

# **Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 149**

**bast**

# **Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung**

von

Manfred Boltze  
Bernhard Friedrich  
Heiko Jentsch  
Wolfgang Kittler  
Nicola Lehnhoff  
Achim Reusswig

Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 149**

**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, Referat 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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt 03.361/2003/DGB**  
Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung

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

Referat 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 (10) 3-86509-580-1  
ISBN (13) 978-3-86509-580-0

Bergisch Gladbach, November 2006

## Kurzfassung – Abstract

### **Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung**

Die Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Ausgabe 1992 [FGSV 1992], „enthalten grundlegende verkehrstechnische Bestimmungen und Empfehlungen für die Einrichtung und den Betrieb von Lichtsignalanlagen“. Ihre Regelungen zielen darauf ab, den Verkehrsablauf an Lichtsignalanlagen für alle Verkehrsteilnehmergruppen mit hoher Qualität sicher zu gestalten. Um der ständigen Weiterentwicklung des komplexen Handlungsfelds gerecht zu werden, ist eine ständige Anpassung der Lichtsignalsteuerung erforderlich. Die Regelungen der Richtlinien sind in regelmäßigem Abstand kritisch daraufhin zu überprüfen, ob sie noch die aktuellen Anforderungen und den Stand der Technik widerspiegeln und somit ihren Gültigkeitsanspruch sowie ihre Praxisrelevanz aufrechterhalten können.

Ziele dieser Untersuchung waren die Erfassung, die strukturierte und anschauliche Darstellung sowie die kritische Analyse der Forschungstätigkeit und der Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Lichtsignalsteuerung in Deutschland, im benachbarten europäischen Ausland, in den USA und in Japan seit 1990, um die Erkenntnisse für eine Neufassung der RiLSA verfügbar zu machen.

Im ersten Arbeitsschritt wurde in ausgewählten Fachliteratur-Datenbanken und -Verzeichnissen systematisch nach themenbezogenen Veröffentlichungen ab 1990 recherchiert. Die so ermittelten Veröffentlichungen wurden Themengebieten, die aus der Gliederung der neuen RiLSA abgeleitet wurden, zugeordnet. Aufbauend auf einer ersten Bewertung der Relevanz der einzelnen Literaturfundstellen wurden die so ausgewählten etwa 400 Artikel in einer Datenbank erfasst und hinsichtlich der Bedeutung der behandelten Fragestellung, der Praxisrelevanz, der Aktualität und weiterer Kriterien vorbewertet.

Ergänzend wurden zur Erschließung der relevanten Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen in Japan vor Ort Gespräche mit Experten in der Verkehrstechnik geführt sowie Besichtigungen und eigene Beobachtungen durchgeführt.

Die positiv bewerteten Quellen wurden eingehend analysiert und die Ergebnisse im Einzelnen anschaulich aufbereitet. Diese Recherche- und Ana-

lyseerkenntnisse wurden in einer synoptischen Darstellung zusammengestellt. Die Bearbeitung der Themenfelder erfolgte dabei immer in den gleichen Schritten. Zuerst erfolgte die Darstellung der Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA. In den nächsten Schritten wurden der erreichte Forschungsstand, die Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder sowie die zusätzlichen Anmerkungen aus der Praxis dargestellt. Daraus wurden Aussagen zum verbleibenden Forschungsbedarf, zum Innovationsgrad der Fragestellung und zum Handlungsbedarf für die Neufassung der RiLSA abgeleitet.

### **Analysis and evaluation of new research findings concerning traffic signal systems control**

The Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) (Guidelines for traffic signals) from 2002 [FGSV, 2002] “include basic traffic engineering regulations and recommendations on the implementation and operation of traffic signal system”s. These regulations are to ensure the traffic flow at traffic signals for all road user groups guaranteeing a high quality standard. To meet the requirements of a further development in this complex field it is necessary to adapt the traffic signal systems continually. The regulations of the guidelines have to be checked periodically. It has to be verified that they reflect the actual requirements and state of the art and so maintain their claim for validity and practical relevance.

This analysis’ aim was the collection, the structured and clear presentation as well as the critical analysis of the research activity on the field of the traffic signal systems in Germany, the European neighbourhood, the USA and Japan since 1990 in order to make the results available for an amendment of the RiLSA.

