K5 und K6 wurden über die Baulastträger durch die Signalbaufirma beige stellt.

- Nachbilden der Vorfahrtregelung der unsignalisierten Zufahrten mittels Zeit- und Weglücken.

Zur Nachbildung der Vorfahrtregelung wurde an der Sichtlinie der Nebenrichtung ein Querschnitt definiert, an welchem Fahrzeuge anhalten, wenn in der Hauptrichtung keine ausreichend großen Zeit- und Weglücken vorhanden sind. In VISSIM heißt diese Funktionalität „Querverkehrsstörung“. Das Simulationsmodell VISSIM bietet in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, zu jedem übergeordneten Strom einen eigenen Zeitlückenwert anzugeben. Da in VISSIM standardmäßig nur eine Zeitlücke je Verkehrsstrom versorgt werden kann, waren für das Berücksichtigen von Grenz- und Folgezeitlücken zusätzliche Eingabeschritte und Versorgungsarbeiten erforderlich.

In einem ersten Schritt wurde an der Sichtlinie analog zur ersten „Querverkehrsstörung“ und der zu dieser versorgten Grenzzeitlücke ein weiterer Querschnitt definiert, für welchen als Zeitlücke die Folgezeitlücke eingegeben werden kann.

Im zweiten Schritt wurde definiert, welcher der beiden Querschnitte für die aus der Nebenrichtung kommenden Fahrzeuge jeweils gelten soll. Hierbei wird die Eigenschaft von VISSIM ge-

nutzt, dass die „Querverkehrsstörung“ einem Signalbild zugeordnet werden kann. In der Folge ist die „Querverkehrsstörung“ nur dann aktiv, wenn das dieser zugeordnete Signalbild frei zeigt. Für die beiden Ereignisse „Grenzzeitlücke soll gelten“ bzw. „Folgezeitlücke soll gelten“ wurden daher mit einer gesonderten, im Hintergrund ablaufenden Steuerlogik virtuelle Signalgruppen beeinflusst, die den „Querverkehrsstörungen“ zugeordnet werden.

Im dritten Schritt musste die im Hintergrund ablaufende Steuerlogik versorgt werden, welche wechselweise die Signalgruppen für die Grenz- und die Folgezeitlücken sperrt bzw. freigibt. Dazu wurde an der Sichtlinie ein virtueller Detektor definiert, an welchem geprüft wird, ob er frei gefahren wird (absteigende Flanke). Ist dies der Fall, wird das Signal für die Grenzzeitlücke gesperrt und das Signal für die Folgezeitlücke freigegeben. Für die nun aus der Nebenrichtung kommenden Fahrzeuge gilt die „Querverkehrsstörung“ mit den Folgezeitlücken. Folgt jedoch nicht innerhalb der Folgezeitlücke ein weiteres Fahrzeug am Detektor, wurde das Signal für die Folgezeitlücke gesperrt und das Signal für die Grenzzeitlücke freigegeben. Für das nächste ankommende Fahrzeug gilt wieder die Grenzzeitlücke.

Bei der Versorgung der Grenz- und Folgezeitlücken wurde auf die Werte von HARDERS (1968, 1976) zurückgegriffen. Wie der Eichprozess (siehe Abschnitt 5.3) zeigt, lässt sich mit diesen für die Innerortsknotenpunkte eine Übereinstimmung mit dem beobachteten Verkehrsablauf besser erreichen als mit den Werten nach dem HBS (2001/2005). Deren Datengrundlage stammt vorwiegend aus Verkehrserhebungen außerorts (vgl. hierzu auch WEINERT (2002)).

- Nachbilden eines unterschiedlichen Fahrverhaltens der Fahrzeuge aus der Nebenrichtung bei Erkennen des Signalzustands „Gesperrt“ für die Hauptrichtung.

Ohne zusätzliche Versorgungsarbeiten würden im Programm VISSIM für die Fahrzeuge aus der Nebenrichtung auch bei Signalbild „Gesperrt“ in der Hauptrichtung weiterhin die Vorfahrtsregeln mit den o. g. Grenz- und Folgezeitlücken gelten. In der Realität erkennen jedoch die Fahrer in der Nebenrichtung eine Verzögerung der Fahrzeuge in der Hauptrichtung bzw. verlassen sich früh-

zeitig darauf, dass die Fahrzeuge bei „Gesperrt“ anhalten. Durch die Definition einer weiteren „Querverkehrsstörung“ und einer virtuellen Signalgruppe kann mit Schalten dieser Signalgruppe auf Grün und gleichzeitigem Sperren der o. g. Signale für die Grenz- und Folgezeitlücken die Zeitlücken auf 0 s gesetzt werden. In der Folge können die Fahrzeuge der Nebenrichtung unabhängig vom Verkehr der Hauptrichtung einbiegen.

- Nachbilden des Annäherungsverhaltens im Knotenpunktbereich.

Die aus den Nebenrichtungen einbiegenden und kreuzenden Fahrzeuge nähern sich der Sichtlinie mit einer an die örtliche Situation angepassten Geschwindigkeit. Dabei spielen Geometrie, parkende Fahrzeuge und die Sichtverhältnisse eine Rolle. Zur Modellierung dieser Situation wurden auf den Zulaufstrecken in der Nebenrichtung abgestufte Langsamfahrstrecken eingerichtet. Grundlage hierfür waren die Erkenntnisse aus den Videobeobachtungen vor Ort sowie ergänzend durchgeführte Messfahrten.

### 5.3 Eichen der Simulationsmodelle

Mit den vollständig versorgten Simulationsmodellen wurde geprüft, ob sich für die nicht vollständig signalisierten Beispielknotenpunkte ein Verkehrsablauf nachbilden lässt, der dem realen, während der Videoaufzeichnungen aufgetretenen Verkehrsablauf entspricht. Grundlage für die Prüfung waren

- die Anzahl der bedarfsabhängig geschalteten Rotphasen in der Hauptrichtung, differenziert nach den einzelnen Fahrbeziehungen und den Verursachern (Fußgängeranforderung, MIV, Bus),
- die Verkehrsstrombelastungen,
- die Standzeiten an der Sichtlinie, differenziert nach den einzelnen Fahrbeziehungen.

(Ausgewertet und verglichen wurden die Standzeiten der in der Nebenrichtung an der Sichtlinie jeweils in erster Position haltenden Fahrzeuge. Ausschlaggebend hierfür waren die Videoaufzeichnungen, welche eine Auswertung der Verlustzeit bzw. Wartezeit nicht mit hinreichender Genauigkeit zuließen).

Die Simulationsmodelle wurden an der Verkehrssituation in der nachmittäglichen Spitzenstunde ge-

eicht. Die Eichergebnisse wurden für eine weitere Stunde mit abweichender Verkehrsbelastung überprüft.

Die aus der Videoaufzeichnung ermittelten Sollwerte wurden zur Eichung jeweils mit den Mittelwerten aus 35 Simulationsläufen verglichen.

Nach Auswertung von ersten Simulationsläufen hatte sich herausgestellt, dass neben den knotenpunktspezifischen weitere Einflussgrößen berücksichtigt werden müssen, damit sich ein zufriedenstellendes Ergebnis beim Vergleich des Verkehrsablaufs der Simulation mit dem der Videoaufzeichnung einstellt. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Frage, ob die Fahrzeuge in der Hauptrichtung in etwa gleich verteilt oder gepulkt eintreffen. In diesem Zusammenhang musste bei der Eichung der Modelle an den Knotenpunkten K1, K2, K3 und K4 zusätzlich die Steuerungssoftware an benachbarten Lichtsignalanlagen nachgebildet werden (vgl. Abschnitt 4.4). – Wie die Auswertungen gezeigt haben, waren für die Pulkbildung nicht ausschließlich die vorgelagerten Lichtsignalanlagen verantwortlich, sondern auch die Steigungsverhältnisse und der Schwerverkehrsanteil in den Zulaufstrecken (K4). Auch diese wurden entsprechend nachgebildet.

Eines der Auswahlkriterien für die Beispielknotenpunkte war der Anlass für das Einrichten der nicht-vollständigen Signalisierung. Hierzu zählte bei den Knotenpunkten K2 und K3 die Einfahrhilfe für aus den Nebenrichtungen einbiegende Linienbusse. Darüber hinaus mussten jedoch an den Knotenpunkten K1 und K3 und deren Nachbaranlagen auch die im Zuge der Hauptrichtung verkehrenden Linienbusse, deren Fahrplan, Fahrzeiten und Haltestellenaufenthaltszeiten sowie deren Vorrangegriffe in den Verkehrsablauf berücksichtigt werden, um die Eichkriterien zu erfüllen.

Der Eichprozess stellte sich insgesamt als sehr langwierig heraus. Häufig reichten die Erkenntnisse aus den Videoaufzeichnungen allein nicht aus, um den Verkehrsablauf zutreffend nachzubilden. So mussten in die Modelle Erkenntnisse eingepflegt werden, die sich im Zusammenhang mit weiteren Ortsterminen aus Messfahrten im fließenden Verkehr, aus ergänzenden Beobachtungen und durch einen Vergleich der vorliegenden und der vor Ort eingespielten Steuerungssoftware ergaben.

Zwar war für alle sechs Beispielknotenpunkte vor Arbeitsaufnahme die aktuelle Steuergeräteversor-

	Anzahl der Rotphasen/h		
	Videoauswertung	95%-Konfidenzintervall bei 35 Simulationsläufen	
		untere Grenze	obere Grenze
K 1	57	56,99	58,32
K 2	22	21,35	23,63
K 3	56	55,73	56,65
K 4	17	16,00	18,00
K 5	20	19,93	22,12
K 6	14	13,94	15,78

**Tab. 5.1:** Gegenüberstellung der beobachteten Anzahl an Rotphasen/h in der Hauptrichtung und dem 95%-Konfidenzintervall aus 35 Simulationsläufen

gung nachgefragt worden. Sofern jedoch vor Ort Änderungen bzw. Anpassungen direkt in den Steuergeräten erfolgt waren, war nicht sichergestellt, dass deren Dokumentation bei den Betreibern bzw. den Signalbaufirmen vorlag.

Aus folgenden Gründen mussten die den Simulationsmodellen zu Grunde liegende Steuerungen oder das Auswerteverfahren nachträglich angepasst werden:

- Die aktuelle Parameterversorgung vor Ort entsprach nicht der zur Verfügung gestellten Versorgung (K3, K4 und K5).
- Die ausgelieferte Steuerungssoftware war nicht 1:1 in die Gerätesoftware umgesetzt worden (K3).
- Es war ein Detektor falsch aufgelegt (K5).

Letztendlich konnten in einem aufwändigen iterativen Prozess Simulationsmodelle entwickelt werden, welche die Realität mit hinreichender Genauigkeit widerspiegeln. So liegt die Anzahl der aus den Videoaufzeichnungen ermittelten, bedarfsabhängig geschalteten Rotphasen für die Hauptrichtung stets innerhalb des aus den Simulationsläufen ermittelten Konfidenzintervalls (Tabelle 5.1). Diese Aussage gilt in aller Regel auch bei einer Fallunterscheidung nach den einzelnen Fahrbeziehungen (Rechtseinbiegen, Linkseinbiegen, Kreuzen) und einer Differenzierung nach den Verursachern (FG, MIV, Bus), solange für diese der Stichprobenumfang ausreichend groß ist.

Auch die Standzeiten an der Sichtlinie stimmen nach Abschluss des Eichprozesses für Messung und Simulation in der Regel überein (siehe Tabelle 5.2).

	Standzeiten an der Sichtlinie		
	Mittelwert aus der Videoauswertung [s]	95%-Konfidenzintervall bei 35 Simulationsläufen	
		untere Grenze [s]	obere Grenze [s]
K 1	7,6	7,1	8,4
K 2	8,1	7,5	8,4
K 3	7,6	6,4	7,3
K 4	9,6	8,9	9,6
K 5	12,8	9,5	10,8
K 6	12,9	12,4	13,0

**Tab. 5.2:** Gegenüberstellung der mittleren Standzeiten an der Sichtlinie mit dem 95%-Konfidenzintervall aus 35 Simulationsläufen

## 5.4 Erstellen der Simulationsmodelle für den unsignalisierten Zustand

Als Vergleichsfälle waren für die sechs Beispielknotenpunkte die Situationen im unsignalisierten Zustand zu betrachten. Abweichend hiervon wurde am Knotenpunkt K1 die Situation mit signalisierter Fußgängerfurt ohne vorgelagerten Signalquerschnitt und Anforderungsmöglichkeit für die Nebenrichtungen untersucht, da diese Situation der nicht vollständigen Signalisierung vorausging. Die den Simulationsmodellen zu Grunde liegenden Lagepläne sind im Anhang 5.1 beigefügt. In allen Fällen entspricht die Knotenpunktgeometrie derjenigen des nicht vollständig signalisierten Zustands.

## 5.5 Erstellen der Simulationsmodelle für den Zustand mit Vollsignalisierung

Die der Vollsignalisierung zu Grunde liegenden Lagepläne sind dem Anhang 5.3 zu entnehmen. Alle Beispielknotenpunkte werden auch bei Vollsignalisierung vollverkehrsabhängig betrieben. Versatzbedingungen zu Nachbaranlagen werden – soweit erforderlich – durch einen Datenaustausch zwischen den Lichtsignalanlagen verkehrsabhängig sichergestellt (K3 und K4).

An den Knotenpunkten K1 und K3 werden bei Vollsignalisierung aus Gründen der Verkehrssicherheit, aber auch auf Grund der beengten örtlichen Verhältnisse die Verkehre zufahrtweise bedient. Diese Annahme hat wesentlichen Einfluss auf das Steuerungsergebnis, wie sich im Folgenden noch zeigen wird. Die Fußgänger werden bedingt verträglich

Steuerungsparameter	innerorts			außerorts		
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
max. Umlaufzeit [s]	120	120	120	120	110	120
HR mintgr [s]	10	16	20	36	10	15
HR maxtgr [s]	37	76	39	77	41	50
NR mintgr [s]	5	6	7	10	11	7
NR maxtgr [s]	17	32	9	30	19	16
Anzahl Phasen	4	3	4	3	4	4

Tab. 5.3: Übersicht über die Steuerungsparameter bei Vollsignalisierung

zum parallelen Kfz-Verkehr freigegeben. An den Knotenpunkten K2, K4, K5 und K6 werden die Linksabbieger aus der Hauptrichtung gesichert bedient. An den Kreuzungen K5 und K6 werden die Nebenrichtungen auf Anforderung zufahrtweise freigegeben (bei den Knotenpunkten K2 und K4 handelt es sich um Einmündungen, sodass sich dort diese Fallunterscheidung erübrigt).

In den Haupt- und Nebenrichtungen werden die Fahrzeuge detektiert und können ihre Freigabezeit verkehrsabhängig bemessen. Die Nebenrichtungen und die Hauptrichtung überquerende Fußgänger werden nur auf Anforderung bedient. Die Steuerungen sind so parametrisiert, dass sich bei Vorliegen aller Anforderungen und maximaler Bemessung der Verkehrsströme ein Umlauf mit einer maximalen Dauer gemäß Tabelle 5.3 einstellt.

### 5.6 Ermittlung des erforderlichen Stichprobenumfangs

Unabdingbare Voraussetzung für verwertbare Aussagen ist, dass die zu analysierenden Daten die Wirklichkeit mit hinreichender Genauigkeit wiedergeben. Um unverzerrte und repräsentative Angaben über die Kenngrößen des Verkehrsablaufs anhand der Simulation zu gewinnen, musste der hierfür erforderliche Stichprobenumfang so gewählt sein, dass dieser einer zufällig aus der Grundgesamtheit ausgewählten Stichprobe entspricht.

Da die Verlustzeiten der Fahrzeuge in den Haupt- und Nebenrichtungen im Folgenden als wesentliche Kenngröße für die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs (siehe Abschnitt 5.9) herangezogen werden, erfolgte die Ermittlung des erforderlichen Stichprobenumfangs für diesen Parameter.

Er wurde nach SACHS (1971) unter der Voraussetzung, dass die Verlustzeiten normal verteilt sind, wie folgt bestimmt:

Richtung		Verlustzeit		erforderlicher Stichprobenumfang	
		Mittelwert [s]	Standardabw. [s]	Anzahl Fz	Anzahl Sim.-läufe
Gahlenberger Hauptstraße (Nord)		30,8	20,2	165	25
		21,9	18,5	276	1
		21,2	16,4	214	9
Gahlenberger Hauptstraße (Süd)		33,3	18,3	116	5
		20,2	18,8	331	1
		22,3	22,3	386	2
Libanonstraße (West)		17,9	15,2	278	4
		20,4	24,7	563	35
		20,4	31,0	887	35
Libanonstraße (Ost)		17,3	15,7	319	25
		9,3	10,5	493	20
		6,5	7,2	469	19

Tab. 5.4: Erforderlicher Stichprobenumfang für den Beispielknotenpunkt K1

$$n_{\text{erf}} = z_S^2 \left[ \frac{v}{\text{eps}(\mu)} \right]^2$$

Hierin bedeuten:

- $z_S$  Standardnorma lvariable
- $v$  Variationskoeffizient [%]
- $v = 100 \frac{\sigma}{\mu}$
- Standardabweichung der Grundgesamtheit
- $\mu$  Mittelwert der Grundgesamtheit
- $\text{eps}(\ )$  relativer Vertrauensbereich [%]

Mittelwert und Standardabweichung der Grundgesamtheit wurden anhand der Stichprobe für einen einstündigen Simulationslauf geschätzt. Mit diesen ergab sich für den Beispielknotenpunkt K1 bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % und einer

Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % der Mindeststichprobenumfang nach Tabelle 5.4.

Aufgrund der hohen Verkehrsbelastungen in der Hauptrichtung reichten für eine zuverlässige Beurteilung der dort auftretenden mittleren Verlustzeiten in der Regel wenige Simulationsläufe aus. Für die schwach nachgefragten Nebenrichtungen waren hingegen bis zu 35 Simulationsläufe erforderlich, um statistisch gesicherte Aussagen zu ermöglichen.

## 5.7 Dauer der Simulationsläufe

Die Simulationsdauer betrug jeweils 90 Minuten pro Simulationslauf. Die Simulationsläufe wurden mit unterschiedlicher Startzufallszahl gestartet. Die Aufzeichnung der auswertungsrelevanten Daten erfolgte sekundenfein und wurde erst nach 1.800 Sekunden begonnen, sodass sich zu Auswertebeginn bereits eine realistische Anzahl von Fahrzeugen im Modell befand und die Aufzeichnung der Daten auf einem eingeschwungenen Systemzustand aufsetzte.

## 5.8 Auswertungen

Als maßgebende Kenngrößen wurden im Simulationsmodell die Verlustzeiten auf vordefinierten Strecken innerhalb des Knotenpunkts als Differenz zwischen den idealen Fahrzeiten und den realen Fahrzeiten der Einzelfahrzeuge ermittelt und für die einzelnen Fahrbeziehungen getrennt ausgewiesen. Ausgewertet und bewertet wurden für die Variation der Belastungen die Verlustzeiten in den einzelnen Knotenpunktzufahrten. Eine strombezogene Auswertung erfolgte nicht, da sich die Verkehrsströme gegenseitig beeinflussen können. Beispielsweise kann ein wartender Linkseinbieger, der den bevorrechtigten Verkehr der Hauptrichtung passieren lassen muss, ein nachfolgendes kreuzendes Fahrzeug behindern.

Als Grundlage für eine vergleichende Bewertung der diskutierten Signalisierungsformen wurden herangezogen:

- die mittleren Verlustzeiten der Nebenrichtungen sowie die Gesamtverlustzeit am Knotenpunkt bei variierender Verkehrsstärke der Nebenrichtung und gleichzeitig konstanter Verkehrsstärke der Hauptrichtung,
- die mittleren Verlustzeiten der Nebenrichtungen sowie die Gesamtverlustzeit am Knotenpunkt

bei variierender Verkehrsstärke der Hauptrichtung und bei gleichzeitig konstanter Verkehrsstärke der Nebenrichtung.

Aufgrund der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten und der damit verbundenen hohen Anzahl von Simulationen wurden bei der Variation der Verkehrsstärken diese – ausgehend vom Bestand – in der Hauptrichtung schrittweise um 200 Kfz/h und in der Nebenrichtung schrittweise um 50 Kfz/h erhöht bzw. verringert. Die Veränderungen erfolgen für die einzelnen Verkehrsströme proportional zum Bestand. Auf diese Weise bleibt das Verhältnis zwischen rechts einbiegenden, kreuzenden und links einbiegenden Fahrzeugen für die betrachteten Belastungskombinationen konstant. Im Hinblick auf die zu untersuchende Fragestellung wurde die Variation der Verkehrsstärken nur in denjenigen Belastungsbereichen durchgeführt, innerhalb derer die Verkehrsstärken in der Nebenrichtung kleiner oder gleich den Verkehrsstärken in der Hauptrichtung sind. Die Variationen wurden abgebrochen, wenn die Simulationsergebnisse zeigten, dass eine weitere Erhöhung oder Verringerung der Verkehrsstärken zu keinen zusätzlichen Erkenntnissen führten. Folgende Gründe waren maßgebend:

- Die Ergebnisse der Simulation unterschieden sich für die unterschiedlichen Signalisierungsformen bei niedrigen Belastungen nicht voneinander. Die Verlustzeiten waren unbedeutend.
- Es stellten sich inakzeptabel hohe Verlustzeiten ein.

In diesem Zusammenhang war zu beachten, dass modellbedingt auf den Messstrecken Verlustzeiten nur für diejenigen Fahrzeuge gemessen werden können, welche sowohl den Einfahrquerschnitt als auch den hinter der Haltlinie liegenden Ausfahrquerschnitt passiert haben. Bei instabilen Verkehrsverhältnissen und dem damit verbundenen Dauerstau erreichten die Fahrzeuge der Nebenrichtung vielfach den Ausfahrquerschnitt nicht. In die Berechnung gingen in solchen Fällen nur die Verlustzeiten der ersten, noch abfließenden Fahrzeuge ein. Damit nimmt in VISSIM im instabilen Bereich die mittlere Verlustzeit ab einem kritischen Wert mit wachsender Verkehrsbelastung nicht weiter zu, sondern nähert sich einem konstanten Wert. Gleiches gilt, wenn für die Messung der Verlustzeiten nicht ausreichend große Messstrecken gewählt werden. Es wurde deshalb darauf geachtet, dass auch bei Belastungsverhältnissen, die zu einem instabilen Verkehrsablauf führten, in aller Regel aus-

reichend große Messstrecken definiert waren. Die Länge der Messstrecken war jedoch in den Fällen begrenzt, in denen signalisierte Nachbaranlagen in die Simulation einbezogen werden mussten.

## 5.9 Bewertungsmaßstab

Nach dem HBS (2001/2005) wird die mittlere Wartezeit der Krafffahrzeugströme als Maßstab für die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs herangezogen. Für unsignalisierte Knotenpunkte gelten zur Einteilung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs die in Tabelle 5.5 aufgeführten Grenzwerte der mittleren Wartezeit.

Mit der Qualitätsstufe D wird ein Verkehrsablauf gekennzeichnet, bei welchem die Mehrzahl der Fahrzeugführer Haltevorgänge verbunden mit deutlichen Zeitverlusten hinnehmen muss. Für einzelne Fahrzeuge können die Zeitverluste hohe Werte annehmen. Auch wenn sich vorübergehend ein merklicher Stau in einem Nebenstrom ergeben hat, bildet sich dieser wieder zurück. Der Verkehrszustand ist noch stabil.

Bei Qualitätsstufe E hingegen bilden sich Staus, die sich bei der vorhandenen Belastung nicht mehr abbauen. Die Wartezeiten nehmen sehr große und dabei stark streuende Werte an. Geringfügige Verschlechterungen der Einflussgrößen können zum Verkehrszusammenbruch führen. Die Kapazität wird erreicht.

Unter Berücksichtigung dieser Definitionen lässt sich schlussfolgern, dass der obere Wartezeitgrenzwert der Qualitätsstufe D die Schranke darstellt, ab welcher alternative Lösungsansätze zur Verkehrsabwicklung (z. B. eine Vollsignalisierung) notwendig werden.

Aus Gründen einer einheitlichen Betrachtungsweise wurde dieser Grenzwert auch für die Bewertung

Qualitätsstufe	Mittlere Wartezeit
A	$\leq 10$ s
B	$\leq 20$ s
C	$\leq 30$ s
D	$\leq 45$ s
E	$> 45$ s
F	Sättigungsgrad $> 1$

**Tab. 5.5:** Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen bei unsignalisierten Knotenpunkten (HBS, 2001/2005)

der Vollsignalisierung herangezogen, obwohl das HBS (2001/2005) bei Vollsignalisierung von höheren Grenzwerten bei der Klassifizierung nach Qualitätsstufen ausgeht.

Ein weiterer Unterschied in der Beurteilung der Verkehrsqualität von unsignalisierten bzw. vollsignalisierten Knotenpunkten nach dem HBS resultiert aus der Bezugsbasis für die Ermittlung der Wartezeiten. Während bei den unsignalisierten Knotenpunkten die mittlere Wartezeit des jeweils ungünstigsten Verkehrsstroms für die Ermittlung der Verkehrsqualität maßgebend ist, wird bei der Vollsignalisierung die mittlere Wartezeit aller Verkehrsströme für die Qualitätsbeurteilung herangezogen.

Die Ergebnisse der Simulationsuntersuchungen wurden unter den o. g. Prämissen betrachtet. Dabei wurde näherungsweise anstelle der mittleren Wartezeit die mittlere Verlustzeit als Grenzwert herangezogen, da VISSIM die mittlere Wartezeit nicht ausweist. Letztere schließt die Zeitverluste aus Brems- und Anfahrvorgängen nicht ein.

Um eine Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse für die unterschiedlichen Signalisierungsformen herzustellen, wurden grundsätzlich die mittleren Verlustzeiten in den Nebenrichtungen und die mittleren Gesamtverlustzeiten betrachtet.