The first step was a systematic research in selected databanks and directories for technical literature to find relevant publications starting 1990. The acquired articles were allocated to the different subject areas derived from the contents of the new RiLSA. Based on a first evaluation of the relevance of each source of literature, about 400 chosen articles were collected in a databank. They were reviewed with regard to the question to be

discussed, the practical relevance, the actuality and several other criteria.

In addition there have been discussions in Japan with experts in the traffic engineering as well as technical sightseeing and independent observations in order to gain the relevant insight and practical experiences.

The sources positively evaluated were analysed and the results depicted individually. These results from the enquiry and analysis were compiled in a synoptic report. For all topics the processing scheme was the same. First the procedure according to the actual RiLSA is described. The following steps show the state of research achieved, the consideration of the subject matter in other countries' guidelines and additional remarks from experts. With this information further research requirements, the degree of innovation of the question and the necessity of the amendment of the RiLSA was derived.

## Inhalt

<b>Teil A: Methodik</b> .....	9	1.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	27
<b>1 Vorgehensweise</b> .....	9	1.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	27
<b>2 Grundlagen</b> .....	10	1.2.6 Innovationsgrad .....	27
2.1 Regelwerk .....	10	1.2.7 Handlungsbedarf .....	27
2.2 Festlegung des Umfangs der Recherche .....	11	<b>2 Entwurf des Signalprogramms</b> .....	28
2.2.1 Arten von Fachveröffentlichungen .....	11	2.1 Signalprogrammstruktur .....	28
2.2.2 Erschließung der Quellen .....	11	2.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	28
2.3 Erfassung und Sichtung .....	12	2.1.2 Erreichter Forschungsstand .....	29
2.3.1 Inhaltsorientierte Recherche .....	12	2.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	32
2.3.2 Weitere Quellen .....	14	2.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	32
2.4 Gliederung in Themenfelder .....	14	2.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	34
2.4.1 Neustrukturierung der RiLSA .....	14	2.1.6 Innovationsgrad .....	35
2.4.2 Definition von Themenfeldern .....	14	2.1.7 Handlungsbedarf .....	35
2.4.3 Zuordnung zu Themenfeldern .....	14	2.2 Berechnungsvorschriften .....	36
2.5 Festlegung der Bewertungskriterien ...	16	2.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	36
2.5.1 Allgemeines .....	16	2.2.2 Erreichter Forschungsstand .....	36
2.5.2 Kriterien der Vorbewertung (AP 2.3) ...	16	2.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	37
2.5.3 Kriterien der Bewertung nach Themen- feldern (AP 3) .....	17	2.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	39
<b>Teil B: Analyse und Bewertung neuer Forschungs- erkenntnisse</b> .....	19	2.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	40
<b>1 Grundsätze</b> .....	19	2.2.6 Innovationsgrad .....	40
1.1 Lichtsignale und Signalfolgen .....	19	2.2.7 Handlungsbedarf .....	41
1.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	19	<b>3 Wechselwirkung zwischen Lichtsignalsteuerung und Knotenpunktentwurf</b> .....	42
1.1.2 Erreichter Forschungsstand .....	19	3.1 Fahrstreifen, Wendefahrbahnen .....	42
1.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	21	3.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	42
1.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	21	3.1.2 Erreichter Forschungsstand .....	43
1.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	22	3.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	44
1.1.6 Innovationsgrad .....	22	3.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	45
1.1.7 Handlungsbedarf .....	23	3.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	45
1.2 Einsatzkriterien für Lichtsignal- anlagen .....	23	3.1.6 Innovationsgrad .....	45
1.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	23	3.1.7 Handlungsbedarf .....	45
1.2.2 Erreichter Forschungsstand .....	23	3.2 Inseln, Furten .....	46
1.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	26	3.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	46
		3.2.2 Erreichter Forschungsstand .....	46
		3.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	46

3.2.4	Rückmeldungen aus der Praxis	46	<b>5</b>	<b>Sonderformen der Signalisierung</b>	61
3.2.5	Verbleibender Forschungsbedarf	46	5.1	Engstellensignalisierung	61
3.2.6	Innovationsgrad	47	5.1.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	61
3.2.7	Handlungsbedarf	47	5.1.2	Erreichter Forschungsstand	61
3.3	ÖPNV-Haltestellen	47	5.1.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	62
3.3.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	47	5.1.4	Rückmeldungen aus der Praxis	63
3.3.2	Erreichter Forschungsstand	47	5.1.5	Verbleibender Forschungsbedarf	63
3.3.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	48	5.1.6	Innovationsgrad	63
3.3.4	Rückmeldungen aus der Praxis	48	5.1.7	Handlungsbedarf	63
3.3.5	Verbleibender Forschungsbedarf	48	5.2	Fahrstreifensignalisierung	64
3.3.6	Innovationsgrad	48	5.2.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	64
3.3.7	Handlungsbedarf	48	5.2.2	Erreichter Forschungsstand	64
<b>4</b>	<b>Steuerungsverfahren</b>	48	5.2.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	64
4.1	Grundlagen, Übersicht, Einsatzhinweise	48	5.2.4	Rückmeldungen aus der Praxis	65
4.1.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	48	5.2.5	Verbleibender Forschungsbedarf	65
4.1.2	Erreichter Forschungsstand	49	5.2.6	Innovationsgrad	65
4.1.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	51	5.2.7	Handlungsbedarf	65
4.1.4	Rückmeldungen aus der Praxis	52	5.3	Rampenzuflusssteuerung	65
4.1.5	Verbleibender Forschungsbedarf	52	5.3.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	65
4.1.6	Innovationsgrad	53	5.3.2	Erreichter Forschungsstand	66
4.1.7	Handlungsbedarf	53	5.3.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	68
4.2	Kenngrößen	53	5.3.4	Rückmeldungen aus der Praxis	69
4.2.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	53	5.3.5	Verbleibender Forschungsbedarf	69
4.2.2	Erreichter Forschungsstand	54	5.3.6	Innovationsgrad	69
4.2.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	55	5.3.7	Handlungsbedarf	70
4.2.4	Rückmeldungen aus der Praxis	56	<b>6</b>	<b>Technische Ausführung</b>	70
4.2.5	Verbleibender Forschungsbedarf	56	6.1	Steuergerät	70
4.2.6	Innovationsgrad	57	6.1.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	70
4.2.7	Handlungsbedarf	57	6.1.2	Erreichter Forschungsstand	70
4.3	Koordinierung	58	6.1.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	70
4.3.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	58	6.1.4	Rückmeldungen aus der Praxis	71
4.3.2	Erreichter Forschungsstand	58	6.1.5	Verbleibender Forschungsbedarf	71
4.3.3	Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder	59	6.1.6	Innovationsgrad	71
4.3.4	Rückmeldungen aus der Praxis	60	6.1.7	Handlungsbedarf	71
4.3.5	Verbleibender Forschungsbedarf	60	6.2	Aktorik	71
4.3.6	Innovationsgrad	60	6.2.1	Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA	71
4.3.7	Handlungsbedarf	61	6.2.2	Erreichter Forschungsstand	72

6.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	73	7.1.6 Innovationsgrad .....	87
6.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	75	7.1.7 Handlungsbedarf .....	87
6.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	75	7.2 Regelbetrieb .....	88
6.2.6 Innovationsgrad .....	75	7.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	88
6.2.7 Handlungsbedarf .....	76	7.2.2 Erreichter Forschungsstand .....	88
6.3 Anzahl und Aufstellung der Signalgeber .....	76	7.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	89
6.3.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	76	7.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	89
6.3.2 Erreichter Forschungsstand .....	76	7.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	91
6.3.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	77	7.2.6 Innovationsgrad .....	91
6.3.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	77	7.2.7 Handlungsbedarf .....	92
6.3.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	78	7.3 Ersatzmaßnahmen bei Betriebsunterbrechung .....	92
6.3.6 Innovationsgrad .....	78	7.3.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	92
6.3.7 Handlungsbedarf .....	78	7.3.2 Erreichter Forschungsstand .....	92
6.4 Sensorik .....	78	7.3.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	92
6.4.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	78	7.3.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	93
6.4.2 Erreichter Forschungsstand .....	79	7.3.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	93
6.4.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	80	7.3.6 Innovationsgrad .....	93
6.4.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	81	7.3.7 Handlungsbedarf .....	93
6.4.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	81	<b>8 Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen .....</b>	<b>93</b>
6.4.6 Innovationsgrad .....	81	8.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	93
6.4.7 Handlungsbedarf .....	82	8.2 Erreichter Forschungsstand .....	94
6.5 Bauausführung .....	82	8.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	96
6.5.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	82	8.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	97
6.5.2 Erreichter Forschungsstand .....	83	8.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	98
6.5.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	84	8.6 Innovationsgrad .....	99
6.5.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	85	8.7 Handlungsbedarf .....	99
6.5.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	85	<b>9 Zusammenfassung .....</b>	<b>99</b>
6.5.6 Innovationsgrad .....	85	<b>10 Quellenverzeichnis .....</b>	<b>100</b>
6.5.7 Handlungsbedarf .....	85		
<b>7 Technische Abnahme und Betrieb ...</b>	<b>86</b>		
7.1 Abnahme .....	86		
7.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA .....	86		
7.1.2 Erreichter Forschungsstand .....	86		
7.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder .....	86		
7.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis .....	87		
7.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf .....	87		