## 5.10 Ergebnisse für die Beispielknotenpunkte

### 5.10.1 K1 Gablenberger Hauptstraße/Libanonstraße (Stuttgart)

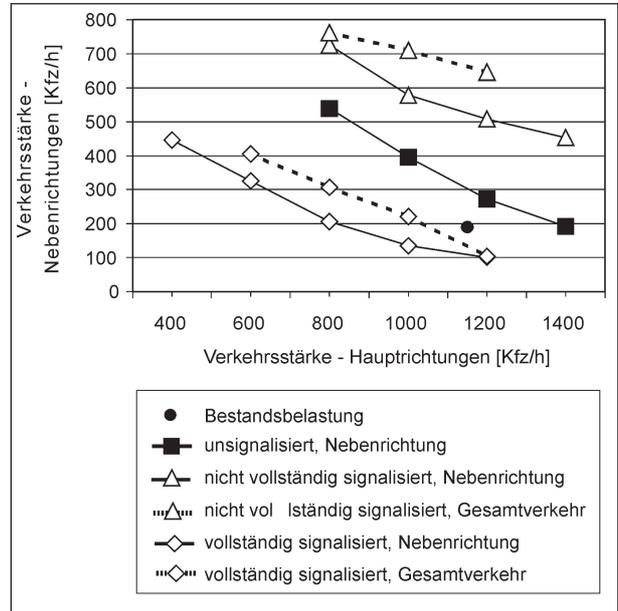
Für den Knotenpunkt K1 Gablenberger Hauptstraße/Libanonstraße sind die folgenden Ergebnisse der Simulationsauswertungen festzuhalten:

- Bei allen untersuchten Belastungskonstellationen (Haupttrichtung 400 – 1.400 Kfz/h; Nebenrichtung 100 – 300 Kfz/h) sind die mittleren Verlustzeiten für den Zustand bei Vollsignalisierung besonders ungünstig. Dies gilt sowohl für die Gesamtverlustzeit (Bild 5.3) wie auch für die Verlustzeiten in der Nebenrichtung (Bild 5.2). Die sich einstellenden Zeitverluste sind stets deutlich größer als bei einer Signalisierung mit Fußgängerfurt bzw. bei der derzeit realisierten Lösung mit nicht vollständiger Signalisierung. Dies gilt auch im Falle besonders hoher Belastungen in der Haupt- und/oder Nebenrichtung. Ursache hierfür sind die für eine Vollsignalisierung besonders ungünstigen baulichen Randbe-

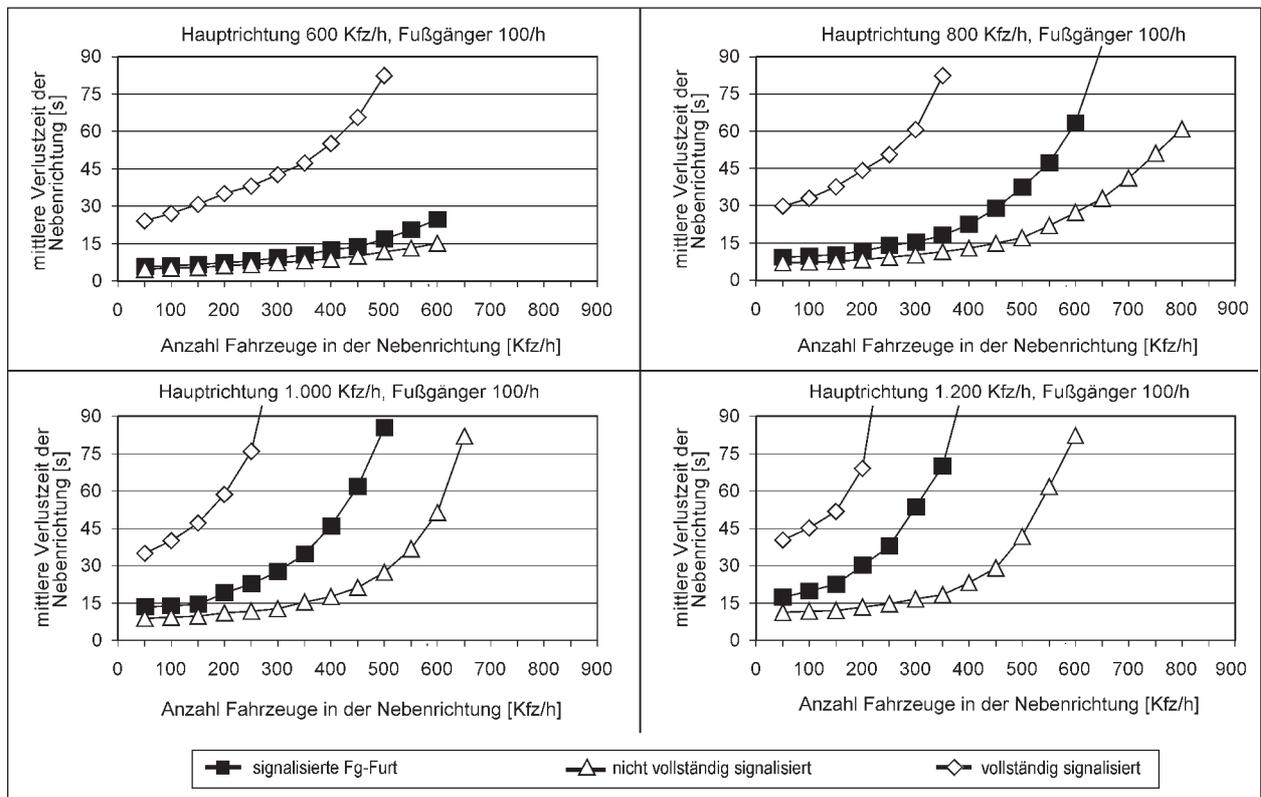
dingungen sowie die Forderung nach einer gesicherten Bedienung aller Kfz-Verkehrsströme (Vier-Phasensteuerung).

- Bis zu einer Belastung von 1.000 Kfz/h in der Haupttrichtung kann der Verkehrsablauf unabhängig von der Höhe der Belastung in der Nebenrichtung sowohl bei Realisierung einer signalisierten Fußgängerfurt als auch bei Realisierung einer nicht vollständig signalisierten Lösung ohne größere Verlustzeiten abgewickelt werden (Bild 5.2). Erst ab einer Verkehrsstärke von 1.200 Kfz/h in der Haupttrichtung und 300 Kfz/h in der Nebenrichtung bzw. 1.400 Kfz/h in der Haupttrichtung und 200 Kfz/h in der Nebenrichtung reicht die signalisierte Fußgängerfurt nicht aus, um den Verkehr mit einer angemessenen Qualität zu bedienen. In diesen Fällen führt die derzeit realisierte, nicht vollständige Signalisierung zu einer deutlich besseren Verkehrsabwicklung (näherungsweise Qualitätsstufe B bzw. C) als die signalisierte Fußgängerfurt.
- Der in Bild 5.1 in Abhängigkeit von den Belastungsverhältnissen in Haupt- und Nebenrichtung für die unterschiedlichen Signalisierungsformen wiedergegebene Verlauf der Kennlinien für eine

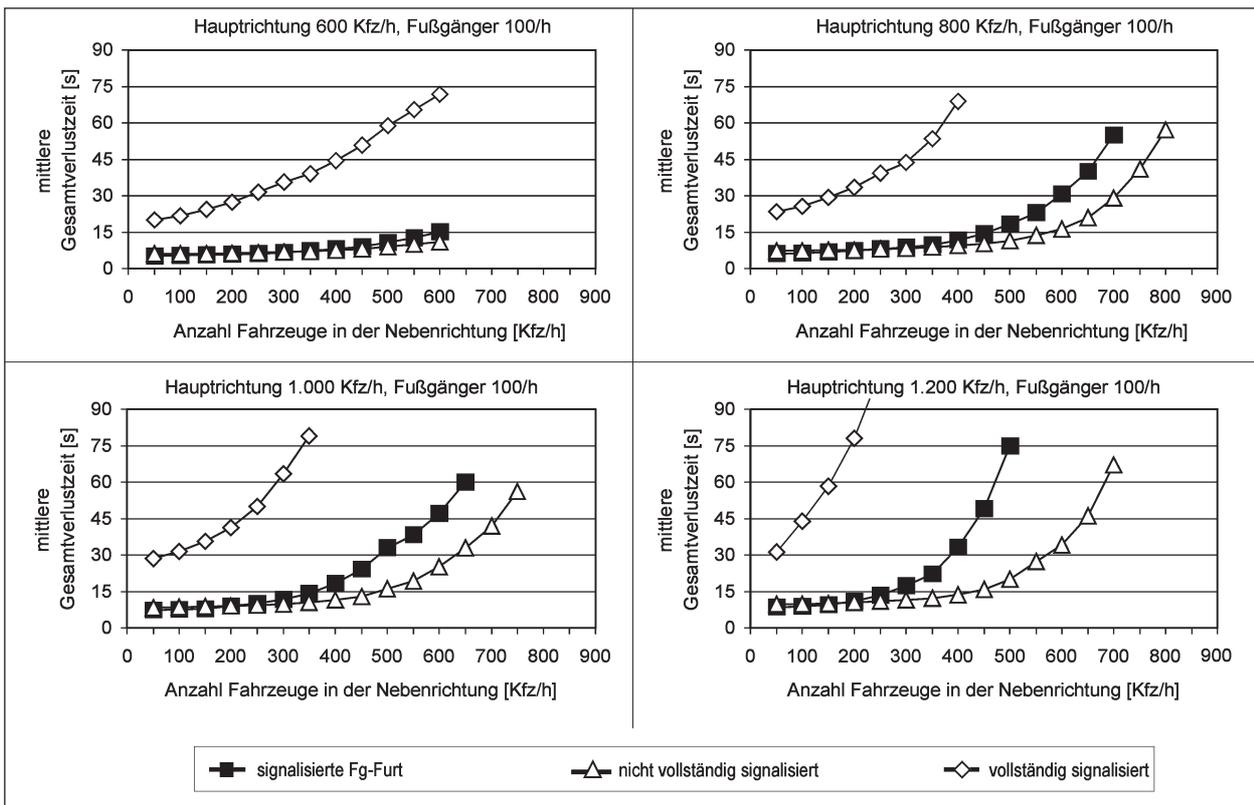
mittlere Verlustzeit von 45 s verdeutlicht die diskutierten Sachverhalte. Er zeigt darüber hinaus,



**Bild 5.1:** K1 – Gablenberger Hauptstraße/Libanonstraße (Stuttgart)  
Kennlinien für eine Verlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen



**Bild 5.2:** K1 – Gablenberger Hauptstraße/Libanonstraße (Stuttgart)  
Mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung



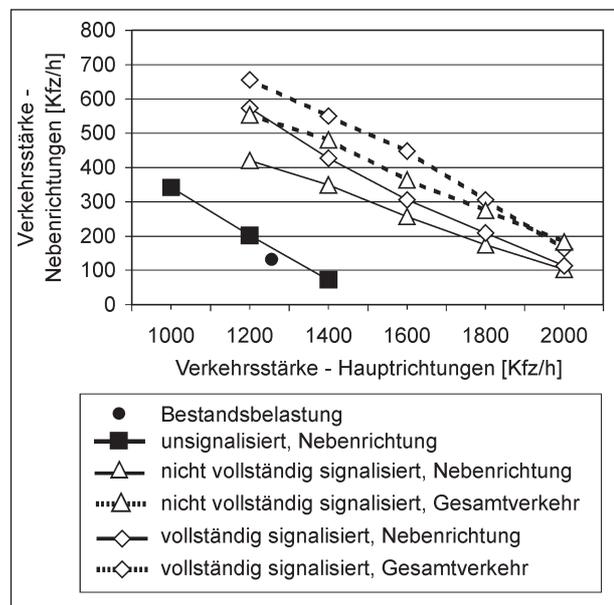
**Bild 5.3:** K1 – Gablenberger Hauptstraße/Libanonstraße (Stuttgart)  
Mittlere Gesamtverlustzeit für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

bis zu welchen Belastungsverhältnissen der Einsatz der diskutierten Signalisierungsformen vorteilhaft ist. Alle oberhalb der dargestellten Kurven liegenden Belastungsverhältnisse führen zu einem an der Kapazitätsgrenze operierenden Verkehrsablauf. Dies gilt nur eingeschränkt für die Vollsignalisierung, weil für diese die Qualitätsstufen nach dem HBS (2001/2005) abweichend definiert sind.

- Für das Abwickeln der Bestandsbelastung wäre eine nicht vollständige Signalisierung des Knotenpunkts nicht erforderlich gewesen. Die vorhandene Fußgängerfurt hätte ausgereicht, den Verkehr der Nebenrichtung näherungsweise mit der Qualitätsstufe D nach dem HBS (2001/2005) zu bedienen. Offensichtlich lagen jedoch am Beispielknotenpunkt K1 höhere Ansprüche hinsichtlich der Qualität der Bedienung der Nebenrichtungen vor.

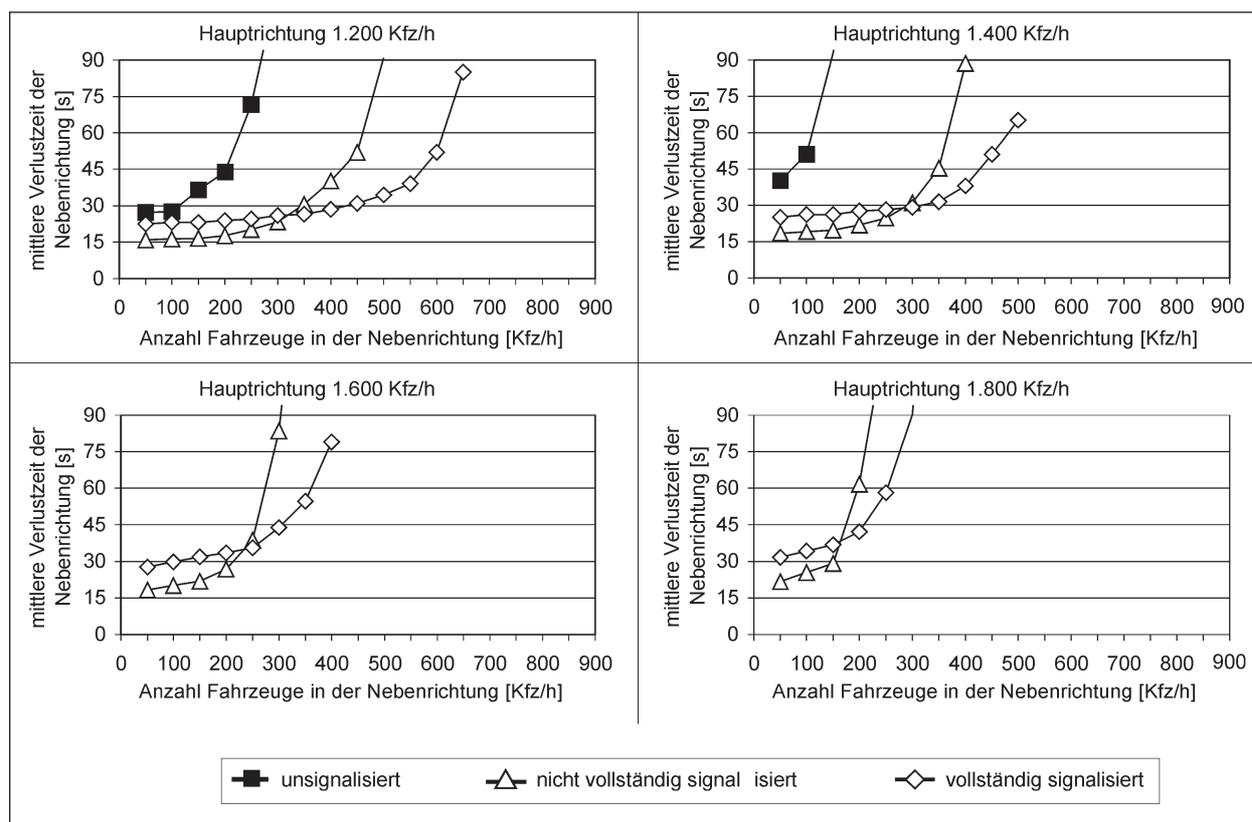
**5.10.2 K2 Esslinger Straße/Jahnstraße (Ostfildern)**

Am Knotenpunkt K2 Esslinger Straße/Jahnstraße lassen die Ergebnisse der Simulation die folgenden Aussagen zu:



**Bild 5.4:** K2 – Esslinger Straße/Jahnstraße (Ostfildern)  
Kennlinien für eine Verlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen

- Eine unsignalisierte Abwicklung des Verkehrsablaufs ist nur sehr begrenzt möglich. Bei der Bestandsbelastung von 1.200 Kfz/h in der Haupttrichtung stellt sich mit zunehmender Be-



**Bild 5.5:** K2 Esslinger Straße/Jahnstraße (Ostfildern)

Mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

lastung in der Nebenrichtung schnell ein instabiler Verkehrszustand ein. Die mittleren Verlustzeiten in der Nebenrichtung wachsen exponentiell. Bei Belastungen über 1.400 Kfz/h in der Haupttrichtung sind die Verlustzeiten selbst bei sehr geringen Belastungen in der Nebenrichtung nicht mehr darstellbar (Bild 5.5).

- Bei allen Belastungsverhältnissen sind die mittleren Verlustzeiten in der Nebenrichtung für den unsignalierten Zustand besonders ungünstig. Sowohl die nicht vollständige Signalisierung wie auch die Vollsignalisierung führen für die Nebenrichtung zu deutlich günstigeren Ergebnissen (Bild 5.5).
  - Eine unsignalierte Abwicklung des Verkehrs mit zufrieden stellender Verkehrsqualität ist nur bis zu einer Verkehrsstärke von 1.400 Kfz/h in der Haupttrichtung möglich. Im diesem Fall sollte die Verkehrsstärke in der Nebenrichtung nicht mehr als 100 Kfz/h betragen. Bei höheren Belastungen in der Nebenrichtung (400 Kfz/h) sollte die Verkehrsstärke in der Haupttrichtung 1.000 Kfz/h nicht überschreiten (Bild 5.4).
  - Bei hohen Belastungen in der Nebenrichtung führt die Vollsignalisierung aufgrund des hohen
- Anteils der Linkseinbieger (83 %) im Mittel zu niedrigeren Verlustzeiten als die nicht vollständige Signalisierung. Bei niedrigen Belastungen in der Nebenrichtung hingegen macht sich der leistungsmindernde Einfluss der Linkseinbieger weniger stark bemerkbar. Die mittleren Verlustzeiten für die beiden Signalisierungsformen unterscheiden sich nur wenig voneinander (Bild 5.5).
- Der für die Nebenrichtung skizzierte Verlauf der Verlustzeiten spiegelt sich in ähnlicher Weise im Verlauf der Gesamtverlustzeiten wider. Letztere sind grundsätzlich niedriger als die Verlustzeiten in der Nebenrichtung (Bild 5.6).
  - Die Gegenüberstellung der Kennlinien mit identischen Verlustzeiten in der Nebenrichtung verdeutlicht, dass bei gleicher Verkehrsqualität in der Nebenrichtung mit der nicht vollständigen Signalisierung und der Vollsignalisierung erheblich mehr Verkehr abgewickelt werden kann als im unsignalierten Zustand (Bild 5.4).
  - Ein Vergleich der Kennlinien mit identischen Gesamtverlustzeiten zeigt, dass eine Vollsignalisierung am Beispielknotenpunkt K2 (3-Phasen-

system) aufgrund des hohen Anteils an Links- einbiegern (83 %) leistungsfähiger ist als die nicht vollständige Signalisierung. Bei identischer Gesamtverlustzeit können bei Vollsignalisierung bei gleicher Verkehrsstärke in der Hauptrichtung in der Nebenrichtung 100 bis 150 Kfz/h oder bei gleicher Verkehrsstärke in der Nebenrichtung in der Hauptrichtung 200 bis 250 Kfz/h mehr bedient werden als bei nicht vollständiger Signalisierung, ohne dass sich die Verkehrsqualität gegenüber dem Zustand bei nicht vollständiger Signalisierung verschlechtert (Bild 5.4).

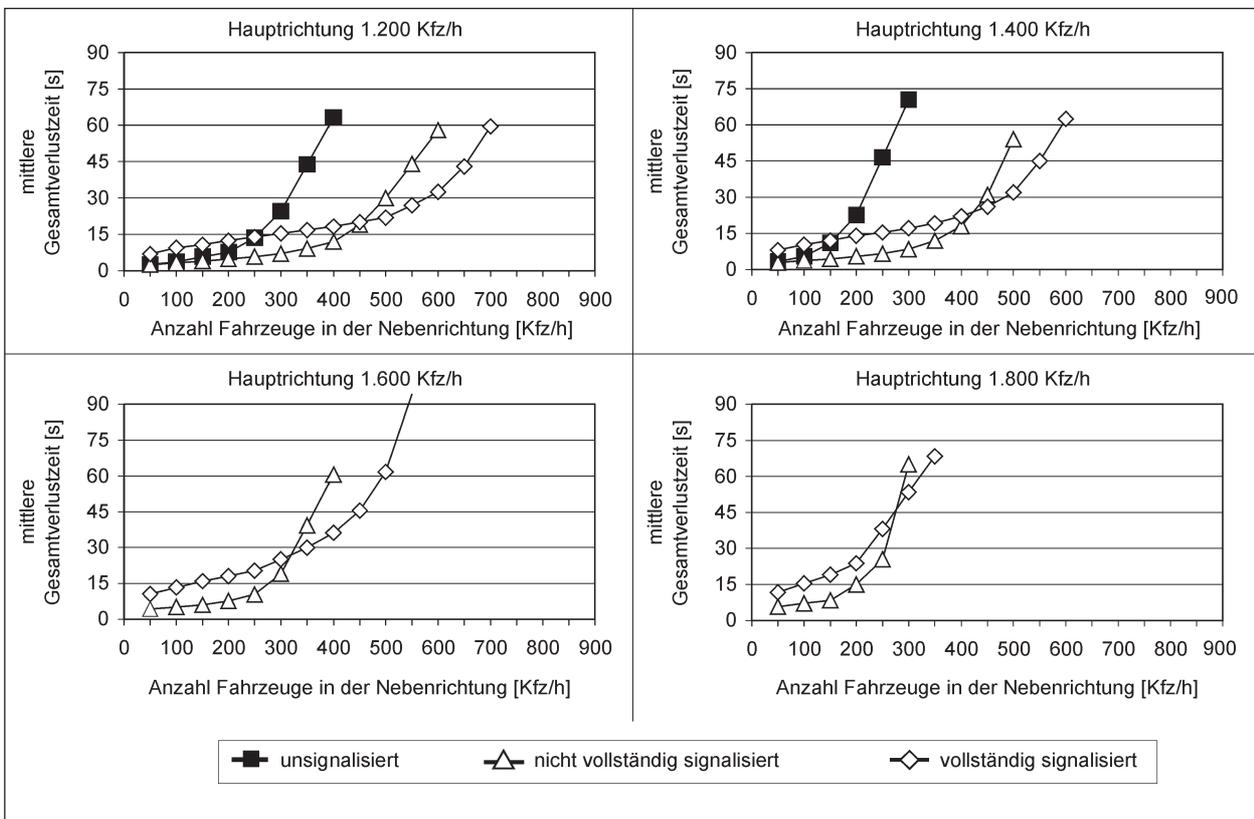
- Für die Bestandsbelastung wäre die nicht vollständige Signalisierung für eine angemessene Bedienung der Nebenrichtung (Qualitätsstufe D) nicht erforderlich gewesen. Mit der nicht vollständigen Signalisierung können gegenüber dem unsignalisierten Zustand bei gleicher Verkehrsqualität in der Nebenrichtung alternativ 400 Kfz/h in der Nebenrichtung oder 650 Kfz/h in der Hauptrichtung (gleich verteilt auf Richtung und Gegenrichtung) zusätzlich bedient werden.
- Bei Verkehrsbelastungen über 2.000 Kfz/h wird für den Beispielknotenpunkt die Kapazität des

Nachbarknotenpunkts maßgebend. Durch diesen verursachte Rückstau behindern den Abfluss am Beispielknotenpunkt und führen an diesem zu einem instabilen Verkehrszustand.

### 5.10.3 K3 Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße (Ostfildern)

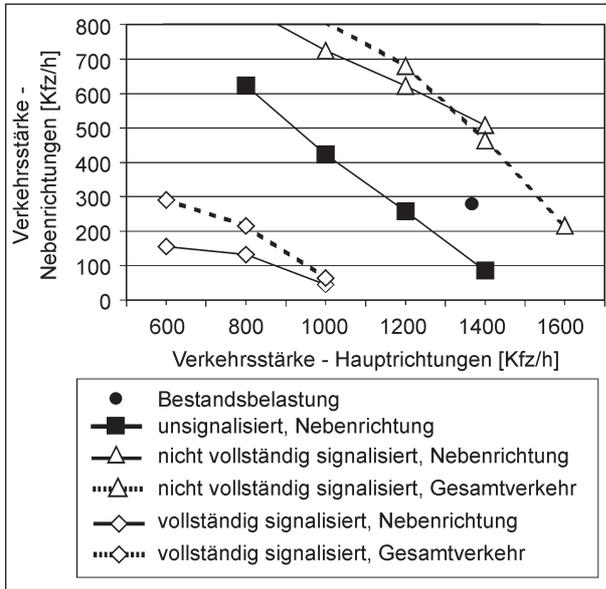
Für den Beispielknotenpunkt K3 Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße wurde der Verkehrsablauf für Verkehrsstärken von 600 bis 1.600 Kfz/h in der Hauptrichtung simuliert und die Ergebnisse für den Bereich von 800 bis 1.400 Kfz/h in den Bildern 5.8 und 5.9 dargestellt. Aus ihnen lassen sich die folgenden Aussagen ableiten:

- Die Vollsignalisierung ist keine angemessene Signalisierungsform für den Beispielknotenpunkt. Mit zunehmender Verkehrsbelastung nimmt die Qualität des Verkehrsablaufs in den Haupt- und Nebenrichtungen deutlich ab (Bilder 5.8 und 5.9). Nur bei Belastungen von weniger als 1.000 Kfz/h in der Hauptrichtung und weniger als 300 Kfz/h in der Nebenrichtung kann der Knotenpunkt bei Vollsignalisierung mit einer mittleren Gesamtverlustzeit von weniger als 45 s



**Bild 5.6:** K2 Esslinger Straße/Jahnstraße (Ostfildern)  
Mittlere Gesamtverlustzeit für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

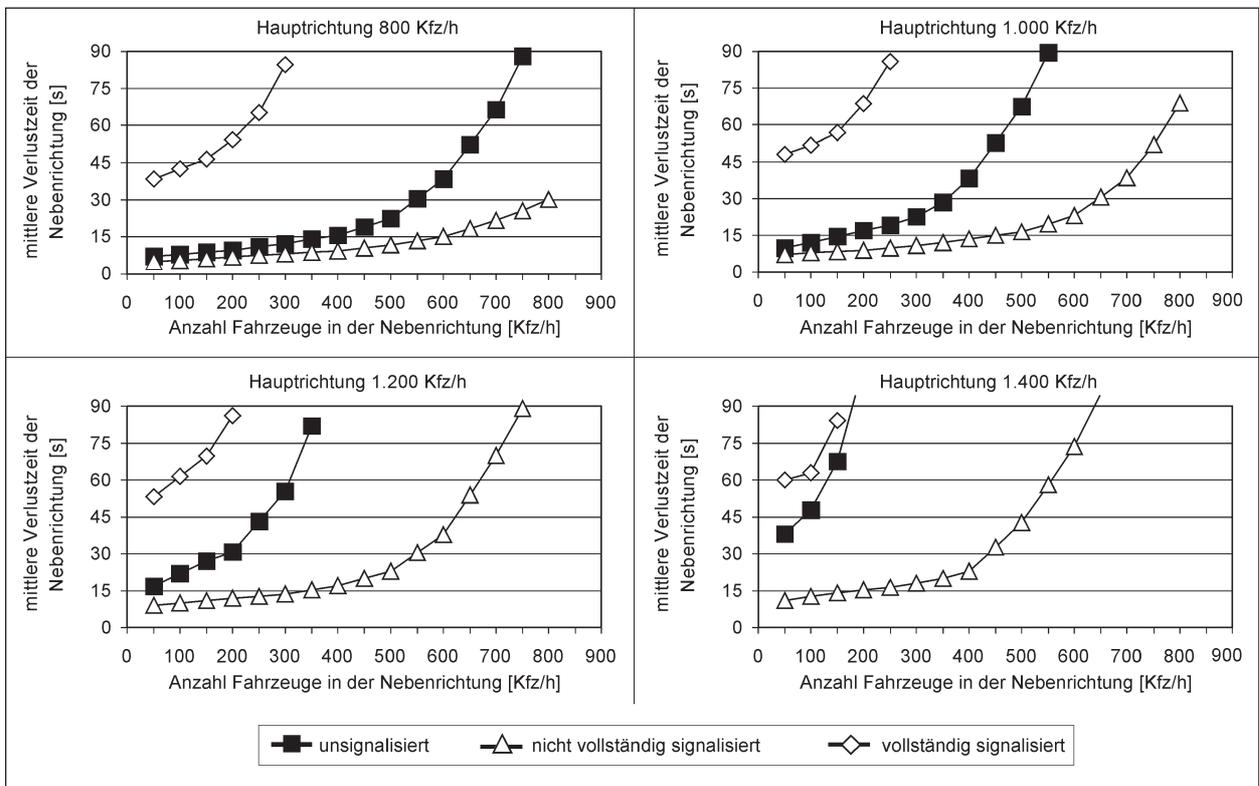
betrieben werden (Bild 5.7). Grundsätzlich führt die Vollsignalisierung des Knotenpunkts sowohl hinsichtlich der mittleren Verlustzeiten in der Nebenrichtung als auch hinsichtlich der Gesamt-



**Bild 5.7:** K3 – Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße (Ostfildern)  
Kennlinien für eine Verlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen

verlustzeiten stets zu deutlich ungünstigeren Ergebnissen als der unsignalisierte Betrieb.

- Bild 5.7 weist für die Haupt- und Nebenrichtung diejenigen Belastungsverhältnisse aus, bei denen der Knotenpunkt unsignalisiert ausreichend leistungsfähig betrieben werden kann. Alle oberhalb der ausgewiesenen Kennlinie liegenden Belastungsverhältnisse führen im unsignalisierten Zustand zu einem unbefriedigenden Verkehrsablauf. Mit Belastungen von mehr als 800 Kfz/h in der Hauptrichtung und 600 Kfz/h in der Nebenrichtung bzw. 1.400 Kfz/h in der Hauptrichtung und knapp 100 Kfz/h in der Nebenrichtung werden Belastungsverhältnisse erreicht, welche für den unsignalisierten Betrieb des Knotenpunkts zu hoch sind (Bild 5.7). Jenseits der vorgenannten Belastungsgrenzen steigen die Verlustzeiten im unsignalisierten Betrieb exponentiell an (Bild 5.8).
- Durch eine nicht vollständige Signalisierung des Beispielknotenpunkts lassen sich gegenüber dem unsignalisierten Betrieb Kapazitätsreserven mobilisieren. Sowohl hinsichtlich der Verlustzeiten in der Nebenrichtung wie auch hinsichtlich der Gesamtverlustzeiten schneidet die



**Bild 5.8:** K3 – Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße (Ostfildern)  
Mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

nicht vollständige Signalisierung bei den untersuchten Belastungsverhältnissen in der Regel besser ab als die unsignalisierte Lösung. Nur bei geringen Belastungen in der Haupttrichtung können die Fahrzeuge der Nebenrichtung im unsignalisierten wie im nicht vollständig signalisierten Zustand die im Hauptstrom auftretenden Lücken in gleicher Weise nutzen, sodass in der Nebenrichtung keine nennenswerten Unterschiede in der Verkehrsqualität auftreten. Einzelne Unterbrechungen des Hauptstroms führen jedoch dazu, dass bei niedrigen Belastungen in der Nebenrichtung die Gesamtverlustzeiten im unsignalisierten Zustand ungünstiger sind als bei nicht vollständiger Signalisierung (Bild 5.9).

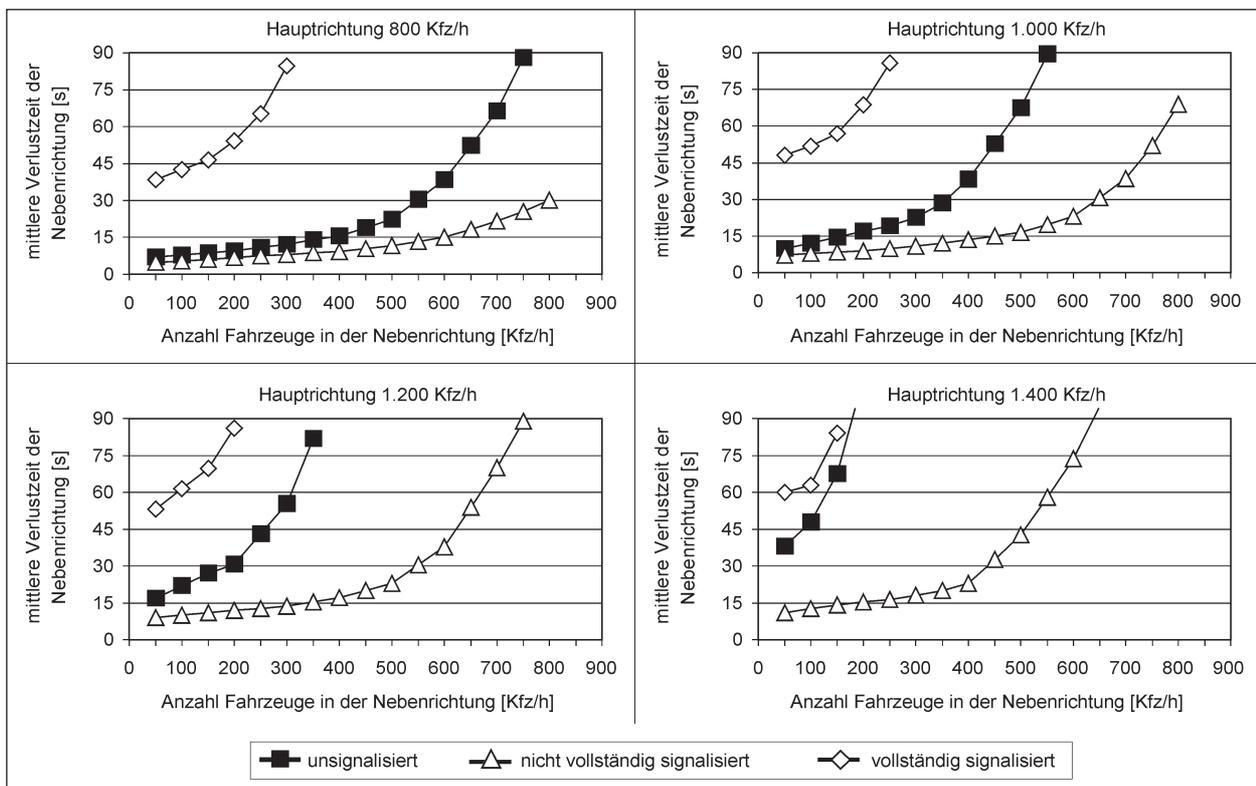
- Bei nicht vollständiger Signalisierung kann der Knotenpunkt auch bei hohen Belastungen in den Haupt- und Nebenrichtungen noch ausreichend leistungsfähig betrieben werden. Gegenüber dem unsignalisierten Zustand können bei gleicher Belastung in der Haupttrichtung bis zu 300 Kfz/h in der Nebenrichtung zusätzlich bedient werden (Bild 5.7).
- Unter den Belastungsverhältnissen des Bestands lässt sich der Knotenpunkt im unsignali-

sierten Zustand nicht ausreichend leistungsfähig betreiben. Die vorliegende nicht vollständige Signalisierung ist deshalb nicht nur aus Gründen der ÖPNV-Bevorrechtigung eine adäquate Signalisierungsform für die Verkehrsabwicklung.

#### 5.10.4 K4 Gebersheimer Straße/Schweizermühle (Leonberg)

Für den Beispielknotenpunkt K4 Gebersheimer Straße/Schweizermühle stellen sich auf der Grundlage der Simulation die folgenden Ergebnisse ein:

- Im unsignalisierten Zustand lassen sich Verkehrsbelastungen zwischen 1.000 Kfz/h in der Haupttrichtung und 400 Kfz/h in der Nebenrichtung bzw. 1.600 Kfz/h in der Haupttrichtung und 150 Kfz/h in der Nebenrichtung mit ausreichender Verkehrsqualität abwickeln. Bei höheren Belastungen sollte der Knotenpunkt aufgrund der dann exponentiell zunehmenden Verlustzeiten in der Nebenrichtung signalisiert werden. Aufgrund der vorliegenden Bestandsbelastung ist eine Signalisierung des Beispielknotenpunkts nicht erforderlich (Bild 5.10). Zum Zeitpunkt der Einrichtung der nicht vollständigen Signalisierung war jedoch in der Zufahrt

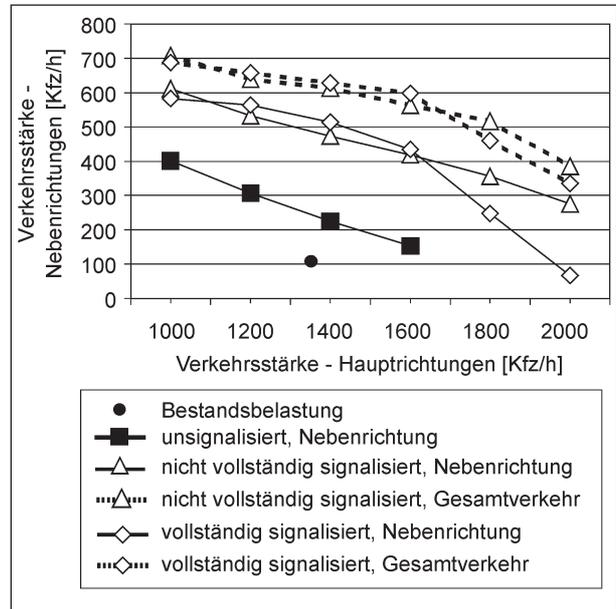


**Bild 5.9:** K3 – Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße (Ostfildern)  
Mittlere Gesamtverlustzeit für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

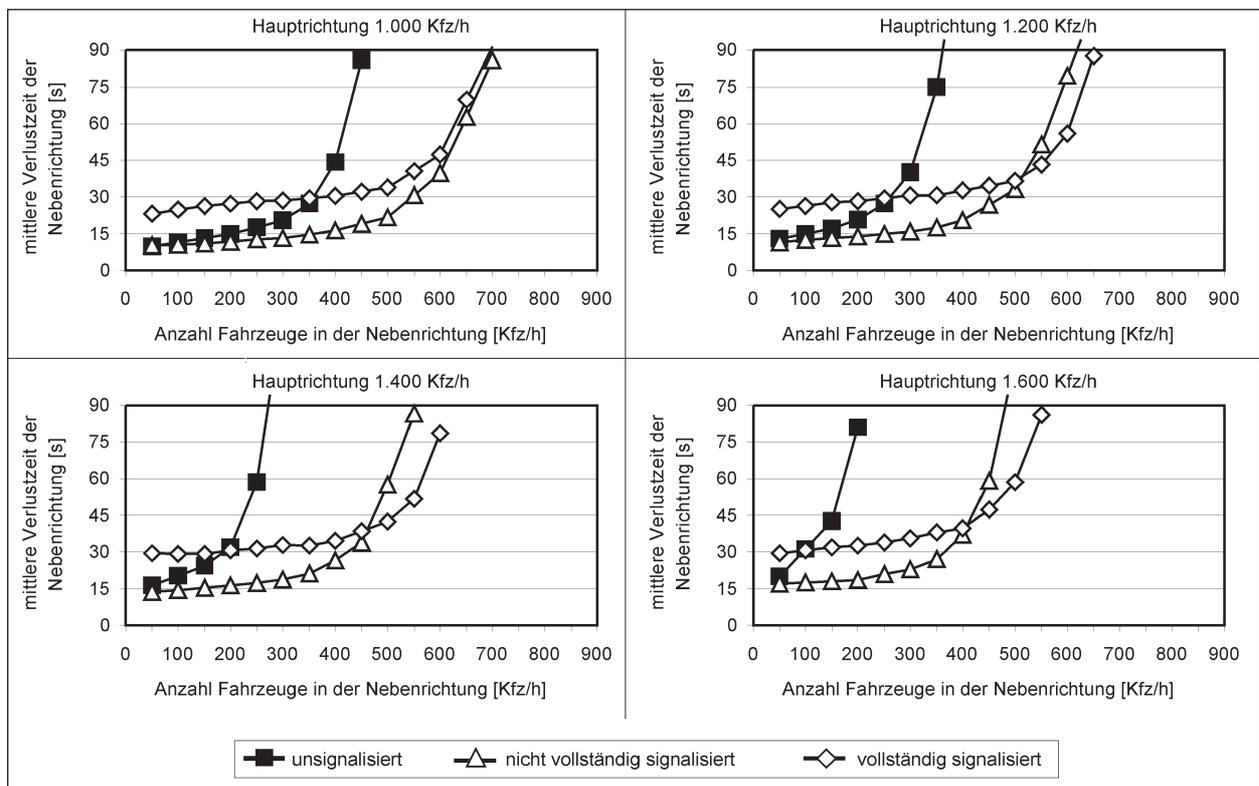
Schweizermühle deutlich mehr Verkehr als heute zu verzeichnen.

- Die Verlustzeiten in der Nebenrichtung entwickeln sich je nach den Belastungsverhältnissen und dem Ausmaß der Signalisierung unterschiedlich (Bild 5.11). Bei niedrigen Belastungen in der Nebenrichtung lassen sich mit der vorliegenden nicht vollständigen Signalisierung deutlich bessere Ergebnisse erzielen als bei Vollsignalisierung. Bei hohen Belastungen in der Nebenrichtung führt die Vollsignalisierung zu geringfügig niedrigeren mittleren Verlustzeiten als die nicht vollständige Signalisierung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die am Beispielknoten K4 eingesetzte Bestandssteuerung keine Bemessung der Nebenrichtungen vorsieht und die Freigabe (Rotphase der Hauptrichtung) stets nach Ausschöpfen einer parametrisch hinterlegten, festen Zeitspanne abgebrochen wird.
- Die Entwicklung der Gesamtverlustzeiten weist in die gleiche Richtung. Innerhalb der untersuchten Belastungsbereiche führt die nicht vollständige Signalisierung in aller Regel zu niedrigeren Verlustzeiten als die Vollsignalisierung (Bild 5.12).

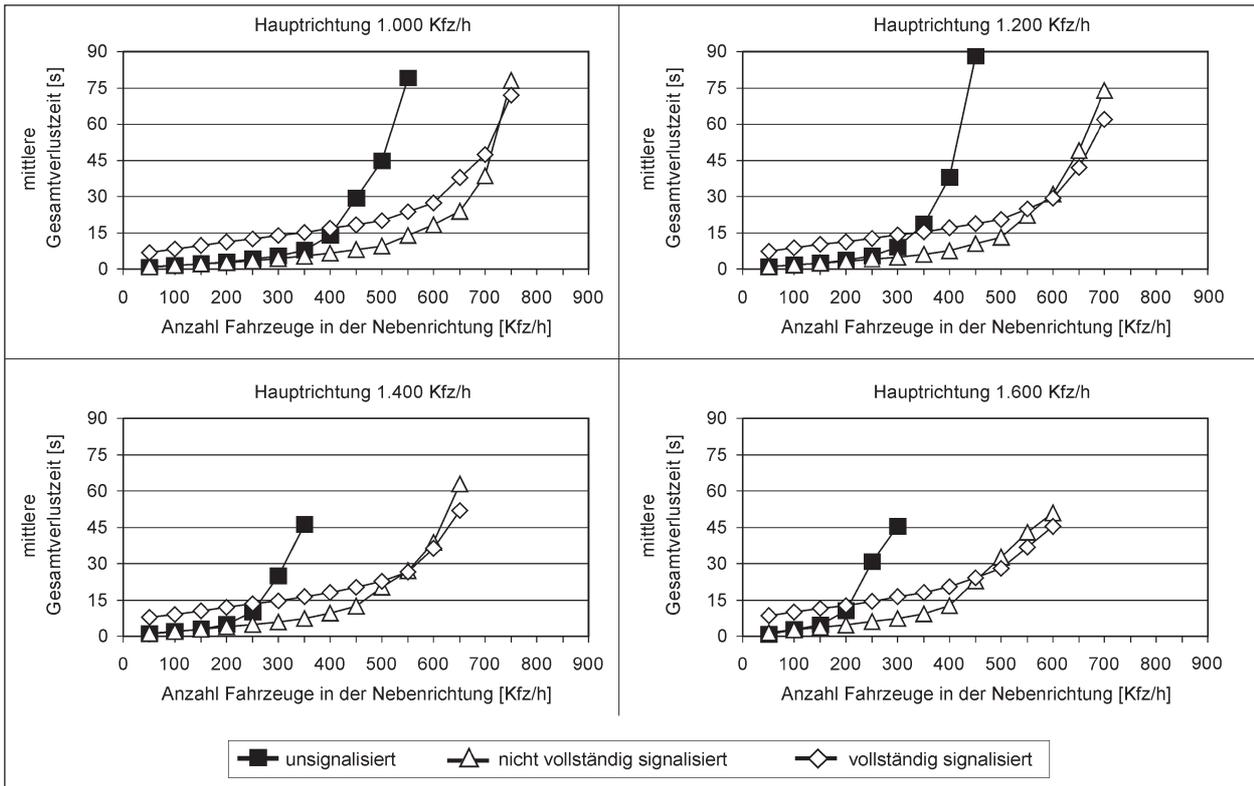
- Bild 5.10 verdeutlicht, dass die Kennlinie für eine mittlere Gesamtverlustzeit von 45 s für die nicht vollständige Signalisierung und die Vollsig-



**Bild 5.10:** K4 – Gebersheimer Straße/Schweizermühle (Leonberg)  
Kennlinien für eine Verlustzeit von 45 s in der Nebenrichtung bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen



**Bild 5.11:** K4 – Gebersheimer Straße/Schweizermühle (Leonberg)  
Mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung



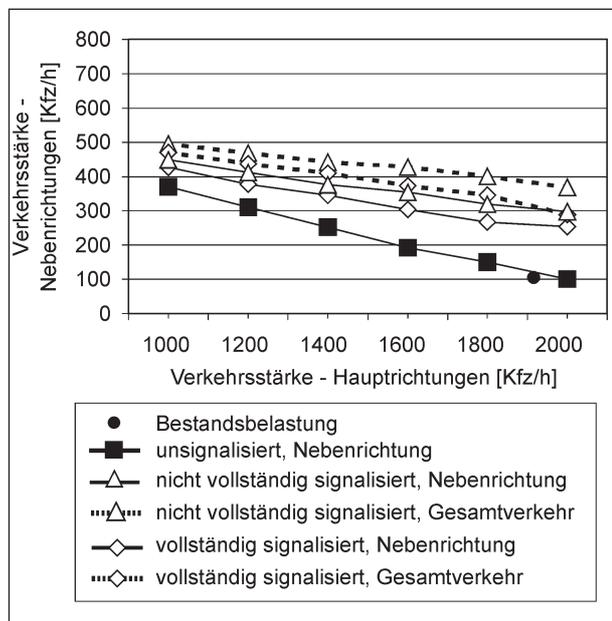
**Bild 5.12:** K4 – Gebersheimer Straße/Schweizermühle (Leonberg)  
Mittlere Gesamtverlustzeit für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

nalisation sehr eng beieinander liegen. Für den Beispielknotenpunkt K4 sind beide Signalisierungsformen über weite Belastungsbereiche als nahezu gleichwertig anzusehen. Mit beiden Signalisierungsformen lassen sich im Vergleich zum unsignalierten Zustand bei identischer Belastung in der Hauptrichtung in der Nebenrichtung zwischen 300 und 400 Kfz/h zusätzlich abwickeln.

**5.10.5 K5 L 1110 Südumgehung/Im Erlengrund (Bietigheim-Bissingen)**

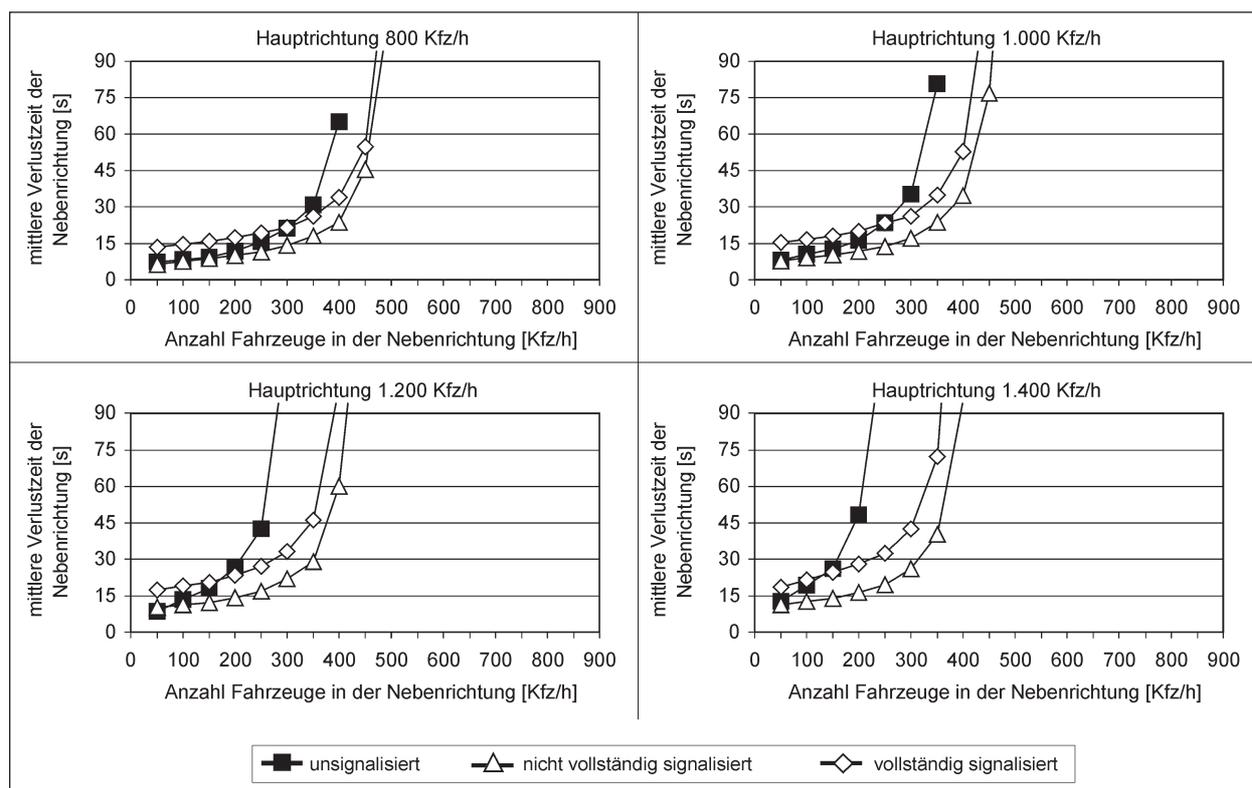
Für den außerorts liegenden Beispielknotenpunkt K5 wurden in der Simulation die Belastungen der Hauptrichtung zwischen 1.000 Kfz/h und 2.000 Kfz/h variiert. Dargestellt sind die Auswertungen für den Wertebereich zwischen 1.000 und 1.600 Kfz/h (Bild 5.14 und 5.15). Sie verdeutlichen den folgenden Sachverhalt:

- Bei allen drei untersuchten Signalisierungsformen wachsen die mittleren Verlustzeiten in der Nebenrichtung mit zunehmender Belastung in der Nebenrichtung vergleichsweise schnell exponentiell an (Bild 5.14).