## Teil A: Methodik

Das komplexe Handlungsfeld der Lichtsignalsteuerung unterliegt einer ständigen Weiterentwicklung. Der technische Fortschritt, die Fortschreibung der gesetzlichen Grundlagen und Verordnungen zum Straßenverkehr und andere sich verändernde Rahmenbedingungen machen eine Anpassung der Lichtsignalsteuerung erforderlich. Eine Konsequenz daraus war die 2003 veröffentlichte Teilfortschreibung der Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA). Derzeit arbeitet ein Arbeitskreis der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrsweisen (FGSV) an der Neufassung der RiLSA.

Ziele dieser Untersuchung waren die Erfassung, die strukturierte und anschauliche Darstellung sowie die kritische Analyse der Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Lichtsignalsteuerung in Deutschland, im benachbarten europäischen Ausland, in den USA und in Japan seit 1990. Die Forschungsergebnisse sollten detailliert hinsichtlich ihrer Validität, Relevanz und Aussagekraft bewertet werden, um die Erkenntnisse für eine Neufassung der RiLSA verfügbar zu machen. Weiterhin wurde der weitere Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Lichtsignalsteuerung identifiziert.

Die Bearbeitung der Themenfelder erfolgt in der ab Teil B folgenden synoptischen Darstellung der Ergebnisse immer in den gleichen Schritten. Zuerst erfolgt die Darstellung der Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA (also in den RiLSA 92 und in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003). In den nächsten Schritten werden der erreichte Forschungsstand, die Berücksichtigung der Thematik in Richtlinien anderer Länder sowie die Rückmeldungen aus der Praxis dargestellt. Damit können dann Aussagen zum verbleibenden Forschungsbedarf, zum Innovationsgrad der Fragestellung und zum Handlungsbedarf für die RiLSA 200X abgeleitet werden.

Die beschriebenen Rückmeldungen aus der Praxis basieren auf schriftlichen Rückmeldungen zu einer ersten Version dieses Berichts vom Juli 2005, der an die zuständigen Fachverwaltungen der Länder und Städte über 200.000 Einwohner, die einschlägigen Lehrstühle der Universitäten, an Anlagen- und Systemhersteller sowie Ingenieurbüros mit der Bitte um Kommentierung verschickt wurde. Weiterhin wurde ein Workshop mit über 50 Experten aus den oben genannten Bereichen am 30. September 2005 in Darmstadt durchgeführt. Auch die Diskussionsbeiträge dieses Workshops sind in als Rück-

meldungen aus der Praxis aufgenommen. Die Autoren der schriftlichen Rückmeldungen sowie die Workshopteilnehmer sind am Ende dieses Dokuments im Quellenverzeichnis aufgeführt. Ihnen gilt besonderer Dank für die wertvollen Beiträge.

### 1 Vorgehensweise

Die Methodik für die Bearbeitung des Forschungsprojekts gliedert sich in die in Bild 1 dargestellten sechs Arbeitspakete. Bei den ersten drei Arbeitspaketen handelt es sich vorwiegend um die Analyse und Bewertung der Forschungserkenntnisse sowie um die Vorbereitung dieser Schritte. Letztere war auf Grund der Breite des Forschungsbereichs zur genauen Abgrenzung und inneren Gliederung des Themenfelds der Recherche sowie zur näheren Festlegung der weiteren Vorgehensweise von besonderer Bedeutung.