**Bild 5.13:** K5 – L 1110 Südumgehung/Im Erlengrund (Bietigheim-Bissingen)  
Kennlinien für eine Verlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen

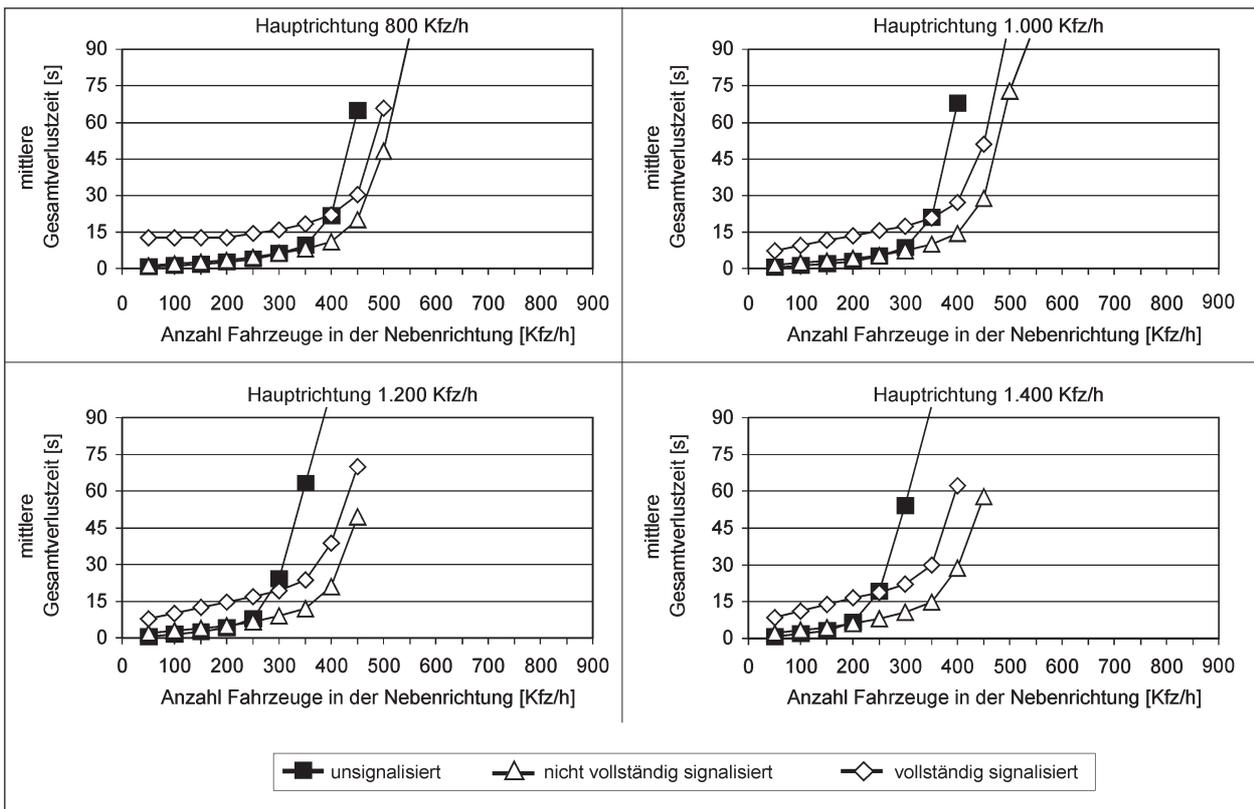
- Bei Werten zwischen 1.000 Kfz/h in der Hauptrichtung und 300 Kfz/h in der Nebenrichtung bzw. 1.600 Kfz/h in der Hauptrichtung und



**Bild 5.14:** K5 – L 1110 Südumgehung/Im Erlengrund (Bietigheim-Bissingen)

Mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

- 150 Kfz/h in der Nebenrichtung wird die Kapazitätsgrenze für die nicht vollständige Signalisierung erreicht.
- Die nicht vollständige Signalisierung führt im untersuchten Belastungsbereich stets zu einer besseren Verkehrsqualität als der unsignalisierte Zustand oder eine Vollsignalisierung. Diese Aussage gilt sowohl hinsichtlich der Gesamtsituation (Bild 5.15) als auch hinsichtlich der Situation in den Nebenrichtungen (Bild 5.14).
- Die Vollsignalisierung führt in der Nebenrichtung zu einer Verkehrsqualität, die in allen untersuchten Belastungsbereichen etwas eingeschränkter ist als die Verkehrsqualität bei nicht vollständiger Signalisierung (Bild 5.14). Gleiches gilt bei dieser Signalisierungsform auch für die Verkehrsqualität des Gesamtknotenpunkts (Bild 5.15).
- Bei identischer Verkehrsqualität in der Nebenrichtung und gleicher Belastung der Hauptrichtung können mit einer nicht vollständigen Signalisierung oder einer Vollsignalisierung deutlich mehr Fahrzeuge in der Nebenrichtung bedient werden als im unsignalisierten Zustand. Die Kapazitätsreserven der nicht vollständigen Signalisierung gegenüber dem unsignalisierten Zustand betragen zwischen 130 Kfz/h und 210 Kfz/h. Gegenüber der Vollsignalisierung belaufen sich die Kapazitätsreserven der nichtvollständigen Signalisierung auf maximal 50 Kfz/h. Sie sind damit eher unbedeutend (Bild 5.13).
- Der Verlauf der Kennlinien bei konstanter Verlustzeit ( $t_v = 45$  s) in der Nebenrichtung verdeutlicht, dass für den unsignalisierten Zustand mit zunehmendem Verkehrsaufkommen in der Hauptrichtung in der Nebenrichtung deutlich weniger Verkehr abgewickelt werden kann. Bei einer Vollsignalisierung bzw. einer nicht vollständigen Signalisierung hingegen fallen die Kennlinien mit zunehmender Belastung der Hauptrichtung nur langsam ab.
- Bei Verkehrsstärken über 1.800 Kfz/h wird bei der Vollsignalisierung für die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs nicht die mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung, sondern diejenige in der Hauptrichtung maßgebend.
- Bei geringen Belastungen treten im unsignalisierten Zustand dieselben niedrigen Verlustzeiten auf wie bei einer nicht vollständigen Signalisierung des Knotenpunkts (Bild 5.14). In diesen



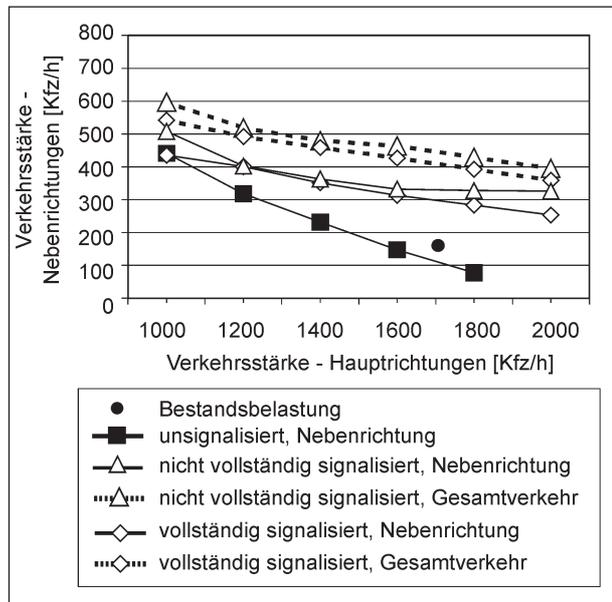
**Bild 5.15:** K5 – L 1110 Südumgehung/Im Erlengrund (Bietigheim-Bissingen)  
Mittlere Gesamtverlustzeit für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

Fällen greifen die Steuerungsparameter der nicht vollständigen Signalisierung nur selten. In der Hauptrichtung sind in ausreichendem Umfang Lücken vorhanden, um die Nebenrichtungen auch ohne Steuerungseingriff zu bedienen.

- Die Bestandsbelastung hätte auch im unsignalierten Zustand mit einer hinreichenden Verkehrsqualität abgewickelt werden können. Die vorliegende, nicht vollständige Signalisierung ermöglicht unter Bestandsbelastung einen Verkehrsablauf mit mittleren Verlustzeiten in der Nebenrichtung von weniger als 16 s. Bis zum Erreichen der Qualitätsstufe D nach HBS (2001/2005) könnten mit der derzeit realisierten Lösung näherungsweise noch ca. 200 weitere Fahrzeuge/h in der Nebenrichtung bedient werden (Bild 5.13 und 5.14).

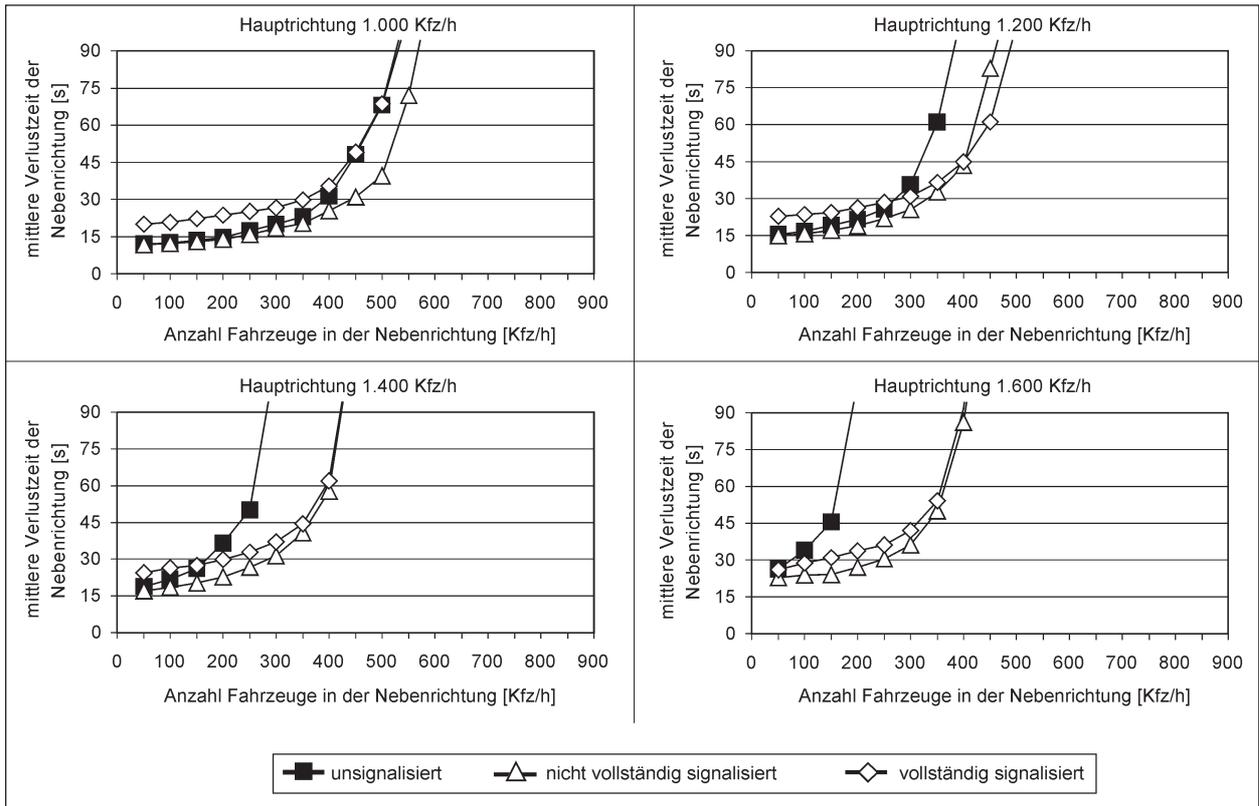
**5.10.6 K6 Kuhbergring/Grimmfinger Weg (Ulm)**

Für den Außerortsknotenpunkt K6 wurden die Verkehrsverhältnisse für Belastungen in einem Variationsbereich von 1.000 bis 2.000 Kfz/h in der Hauptrichtung untersucht und für den Wertebereich

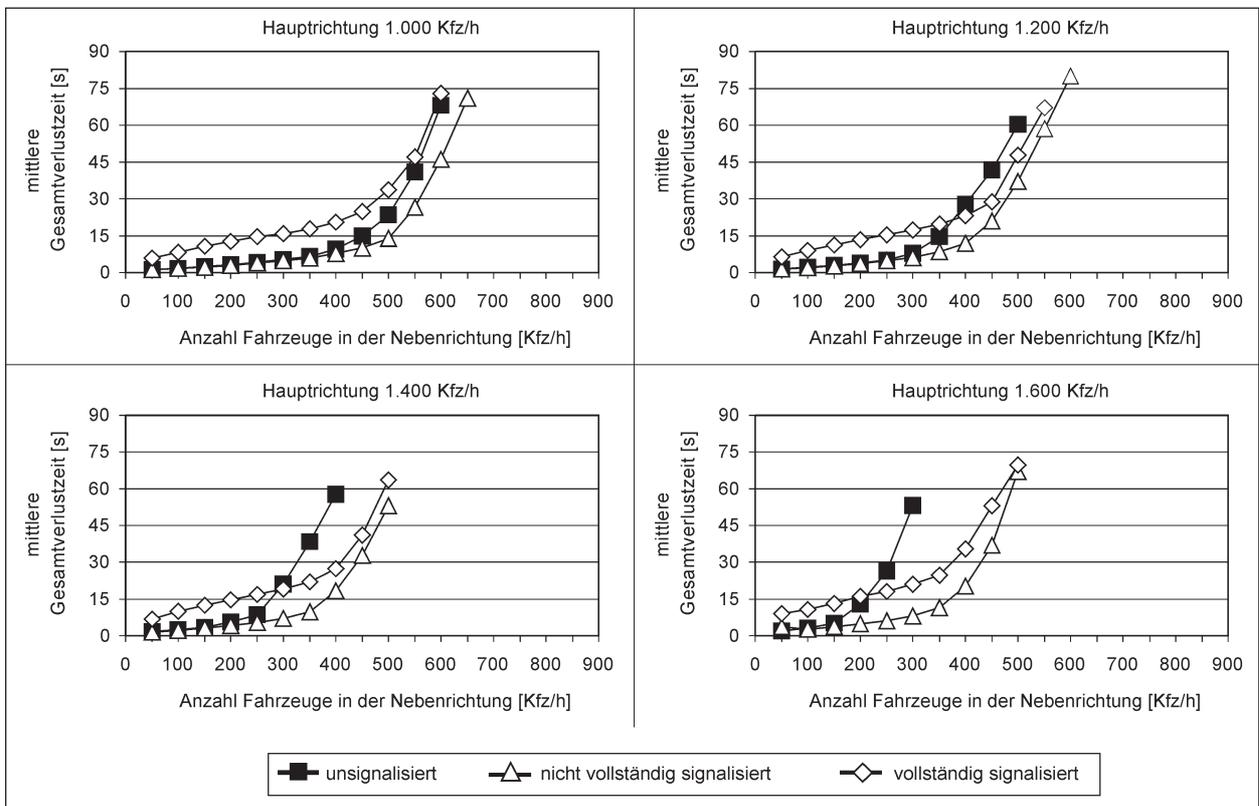


**Bild 5.16:** K6 – Kuhbergring/Grimmfinger Weg (Ulm)  
Kennlinien für eine Verlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen

von 1.000 bis 1.600 Kfz/h in den Bildern 5.17 und 5.18 dargestellt. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:



**Bild 5.17:** K6 – Kuhberggring/Grimmelfinger Weg (Ulm)  
Mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung



**Bild 5.18:** K6 Kuhberggring/Grimmelfinger Weg (Ulm)  
Mittlere Gesamtverlustzeit für unterschiedliche Signalisierungsformen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Haupt- und Nebenrichtung

- Bei geringen Belastungen in der Hauptrichtung (1.000 Kfz/h) unterscheiden sich die mittleren Verlustzeiten in der Nebenrichtung für die unterschiedlichen Signalisierungsformen nur wenig voneinander. Bei niedrigen Belastungen in der Nebenrichtung entspricht die mittlere Verlustzeit im unsignalisierten Zustand der mittleren Verlustzeit bei nicht vollständiger Signalisierung. Mit Zunahme des Verkehrsaufkommens in der Nebenrichtung entsprechen die mittleren Verlustzeiten des unsignalisierten Zustands mehr und mehr den Verlustzeiten bei Vollsignalisierung (Bild 5.17).
- Mit zunehmender Belastung in der Hauptrichtung nehmen dort die Lücken ab. Die Wartezeiten in der Nebenrichtung nehmen im unsignalisierten Zustand schnell unzumutbare Werte an (Bild 5.17).
- Die Bestandsbelastung ist unsignalisiert nicht mit Qualitätsstufe D abwickelbar. Bei einer Belastung von 1.000 Kfz/h in der Hauptrichtung können in der Nebenrichtung bis zu 430 Kfz/h unsignalisiert bedient werden, bei 1.800 Kfz/h knapp 100 Kfz/h (Bild 5.16).
- Die Vollsignalisierung führt hinsichtlich der Gesamtverlustzeiten unter allen untersuchten Belastungskonstellationen zu einem ungünstigeren Ergebnis als die nicht vollständige Signalisierung. Die Vorteile der nicht vollständigen Signalisierung sind jedoch eher marginal (Bild 5.18).
- Die Kennlinien für die mittleren Verlustzeiten in der Nebenrichtung und die mittleren Gesamtverlustzeiten nehmen für die nicht vollständige Signalisierung und die Vollsignalisierung einen nahezu identischen Verlauf (Bild 5.16).
- Die Kapazitätsgrenze von Vollsignalisierung und nicht vollständiger Signalisierung ist bei einer Belastung von 1.600 Kfz/h in der Hauptrichtung und ca. 500 Kfz/h in der Nebenrichtung erreicht (Bild 5.18).

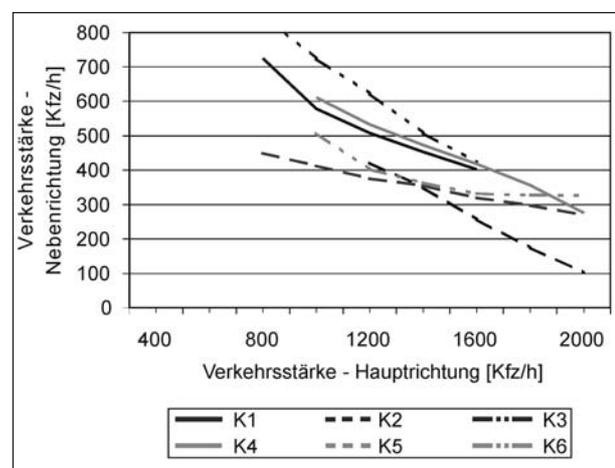
### 5.11 Fazit hinsichtlich der Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung

In den Bildern 5.19 und 5.20 sind die Ergebnisse bezüglich der sechs Beispielknotenpunkte für die nicht vollständige Signalisierung zusammenge-

fasst. Nachfolgend wird versucht, aus diesen Gemeinsamkeiten abzuleiten und Unterschiede zu begründen.

Folgendes wird aus einer Beurteilung anhand der Verlustzeiten in der Nebenrichtung deutlich (Bild 5.19):

- Der Beispielknotenpunkt K3 Hindenburgstraße/Otto-Schuster-Straße ist leistungsfähiger als die übrigen Beispielknotenpunkte, sofern als Beurteilungskriterium ausschließlich die mittlere Verlustzeit in der Nebenrichtung herangezogen wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Fahrzeuge der Nebenrichtung die Möglichkeit haben, die Sperrzeit der Hauptrichtung bis zu einer Dauer von 45 s verkehrsabhängig zu verlängern. Zudem können die Fahrzeuge der Nebenrichtung auch ohne Anforderung dann in die Hauptrichtung einbiegen, wenn die Hauptrichtung überquerende Fußgänger diese unterbrechen.
- Bei hohen Belastungen in der Nebenrichtung ist die Situation am Beispielknotenpunkt K2 besonders ungünstig. Dies hängt u. a. damit zusammen, dass an dieser Einmündung etwa 5-mal mehr Fahrzeuge nach links in die Hauptrichtung einbiegen als nach rechts. An den anderen Beispielknotenpunkten ist dieses Verhältnis ausgeglichener.
- An den Beispielknotenpunkten K1 und K2 stellt sich ein sehr ähnlicher Verlauf der Kennlinien für die mittlere Verlustzeit ein. An beiden Knotenpunkten werden die Nebenrichtungen bedient,



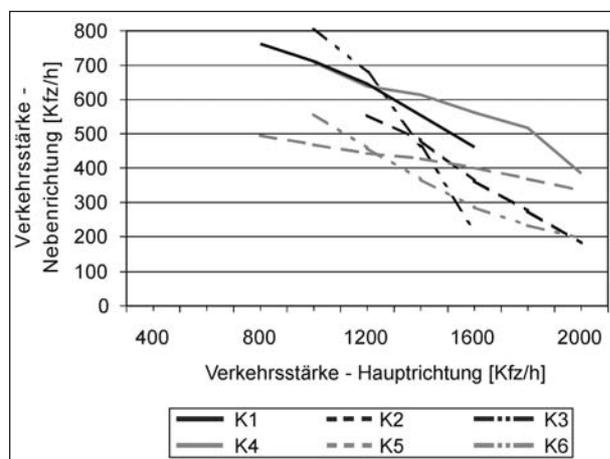
**Bild 5.19:** Beispielknotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung. Kennlinien für eine mittlere Verlustzeit von 45 s in der Nebenrichtung bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen

wenn dort die Wartezeiten einen Schwellwert von 20 s überschreiten. Zudem beträgt an beiden Knotenpunkten die aus einem Eingriff der Nebenrichtung resultierende Unterbrechung der Hauptrichtung stets 20 s. An beiden Knotenpunkten ist keine verkehrsabhängige Bemessung der Sperrzeit der Hauptrichtung vorgesehen.

- Für die beiden Außerortsknotenpunkte K5 und K6 stellen sich bei nicht vollständiger Signalisierung trotz einer unterschiedlichen Steuerung ganz ähnliche Ergebnisse ein. Bei zunehmender Verkehrsbelastung führt am Knotenpunkt K5 die Möglichkeit einer verkehrsabhängigen Verlängerung der Freigabezeit der Hauptrichtung (bis zu 45 s) dazu, dass diese für die Bedienung der Nebenrichtung maßgebend wird und nicht der Wartezeitsschwellwert von 30 s. Am Knotenpunkt K6 hingegen ist stets der Wartezeitsschwellwert von 45 s für die Bedienung der Nebenrichtung maßgebend.

Bei einer Beurteilung der Situation unter dem Blickwinkel der Gesamtverlustzeiten stellt sich die Situation wie folgt dar (Bild 5.20):

- Gleichermäßen günstig ist die Situation an den Knotenpunkten K1 und K4. Die Dauer der Sperrzeit für die Hauptrichtung ist auf einen festen Wert begrenzt. Die Nebenrichtungen haben keine Möglichkeit, diese entsprechend dem aktuellen Verkehrsaufkommen verkehrsabhängig zu verlängern. An den Knotenpunkten K2 und K3 hingegen können die Fahrzeuge der Nebenrichtung die Sperrzeit der Hauptrichtung bis zu



**Bild 5.20:** Beispielknotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung.  
Kennlinien für eine mittlere Gesamtverlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in den Haupt- und Nebenrichtungen

einer Dauer von 40 s verkehrsabhängig bemessen und schöpfen diese Möglichkeit mit zunehmender Belastung in der Hauptrichtung aus. Besonders ungünstig sind in diesem Zusammenhang die Voraussetzungen am Knotenpunkt K3. Dort müssen die Rechtseinbieger während der Sperrzeit der Hauptrichtung den parallel freigegebenen Fußgängern den Vorrang einräumen und können erst danach abfließen. Für die Dauer der Sperrzeit der Hauptrichtung ist somit nicht nur das aktuelle Fahrzeugaufkommen der Nebenrichtung, sondern auch die Frequentierung der Fußgängerfurt maßgebend.

- Die Situation an den beiden Außerortsknotenpunkten (K5 und K6) ist weitgehend identisch. An beiden Knotenpunkten ist die Sperrzeit der Hauptrichtung auf 20 s begrenzt. Die am Knotenpunkt K5 in die Signalisierung einbezogene Fußgängerfurt beeinflusst das Steuerungsergebnis nur wenig, da diese nur sehr selten nachgefragt wird.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Kapazität der untersuchten Beispielknotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung haben somit die folgenden Faktoren:

- Verkehrsbelastung

Anhand der Beispielknotenpunkte konnte gezeigt werden, dass mit der vollständigen Signalisierung Knotenpunkte mit einer Belastung von 2.000 Kfz/h in der Hauptrichtung und zwischen 100 und 300 Kfz/h in der Nebenrichtung noch mit ausreichender Verkehrsqualität bedient werden können. Bei einer Halbierung der Belastung können in etwa doppelt so viele Fahrzeuge in der Nebenrichtung bedient werden, ohne dass sich die Gesamtverlustzeiten wesentlich verändern. Nur in Einzelfällen konnte die o. g. Kapazität der Hauptrichtung nicht erreicht werden (K1, K3), weil zusätzlich zum Verkehr der Nebenrichtung auch stark frequentierte Fußgängerfurten bedient werden mussten.

- Zusammensetzung der Fahrzeugströme in der Nebenrichtung

Die Linkseinbieger benötigen als Strom dritter Ordnung im unsignalisierten Zustand besonders große Zeittücken für ihr Fahrmanöver. Je größer der Anteil der Linkseinbieger an der Gesamtbelastung der Nebenrichtung ist, desto länger sind die Verlustzeiten in der Nebenrichtung und desto häufiger kommt es bei nicht vollständiger Signa-

lisierung zu einer wartezeitbedingten Unterbrechung der Haupttrichtung. Bei Knotenpunkten mit einem hohen Anteil an Linkseinbiegern (z. B. bei K2) ist deshalb vom unteren der vorgenannten Grenzwerte für die Nebenrichtung auszugehen.

- Steuerungsparameter

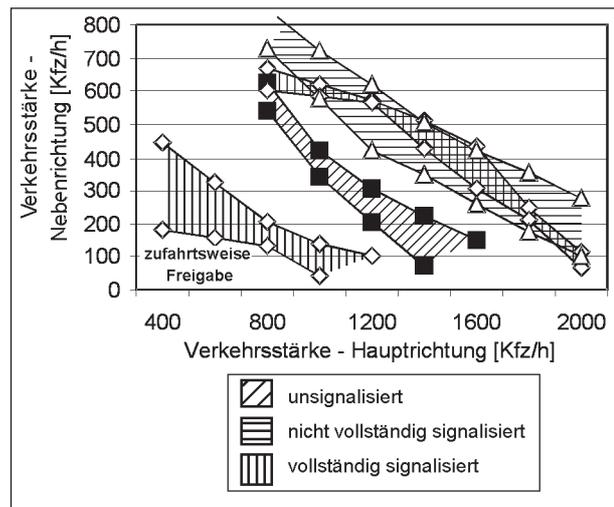
Theoretisch wäre zu erwarten, dass sich niedrige Wartezeitschwellwerte zwar günstig auf die Verkehrsqualität in der Nebenrichtung auswirken, dass sich aber aufgrund der damit verbundenen Eingriffshäufigkeit Nachteile für Verkehrsqualität der Haupttrichtung ergeben. Diese Vermutung lässt sich anhand einer vergleichenden Gegenüberstellung der Ergebnisse für die sechs Beispielknotenpunkte nicht bestätigen. Trotz niedriger Wartezeitschwellwerte (20 s) sind die Knotenpunkte K1 und K4 leistungsfähiger als die Knotenpunkte K2, K3 und K5 mit Wartezeitschwellwerten von 30 s.

Ein maßgeblicher Einflussfaktor für die Höhe der Gesamtverlustzeiten ist u. a. die Dauer der Unterbrechungen in der Haupttrichtung. Besonders ungünstig erwies sich die Situation für diejenigen Knotenpunkte, bei denen die Haupttrichtungen in Abhängigkeit von der Belastungssituation in der Nebenrichtung und der Vorrangschaltung für den ÖPNV bis zu einer Dauer von 40 s verkehrsunabhängig gesperrt sein können (K2, K3).

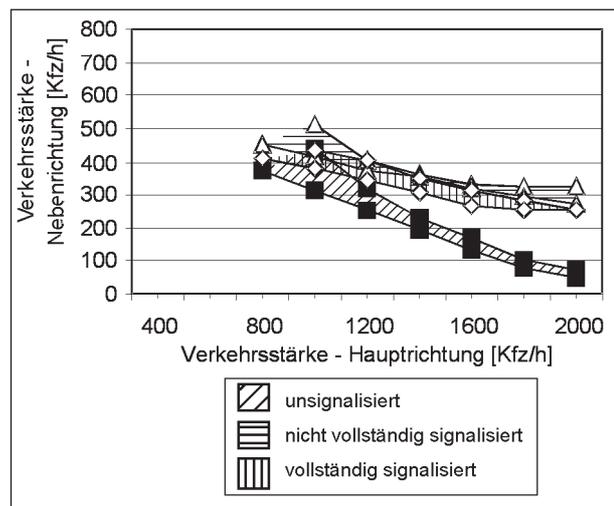
Die verkehrsabhängige Bemessung der Freigabezeitdauer der Haupttrichtung wirkt bei hohen Belastungen in der Haupttrichtung wie ein entsprechend hoher Wartezeitschwellwert für die Nebenrichtung (K5). Sie wird für Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung empfohlen, bei denen in der Haupttrichtung häufig mit Pulks zu rechnen ist (z. B. bei koordinierten Streckenzügen oder bei Außerortsstrecken mit hohem Schwerverkehrsanteil). Sie verhindert, dass Pulks bei Überschreitung des Wartezeitschwellwerts willkürlich auseinander gerissen werden. Letzteres könnte insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten zu kritischen Situationen und ggf. zu Auffahrunfällen führen.