Zu der in AP 2 umgesetzten Recherche gehören die Erfassung, Sichtung und Vorbewertung des Materials. Die Quellen wurden beginnend mit dem Jahr 1990 eingehend recherchiert und beschafft. Nach einer Sichtung des Materials wurde es geordnet und entsprechend den in AP 1 definierten Themenfeldern zusammengestellt. Auf der Grundlage des so geschaffenen Überblicks wurde eine erste Bewertung der Relevanz der einzelnen Literaturfundstellen durchgeführt, um eine Schwerpunktsetzung für die Weiterarbeit vornehmen zu können.

Sämtliche bei der Bearbeitung des AP 2 gewonnenen Informationen werden in einer Datenbank erfasst, um die spätere zusammenfassende Bearbeitung des Materials zu erleichtern. Ein Auszug der so aufgebauten Datenbank wurde als Bestandteil der Ergebnisse des Forschungsvorhabens mit Abschluss des Projekts der BASSt als Vertretung des Auftraggebers zur Verfügung gestellt.

Die positiv bewerteten Quellen wurden in AP 3 eingehend analysiert und die Ergebnisse im Einzelnen anschaulich aufbereitet. Innerhalb der Themenfelder wurden die Ergebnisse synoptisch dargestellt (s. Kapitel 1 bis 8, Teil B). Hierbei wurde auf die Regelungen der RiLSA 1992 einschließlich der Teilfortschreibung 2003 der RiLSA und auf bereits im AK 3.16.16 „Neufassung RiLSA“ der FGSV beschlossene oder angedachte Änderungen hinsichtlich der Struktur Bezug genommen.

Ebenfalls Inhalt der synoptischen Darstellung ist die differenzierte Beurteilung hinsichtlich der folgenden Kriterien:

- Qualität der verfügbaren Forschungserkenntnisse hinsichtlich ihres Detaillierungsgrads, hinsichtlich der analytischen und empirischen Absicherung der Ergebnisse und hinsichtlich der formulierten Randbedingungen ihrer Gültigkeit,
- Status der Forschungstätigkeit in dem betrachteten Themenfeld mit gegebenenfalls detaillierter Benennung der noch offenstehenden Forschungsfragen,
- Vereinbarkeit mit den derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen, der Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit sowie der zu erwartenden Akzeptanz seitens der Fachöffentlichkeit, der Betreiber und der Verkehrsteilnehmer sowie
- Relevanz, Erfordernis und Eignung für eine Übernahme in das Richtlinienwerk zum gegenwärtigen Zeitpunkt.

Für die einzelnen Themenfelder wurden in AP 4 Vorschläge für die Neufassung der RiLSA entwickelt. Dabei wurden auch die bereits im AK 3.16.16 besprochenen Änderungen berücksichtigt.