## 5.12 Fazit hinsichtlich der Einsatzbereiche der untersuchten Signalisierungsformen

Zur Verdeutlichung der Einsatzbereiche der unterschiedlichen Signalisierungsformen sind in den Bildern 5.21 bis 5.24 für die mittleren Verlustzeiten die Hüllkurven der sechs Beispielknotenpunkte, differenziert nach den Einsatzbereichen innerorts



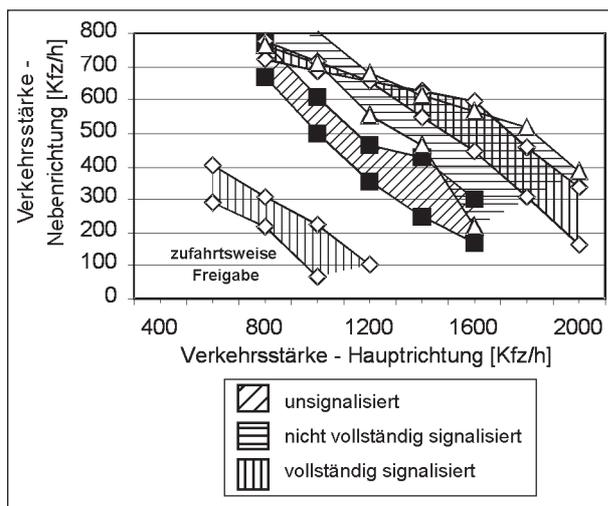
**Bild 5.21:** Einsatzbereiche unterschiedlicher Signalisierungsformen – innerorts  
Hüllkurven der Kennlinien für eine mittlere Verlustzeit von 45 s in der Nebenrichtung bei unterschiedlichen Belastungssituationen in Haupt- und Nebenrichtung



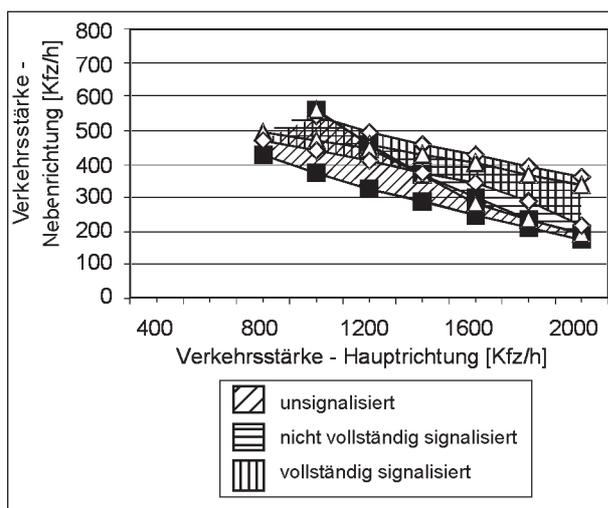
**Bild 5.22:** Einsatzbereiche unterschiedlicher Signalisierungsformen – außerorts  
Hüllkurven der Kennlinien für eine mittlere Verlustzeit von 45 s in der Nebenrichtung bei unterschiedlichen Belastungssituationen in Haupt- und Nebenrichtung

und außerorts einander gegenübergestellt. Maßgebend für den Vergleich des unsignalisierten Zustands mit der nicht vollständigen Signalisierung sind die mittleren Verlustzeiten der Nebenrichtungen, während für den Vergleich von nicht vollständiger Signalisierung und Vollsignalisierung als Beurteilungskriterium die Gesamtverlustzeiten ausschlaggebend sind.

Die nachfolgende Darstellung der Ergebnisse ist vor dem Hintergrund der begrenzten Anzahl an untersuchten Beispielknotenpunkten zu sehen. Dabei sind die folgenden Randbedingungen zu beachten:



**Bild 5.23:** Einsatzbereiche unterschiedlicher Signalisierungsformen – innerorts  
Hüllkurven der Kennlinien für eine mittlere Gesamtverlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in Haupt- und Nebenrichtung



**Bild 5.24:** Einsatzbereiche unterschiedlicher Signalisierungsformen – außerorts  
Hüllkurven der Kennlinien für eine mittlere Gesamtverlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in Haupt- und Nebenrichtung

- Es wurden ausschließlich Knotenpunkte mit einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung untersucht.
- Die untersuchten Knotenpunkte werden als vollverkehrsabhängige Einzelläufer betrieben.

### Einsatzbereiche der untersuchten Signalisierungsformen

Aus den Bildern 5.21 bis 5.24 lassen sich die in Tabelle 5.6 aufgeführten Eckpunkte der Hüllkurven ablesen. Die Tabelle macht Folgendes deutlich:

	Einsatzbereich	Richtung	von [Kfz/h]	bis [Kfz/h]
innerorts	unsignalisiert	Hauptrichtung	800	1.400
		Nebenrichtung	600	200
	nicht vollständig signalisiert	Hauptrichtung	800	2.000
außerorts	unsignalisiert	Hauptrichtung	1.000	2.000
		Nebenrichtung	400	80
	nicht vollständig signalisiert	Hauptrichtung	1.000	2.000
vollständig signalisiert	Hauptrichtung	800	2.000	
	Nebenrichtung	750	300	
vollständig signalisiert	Hauptrichtung	1.000	2.000	
	Nebenrichtung	500	350	

**Tab. 5.6:** Einsatzgrenzen der untersuchten Signalisierungsformen

#### • Unsignalisierter Zustand

Der Untersuchungsbereich schließt für die Innerortsknotenpunkte in der Hauptrichtung ein Belastungsspektrum von 800 bis 1.400 Kfz/h ein. Bei höheren Belastungen in der Hauptrichtung kommt es an den untersuchten Innerortsknotenpunkten zu instabilen Verkehrsabläufen in den Nebenrichtungen. Bei niedrigen Belastungen in der Hauptrichtung (800 Kfz/h) können in der Nebenrichtung bis zu 600 Kfz/h bedient werden. Bei 1.400 Kfz/h in der Hauptrichtung lassen sich in der Nebenrichtung ca. 200 Kfz/h mit ausreichender Verkehrsqualität (Qualitätsstufe D) abwickeln.

Außerorts wurde ein Belastungsspektrum von 1.000 bis 2.000 Kfz/h in der Hauptrichtung untersucht. Bei diesem ließen sich im unsignalisierten Zustand ca. 400 bzw. ca. 80 Kfz/h mit ausreichender Verkehrsqualität abwickeln

#### • Nicht vollständig signalisierter Zustand

An den untersuchten Innerortsknotenpunkten können bei einer Belastung von 800 Kfz/h in der Hauptrichtung in etwa gleich viele Fahrzeuge in der Nebenrichtung bedient werden. Bei einer Belastung von 2.000 Kfz/h in der Hauptrichtung konnten ca. 300 Kfz/h in der Nebenrichtung mit ausreichender Verkehrsqualität (Qualitätsstufe D) bedient werden.

Außerorts können bei hohen Belastungen in der Hauptrichtung in der Nebenrichtung in etwa gleich viele Fahrzeuge abgewickelt werden wie innerorts. Bei niedrigen Belastungen in der Hauptrichtung können hingegen außerorts in der Nebenrichtung deutlich weniger Fahrzeuge mit ausreichender Verkehrsqualität bedient wer-

den als innerorts. Dies liegt u. a. daran, dass bei niedrigem Verkehrsaufkommen außerorts hohe Geschwindigkeiten gefahren werden und die Fahrzeuge der Nebenrichtung in diesen Fällen größere Zeitlücken für das Einbiegen bzw. Kreuzen benötigen.

- **Vollsignalisierung**

Für den Zustand bei Vollsignalisierung unterscheiden sich die aus den Hüllkurven ablesbaren Eckpunkte der Einsatzbereiche für die Vollsignalisierung nur unwesentlich von den vorgenannten Eckpunkten der nicht vollständigen Signalisierung.

Dies gilt nicht, wenn aus Gründen der Verkehrssicherheit für die Vollsignalisierung ein Mehrphasensystem erforderlich wird. Dann nimmt die Kapazität der Signalanlagen in aller Regel ab. Besonders ungünstig wird die Situation, wenn Sicherheitserwägungen oder beengte örtliche Verhältnisse dazu führen, dass der Verkehr in der Hauptrichtung bei Vollsignalisierung in unterschiedlichen Phasen bedient werden muss und eine zufahrtweise Regelung erfolgt. Solche Regelungen waren an den Beispielknotenpunkten K1 und K3 erforderlich. Sie führen dort zu einer Verkehrsqualität, die deutlich ungünstiger ist als im unsignalisierten Zustand, und lassen sich nur bei sehr geringem Verkehrsaufkommen realisieren (Bild 5.21 und 5.23).

### **Vergleich des unsignalisierten mit dem nicht vollständig signalisierten Zustand**

Die Bilder 5.21 und 5.22 zeigen, dass die Hüllkurven der nicht vollständigen Signalisierung sowohl an den Innerorts- wie auch an den Außerortsknotenpunkten stets oberhalb der Hüllkurven für den unsignalisierten Zustand verlaufen.

In der Regel kann an den untersuchten Beispielknotenpunkten mit der nicht vollständigen Signalisierung sowohl innerorts wie außerorts der Verkehr deutlich leistungsfähiger abgewickelt werden als im unsignalisierten Zustand. Durch die Unterbrechung der Hauptrichtung zugunsten der Nebenrichtung verändern sich die Gesamtverlustzeiten an den Beispielknotenpunkten im skizzierten Belastungsbereich nicht in einer Weise, dass die in der Nebenrichtung erreichten Zeitgewinne durch die Zeitverluste in der Hauptrichtung wieder aufgehoben würden (Bilder 5.23 und 5.24).

### **Vergleich der nicht vollständigen Signalisierung mit der Vollsignalisierung**

Sofern bei Vollsignalisierung in der Nebenrichtung mittlere Verlustzeiten von 45 s nicht überschritten werden sollen, lassen sich in Haupt- und Nebenrichtung ähnliche Verkehrsstärken abwickeln wie bei einer nicht vollständigen Signalisierung. Bei den Innerortsknotenpunkten überdecken sich die Hüllkurven der nicht vollständig signalisierten und der vollständig signalisierten Knotenpunkte in weiten Bereichen. Bei den Außerortsknotenpunkten hingegen ergeben sich bei nicht vollständiger Signalisierung etwas günstigere Verhältnisse als bei Vollsignalisierung. Dies entspricht auch dem Verhalten, das theoretisch erwartet werden darf: Bei der Abwicklung des Verkehrs in einem Zwei-Phasen-System unterscheiden sich die nicht vollständige Signalisierung und die Vollsignalisierung nur darin, wie der Übergang zwischen den beiden Phasen genutzt wird. Bei einer Vollsignalisierung wird der Übergang durch die einzuhaltenden Zwischenzeiten verkehrlich sicher gestaltet. Bei der nicht vollständigen Signalisierung hingegen können auch diese Übergänge noch teilweise genutzt werden:

- Zum einen weisen nicht alle durch die Vollsignalisierung geregelten Fahrbeziehungen Feindlichkeiten zueinander auf. So können bei nicht vollständiger Signalisierung z. B. Rechtseinbieger gemeinsam mit dem Gegengeradeausverkehr der Hauptrichtung bedient werden.
- Zum anderen können die Kraftfahrer der Nebenrichtung die Übergänge bei nicht vollständiger Signalisierung effektiver nutzen, indem sie z. B. in den Zwischenzeiten enthaltene Sicherheitsreserven ausschöpfen und auch dann noch in den Knotenpunkt einbiegen, wenn die Signale in der Hauptrichtung von gesperrt auf frei oder dunkel wechseln.
- Der Verlauf der Hüllkurven für die Vollsignalisierung verdeutlicht, dass sich mit dieser gegenüber einer nicht vollständigen Signalisierung in der Regel keine zusätzlichen Kapazitätsreserven mobilisieren lassen. Die Vorteile der Vollsignalisierung liegen eher auf einem anderen Gebiet. Sie ermöglicht eine gesicherte Bedienung aller am Knotenpunkt auftretenden Konfliktströme und wirkt damit potenziell auf das Unfallgeschehen.

## 6 Verkehrsunfallanalyse

### 6.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ein wesentliches Ziel des Forschungsvorhabens war der Nachweis der Wirkungen nicht vollständiger Signalisierungen auf die Verkehrssicherheit. Hierzu wurde ein Vergleich des Unfallgeschehens an ausgewählten Knotenpunkten in einem Dreijahreszeitraum vor bzw. nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung durchgeführt. In die Betrachtung der Maßnahmenwirkungen wurden Kontrollgruppen, bestehend aus unsignalisierten und vollständig signalisierten Knotenpunkten einbezogen. Es wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Knotenpunktauswahl für die Unfallanalyse,
- Erhebung und Aufbereitung der Unfalldaten,
- Ermittlung ausgewählter Unfallkenngrößen,
- Interpretation der Ergebnisse.

Wie die weiteren Betrachtungen zeigen werden, ist die Datenverfügbarkeit von länger zurückliegenden Unfällen, d. h. von 6 und mehr Jahren, erheblich eingeschränkt, während für die jüngere Zeit eine umfangreiche Datensammlung zur Verfügung steht. Diese wird genutzt, um das Unfallgeschehen für vergleichbare Knotenpunkte unter vergleichbaren Voraussetzungen differenziert nach den folgenden Signalisierungsformen zu untersuchen:

- unsignalisiert,
- nicht vollständig signalisiert und
- vollsignalisiert.

Hierzu wurden die gleichen Arbeitsschritte durchgeführt wie für den Vorher-/Nachher-Vergleich.

Die statistischen Betrachtungen der Wirkungen von nicht vollständigen Signalisierungen auf das Unfallgeschehen wurden durch eine Betrachtung der Einzelknotenpunkte ergänzt, um etwaige Zusammenhänge zwischen dem Unfallgeschehen und den unterschiedlichen Ausprägungen nicht vollständiger Signalisierungsformen aufzudecken.

### 6.2 Auswahl der Knotenpunkte für die Unfallanalyse

Die Auswahl der Knotenpunkte für den Vorher-/Nachher-Vergleich erfolgte anhand der in der Be-

standsaufnahme (siehe Abschnitt 3.3) gemeldeten Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung und der für diese zur Verfügung gestellten Unterlagen und Daten. Für die Auswahl waren die folgenden Kriterien entscheidend:

- Zeitpunkt der Einführung der nicht vollständigen Signalisierung.

Von den gemeldeten 330 Knotenpunkten kamen 40 Innerortsknotenpunkte und 7 Außerortsknotenpunkte für einen Vorher-/Nachher-Vergleich in Frage, wenn die Einführung der nicht vollständigen Signalisierung im Zeitraum zwischen den Jahren 2000 und 2002 liegt. In diesem Fall müssten Unfalldaten für die Jahre 1998 bis 2005 verfügbar sein.

- Einhaltung der Definition der nicht vollständigen Signalisierung.

Die Auswahl der Knotenpunkte wurde dadurch eingeschränkt, dass nicht alle gemeldeten Knotenpunkte der Definition einer nicht vollständigen Signalisierung (siehe Abschnitt 3.2.1) entsprachen.

- Ortslage: Es sollten sowohl Innerorts- wie auch Außerortsknotenpunkte in die Untersuchung einbezogen werden.
- Knotenpunkttyp: In die Auswertung sollten sowohl Einmündungen wie auch Kreuzungen einbezogen werden.

Insgesamt wurden für den Vorher-/Nachher-Vergleich die Unfalldaten der folgenden 27 Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung angefragt (siehe Tabelle 6.1).

Bezüglich der 27 angefragten Knotenpunkte können nur die Unfalldaten der in Tabelle 6.1 markierten 9 Innerorts- und 3 Außerortsknotenpunkte in den Vorher-/Nachher-Vergleich einbezogen werden. Die Gründe für die eingeschränkte Stichprobe sind:

- Eine generell eingeschränkte Datenverfügbarkeit für die Jahre vor 2000.

Wie eine Umfrage bei den zuständigen Polizeiinspektionen ergab, werden die Unfallmeldungen von den Polizeidienststellen aus datenschutzrechtlichen wie auch aus Platzgründen häufig nur über 5 Jahre archiviert und stehen somit für einen Vorher-/Nachher-Vergleich nicht zur Verfügung.

Nr.	Ort	Typ E/K	Lage	Beispielknotenpunkt
K1	Stuttgart	K	io	x
K2	Ostfildern	E	io	x
K3	Ostfildern	K	io	x
K4	Leonberg	E	io	x
K5	Bietigheim.-B.	K	ao	x
K6	Ulm	K	ao	x
K7	Friedrichshafen	E	io	
K8	Friedrichshafen	E	io	
K9	Oldenburg	E	io	
K10	Tuttlingen	K	io	
K11	Ravensburg	E	io	
K12	Freiburg	K	io	
K13	Bayreuth	K	io	
K14	Chemnitz	K	io	
K15	Aalen	E	io	
K16	Leonberg	E	io	
K17	Rostock	E	io	
K18	Stuttgart	E	io	
K19	Stuttgart	K	io	
K20	Stuttgart	K	io	
K21	Stuttgart	K	io	
K22	Ostfildern	E	io	
K23	Stuttgart	E	io	
K24	Chemnitz	K	io	
K25	Kirschau	K	io	
K26	Fellbach	K	ao	
K27	Fellbach	E	ao	

Tab. 6.1: Angefragte Knotenpunkte für den Vorher-/Nachher-Vergleich

- Falsche Angaben zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der nicht vollständigen Signalisierung, die erst im Verlauf der Auswertung der Unfallmeldungen festgestellt wurden.

In mehreren Fällen war in der durchgeführten Umfrage anstelle des Inbetriebnahmeterrmins der nicht vollständigen Signalisierung das Datum der letzten Änderung oder Erweiterung der nicht vollständigen Signalisierung angegeben.

Zu den angefragten 27 Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung wurden jeweils in unmittelbarer Umgebung liegende Vergleichsknotenpunkte als Kontrollgruppen ausgewählt, die entweder unsignalisiert oder vollsignalisiert betrieben werden. Die Eignung wurde entweder direkt vor Ort oder anhand von Lageplänen und Luftbildern geprüft.

Nr.	Ort	Typ E/K	Lage	unsign.	vollsign.	V/N
V-K1	Stuttgart	K	io	x	-	N
V-K2a	Ostfildern	E	io	-	x	N
V-K2b	Ostfildern	E	io	-	x	N
V-K3	Ostfildern	K	io	x	-	N
V-K4	Leonberg	E	io	-	x	N
V-K5	Bietigheim-B.	K	ao	-	x	N
V-K6a	Ulm	K	ao	-	x	N
V-K6b	Ulm	K	ao	x	-	N
V-K6c	Ulm	E	ao	x	-	N
V-K7	Friedrichshfn	E	io	-	x	V + N
V-K8	Friedrichshfn	E	io	-	x	V + N
V-K9a	Oldenburg	E	io	-	x	V + N
V-K9b	Oldenburg	E	io	x	-	V + N
V-K10a	Tuttlingen	K	io	x	-	V + N
V-K10b	Tuttlingen	K	io	-	x	N
V-K11a	Ravensburg	E	io	x	-	N
V-K11b	Ravensburg	K	io	-	x	N
V-K12	Freiburg	-	-	-	-	-
V-K13	Bayreuth	K	io	x	-	V + N
V-K14	Chemnitz	K	io	-	x	N
V-K15	Aalen	-	-	-	-	-
V-K16	Leonberg	E	io	x	-	V + N
V-K17	Rostock	-	-	-	-	-
V-K18a	Stuttgart	E	io	x	-	N
V-K18b	Stuttgart	E	io	-	x	N
V-K19	Stuttgart	K	io	-	x	N
V-K20a	Stuttgart	K	io	-	x	N
V-K20b	Stuttgart	K	io	x	-	N
V-K21a	Stuttgart	K	io	-	x	N
V-K21b	Stuttgart	E	io	x	-	N
V-K22	Ostfildern	-	-	-	-	-
V-K23a	Stuttgart	E	io	x	-	N
V-K23b	Stuttgart	E	io	-	x	N
V-K24	Chemnitz	K	io	x	-	N
V-K25	Kirschau	-	-	-	-	-
V-K26	Fellbach	-	-	-	-	-
V-K27	Fellbach	-	-	-	-	-

Tab. 6.2: Für die Kontrollgruppen angefragte Knotenpunkte

In Tabelle 6.2 sind die angefragten Vergleichsknotenpunkte aufgeführt. Durch die Knotenpunktnummer wird der Bezug zu den in Tabelle 6.1 aufgeführten Knotenpunkten hergestellt.

Die Tabelle verdeutlicht Folgendes:

- Für sieben Vergleichsknotenpunkte wurden von den Polizeidienststellen keine Angaben zum Unfallgeschehen gemacht. Auch Nachfragen führten zu keinem Erfolg.

Signalisierungsform	Knotenpunkttyp	Anzahl einbezogener Knotenpunkte	
		io	oo
unsignalisiert	E	6	1
	K	6	1
	$\Sigma$	12	2
nicht vollst. signalisiert	E	12	1
	K	11	3
	$\Sigma$	23	4
vollsignalisiert	E	8	0
	K	5	2
	$\Sigma$	13	2

**Tab. 6.3:** Anzahl der in den Mit-/Ohne-Vergleich einbezogenen Knotenpunkte (Kontrollgruppe)

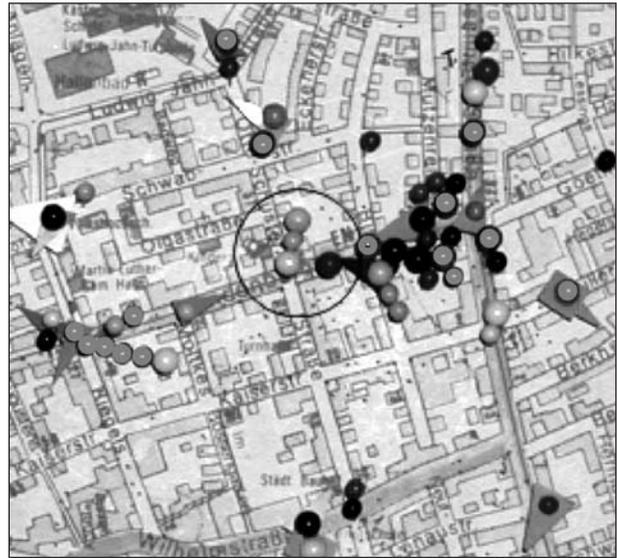
- Für insgesamt neun Knotenpunkte aus der Kontrollgruppe liegen Unfalldaten zu einem zurückliegenden Sechsjahreszeitraum vor.
- Unter den neun vorgenannten Knotenpunkten befinden sich nur die sechs in Tabelle 6.2 markierten, für die im selben Zeitraum auch Unfalldaten bezüglich der ausgewählten nicht vollständig signalisierten Knotenpunkte verfügbar sind. Der für die Kontrollgruppen vorgesehene Stichprobenumfang wird somit deutlich unterschritten.

Dennoch steht eine umfangreiche Datensammlung zur Verfügung, welche für einen vergleichbaren Zeitraum Unterlagen zu unsignalisierten, nicht vollständig signalisierten und vollsignalisierten Knotenpunkten umfasst. Einen Überblick gibt Tabelle 6.3.

### 6.3 Erhebung und Aufbereitung der Unfalldaten

Die Unfalldaten zu den vorgenannten Knotenpunkten wurden zwischen Herbst 2005 und Sommer 2006 über die zuständigen Polizeiinspektionen angefordert. Die Unfalldaten standen überwiegend in Form von Unfallbeschreibungen der örtlichen Polizeidienststellen zur Verfügung. Teilweise wurden auch Kopien der dreiseitigen polizeilichen Verkehrsunfallanzeige bereitgestellt, in denen datengeschützte Angaben geschwärzt waren.

Zusätzlich wurden in Einzelfällen, insbesondere wenn keine anderen Unfalldaten verfügbar waren, Unfallsteckkarten der Polizei ausgewertet. Diese lagen entweder bei elektronischer Führung (System EUSKa, siehe GDV/ISK (o. J.)) als Ausdruckdatei oder bei manuell geführten Unfallsteckkarten als Fotoabzug vor (vgl. Bild 6.1).



**Bild 6.1:** Von Hand geführte Unfallsteckkarte – Bsp. K3 Ostfil-dern (1998-1999)

Die aufbereiteten Unfalldaten wurden in einer Excel-Tabelle zusammengestellt und konnten für die weiteren Auswertungen nach zeitlichen, räumlichen und unfallspezifischen Kriterien aufbereitet werden.

### 6.4 Ermittlung der Unfallkenngrößen

Die Ermittlung der Unfallkenngrößen erfolgte nach dem Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (FGSV, 2003). Betrachtet wurden die folgenden Unfallkenngrößen:

- Anzahl der Unfälle (U),
- Anzahl der Unfälle mit Personenschaden (U(P)),
- Unfallkosten (UK).

Die Unfallkosten spiegeln durch die Berücksichtigung der Unfallfolgen, insbesondere von verletzten und getöteten Verkehrsteilnehmern, die Unfallschwere wieder. Die Unfallfolgen können mit monetären Pauschalsätzen in Abhängigkeit von der Unfallschwere nach HÖHNSCHEID u. a. (2000) ermittelt werden. Die Kostensätze gehen aus Tabelle 6.4 hervor.

Bei Innerortsknotenpunkten mit mehr als 15 Unfällen mit Personenschaden in drei Jahren und Außerortsknotenpunkten mit mehr als 10 Unfällen mit Personenschaden in drei Jahren ist bei der Bewertung der Unfallfolgen nach den Unfallkostensätzen (WU) für Unfälle mit Getöteten und Schwerverletzten WU(SP) und Unfällen mit Leichtverletzten WU(LV) zu differenzieren. In

Unfallkategorie (schwerste Unfallfolge)	Straßenkategorie	
	Außerorts- Landstraße	Innerorts- Verkehrsstraße
SP: Unfall mit Getöteten oder Schwerverletzten	270.000 €	160.000 €
LV: Unfall mit Leicht- verletzten	18.000 €	12.500 €
P: Unfall mit Personen- schaden	110.000 €	45.000 €
SS: Schwerwiegender Un- fall mit Sachschaden	13.000 €	12.000 €
LS: Sonstiger Unfall mit Sachschaden	6.000 €	6.000 €
S: Unfall mit Sachschaden	7.000 €	6.500 €

**Tab. 6.4:** Pauschale Unfallkostensätze WU in Abhängigkeit von Unfallkategorie und Straßenkategorie, Preisstand 2000 nach HÖHNSCHEID u. a. (2000)

den übrigen Fällen wurde bei der Bewertung der Folgen von Unfällen mit Personenschaden lediglich nach der Straßenkategorie unterschieden (WU(P)).

Bei Unfällen ohne Personenschaden wurde entsprechend den Unfallunterlagen bei der Ermittlung der Kostensätze nach schwerwiegenden Unfällen mit Sachschaden (SS) und sonstigen Unfällen mit Sachschaden (LS) unterschieden. Lagen keine Angaben vor, wurde für die Bewertung der Unfallfolgen der Kostensatz WU(S) herangezogen.

- Unfallrate (UR)

Die Unfallrate ist ein Maß für die durchschnittliche Anzahl der Unfälle am Knotenpunkt bezogen auf die über den Knotenpunkt gefahrene Verkehrsmenge von 1 Mio. Kfz.

Die Ermittlung der Unfallrate UR erfolgt nach der Formel:

$$UR = \frac{10^6 \cdot U}{(365 \cdot DTV \cdot t)} \quad [U / 10^6 \text{ Kfz}]$$

Bezüglich der Verkehrsbelastungen an den Knotenpunkten wurden die erforderlichen Verkehrsstärken entweder aus vorhandenen Knotenstromzählungen oder ersatzweise aus DTV-Querschnittangaben der Hauptrichtung ermittelt. Der Ermittlungsansatz wurde auf beide Zeiträume (vorher wie nachher) gleichermaßen angewendet. Da die Unfallauswertungen über insgesamt sechs Jahre erfolgten, war es erforderlich, die für ein bestimmtes Jahr vorliegenden Verkehrsdaten bzw. DTV-Werte für den Betrachtungs-

ungszeitraum jahresweise umzurechnen. Näherungsweise erfolgte dies unter Zugrundelegen einer jährlichen Verkehrszunahme von 1 % (HEUSCH/BOESEFELDT, 1999).

- Unfallkostenrate (UKR)

Die Unfallkostenrate UKR beziffert die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle, die bei 1.000 Kfz-Überfahrten am Knotenpunkt entstehen. Sie wurde analog zur Unfallrate nach der folgenden Formel bestimmt:

$$UKR = \frac{1000 \cdot UK}{(365 \cdot DTV \cdot t)} \quad [\text{Euro} / 1.000 \text{ Kfz}]$$

- Maßnahmenwirkung (MW)

In Anlehnung an das Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (FGSV, 2003) wurden die Maßnahmenwirkungen MW der vorgenannten Kenngrößen des Unfallgeschehens analysiert. Dabei wird das Unfallgeschehen im Vorher-Zeitraum (UV) mit dem Unfallgeschehen im Nachher-Zeitraum (UN) verglichen. Die Maßnahmenwirkung ist durch die folgende Formel bestimmt:

$$MW = \left(1 - \frac{UN}{UV}\right) \cdot 100 \quad [\%]$$

Die Größe MW gibt an, um wie viele Prozentwerte sich das Unfallgeschehen im Nachher-Zustand gegenüber dem Unfallgeschehen im Vorher-Zustand verändert. Negative Werte bedeuten eine Verschlechterung, positive Werte eine Verbesserung.

Die Maßnahmenwirkung MW kann für verschiedene Unfallkenngrößen ermittelt und beurteilt werden. Besonders aussagekräftig sind in diesem Zusammenhang die Unfallkosten bzw. Unfallkostenraten, da diese die Unfallschwere berücksichtigen.

Da in einem Untersuchungszeitraum von sechs Jahren Veränderungen des Unfallgeschehens durch andere Einflüsse als durch das Einführen einer nicht vollständigen Signalisierung nicht völlig ausgeschlossen werden können, war für die Beurteilung des Unfallgeschehens im selben Zeitraum eine Korrektur der Ergebnisse des Vorher-/Nachher-Vergleichs durch die Betrachtung von durch die Maßnahme unbeeinflussten Kontrollgruppen mit unsignalisierten bzw. vollsignalisierten Knotenpunkten vorgesehen.

Unter Einbeziehung der Entwicklung des Unfallgeschehens in den Kontrollgruppen (KgUV bzw. KgUN) berechnet sich die Maßnahmenwirkung wie folgt:

$$MW = \left(1 - \frac{UN}{UV} \cdot \frac{KgUV}{KgUN}\right) \cdot 100 \quad [\%]$$

Das Korrekturverfahren setzt voraus, dass die Anzahl der Unfälle in der Kontrollgruppe deutlich größer ist als die Anzahl der Unfälle in der Untersuchungsgruppe (vgl. FGSV, 2003).

## 6.5 Ergebnisse des Vorher-/Nachher-Vergleichs

### 6.5.1 Ergebnisse ohne Berücksichtigung von Kontrollgruppen

Eine Übersicht des in den Vorher-/Nachher-Vergleich einbezogenen Unfallkollektivs enthält Tabelle 6.5. Es umfasst insgesamt 286 Unfälle. Der überwiegende Teil der Unfälle stammt aus dem Innerortsbereich.

Der aufgezeigte Stichprobenumfang ist für einen statistischen Nachweis von Veränderungen des Unfallgeschehens nicht ausreichend. Die nachfolgenden Ausführungen müssen unter diesem Vorbehalt gesehen werden. Bei den in den Vorher-/Nachher-Vergleich einbezogenen Knotenpunkten handelt es sich um vorfahrtsgerichtete Knotenpunkte, die aus verschiedenen Gründen mit einer nicht vollständigen Signalisierung ergänzt wurden. Die Knotengeometrie wurde dabei nicht verändert. Zu möglichen Veränderungen im Verkehrsgeschehen und Fahrverhalten im Betrachtungszeitraum von 6 Jahren liegen keine Erkenntnisse vor.

Betrachtung der Unfallentwicklung an den Einzelknotenpunkten. In einem ersten Schritt wird die Unfallentwicklung an den Einzelknotenpunkten betrachtet. In den Tabellen 6.6 und 6.7 sind für diese die wesentlichen Kenngrößen des Unfallgeschehens aufgeführt. Sie lassen die folgenden Tendenzen erkennen:

- Hinsichtlich der in den Vergleich einbezogenen Innerortsknotenpunkte ergab sich kein einheitliches Bild. Die Unfallhäufigkeiten und die Unfallraten entwickelten sich nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung eher ungünstig. Bei fünf von neun Knotenpunkten traten im Nachher-Zustand mehr Unfälle auf. Die Unfallraten waren dort höher als vor Einführung der nicht vollständigen Signalisierung. Hinsichtlich der Unfallfolgen

Unfälle	io		ao		Gesamt		
	E	K	E	K	io	ao	Σ
Vorher	39	63	16	19	102	35	137
Nachher	26	57	12	54	83	66	149
Σ	65	120	28	73	185	101	286
Knotenpunkte	6	3	1	2	9	3	12

Tab. 6.5: Anzahl vorliegender Unfallmeldungen für den V/N-Vergleich nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte

hingegen zeichnet sich nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung eine positive Entwicklung ab. Bei fünf von neun Knotenpunkten waren die Unfallkosten und die Unfallkostenraten bei nicht vollständiger Signalisierung niedriger als im unsignalisierten Zustand.

- Negative Veränderungen ergaben sich für die Knotenpunkte K2 und K12. Während diese am Knotenpunkt K12 auf die Zunahme der Unfallhäufigkeit zurückzuführen sind, wurden sie am Knotenpunkt K2 durch die Zunahme der Unfälle mit Personenschaden verursacht.
- Positive Wirkungen waren insbesondere für die Knotenpunkte K7, K8 und K14 festzustellen. An allen drei Knotenpunkten nahmen Unfallhäufigkeit und Unfallraten nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung deutlich ab. An den Knotenpunkten K7 und K14 traten nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung auch deutlich weniger Unfälle mit Personenschaden auf. In der Folge waren an allen drei Knotenpunkten im Nachher-Zustand erheblich niedrigere Unfallkosten und Unfallkostenraten zu registrieren.
- Besonders auffällig ist das Unfallgeschehen am Knotenpunkt K14. An diesem wurden sowohl im Vorher- wie im Nachher-Zustand in etwa gleich viele Unfälle registriert wie an den übrigen Knotenpunkten zusammengenommen. Die Ursache hierfür wird vorrangig auf die hohe Verkehrsbelastung des Knotenpunktes und die vierstreifige Fahrbahn in der Vorfahrtrichtung zurückgeführt.

### Betrachtung der Unfallentwicklung für das Gesamtkollektiv

Bei den vorangegangenen Betrachtungen wurde bewertet, wie häufig sich Veränderungen im Unfallgeschehen an den Einzelknotenpunkten ergeben haben. Das Ausmaß der Veränderungen ging in die Bewertung nicht mit ein. Nachfolgend wird das Un-

Knotenpunkte io	U		MW [%]	U (PS)		MW [%]	UK		MW [%]	DTV [Kfz/24h]	UR		MW [%]	UKR		MW [%]
	Vorher [Anzahl]	Nachher [Anzahl]		Vorher [Anzahl]	Nachher [Anzahl]		Vorher [€]	Nachher [€]			Vorher [U/10 <sup>6</sup> Fz]	Nachher [U/10 <sup>6</sup> Fz]		Vorher [€/10 <sup>3</sup> Kfz]	Nachher [€/10 <sup>3</sup> Kfz]	
K2	4	5	-	0	2	-	24.500	108.000	-	16.000	0,26	0,31	-	1,57	6,72	-
K7	11	4	+	4	0	+	246.000	36.000	+	15.500	0,80	0,28	+	17,85	2,54	+
K8	7	1	+	0	0	0	54.500	6.000	+	17.000	0,66	0,08	+	4,49	0,48	+
K9	16	14	+	3	4	-	225.000	245.000	-	13.100	1,21	1,14	+	18,82	19,88	-
K10	1	2	-	1	0	+	45.000	12.000	+	13.300	0,07	0,14	-	3,23	0,83	+
K11	0	2	-	0	0	0	0	20.000	-	19.300	0	0,09	-	0	0,950	-
K12	4	9	-	3	3	0	141.000	177.000	-	12.800	0,31	0,64	-	10,94	12,67	-
K13	1	2	-	1	0	+	45.000	12.000	+	8.400	0,11	0,22	-	5,07	1,31	+
K14	58	46	+	12	8	+	733.000	606.000	+	42.900	1,27	0,98	+	16,07	12,89	+
Summe	102	85	+17	24	17	+29	1.514.000	1.222.000	+19	/	/	/	/	/	/	/
∅	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17.600	0,66	0,53	+20	9,78	7,60	+22

**Tab. 6.6:** Übersicht über das Unfallgeschehen an Innerortsknotenpunkten im Vorher-/Nachher-Vergleich

Knotenpunkte io	U		MW [%]	U (PS)		MW [%]	UK		MW [%]	DTV [Kfz/24h]	UR		MW [%]	UKR		MW [%]
	Vorher [Anzahl]	Nachher [Anzahl]		Vorher [Anzahl]	Nachher [Anzahl]		Vorher [€]	Nachher [€]			Vorher [U/10 <sup>6</sup> Fz]	Nachher [U/10 <sup>6</sup> Fz]		Vorher [€/10 <sup>3</sup> Kfz]	Nachher [€/10 <sup>3</sup> Kfz]	
K6	7	12	-	1	8	-	146.000	911.000	-	20.000	0,36	0,59	-	7,45	45,09	-
K26	12	42	-	1	6	-	176.000	876.000	-	23.600	0,48	1,63	-	7,02	33,90	-
K27	16	12	+	3	1	+	414.000	196.000	+	13.600	1,10	0,80	+	28,56	13,12	+
Summe	35	66	-89	5	15	-200	736.000	1.983.000	-169	/	/	/	/	/	/	/
∅	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19.100	0,58	1,01	-82	14,15	31,65	-160

**Tab. 6.7:** Übersicht über das Unfallgeschehen an Außerortsknotenpunkten im Vorher-/Nachher-Vergleich

fallkollektiv an den neun Innerortsknotenpunkten für einen Vorher-/Nachher-Vergleich zusammengefasst und gemeinsam ausgewertet. Danach ergibt sich für Innerortsknotenpunkte nach Tabelle 6.7 das folgende Bild:

- Auch wenn sich an einzelnen Knotenpunkten das Unfallgeschehen nach Einführung einer nicht vollständigen Signalisierung unterschiedlich entwickelt, zeichnet sich insgesamt betrachtet ein positiver Trend ab: Im Dreijahreszeitraum nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung nahmen die Unfallhäufigkeit, die Unfallkosten, die Unfallraten und die Unfallkostenraten deutlich ab. Die Maßnahmenwirkung ist durchgängig positiv.
- Besonders hervorzuheben sind die günstigen Wirkungen hinsichtlich der Schwere der Unfälle. Die Maßnahmenwirkung beträgt im Hinblick auf
  - die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden +29 %,
  - die Unfallkosten +19 % und
  - die Unfallkostenrate +22 %.

Hinsichtlich der Außerortsknotenpunkte stützen sich die nachfolgenden Aussagen auf die Unfallauswertung von nur drei Knotenpunkten (Tabelle 6.8). Sie sind damit nicht repräsentativ:

- An zwei der drei betrachteten Knotenpunkte entwickelte sich das Unfallgeschehen nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung negativ. Sowohl die Zahl der Unfälle wie auch die Schwere der Unfallfolgen stiegen bei diesen erheblich an.

Bei den Knotenpunkten K6 und K27 nahmen die Unfallkostenraten auf das 5- bis 6,5fache des Vorher-Zustandes zu, wobei aber nicht maßnahmenbezogene Einflussfaktoren von erheblichem Einfluss sind (vgl. Abschnitt 8.2.2). Am Knotenpunkt K28 hingegen halbierten sich die Unfallkostenraten im Nachher-Zustand.

- Die Negativwirkungen an den Knotenpunkten K6 und K27 dominieren die Maßnahmenwirkungen des Gesamtkollektivs. Bei gemeinsamer Betrachtung des Unfallgeschehens an den drei Außerortsknotenpunkten weisen alle Unfallkenngrößen im Vorher-/Nachher-Vergleich Negativwirkungen auf. Die Unfallkosten und die Unfallkostenraten nehmen um ca. 160 bis 170 % zu.

### 6.5.2 Maßnahmenwirkungen unter Berücksichtigung von Kontrollgruppen

Zu den neun in den Vorher-/Nachher-Vergleich einbezogenen Innerortsknotenpunkten liegen die Unfalldaten von sechs Vergleichsknotenpunkten vor.

Vergleichsknotenpunkte	U Vorher [Anzahl]	U Nachher [Anzahl]	U (PS) Vorher [Anzahl]	U (PS) Nachher [Anzahl]	UK Vorher [€]	UK Nachher [€]	UR Vorher [U/10 <sup>6</sup> Fz]	UR Nachher [U/10 <sup>6</sup> Fz]	UKR Vorher [€/10 <sup>3</sup> Fz]	UKR Nachher [€/10 <sup>6</sup> Fz]
V-K7	3	1	2	0	96.000	6.000	0,28	0,06	8,81	0,35
V-K8	3	1	3	0	135.000	12.000	0,25	0,05	11,27	0,65
V-K9a	8	7	4	3	198.000	171.000	0,83	0,71	20,56	17,24
V-K9b	8	11	4	2	210.000	150.000	0,73	0,96	19,12	13,12
V-K10	4	6	1	3	69.000	153.000	0,31	0,45	5,38	11,57
V-K13	6	7	3	4	171.000	210.000	0,62	0,70	17,68	20,87
Summe	38	39	18	15	954.000	855.000	/	/	/	/
∅	/	/	/	/	/	/	0,503	0,488	13,80	10,63

Tab. 6.8: Übersicht über das Unfallgeschehen an den Vergleichsknotenpunkten im Vorher-/Nachher-Vergleich – innerorts

Diese stammen aus dem näheren Umfeld der untersuchten Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung. Die Auswahl erfolgte entweder vor Ort oder auf Hinweis der zuständigen Straßenbaubehörde und Verwendung von Lageplänen. Bedingung war, dass die Knotengeometrie und die Verkehrsbelastungen vergleichbar sind. Nach dem Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (FGSV, 2003) soll eine Kontrollgruppe deutlich mehr Knotenpunkte enthalten als das Vorher-/Nachher-Kollektiv. Im vorliegenden Fall ist dies nicht zutreffend.

Für die Vergleichsknotenpunkte sind die maßgeblichen Kenngrößen des Unfallgeschehens nachfolgend aufgeführt (siehe Tabelle 6.8). Aus diesen lässt sich der Sachverhalt ablesen.

- An den Vergleichsknotenpunkten V-K7 und V-K8 ist die Tendenz der Unfallentwicklung dieselbe wie an den korrespondierenden Knotenpunkten K7 und K8.
- An den Vergleichsknotenpunkten V-K9a, V-K9b, V-K10 und V-K13 hingegen verläuft die Unfallentwicklung insbesondere im Hinblick auf die Schwere der Unfallfolgen in gegenläufiger Richtung. An den Knotenpunkten V-K9a und V-K9b entwickelten sich die Unfallkosten sowie die Unfallkostenraten im Nachher-Zustand positiv, am Knotenpunkt K9 hingegen negativ. An den Vergleichsknotenpunkten V-K10 und V-K13 nehmen die Unfallkosten und die Unfallkostenraten im Nachher-Zustand zu, an den Knotenpunkten K10 und K13 hingegen ab.
- Das Gesamtkollektiv der Kontrollgruppe weist hinsichtlich aller Unfallkenngrößen dieselbe Tendenz auf, wie das Gesamtkollektiv der zu untersuchenden Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung.

Merkmal	V/N-Vergleich		Kontrollgruppe		MW [%]	
	V	N	V	N	ohne KG	mit KG
U [Anzahl]	102	83	32	33	+19	+21
U (PS) [Anzahl]	24	17	17	10	+29	-20
UK [T€]	1.514	1.222	879	702	+19	-1
UR [U/10 <sup>6</sup> Kfz]	0,66	0,53	0,503	0,488	+20	+17
UKR [€/10 <sup>3</sup> Kfz]	9,78	7,60	13,80	10,63	+22	+/-0

Tab. 6.9: Maßnahmenwirkungen innerorts unter Berücksichtigung der Kontrollgruppe

Prinzipiell sollte das in der Kontrollgruppe enthaltene Unfallkollektiv erheblich größer sein als das zu untersuchende Unfallkollektiv. Tabelle 6.9 verdeutlicht, dass dieses Ziel aus den bereits aufgeführten Gründen leider nicht erreicht werden konnte. Wird bei der Ermittlung der Maßnahmenwirkungen dennoch der aus dem Vorher-/Nachher-Vergleich der Kontrollgruppe berechnete Korrekturfaktor berücksichtigt, dann schwächt sich die Maßnahmenwirkung hinsichtlich der ausgewiesenen Unfallkenngrößen für das Innerortskollektiv ab bzw. erhält ein negatives Vorzeichen. Die Ergebnisse laut Tabelle 6.9 sind aufgrund der deutlich zu geringen Kontrollgruppe nicht bewertbar.

### 6.5.3 Differenzierung des Unfallkollektivs nach Unfalltypen und Unfallkategorien

Im Folgenden werden die Unfallkollektive des Vorher-/Nachher-Vergleichs für den Innerortsbereich differenziert nach ausgewählten Unfalltypen und Unfallkategorien einander gegenübergestellt.

Bezogen auf die relative Ereignishäufigkeit liefern die Tabellen 6.10 und 6.11 folgende Erkenntnisse:

- Der Unfalltyp 2 Abbiegeunfälle (AB) ist im Unfallkollektiv des Nachher-Zustandes häufiger vertreten als im Unfallkollektiv des Vorher-Zustandes.
- Der Unfalltyp 3 Einbiegen/Kreuzen (EK) tritt nach Einführen der nicht vollständigen Signalisierung weniger häufig auf als im unsignalisierten Zustand. Ein signifikanter Rückgang des Unfalltyps Einbiegen/Kreuzen durch Einführung einer nicht vollständigen Signalisierung ist nicht nachweisbar.
- Teilweise sind die Fallzahlen je Knotenpunkt sehr gering. Der Vorher-/Nachher-Vergleich unterliegt in diesen Fällen in hohem Maße der Zufälligkeit von Unfällen. Bei der Auswertung von Abbildungen der Unfallsteckkarte konnte die Unfallkategorie häufig nicht bestimmt werden, vgl. Tabelle 6.11.
- In der Ausbildung der Unfallstruktur ergeben sich nach Tabelle 6.11 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Unfallkollektiven des Vorher- und des Nachher-Zustandes.

Merkmal	Vorher		Nachher	
	U [Anzahl]	[%]	U [Anzahl]	[%]
Unf.-typ 1 – FU	0	0	2	2,4
Unf.-typ 2 – AB	3	2,9	10	11,8
Unf.-typ 3 – EK	30	29,4	18	21,2
Unf.-typ 4 – ÜS	1	0,9	2	2,4
Unf.-typ 5 – RV	0	0	0	0
Unf.-typ 6 – LV	59	57,9	45	52,9
Unf.-typ 7 – SO	9	8,8	8	9,4
Summe	102	100	85	100

Tab. 6.10: Vergleich nach Unfalltypen – innerorts

Merkmal	Vorher		Nachher	
	U [Anzahl]	[%]	U [Anzahl]	[%]
Unf.-kat. 1-3 – PS	24	23,5	17	20,0
Unf.-kat. 4 + 6 – SS	7	6,9	6	7,0
Unf.-kat. 5 – LS	58	56,9	52	61,2
k. A.	13	12,7	10	11,8
Summe	102	100	85	100

Tab. 6.11: Vergleich nach Unfallschwere bzw. Unfallkategorie – innerorts

## 6.6 Vergleich der Unfallkenngrößen von Knotenpunkten mit unterschiedlichen Signalisierungsformen

### 6.6.1 Vorgehensweise

Im Folgenden wird die Unfallsituation an Knotenpunkten mit unterschiedlichen Signalisierungsformen unter der Prämisse betrachtet, dass andere Einflussfaktoren weitgehend ausgeschlossen werden können. Um näherungsweise homogene Kollektive zu erhalten, wurde bei der Auswahl der Kollektive Folgendes beachtet:

- Es werden nur Unfälle berücksichtigt, die sich zwischen den Jahren 2000 und 2004 ereignet haben.
- Es werden jeweils Dreijahreszeiträume gebildet und verglichen.
- In den Unfallkollektiven sind jeweils gleich viele Knotenpunkte vergleichbarer Geometrie enthalten. Es wird dieselbe Anzahl an Einmündungen und an Kreuzungen berücksichtigt.
- Die Vergleichsknotenpunkte stammen aus derselben Region und derselben Ortslage. Es handelt sich i. d. R. um Nachbarknotenpunkte desselben Streckenzuges.
- Die Knotenpunkte sind hinsichtlich des Verkehrsaufkommens, der Geometrie, des Fußgänger- und des zulässigen Geschwindigkeiten und der Sichtverhältnisse ähnlich bzw. vergleichbar.
- Die Vergleichbarkeit wurde vor Ort und/oder mit Hilfe von Lageplänen und Luftbildern geprüft.
- Die Fahrleistung an den Vergleichsknotenpunkten liegt in einer ähnlichen Größenordnung.

Bei den auf diese Weise gebildeten Kollektiven wurde differenziert nach

- (1) dem Unfallkollektiv für unsignalisierte Knotenpunkte und dem Unfallkollektiv für nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte,
- (2) dem Unfallkollektiv für vollständig signalisierte und dem Unfallkollektiv mit nicht vollständig signalisierte Knotenpunkten.

Die in den Fallunterscheidungen (1) und (2) berücksichtigten Kollektive der nicht vollständig signalisierten Knotenpunkte unterscheiden sich aufgrund der o. g. Auswahlkriterien voneinander.

### 6.6.2 Vergleich der Unfallkenngrößen unsignalisierter und nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte

In die vergleichende Betrachtung der Unfallkenngrößen unsignalisierter und nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte können innerorts je Signalisierungsform die Unfalldaten von 10 Knotenpunkten herangezogen werden. Tabelle 6.12 zeigt, dass bei den nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten zwar die Zahl der Unfälle sowie die Unfallrate im Vergleichszeitraum höher waren als bei den unsignalisierten Knotenpunkten, die Unfallkosten und die Unfallkostenraten entwickelten sich hingegen eher positiv. Die auftretenden Unterschiede sind allerdings eher gering. Angesichts dessen sowie aufgrund des geringen Stichprobenumfangs lassen sich aus dem vorliegenden Datenmaterial keine Hinweise darauf ableiten, dass nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte sicherer oder unsicherer sind als unsignalisierte Knotenpunkte.

Für die Beurteilung des Unfallgeschehens außerorts stehen nur die Unfallunterlagen eines Knotenpunkts zur Verfügung (Tabelle 6.13). An diesem besteht ein

erhebliches Sicherheitsdefizit. Weitergehende Aussagen zu den Außerortsknotenpunkten sind aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht möglich.