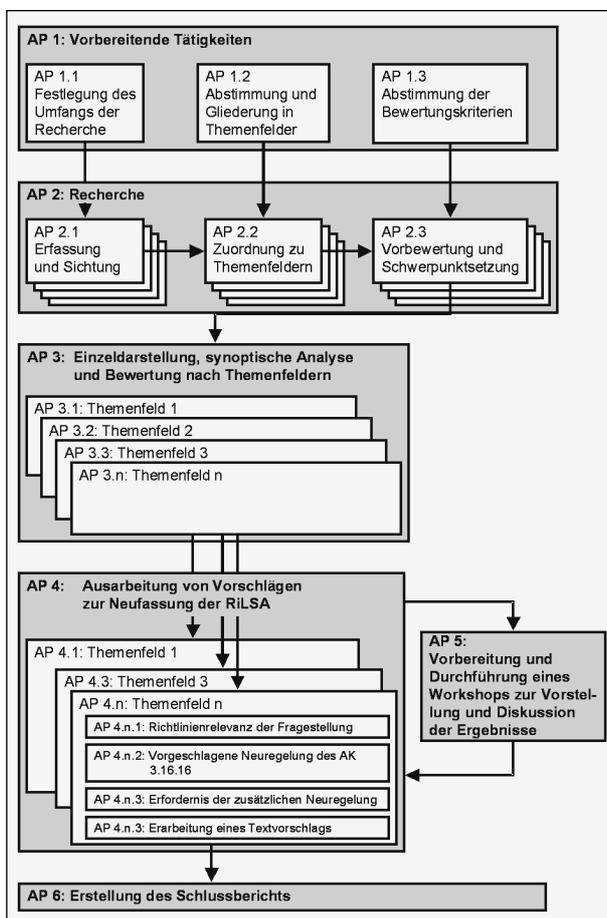


Bild 1: Ablauf der Untersuchung

Zur Kommunikation und Einbindung einer breiten Fachöffentlichkeit wurde zeitgleich zur Bearbeitung des AP 4 am 30. September 2005 ein Workshop zur RiLSA-Neufassung durchgeführt (vgl. Bild 1). Dem geschlossenen Teilnehmerkreis des Workshops gehörten neben Mitgliedern des forschungsbegleitenden Arbeitskreises Mitglieder des Arbeitsausschusses 3.16 „Verkehrsbeeinflussung innerorts“ der FGSV sowie seiner Arbeitskreise, Vertreter von Fachbehörden sowie von einschlägig auf dem Gebiet der Lichtsignalsteuerung tätigen Institutionen und Verbänden an. Im Vorfeld des Workshops wurde um Anregungen zu der synoptischen Darstellung gebeten. Aufgrund dieser Anmerkungen wurden die Themenfelder mit dem größten Diskussionsbedarf identifiziert. Für diese wurde der Stand der Forschung dargestellt, und es wurden die Rückmeldungen zu der synoptischen Darstellung erläutert. Hauptbestandteil des Workshops war die Diskussion zu den verschiedenen Themengebieten. Auch das Ergebnis dieser Diskussionen wurde abschließend in die synoptische Darstellung der Ergebnisse eingearbeitet, und es wurden die zuvor getroffenen Aussagen zu weiterem Forschungsbedarf und erforderlicher Neuregelung gegebenenfalls an das Diskussionsergebnis angepasst.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Regelwerk

Die derzeit gültigen RiLSA sind im Jahr 1992 erschienen. Ihre Ausführungen entsprechen dem Stand der Forschung um 1990. Die seitherige Entwicklung gab Anlass für die Erarbeitung einer Teilfortschreibung der RiLSA, die 2003 veröffentlicht und im Frühjahr 2004 eingeführt wurde. Hierin sind einige Themenfelder der RiLSA 1992 aktualisiert oder ergänzt worden. Eine grundlegende Neufassung ist zum jetzigen Zeitpunkt erforderlich und vorgesehen. Neben den RiLSA sowie den allgemeingültigen Regelungen der StVO entfalten weitere Regelwerke Wirkung auf den Bereich der Lichtsignalsteuerung (z. B. DIN VDE 0832, EN 12675, BOStRaB, BÜSTRA) oder gehen näher auf einzelne Detailfragen ein (z. B. Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs – HSRa (FGSV, 2005), Hinweise zu Verkehrsrechnern als Bestandteil der innerörtlichen Lichtsignalsteuerung (FGSV, 2001b), Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen (FGSV, 1999), Empfehlungen für

Radverkehrsanlagen (FGSV, 1995), Merkblatt für Detektoren im Straßenverkehr (FGSV, 1991)). Mit dem Erscheinen des Handbuchs zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – HBS (FGSV, 2001a) liegt außerdem ein detailliertes Hilfsmittel zur Bemessung der Lichtsignalsteuerung und zur Ermittlung der Qualität des Verkehrsablaufs vor. Das HBS wird derzeit ebenfalls überarbeitet.

Auch im Ausland existieren mit den RiLSA teilweise vergleichbare Regelwerke (z. B. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD) in den USA, die RVS 5.31-5.34 in Österreich, Schweizer Norm SN 6408xx), im Einzelnen existieren jedoch Unterschiede in der Verbindlichkeit und der Regelungstiefe.

## 2.2 Festlegung des Umfangs der Recherche

### 2.2.1 Arten von Fachveröffentlichungen

Die Recherche umfasste verschiedene Typen von Fachveröffentlichungen. Die folgenden Quellen wurden in die Recherche einbezogen:

- inländische und ausländische Fachzeitschriften,
- Veröffentlichungen von Forschungsstellen und Forschungsgebern aus dem Inland und Ausland,
- Tagungsbände zu ausgewählten Konferenzen,
- einschlägige inländische Gesetze, Verordnungen, Normen, Richtlinien, Empfehlungen und Leitfäden sowie
- ausländische Richtlinien und Normen.

### 2.2.2 Erschließung der Quellen

Um angesichts der großen Anzahl der Fachzeitschriften und veröffentlichenden Forschungsstellen eine hinreichende Abdeckung der Entwicklung in Deutschland, dem benachbarten Ausland und den USA zu erreichen, wurden parallel zwei Wege verfolgt:

- die Einsichtnahme in die Originalquellen, z. B. ausgehend von einer Recherche in Bibliothekskatalogen sowie der Auswertung der Jahresinhaltsverzeichnisse von Zeitschriften mit anschließender direkter Inaugenscheinnahme der Quelle, und
- die artikelorientierte oder inhaltsorientierte Recherche über die Hilfsmittel Dokumentation

Straße (Referatedienst der FGSV) sowie internationaler Datenbanken.

### Quellenorientierte Recherche

Bei der quellenorientierten Recherche (direkte Recherche) wurden ausgewählte Bibliothekskataloge nach bestimmten Titelstichwörtern durchsucht und die Jahresinhaltsverzeichnisse von Fachzeitschriften und Schriftenreihen analysiert. Diese Form der Recherche wurde auf Quellen angewendet,

- die von den Datenbanken nicht oder nicht vollständig erfasst worden sind oder
- die als besonders bedeutend für die Fragestellung eingeschätzt werden und deren Auswertung zugleich als Qualitätssicherung für die Ergebnisse der Datenbankrecherche herangezogen werden kann.

Eine Liste der zu recherchierenden Titelstichwörter wurde auf Basis des Stichwortverzeichnisses der RiLSA 1992 – ergänzt um einschlägige Stichwörter aus der Teilfortschreibung der RiLSA – erstellt.

### Inhalts- oder artikelorientierte Recherche

Bei der inhaltsorientierten oder artikelorientierten Recherche (indirekte Recherche) wurde über die Hilfsmittel Dokumentation Straße der FGSV und verschiedene weitere bibliografische Datenbanken und Volltextdatenbanken auf die Veröffentlichungen zugegriffen.

Die Dokumentation Straße wertet deutsch- und fremdsprachige Zeitschriften und Schriftenreihen aus. Aus den im Verzeichnis der Dokumentation Straße aufgeführten Quellen wählt die Schriftleitung einzelne Beiträge oder Hefte nach fachlichen Kriterien aus, mit dem Ziel, die Arbeitsgebiete der FGSV abzudecken und den Stand der Forschung wiederzugeben.<sup>1</sup>

Die weiteren in die Recherche einbezogenen bibliografischen Datenbanken und Volltextdatenbanken werden getragen von internationalen und nationalen Einrichtungen der öffentlichen Hand (z. B. TRIS online des US-amerikanischen Verkehrsministeriums, die Internetseiten der EU, die ITRD (International Transport Research Dokumen-

<sup>1</sup> Eigene Angaben der FGSV (Quelle: Korrespondenz mit M. L. JANSEN, FGSV)

tation) der OECD und die TEMA (Gesamtdatenbank Technik und Management des FIZ-Technik) oder privatwirtschaftlichen Anbietern (Verlage, z. B. Elsevier).

### Expertengespräche

Ein großer Anteil der einschlägigen japanischen Forschungsergebnisse wird ausschließlich in japanischer Sprache veröffentlicht. Diese Veröffentlichungen konnten von den Bearbeitern mit den beschriebenen Vorgehensweisen nicht erschlossen werden. Daher wurden zur Erschließung der relevanten Forschungsergebnisse Interviews mit Experten in verantwortlicher Position in Japan geführt (u. a. der National Police Agency als verantwortliche Behörde für die Lichtsignalsteuerung sowie maßgebende Forschungsstellen). Zur Anbahnung der Gespräche und als potenzielle Gesprächspartner wurden bestehende Kontakte der beteiligten Institute genutzt. Die Erkenntnisse wurden im Nachgang durch verschiedene E-Mail-Kontakte gefestigt.

### 2.3 Erfassung und Sichtung

Die Erfassung und Sichtung der Quellen folgte der in Abschnitt 2.2, Teil A, dokumentierten Vorgehensweise. Der Schwerpunkt lag auf der inhaltsorientierten Recherche in den als relevant identifizierten Fachdatenbanken. Zur Ergänzung und Absicherung wurde an die inhaltsorientierte Recherche eine gezielte direkte Recherche ausgewählter Quellen angeschlossen.