### 6.6.3 Vergleich der Unfallkenngrößen vollständig signalisierter und nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte

Der Vergleich der Unfallkenngrößen vollständig und nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte bezieht innerorts die Unfalldaten von 11 Knotenpunkten je Signalisierungsform ein. Die in Tabelle 6.14 aufgeführten Kenngrößen verdeutlichen, dass sich bezüglich der einzelnen Vergleichsknotenpunkte keine einheitlichen Tendenzen in der Entwicklung des Unfallgeschehens zeigten. Bei Betrachtung der Gesamtkollektive wird jedoch deutlich, dass an den nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten insgesamt weniger Unfälle auftreten als an den vollständig signalisierten Vergleichsknotenpunkten und auch die Unfallschwere weniger gravierend war. Die Unfallraten wie die Unfallkostenraten liegen deutlich unter den Vergleichswerten. Signifikante Unterschiede sind jedoch wiederum nicht nachweisbar.

unsignalisierte Knotenpunkte							nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte						
Knotenpunkte io	DTV [Kfz/24h]	U [Anzahl]	U (PS) [Anzahl]	UK [€]	UR [U/10 <sup>6</sup> Fz]	UKR [€/10 <sup>3</sup> Kfz]	Knotenpunkte io	DTV [Kfz/24h]	U [Anzahl]	U (PS) [Anzahl]	UK [€]	UR [U/10 <sup>6</sup> Fz]	UKR [€/10 <sup>3</sup> Kfz]
V-K01	13.100	5	0	36.000	0,35	2,51	K01	14.200	12	2	151.000	0,77	9,71
V-K03	14.000	6	1	231.000	0,39	15,10	K03	14.600	12	4	246.000	0,69	14,06
V-K09b	10.400	11	2	150.000	0,96	13,12	K09	13.100	14	4	245.000	1,14	19,89
V-K10a	12.100	7	3	159.000	0,23	12,02	K10	13.300	2	0	12.000	0,14	0,83
V-K11a	20.900	5	0	54.000	0,22	2,36	K11	19.300	2	0	20.000	0,09	0,95
V-K13	9.200	7	4	210.000	0,70	20,87	K13	8.400	2	0	12.000	0,22	1,31
V-K16	15.900	1	0	6.000	0,06	0,34	K16	20.000	6	0	36.000	0,27	1,65
V-K18a	16.400	13	4	258.000	0,73	14,39	K18	15.200	6	3	159.000	0,36	9,65
V-K20b	7.100	2	0	12.000	0,26	1,54	K20	9.300	11	2	144.000	1,08	14,08
V-K21b	8.200	2	1	51.000	0,22	5,67	K21	6.900	5	1	69.500	0,66	9,18
Summe	/	58	15	1.161.000	/	/	Summe	/	72	16	1.094.500	/	/
Ø	12.700	/	/	/	0,42	8,33	Ø	13.400	/	/	/	0,50	7,66

Tab. 6.12: Vergleich des Unfallgeschehens an unsignalisierten und nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten – innerorts

unsignalisierte Knotenpunkte							nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte						
Knotenpunkte ao	DTV [Kfz/24h]	U [Anzahl]	U (PS) [Anzahl]	UK [€]	UR [U/10 <sup>6</sup> Fz]	UKR [€/10 <sup>3</sup> Kfz]	Knotenpunkte ao	DTV [Kfz/24h]	U [Anzahl]	U (PS) [Anzahl]	UK [€]	UR [U/10 <sup>6</sup> Fz]	UKR [€/10 <sup>3</sup> Kfz]
V-K06c	20.200	16	8	450.000	0,72	20,37	K06	20.000	12	8	911.000	0,59	45,08
V-K06b	18.600	6	5	237.000	0,29	11,65							
Summe	/	22	13	687.000	/	/	Summe	20.000	12	6	911.000	/	/
Ø	19.400	/	/	/	0,52	16,19	Ø	13.400	/	/	/	0,50	7,66

Tab. 6.13: Vergleich des Unfallgeschehens an unsignalisierten und nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten – außerorts

vollsignalisierte Knotenpunkte							nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte						
Knotenpunkte io	DTV	U	U (PS)	UK	UR	UKR	Knotenpunkte io	DTV	U	U (PS)	UK	UR	UKR
	[Kfz/24h]	[Anzahl]	[Anzahl]	[€]	[U/10 <sup>6</sup> Fz]	[€/10 <sup>3</sup> Kfz]		[Kfz/24h]	[Anzahl]	[Anzahl]	[€]	[U/10 <sup>6</sup> Fz]	[€/10 <sup>3</sup> Kfz]
V-K02b	16.100	5	2	109.000	0,29	6,22	K02	16.000	5	2	108.000	0,31	6,72
V-K07	15.100	3	2	96.000	0,28	8,81	K07	15.500	4	0	36.000	0,28	2,54
V-K08	16.500	3	3	135.000	0,25	11,27	K08	17.000	1	0	6.000	0,08	0,48
V-K09a	9.100	7	3	171.000	0,71	17,24	K09	13.100	14	4	245.000	1,14	19,89
V-K10b	15.100	26	9	591.000	1,57	35,63	K10	13.300	2	0	12.000	0,14	0,83
V-K14	40.100	61	11	509.000	1,39	11,60	K14	42.900	46	8	606.000	0,98	12,89
V-K18b	20.700	7	3	159.000	0,31	7,03	K18	15.200	6	3	159.500	0,36	9,65
V-K19	21.700	8	3	177.000	0,34	7,45	K19	18.800	9	2	133.500	0,44	6,48
V-K20a	13.100	4	1	63.000	0,28	4,39	K20	9.300	11	2	144.000	1,08	14,08
V-K21a	6.800	6	2	114.000	0,79	15,09	K21	6.900	5	1	69.500	0,66	9,18
V-K23b	19.400	22	3	261.000	1,04	12,30	K23	16.300	6	1	75.000	0,34	4,21
Summe	/	152	42	2.385.500	/	/	Summe	/	112	27	1.762.000	/	/
∅	17.600	/	/	/	0,72	11,25	∅	15.950	/	/	/	0,58	9,03

Tab. 6.14: Vergleich des Unfallgeschehens an vollständig und nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten – innerorts

unsignalisierte Knotenpunkte							nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte						
Knotenpunkte ao	DTV	U	U (PS)	UK	UR	UKR	Knotenpunkte ao	DTV	U	U (PS)	UK	UR	UKR
	[Kfz/24h]	[Anzahl]	[Anzahl]	[€]	[U/10 <sup>6</sup> Fz]	[€/10 <sup>3</sup> Kfz]		[Kfz/24h]	[Anzahl]	[Anzahl]	[€]	[U/10 <sup>6</sup> Fz]	[€/10 <sup>3</sup> Kfz]
V-K6a	18.500	6	3	355.000	0,30	17,57	K6	20.000	12	8	911.000	0,59	45,08
Summe	/	/	/	/	/	/	Summe	/	/	/	/	/	/
∅	/	/	/	/	/	/	∅	/	/	/	/	/	/

Tab. 6.15: Vergleich des Unfallgeschehens an vollständig und nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten – außerorts

Außerorts stehen für einen Vergleich der unterschiedlichen Signalisierungsformen nur die Unfalldaten des Knotenpunkts K6 zur Verfügung. Die direkte Gegenüberstellung mit den Unfallkenngrößen des vollsignalisierten Vergleichsknotenpunkts V-K6a (siehe Tabelle 6.15) zeigt, dass die Situation am Knotenpunkt K6 erheblich kritischer ist als am Vergleichsknotenpunkt V-K6a. Ausgehend von den Ergebnissen an einem einzigen Knotenpunkt können jedoch keine generellen Schlussfolgerungen hinsichtlich des Einsatzes nicht vollständiger Signalisierungen an Außerortsknotenpunkten gezogen werden.

## 6.7 Gesamtkollektiv der Unfälle an nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten

Insgesamt wurden Unfalldaten für 27 Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung erfasst. Nachfolgend wird das Ergebnis einer gemeinsamen Auswertung der Unfalldaten dieser Knoten-

punkte vorgestellt, um die Ergebnisse des Vorher-/Nachher-Vergleichs mit einer größeren Stichprobe zu untersetzen.

Für die Situation innerorts kann auf die Unfalldaten von 23 Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung zurückgegriffen werden. Unter diesen befinden sich 13 Einmündungen und 10 Kreuzungen. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Tabelle 6.16 wiedergegeben. Sie verdeutlichen Folgendes:

- Die Unfallhäufigkeit wie auch die Unfallfolgen sind an Kreuzungen höher als an Einmündungen.
- Das Gesamtkollektiv von 23 nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten bestätigt die Unfallkenngrößen des Vorher-/Nachher-Vergleiches (siehe Abschnitt 6.5).
- Im Vergleich zu den von VOSS (1994) für unsignalisierte bzw. vollsignalisierte Innerortsknotenpunkte ausgewiesenen Unfallraten (Einmündung ohne LSA 1,25, mit LSA 0,73 U/106 Fz; Kreuzung ohne LSA 1,55, mit LSA 1,45 U/106

Kenngroße	Einheit	Einmündung	Kreuzung	Gesamt
KP	[Anzahl]	12	11	23
U	[Anzahl]	99	110	209
U (PS)	[Anzahl]	20	22	42
UK	[T€]	1.435	1.569	3.004
UR Ø	[U/10 <sup>6</sup> Fz]	0,447	0,638	0,530
UKR	[€/10 <sup>3</sup> Fz]	6,474	9,105	7,625

**Tab. 6.16:** Unfallkenngroßen für Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung – zusammengefasstes Unfallkollektiv – innerorts

Kenngroße	Einheit	Einmündung	Kreuzung	Gesamt
KP	[Anzahl]	1	3	4
U	[Anzahl]	12	57	69
U (PS)	[Anzahl]	1	16	17
UK	[T€]	196	2.020	2.216
UR Ø	[U/10 <sup>6</sup> Fz]	0,803	0,819	0,816
UKR	[€/10 <sup>3</sup> Fz]	13,115	29,027	26,214

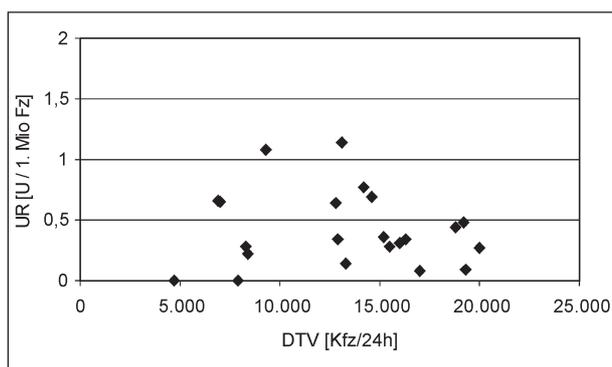
**Tab. 6.17:** Unfallkenngroßen für Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung – zusammengefasstes Unfallkollektiv – außerorts

Fz) sind die in Tabelle 6.16 für die hier untersuchten nicht vollständig signalisierten Innerortsknotenpunkte aufgeführten Unfallraten deutlich niedriger. Dies gilt auch bei einer Differenzierung der Knotenpunkte nach Einmündungen und Kreuzungen.

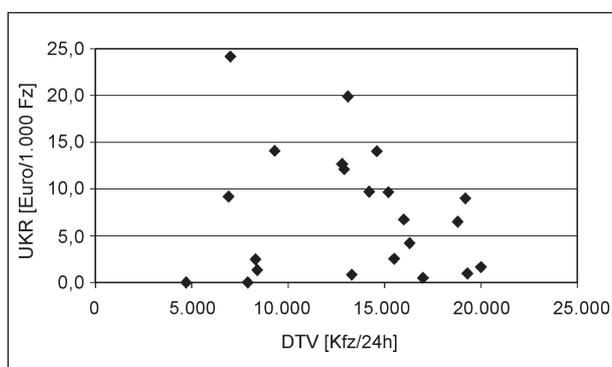
- Im Vergleich zu den von VOSS (1994) für unsignalisierte Innerortsknotenpunkte ermittelten Unfallkostenraten (UKR 9,72 €/10<sup>3</sup> Fz für Einmündungen, 12,3 €/10<sup>3</sup> Fz für Kreuzungen) sind die in Tabelle 6.16 für nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte ausgewiesenen Unfallkostenraten günstiger. Für Innerortsknotenpunkte mit Lichtsignalanlagen weist VOSS (1994) bei Einmündungen Unfallkostenraten in Höhe von 5,6 €/10<sup>3</sup> Fz und bei Kreuzungen Unfallkostenraten in Höhe von 13,8 €/10<sup>3</sup> Fz aus. Sie liegen damit in etwa in der Größenordnung der in Tabelle 6.16 angegebenen Werte.

Für die Beurteilung der Außerortssituation können die Unfalldaten von lediglich vier Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung herangezogen werden, darunter befinden sich eine Einmündung und drei Kreuzungen (Tabelle 6.17).

Die für die nicht vollständig signalisierten Knotenpunkte ausgewiesenen Unfallkenngroßen lassen Folgendes erkennen:



**Bild 6.2:** Unfallraten von nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten in Abhängigkeit von der DTW-Belastung – innerorts



**Bild 6.3:** Unfallkostenraten von nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten in Abhängigkeit von der DTW-Belastung – innerorts

- Die Unfallraten und Unfallfolgekosten liegen im Vergleich zu den Kennzahlen für innerorts deutlich höher.
- Die Unfallkostenrate liegt mit 26 €/10<sup>3</sup> Fz im Rahmen der von ECKSTEIN/MEEWES (GDV, 2002) festgestellten Unfallkostenraten für verschiedene Außerortsknotenpunkte.

In den Bildern 6.2 und 6.3 sind die Unfallraten bzw. Unfallkostenraten der nicht vollständig signalisierten Knotenpunkte in Abhängigkeit vom DTW aufgetragen. Die Bilder verdeutlichen den großen Streubereich der Einzelwerte. Abhängigkeiten lassen sich nicht erkennen.

## 6.8 Fazit zur Verkehrssicherheit

Aus den vorangegangenen Unfallanalysen, den Erfahrungen vor Ort und vereinzelt Hinweisen in den Protokollen der örtlichen Unfallkommissionen lassen sich folgende Ergebnisse und konstruktive Hinweise zu Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung formulieren:

- Innerorts

Es ergaben sich keine Anhaltspunkte dafür, dass Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung weniger sicher sind als unsignalisierte Knotenpunkte. Die Gegenüberstellung des Unfallgeschehens an Knotenpunkten vor und nach Einführung einer nicht vollständigen Signalisierung zeigte uneinheitliche Ergebnisse. In der Beispielsammlung von Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung finden sich sowohl Knotenpunkte mit einer positiven Unfallentwicklung wie auch solche mit einer negativen Unfallentwicklung. Aus einer Gesamtbewertung des Unfallkollektivs ließen sich für den Zustand nach Einführung der nicht vollständigen Signalisierung positive Wirkungen hinsichtlich des Unfallgeschehens ableiten. Diese sind jedoch aufgrund der geringen Fallzahlen statistisch nicht nachweisbar.

Die Gegenüberstellung der Unfallkenngrößen von vergleichbaren Knotenpunkten mit unterschiedlichen Signalisierungsformen führte zu einem ähnlichen Ergebnis. Es konnte nicht festgestellt werden, dass Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung unsicherer sind als Knotenpunkte in vergleichbarer Lage, mit vergleichbarer Geometrie und Verkehrsbelastung, aber einer abweichenden Signalisierungsform. Gegenüber der Situation an den unsignalisierten Vergleichsknotenpunkten nahmen bei den nicht vollständig signalisierten Knotenpunkten im Mittel zwar die Unfallhäufigkeit und die Unfallraten zu, die Zahl der Unfälle mit Personenschaden, die Unfallkosten und die Unfallkostenraten hingegen ab. Beim Vergleich der Unfallkenngrößen der vollsignalisierten Vergleichsknotenpunkte mit den Unfallkenngrößen der nicht vollständig signalisierten Knotenpunkte zeichnete sich für Letztere ein besseres Ergebnis ab. Aber auch für diese Aussage fehlt der statistische Nachweis.

- Außerorts

An zwei von drei in die Untersuchung einbezogenen Außerortsknotenpunkten verschlechterte sich die Verkehrssicherheit im Nachher-Zustand erheblich. Aufgrund des unzureichenden Stichprobenumfangs sind jedoch keine belastbaren Aussagen möglich.

- Einzelbetrachtungen

Eine Analyse der Situation an denjenigen fünf Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signali-

sierung, welche die höchsten Unfallkostenraten aufwiesen, ergab, dass für die dort realisierte nicht vollständige Signalisierung hinsichtlich der Verkehrssicherheit ein Verbesserungspotenzial besteht, wenn die vorliegenden Erfahrungen mit der Projektierung und Steuerung nicht signalisierter Knotenpunkte berücksichtigt werden, siehe hierzu Abschnitt 8.2.2.

## 7 Kostenvergleich

### 7.1 Herstellungskosten

Grundlage für das Ermitteln der Herstellungskosten sind die Signallagepläne der betrachteten Beispielnodenpunkte mit den dort dargestellten Signalisierungsformen sowie den Einheitspreisen gemäß Tabelle 7.1 (Preisbasis 2006). Bei allen im Folgenden ausgewiesenen Preisen handelt es sich um Nettopreise.

Grundsätzlich wurden für alle Knotenpunkte und Signalisierungsformen dieselben Einheitspreise an-

Position	Einheit	Einzelpreis
Steuergerät <sup>1)</sup>	St	5.000,00 €
Funkempfänger	St	1.200,00 €
Normamast	St	800,00 €
Auslegermast bis 3 m	St	1.400,00 €
Auslegermast bis 6 m	St	2.300,00 €
Auslegermast bis 9 m	St	4.300,00 €
Signalgeber, 3-feldig, D300 mm	St	600,00 €
Signalgeber, 2-feldig, D300 mm	St	480,00 €
Signalgeber, 1-feldig, D300 mm	St	250,00 €
Signalgeber, 3-feldig, D200 mm	St	400,00 €
Signalgeber, 2-feldig, D200 mm	St	300,00 €
Signalgeber, 1-feldig, D200 mm	St	200,00 €
Kontrastblende D300 mm	St	200,00 €
Kontrastblende D200 mm	St	120,00 €
Anforderungstaster	St	320,00 €
Anforderungstaster mit Vibrator	St	700,00 €
Induktionsschleife	St	750,00 €
Verkabelung	m	4,00 €
Software <sup>2)</sup>	psch	
Kabelgraben	m	120,00 €
Markierung <sup>2)</sup>	psch	

<sup>1)</sup> Bei Vollanlagen wird ein Einheitspreis von 12.000,00 € angesetzt

<sup>2)</sup> Der Preis wird je Knotenpunkt und Signalisierungsform gesondert kalkuliert

Tab. 7.1: Einheitspreise für die signaltechnische Ausrüstung (netto)

gesetzt. Eine Differenzierung erfolgte lediglich in den Positionen

- Steuergerät,
- Software,
- Markierung,
- Anforderungstaster (mit/ohne Zusatzeinrichtung für Sehbehinderte).

Bei den Preisansätzen für die Steuergeräte und die Software wurde die Anzahl der Signalgruppen und Detektoren bzw. die Größe und Komplexität der Knotenpunkte berücksichtigt. Hinsichtlich der Markierung erfolgte eine Abschätzung auf der Grundlage der vorliegenden Planunterlagen.

Mit diesem Ansatz ergeben sich die in Tabelle 7.2 aufgeführten Herstellungskosten. Die Tabelle verdeutlicht, dass in der Mehrzahl der Fälle die Lösung mit einer Vollsignalisierung des Knotenpunkts mehr als doppelt so teuer ist wie die nicht vollständige Signalisierung. Die Spannweite liegt zwischen dem 1,4- und dem 2,6fachen.

Besonders günstig ist das Verhältnis dann, wenn die Ausstattung der nicht vollständigen Signalisie-

Knotenpunkt	nicht vollständig signalisiert	vollständig signalisiert
K1 Stuttgart <sup>1)</sup>	24.822,00 €	53.660,00 €
K2 Ostfildern	24.820,00 €	59.320,00 €
K3 Ostfildern	32.220,00 €	66.240,00 €
K4 Leonberg	32.420,00 €	58.310,00 €
K5 Bietigheim-Bissingen	48.020,00 €	68.980,00 €
K6 Ulm	24.550,00 €	63.120,00 €
<sup>1)</sup> für die signalisierte Fußgängerfurt wurden Herstellungskosten in Höhe von 17.688,00 € ermittelt		

Tab. 7.2: Herstellungskosten (netto)

Knotenpunkt	nicht vollständig signalisiert	vollständig signalisiert
K1 Stuttgart <sup>1)</sup>	2.904,00 €/a	6.278,00 €/a
K2 Ostfildern	2.904,00 €/a	6.940,00 €/a
K3 Ostfildern	3.770,00 €/a	7.750,00 €/a
K4 Leonberg	3.793,00 €/a	6.822,00 €/a
K5 Bietigheim-Bissingen	5.618,00 €/a	8.071,00 €/a
K6 Ulm	2.872,00 €/a	7.385,00 €/a
<sup>1)</sup> für die signalisierte Fußgängerfurt wurden Jahreskosten in Höhe von 2.069,00 €/a ermittelt		

Tab. 7.3: Jahreskosten (netto)

rung auf das Notwendigste beschränkt werden kann. So wurde am Knotenpunkt K6 (Ulm) in der Hauptrichtung auf Erfassungseinrichtungen verzichtet. Es kamen nur 2-feldige Signalgeber (Dunkel – Gelb – Rot) zum Einsatz. Aufgrund der vorliegenden Geometrie war eine sehr kompakte Bauweise möglich.

Kostenaufwändig ist der Ausbau am Knotenpunkt K5 (Bietigheim-Bissingen). Dort wurden für die nicht vollständige Signalisierung auch in der Hauptrichtung Induktionsschleifen ca. 50 m vor der jeweiligen Haltlinie installiert. In der Folge waren teure Tiefbauarbeiten erforderlich. Darüber hinaus mussten aufgrund der vorliegenden Geometrie Auslegermaste mit sehr großer Ausladung gesetzt werden. Auch diese führten zu vergleichsweise hohen Kosten.

Bei der Umrechnung der vorgenannten Investitionskosten auf Jahreskosten ist nach den Empfehlungen für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS (FGSV, 1997) für technische Einrichtungen und Ausstattung eine Abschreibungsdauer von 10 Jahren zu berücksichtigen. Mit dieser ergibt sich unter Zugrundelegung eines Zinssatzes von  $p = 3\%$  der Annuitätenfaktor  $a_f$  zu 0,117. Die auf dieser Grundlage berechneten Netto-Jahreskosten sind in Tabelle 7.3 ausgewiesen.

## 7.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten setzen sich aus den Instandhaltungskosten und den Kosten für den Stromverbrauch zusammen. In Anlehnung an den vorhandenen Anlagenbestand wird einheitlich davon ausgegangen, dass sowohl bei den Lösungen mit nicht vollständiger Signalisierung als auch bei den Lösungen mit vollständiger Signalisierung Signalgeber mit 10-V-Glühlampen vorhanden sind.

Unter dieser Prämisse und mit den Einheitspreisen für die monatliche Instandhaltung gemäß Tabelle 7.4 ergeben sich die in Tabelle 7.5 aufgeführten Netto-Instandhaltungskosten pro Jahr.

Der Berechnung des Stromverbrauchs wurden die in Tabelle 7.6 aufgeführten Verbrauchswerte zu Grunde gelegt.

Bei 3-feldigen Signalgebern wurde unterstellt, dass während der Betriebszeit stets eine der drei Glühbirnen brennt. Bei 1- und 2-feldigen Signalgebern mit dem Signalbild dunkel wurde von der Anzahl der Schaltvorgänge in der Spitzenstunde und einer

Position	Einheit	Einzelpreis
Steuergerät <sup>1)</sup>	St	20,00 €/Monat
Funkempfänger	St	3,00 €/Monat
Leuchtfeld, D200, am Mast	St	0,50 €/Monat
Leuchtfeld, D200, am Ausleger	St	0,60 €/Monat
Leuchtfeld, D300, am Mast	St	0,50 €/Monat
Leuchtfeld, D300, am Ausleger	St	0,60 €/Monat
Induktionsschleife	St	0,80 €/Monat
Fg.-Taster	St	1,50 €/Monat
Fg.-Taster mit Vibrationsplatte	St	2,50 €/Monat
Lampenwechsel		
Leuchtfeld am Mast	St	0,80 €/Monat
Leuchtfeld am Ausleger	St	0,80 €/Monat

<sup>1)</sup> Bei Vollsignalisierung wird ein erhöhter Aufwand von 30,00 €/Monat angesetzt

**Tab. 7.4:** Einheitspreise für die Instandhaltung signaltechnischer Einrichtungen (netto)

Knotenpunkt	nicht vollständig signalisiert	vollständig signalisiert
K1 Stuttgart <sup>1)</sup>	733,00 €/a	1.330,00 €/a
K2 Ostfildern	449,00 €/a	1.034,00 €/a
K3 Ostfildern	703,00 €/a	888,00 €/a
K4 Leonberg	536,00 €/a	969,00 €/a
K5 Bietigheim-Bissingen	668,00 €/a	1.220,00 €/a
K6 Ulm	389,00 €/a	1.013,00 €/a

<sup>1)</sup> für die signalisierte Fußgängerfurt wurden Verbrauchskosten in Höhe von 680,00 €/a ermittelt

**Tab. 7.5:** Instandhaltungskosten (netto)

Position	Einheit	Verbrauch <sup>1)</sup> [Watt/h]
Steuergerät	St	75
Funkempfänger	St	30
Signalgeber, 3-feldig, D300 mm	St	30
Signalgeber, 2-feldig, D300 mm	St	30
Signalgeber, 1-feldig, D300 mm	St	30
Signalgeber, 3-feldig, D200 mm	St	30
Signalgeber, 2-feldig, D200 mm	St	30
Signalgeber, 1-feldig, D200 mm	St	30

<sup>1)</sup> Verbrauchswert unter der Prämisse, dass stets ein Leuchtfeld des Signalgebers brennt

**Tab. 7.6:** Energieverbrauchswerte

mittleren Schaltdauer ausgegangen. Die Unterschiede in den Verbrauchskosten nicht vollständiger und vollständiger Signalisierungen werden deshalb größer sein als nachfolgend dargestellt. – Für die Verbrauchskosten wurde ein Kostensatz von netto € 0,16/KWh unterstellt. Unter dieser Prämisse ergeben sich die Netto-Energiekosten pro Jahr nach Tabelle 7.7.

Knotenpunkt	nicht vollständig signalisiert	vollständig signalisiert
K1 Stuttgart <sup>1)</sup>	346,00 €/a	603,00 €/a
K2 Ostfildern	113,00 €/a	519,00 €/a
K3 Ostfildern	463,00 €/a	631,00 €/a
K4 Leonberg	137,00 €/a	463,00 €/a
K5 Bietigheim-Bissingen	274,00 €/a	603,00 €/a
K6 Ulm	79,00 €/a	406,00 €/a

<sup>1)</sup> für die signalisierte Fußgängerfurt wurden Verbrauchskosten in Höhe von 290,00 €/a ermittelt

**Tab. 7.7:** Energiekosten/Jahr (netto)

Knotenpunkt	nicht vollständig signalisiert	vollständig signalisiert
K1 Stuttgart <sup>1)</sup>	3.983,00 €/a	8.211,00 €/a
K2 Ostfildern	3.466,00 €/a	8.493,00 €/a
K3 Ostfildern	4.936,00 €/a	9.269,00 €/a
K4 Leonberg	4.466,00 €/a	8.254,00 €/a
K5 Bietigheim-Bissingen	6.423,00 €/a	9.894,00 €/a
K6 Ulm	3.340,00 €/a	8.804,00 €/a

<sup>1)</sup> für die signalisierte Fußgängerfurt wurden Gesamtkosten in Höhe von 3.039,00 €/a ermittelt

**Tab. 7.8:** Gesamtkosten/Jahr (netto)

## 7.3 Gesamtkosten

Herstellungskosten und Betriebskosten summieren sich auf die in Tabelle 7.8 ausgewiesenen Nettobeträge. Die Tabelle verdeutlicht, dass auch unter Berücksichtigung der Betriebskosten das Kostenverhältnis zwischen nicht vollständiger Signalisierung und vollständiger Signalisierung erhalten bleibt.

Die jährlichen Kosten für die Vollsignalisierung liegen in etwa beim 1,5- bis 2,6fachen der Kosten für eine nicht vollständige Signalisierung. Die nicht vollständige Signalisierung ist damit häufig eine preiswerte Alternative zur Vollsignalisierung.

## 8 Zusammenfassung

### 8.1 Zielsetzung und Methodik

Zum Thema „Nicht vollständige Signalisierung“ finden sich laut einer bundesweiten Umfrage viele Realisierungsbeispiele. Dennoch blieben bislang Fragen zu den Einsatzbedingungen, den Einsatzgrenzen und vor allem zur Verkehrssicherheit offen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, hierzu entsprechende Antworten zu erarbeiten.

An wichtigen methodischen Arbeitsschritten auf dem Weg hierzu sind zu nennen:

- Bestandserfassung und Beispielsammlung nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte in einer bundesweiten Befragungsaktion bei über 70 Stadtverwaltungen und Straßenbaubehörden.
- Auswahl von sechs typischen, nicht vollständig signalisierten Beispielknotenpunkten ohne bzw. mit Bevorrechtigung von Linienbussen, mit unterschiedlichen Knotenpunktformen (Einmündung bzw. Kreuzung) und unterschiedlicher Ortslage (innerorts bzw. außerorts).
- Verkehrsbeobachtungen (Videoaufzeichnungen, Vor-Ort-Erhebungen) an allen Beispielknotenpunkten, Erfassung der Verkehrsverhältnisse, Auswertung ausgewählter Kenngrößen des Verkehrsablaufs, wie z. B. der Wartezeiten von Einbiegern, zur Charakterisierung des Verkehrsgeschehens und für die Eichung der Simulationsmodelle.
- Aufbau von Simulationsmodellen für die Nachbildung des Verkehrsablaufs an den nicht vollständig signalisierten Beispielknotenpunkten, Eichung der Modelle anhand der erhobenen Kenngrößen des Verkehrsablaufs.
- Durchführen von Simulationsläufen mit Variation der Verkehrsstärken in der Haupt- und der Nebenrichtung, Bewertung der erreichbaren Verkehrsqualität anhand der mittleren Zeitverluste der Fahrzeuge der Nebenrichtung und der mittleren Gesamtverlustzeit aller Fahrzeuge.
- Fiktive Änderung der Verkehrsregelung in den Simulationsmodellen, Ermittlung der Verkehrsqualität für den unsignalisierten Zustand und den Zustand bei Vollsignalisierung, Auswertung und Vergleich mit den Ergebnissen für die nicht vollständige Signalisierung.
- Ableiten der Einsatzgrenzen der unterschiedlichen Signalisierungsformen in Anlehnung an die Qualitätsstufe D nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS, 2001/2005).
- Unfalldatensammlung zu 27 Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung als Grundlage für einen Vorher-/Nachher-Vergleich.

- Durchführung eines Vorher-/Nachher-Vergleichs und Bewertung der Maßnahmenwirkungen.
- Bildung einer Kontrollgruppe mit unsignalisierten und vollsignalisierten Vergleichsknotenpunkten, Berücksichtigung der Kontrollgruppe bei der Ermittlung der Maßnahmenwirkungen.
- Bildung von Kollektiven mit vergleichbarer baulicher Ausbildung der Knotenpunkte, aber unterschiedlicher Verkehrsregelung (unsignalisiert, nicht vollständig und vollständig signalisiert), Gegenüberstellung ausgewählter Unfallkenngrößen.
- Kostenvergleich für die Realisierung und den Betrieb der unterschiedlichen Signalisierungsformen anhand der Beispielknotenpunkte.

## 8.2 Ergebnisse und Empfehlungen

### 8.2.1 Ergebnisse

#### Bestandserhebung

Aus der Bestandserhebung liegen von 32 Städten und Straßenbauverwaltungen Meldungen zu über 330 Knotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung vor. Davon zählen 21 Knotenpunkte zum Außerortsbereich. Der bundesweite Bestand an nicht vollständigen Signalisierungen dürfte ein Vielfaches der erhobenen Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung betragen. Wesentliche oder auffällige Nachteile dieser Signalisierungsform sind bei der Bestandserhebung nicht bekannt geworden.

#### Beispielknotenpunkte

Bei den sechs ausgewählten Beispielknotenpunkten mit nicht vollständiger Signalisierung handelt es sich um:

K1 Stuttgart	innerorts, Kreuzung,
K2 Ostfildern	innerorts, Einmündung, Linienbusse mit Bevorrechtigung,
K3 Ostfildern	innerorts, Kreuzung, Linienbusse mit Bevorrechtigung,
K4 Leonberg	innerorts, Einmündung,
K5 Bietigheim-B.	außerorts, Kreuzung,
K6 Ulm	außerorts, Kreuzung.

## Verkehrsbeobachtungen

Die an den sechs Beispielknotenpunkten während der Nachmittagsspitzenstunde beobachteten Verkehrsstärken lagen zwischen 1.200 Kfz/h und 1.800 Kfz/h in der Hauptrichtung und 100 Kfz/h und 300 Kfz/h in der Nebenrichtung.

Die Anzahl der beobachteten Rotschaltungen für die Hauptrichtung lag in der Nachmittagsspitzenstunde an den Innerortsknotenpunkten zwischen 16 und 56. Auslösendes Ereignis hierfür waren in erster Linie die Hauptfahrbahn überquerende Fußgänger sowie wartepflichtige Fahrzeuge der Nebenrichtung. An den beiden Außerortsknotenpunkten traten in der Spitzenstunde 14 bis 20 Rotlichtanforderungen für die Hauptrichtung auf. Sie waren fast ausschließlich auf Anforderungen von Fahrzeugen der Nebenrichtung zurückzuführen.

## Simulation

In den Simulationsmodellen wurde die vorhandene Knotenpunktgeometrie nachgebildet und die aktuelle Steuerung vor Ort berücksichtigt. Benachbarte lichtsignalgeregeltete Knotenpunkte wurden in die Simulationsmodelle einbezogen, sofern ein Zusammenhang mit dem Verkehrsablauf am untersuchten Knotenpunkt bestand. Für den Eichprozess wurden u. a. die Anzahl der Rotphasen pro Stunde und die mittleren Standzeiten an der Sichtlinie der Nebenrichtung verwendet. Für den Nachweis der Übereinstimmung von Videobeobachtung und Simulationsergebnis bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % waren 35 Simulationsläufe je Fallunterscheidung erforderlich.

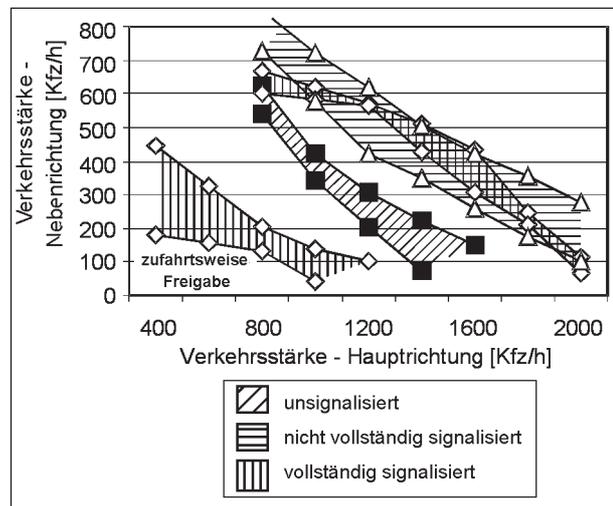
## Verkehrliche Einsatzbereiche

Mit der nicht vollständigen Signalisierung konnten an den Beispielknotenpunkten in der Simulation bis zu 2.000 Kfz/h in der Hauptrichtung und zwischen 100 Kfz/h und 300 Kfz/h in der Nebenrichtung mit ausreichender Qualität bedient werden (vgl. Bilder 8.1 und 8.2). Der untere Grenzwert repräsentiert dabei einen hohen Anteil von Linkseinbiegern.

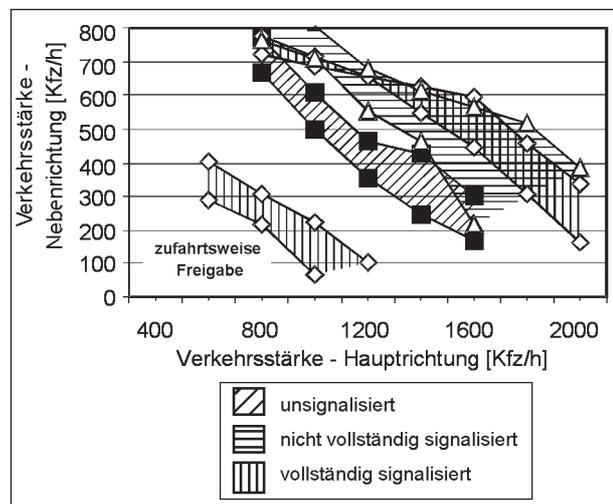
Bei Halbierung der Verkehrsbelastung in der Hauptrichtung konnten in der Nebenrichtung etwa doppelt so viele Fahrzeuge abgefertigt werden, ohne dass sich die Gesamtverlustzeiten wesentlich veränderten. Nur in Einzelfällen konnte die o. g. Kapazität der Hauptrichtung nicht erreicht werden,

weil zusätzlich zum Verkehrsaufkommen der Nebenrichtung stark frequentierte Fußgängerfurten über die Hauptfahrbahn bedient werden mussten.

Niedrige Wartezeitschwellenwerte wirkten sich bei nicht vollständigen Signalisierungen günstig für die Bedienung der Nebenrichtung aus, ohne dass es dadurch zu einer ungünstigen Entwicklung der Gesamtverlustzeit kommen muss. Ein Grund für die Höhe der Gesamtverlustzeit ist die Dauer der Unterbrechung der Hauptrichtung. Vergleichsweise ungünstig war die Situation dort, wo die Hauptrichtungen in Abhängigkeit von der Belastungssituation der Nebenrichtung längere Zeit gesperrt wurden.



**Bild 8.1:** Hüllkurven der Kennlinien für eine mittlere Verlustzeit von 45 s in der Nebenrichtung bei unterschiedlichen Belastungssituationen in der Haupt- und in der Nebenrichtung



**Bild 8.2:** Hüllkurven der Kennlinien für eine mittlere Gesamtverlustzeit von 45 s bei unterschiedlichen Belastungssituationen in der Haupt- und in der Nebenrichtung

Mit der nicht vollständigen Signalisierung kann innerorts wie außerorts der Verkehr deutlich leistungsfähiger abgewickelt werden als im unsignalisierten Zustand. Durch eine Vollsignalisierung wiederum ließen sich gegenüber der nicht vollständigen Signalisierung in der Regel keine zusätzlichen Leistungsfähigkeitsreserven mobilisieren.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Aussagen zur Kapazität nicht vollständig signalisierter Knotenpunkte aus der Betrachtung von Straßen mit einem Fahrstreifen je Richtung abgeleitet wurden und nicht auf zweistreifige Richtungsfahrbahnen übertragbar sind.

### **Verkehrssicherheit innerorts**

Aus dem Vorher-/Nachher-Vergleich (vorher unsignalisiert, nach dem Umbau nicht vollständig signalisiert) ergaben sich keine Hinweise darauf, dass Knotenpunkte mit nicht vollständiger Signalisierung weniger sicher sein könnten als unsignalisierte Knotenpunkte. Der Vergleich der Unfallkenngrößen von neun Innerortsknotenpunkten zeigte positive wie negative Beispiele. Eine gemeinsame Betrachtung des Gesamtkollektivs der Unfälle aller neun Knotenpunkte weist bei nicht vollständiger Signalisierung auf eine Reduktion der Unfallraten und der Unfallkostenraten hin. Die vorliegenden Unfalldaten sprechen jedenfalls nicht gegen den Einsatz nicht vollständiger Signalisierungen an Innerortsknotenpunkten. Für eine statistisch abgesicherte Aussage hätte jedoch der Umfang der in die Untersuchung einbezogenen Knotenpunkte deutlich erweitert werden müssen.

Eine Kreuzung, die im Zuge einer vierstreifigen, einbahnigen Fahrbahn (ohne bauliche Trennung) angeordnet ist, weist mit  $0,98 \text{ U}/10^6 \text{ Fz}$  die dritthöchste Unfallrate des untersuchten Kollektivs auf. Die meisten Unfälle waren vom Typ 6 (Unfall im Längsverkehr). Zwar nimmt auch an diesem Knotenpunkt mit Einführung der nicht vollständigen Signalisierung das Unfallgeschehen deutlich ab. Grundsätzlich sollte jedoch an solchen Knotenpunkten geprüft werden, ob nicht eine Vollsignalisierung hinsichtlich der Verkehrssicherheit eher zielführend ist.

### **Verkehrssicherheit außerorts**

Der Vorher-/Nachher-Vergleich für drei untersuchte Außerortsknotenpunkte ergab in zwei Fällen eine eindeutige Verschlechterung der Verkehrssicherheit. Neben der zu geringen Stichprobe führten

konstruktive Besonderheiten der Knotenpunkte zu nicht repräsentativen Ergebnissen und zu der Empfehlung, für den Einsatzbereich von nicht vollständigen Signalisierungen außerorts ergänzende Untersuchungen durchzuführen.

### **Wirtschaftlichkeit/Kosteneinsparungen**

Die Investitionskosten für eine nicht vollständige Signalisierung liegen bei 35 % bis 70 % der Investitionskosten für eine Vollsignalisierung. Unter Berücksichtigung der Betriebskosten ergeben sich bei einer nicht vollständigen Signalisierung gegenüber der Vollsignalisierung jährliche Einsparungsmöglichkeiten in Höhe von netto 3.500 € bis netto 5.500 €/Knotenpunkt.

### **Haltlinie**

Unter den in die Unfalluntersuchung einbezogenen Knotenpunkten erweisen sich diejenigen als weniger unfallträchtig, bei denen die Haltlinien weiter von der Konfliktfläche abgerückt sind, als diejenigen, bei denen die Haltlinien nur einen vergleichsweise kurzen Abstand von der Konfliktfläche haben. Dies gilt insbesondere für die Außerortsknotenpunkte.

### **8.2.2 Empfehlungen zur Projektierung nicht vollständiger Signalisierungen**

Aus der Unfalldatenanalyse, aus den Verkehrsbeobachtungen, aus den Simulationsergebnissen sowie aus den bislang vorliegenden praktischen Erfahrungen lassen sich zur Projektierung nicht vollständiger Signalisierungen die folgenden Empfehlungen ableiten:

#### **Einsatzbereiche**

- 1) Wenn Knotenpunkte unsignalisiert nicht mit hinreichender Verkehrsqualität betrieben werden können, stellt die nicht vollständige Signalisierung eine preiswerte Alternative zur Vollsignalisierung dar.
- 2) An zweistreifigen Straßen sind nicht vollständig signalisierte Knotenpunkte innerhalb der in den Bildern 8.1 und 8.2 ausgewiesenen Verkehrsstärkebereiche zumindest innerorts gute und wirtschaftliche Lösungen.
- 3) An Straßen mit mehr als zwei durchgehenden Fahrstreifen bringt die Ausstattung mit einer

nicht vollständigen Signalisierung neben der Verbesserung der Verkehrsqualität zwar auch eine deutliche Abnahme der Unfallzahlen mit sich, jedoch sollte an solchen Knotenpunkten geprüft werden, ob in Übereinstimmung mit den Grundsätzen der Entwurfsrichtlinien für Knotenpunkte nicht eine Vollsignalisierung zu bevorzugen ist.

- 4) An Außerortsknotenpunkten mit zweistreifiger durchgehender Fahrbahn sollte zusätzlich geprüft werden, ob eine ausreichende Verkehrssicherheit zu erwarten ist.

#### **Einbeziehen von Fußgängerschutzanlagen**

- 5) Werden Fußgängerschutzanlagen in nicht vollständige Signalisierungen einbezogen, ist zu prüfen, ob die Fußgängerfurt über die Hauptrichtung gesichert bedient werden muss oder ob eine bedingt verträgliche Bedienung der Furt zusammen mit der Nebenrichtung möglich ist. Der letztere Fall ist für die Kapazität der Anlage vorteilhaft.
- 6) Die aus der Nebenrichtung einbiegenden Kraftfahrer sollten bei bedingt verträglicher Bedienung mit Hilfe eines Schutzblinkers auf den Vorrang der Fußgänger aufmerksam gemacht werden, auch wenn dies nach der Straßenverkehrsordnung nicht vorgeschrieben ist. Kann auf einen vollen Signalschutz an der Fußgängerfurt aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht verzichtet werden, ist für eine gut funktionierende nicht vollständige Signalisierung in der der vollsignalisierten Furt gegenüberliegenden Knotenpunktzufahrt ein Vorsignal vorzusehen. Eine zweite Haltlinie allein oder ggf. mit Zusatzbeschilderung „bei Rot hier halten“ sehen. Eine zweite Haltlinie allein oder ggf. mit Zusatzbeschilderung „bei Rot hier halten“ reicht in der Regel für eine zügige Abwicklung der Einbieger im Schutz der signalisierten Furt nicht aus.

#### **Haltlinie**

- 7) Grundsätzlich sollten in der Hauptrichtung in beiden Knotenpunktzufahrten Haltlinien eingerichtet werden, an denen der Verkehr bei Anforderung der Nebenrichtung signaleregelt angehalten wird. Sie sollten deutlich von der Konfliktfläche abgesetzt sein, damit einbiegende Fahrzeugführer früher das Fahrverhalten der Fahrzeuge der Hauptrichtungen richtig einschätzen

und auf dieses reagieren können. Von mehreren Straßenbauverwaltungen wird daher für Außerortsknotenpunkte für den Abstand Konfliktfläche – Haltlinie ein Mindestmaß von 40 m bis 50 m gefordert.

#### **ÖPNV-Signalisierung**

- 8) Bei Anwendung der nicht vollständigen Signalisierung zur Bevorrechtigung von Nahverkehrsfahrzeugen fordern aus der Nebenrichtung kommende Linienbusse die Sperrung der Hauptrichtung über Datenfunk an und nutzen die so geschaffenen Lücken in der Hauptrichtung für das Einbiegen oder Kreuzen. Anders als der motorisierte Individualverkehr, der eine „Freigabe“ erst nach einer längeren Standzeit an der Sichtlinie erhält, sollte, wenn ein bevorrechtigter Bus aus freier Fahrt an der Sichtlinie eintrifft, die Hauptrichtung bereits gesperrt und damit ein zügiges Passieren des Knotenpunkts möglich sein. Aufgrund von Schwankungen der Fahr- und insbesondere der Haltestellenaufenthaltszeiten kommt es jedoch immer wieder vor, dass Linienbusse erst gegen Ende der Sperrzeit der Hauptrichtung an der Sichtlinie ankommen und im Annäherungsbereich abschätzen müssen, ob der Verkehr in der Hauptrichtung weiterhin anhält oder bereits wieder im Anfahren begriffen ist. Um dieser kritischen Situation entgegenzuwirken, sollte für den Linienbusverkehr der Nebenrichtung ein 1-feldiges Permissivsignal angeordnet werden, welches die Signalbilder Frei und Dunkel zeigt. Das Signalbild Frei wird dann geschaltet, wenn das Signal der Hauptrichtung gesperrt ist. Es geht auf Dunkel, wenn die Hauptrichtung Frei zeigt. Die Signale der Hauptrichtung und das Permissivsignal werden gegeneinander verriegelt.

#### **Berücksichtigung von Fahrzeugpuls in der Hauptrichtung**

- 9) Häufig werden nicht vollständige Signalisierungen dort eingesetzt, wo aufgrund von langen Wartezeiten in der Nebenrichtung der Verkehrsfluss in der Hauptrichtung nur vergleichsweise selten unterbrochen werden muss. Für viele Kraftfahrer ist deshalb eine Unterbrechung der Hauptrichtung ungewohnt. Insbesondere in dichtem Außerortsverkehr kann es bei verminderter Konzentration zu Auffahrunfällen kommen, wenn eines der Kolonnenfahrzeuge unver-

mutet abbremsst und anhält. Aus diesem Grund wird für Außerortsknotenpunkte empfohlen, im Falle einer nicht vollständigen Signalisierung bei Anforderung der Nebenrichtung die Freigabezeit der Hauptrichtung so lange verkehrsabhängig zu verlängern, bis im dortigen Verkehr eine Lücke auftritt. An drei der in die Untersuchung einbezogenen Außerortsknotenpunkte wird der Verkehr in der Hauptrichtung mittels Induktionsschleifen erfasst und in die Steuerungsentscheidungen einbezogen. Diese Knotenpunkte schnitten hinsichtlich der Verkehrssicherheit im Vergleich zu dem Außerortsknotenpunkt ohne verkehrsabhängige Verlängerung der Freigabezeiten der Hauptrichtung besser ab.

### Detektion einbiegender Fahrzeuge

- 10) Die Detektion einbiegender Fahrzeuge sollte so erfolgen, dass alle in erster Position wartenden Fahrzeuge erfasst werden können. Dabei darf es keine Rolle spielen, ob die Fahrzeuge direkt bis zur Sichtlinie vorfahren oder hinter einem abgesetzten Radfahrstreifen warten. Häufig werden die Detektoren so platziert, dass nur der links einbiegende bzw. kreuzende Verkehr erfasst wird, weil die Rechtseinbieger in der Regel auch ohne Einfahrhilfe im Hauptstrom in ausreichendem Umfang Lücken vorfinden. Letztendlich führt jedoch auch eine Fehlbelegung der Detektoren durch Rechtseinbieger nur zu geringfügigen Störungen in der Hauptrichtung, da die Anforderungen meist erst nach einer vergleichsweise langen Belegungsdauer wirksam werden. Die im Bereich der Sichtlinie platzierten Detektoren können auch zur Bemessung der Sperrzeit der Hauptrichtung verwendet werden. Eine Notwendigkeit hierfür ergibt sich jedoch eher selten.

## 8.3 Forschungsbedarf

Die Fragen hinsichtlich der Einsatzgrenzen nicht vollständiger Signalisierungen und der mit dieser erreichbaren Qualität des Verkehrsablaufs konnten mit dem vorliegenden Forschungsbericht beantwortet werden.

Die Verkehrssicherheit konnte hingegen nicht abschließend untersucht werden. Für die Innerortsknotenpunkte ergaben sich allerdings auch keine

Ansatzpunkte dafür, dass diese im nicht vollständig signalisierten Zustand unsicherer seien als im unsignalisierten Zustand. Eine repräsentative Aussage konnte jedoch aufgrund des zu geringen Stichprobenumfangs nicht getroffen werden. Dies gilt in noch verstärktem Maße für die Außerortsknotenpunkte. Es wird deshalb die Empfehlung ausgesprochen, die Untersuchungen zur Verkehrssicherheit auf der Grundlage eines deutlich erweiterten Stichprobenumfangs fortzuführen.

## Literatur

- ECKSTEIN, K., MEEWES, V. (2002): Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten, Knotenpunktgrundformen, Verkehrsregelung, Zufahrten. Mitteilungen (Nr. 40) des Institutes für Straßenverkehr Köln, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. – GDV, Köln
- FGSV (1997) Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS, Aktualisierung der RAS-W 86; Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- FGSV (1999): Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- FGSV (2003): Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen. Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- GDV/ISK (ohne Jahr): EUSka – Das Software-Paket für die zeitgemäße Verkehrssicherheitsarbeit. Informationsbroschüre, Hrsg.: GDV/ISK Institut für Straßenverkehr Köln im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) und der PTV AG, Karlsruhe
- HBS (2001/2005): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 2001, Fassung 2005
- HARDERS, J. (1968): Die Leistungsfähigkeit nicht lichtsignalgeregelter städtischer Knotenpunkte. Dissertation, Technische Hochschule Hannover
- HARDERS, J. (1976): Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leis-

- tungsfähigkeit von Landstraßenknoten. Forschungsberichte Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 216, Bonn
- HEUSCH, BOESEFELDT (1999): Trendprognose 1995/2015 für Bundesfernstraßen auf der Grundlage der Verkehrszählungen bis 1995. Tischvorlage zum 24. Febr. 1999, B/L-Ausschuss Straßenplanung (Bedarfsplanung)
- HÖHNSCHIED, K. J., KRUPP, R., MEEWES, V., KÖPPEL, W. (2000): Bewertung der Straßenverkehrsunfälle, Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 1995 bis 1998, Preisstand 2000. In: Straßenverkehrstechnik, Heft 9, S. 448-451
- KARAJAN, R. (2001): Textentwurf zur Fortschreibung der RiLSA, Juli 2001, Arbeitspapier des AK 3.16.7 der FGSV, unveröffentlicht
- KERSCHBAUM, A. (2000): Teilsignalisierung. Diplomarbeit Fachhochschule Stuttgart, Fachbereich Bauingenieurwesen, Betreuer: Prof. Dr. R. KARAJAN, Prof. Dr. D. MAURMAIER
- LENSING, N., MAVRIDIS, G., TÄUBER, D. (2001): Vereinfachtes Hochrechnungsverfahren für Außerorts-Straßenverkehrszählungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Heft V84
- MEEWES, V. (2003): Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten, Teil 1-3, In: Straßenverkehrstechnik 4/5/6
- RiLSA (1992): Richtlinien für Lichtsignalanlagen – RiLSA. Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- RiLSA (2003): Richtlinien für Lichtsignalanlagen – RiLSA. Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr. Teilfortschreibung 2003. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- SCHNÜLL, R. (2003): Vorfahrtsgeregelte Kreuzungen und Kreisverkehrsplätze um jeden Preis oder ehrliche Lichtsignalanlagen? In: Straßenverkehrstechnik, Heft 11, S. 565-575
- VESPER, A. (2003): Nicht vollständige Signalisierungen. Diplomarbeit TU Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (Univ. Prof. Dr.-Ing. Manfred BOLTZE)
- VOSS, H. (1994): Zur Verkehrssicherheit innerörtlicher Knotenpunkte. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Nr. 2, S. 68-72
- WEINERT, A. (2002): Grenz- und Folgezeitlücken an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen. In: Straßenverkehrstechnik, Heft 6, S. 284-295

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

### 2003

- V 100: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage  
Brilon, Miltner € 17,00
- V 101: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse  
Lensing € 13,50
- V 102: Vernetzung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen  
Kniß € 12,50
- V 103: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten  
Falkenberg, Blase, Bonfranchi, Cossè, Draeger, Kautzsch, Stapf, Zimmermann € 11,00
- V 104: Standortentwicklung an Verkehrsknotenpunkten – Randbedingungen und Wirkungen  
Beckmann, Wulfhorst, Eckers, Klönne, Wehmeier, Baier, Peter, Warnecke € 17,00
- V 105: Sicherheitsaudits für Straßen international  
Brühning, Löhe € 12,00
- V 106: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317  
Ellmers, Balzer-Hebborn, Fleisch, Friedrich, Keppler, Lukas, Schulte, Seliger € 15,50
- V 107: Auswirkungen von Standstreifenumnutzungen auf den Straßenbetriebsdienst  
Moritz, Wirtz € 12,50
- V 108: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen  
Baier, Kathmann, Baier, Schäfer € 14,00
- V 109: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr  
Weber, Löhe € 13,00

### 2004

- V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden  
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Acken € 15,00
- V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing  
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00
- V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50
- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/Ingenieurarbeitsplatz  
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere  
Surkus, Tegethof € 13,50

- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer  
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

### 2005

- V 111: Autobahnverzeichnis 2004  
Kühnen € 21,50
- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren  
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung  
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko  
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum  
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik  
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten  
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simović, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM<sub>10</sub>-Emissionen an Außerortstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen  
Düring, Bösing, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen  
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003  
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation  
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst  
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02  
Steven € 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken  
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme  
Boltze, Breser € 15,50

### 2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge  
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen  
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen  
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen  
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00

- V 137: **PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB**  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: **Kontinuierliche Stickoxid (NO<sub>x</sub>)- und Ozon (O<sub>3</sub>)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004**  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: **Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen**  
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: **Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003**  
Lensing € 15,00
- V 142: **Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen**  
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: **Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen**  
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: **Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis**  
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: **Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland**  
Baier, Klemp, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: **Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen**  
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: **Luftschadstoffe an BAB 2005**  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: **Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –**  
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: **Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung**  
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: **Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst**  
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00
- 2007**
- V 151: **Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO**  
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: **Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer**  
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: **Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen**  
Lemke € 13,50
- V 154: **Autobahnverzeichnis 2006**  
Kühnen € 22,00
- V 155: **Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht**  
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: **Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen**  
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: **Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317**  
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn € 14,50
- V 158: **Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen**  
Wirtz € 13,50
- V 159: **Luftschadstoffe an BAB 2006**  
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: **Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen**  
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: **Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta**  
Grahl, Sander € 14,50
- V 163: **Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen**  
Brilon, Wietholt, Wu in Vorbereitung
- V 164: **Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse**  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00
- 2008**
- V 165: **Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM<sub>10</sub>-Emissionen von Straßen**  
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: **Schadstoffgehalte von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung**  
Kocher, Brose € 14,50
- V 168: **Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit**  
Frost, Schulze € 15,50
- 
- Alle Berichte sind zu beziehen beim:
- Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)
- Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.