Im Laufe der Recherche stellte sich heraus, dass es sinnvoll ist, unter den Publikationen zur Lichtsignalsteuerung einerseits größere Themenbereiche und andererseits einzelne Fundstellen auszuschließen. So wurden während der verschiedenen Stufen der Recherche Dokumente ausgesondert, bei denen es sich um Dopplungen (z. B. Veröffentlichung als Forschungsbericht und Zeitschriftartikel), Einzelfallbeispiele, reine Produktbeschreibungen, Verfahren der Qualitätsmessung und Beurteilung (à HBS), algorithmen-, modell-, optimierungs- oder softwarebezogene Veröffentlichungen ohne allgemeingültige, richtlinienrelevante Ergebnisse, verkehrspolitisch orientierte Artikel oder solche mit nur schwach ausgeprägtem Bezug zur Lichtsignalsteuerung handelte.

#### 2.3.1 Inhaltsorientierte Recherche

Erste stichprobenartige Recherchen führten zu der Entscheidung, die folgenden drei Datenbanken als relevant für die Aufgabenstellung zu erachten:

- DOK Straße,
- ITRD und
- TRIS online.

Die Vorgehensweise bei der Recherche basierte auf einschlägigen Stichworten der RiLSA 1992 sowie bestimmten Ergänzungen bezüglich künftig relevanter Themen (vgl. Abschnitte 2.4 und 2.4.3, Teil A). Die gezielte Verknüpfung von Stichworten diente dazu, die folgenden Rechercheziele zu erreichen:

- eine möglichst vollständige Abdeckung des Untersuchungsgebiets in Bezug auf die thematische Abgrenzung; hierzu musste die Recherche möglichst breit angelegt sein; und
- eine möglichst geringe Anzahl von Fehlfundstellen, also Artikeln, die bei näherer Betrachtung nicht einschlägig dem Untersuchungsgegenstand zuzuordnen sind; hierzu musste die Recherche möglichst gezielt sein.

Beide Ziele konnten nur dann erreicht werden, wenn die relevanten Dokumente aussagekräftig betitelt und mit einschlägigen Stichworten versehen sind. Es wurde davon ausgegangen, dass wissenschaftlichen Ansprüchen genügende Publikationen sowie die in die Recherche einbezogenen Datenbanken diesen Anforderungen voll genügen.

Um den jeweiligen Eigenschaften und Nutzungsmodalitäten der Datenbanken Rechnung zu tragen, musste der Recherchevorgang dennoch spezifisch variiert werden.

#### DOK Straße

Mit der Recherche in der Dokumentation Straße der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) wurde sichergestellt, die wesentlichen deutschsprachigen Quellen wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung weitgehend vollständig ausschöpfen zu können und zugleich die für die Verkehrssteuerung in Deutschland als wichtig erachteten ausländischen Dokumente zu erhalten.

Die DOK Straße, bei der auch ausländische Artikel mit einer deutschen Übersetzung des Titels und

deutschen Kurzfassungen versehen werden, wurde nach Dokumenten abgefragt, deren Titel ein oder mehrere der folgenden Wortbestandteile enthält:<sup>2</sup>

- „\*signal\*“,
- „\*LSA\*“,
- „\*steuer\*“,
- „\*regel\*“,
- „\*grün\*“ und „\*pfeil\*“,
- „\*zuflu\*“<sup>3</sup>,
- „\*zeiten\*“,
- „\*einsatzfahrzeug\*“,
- „\*priori\*“,
- „\*pförtner\*“.

Bei den letzten vier Stichwörtern handelt es sich um gezielte Nachrecherchen von Themenkomplexen, die mit der ursprünglichen Stichwortliste nicht hinreichend abgedeckt waren.

Mit der Recherche in der DOK Straße wurden insgesamt 260 Dokumente identifiziert.

### TRIS

Bei der Recherche in der Datenbank des Transportation Research Information Services des Transportation Research Board (TRB) der USA wurde mit einer Stichwortabfrage in Titel, Kurzfassung und Schlagwörtern mit dem Suchtext „traffic signal“ eine Trefferzahl von ca. 1.900 Dokumenten mit Bezug zur Lichtsignalsteuerung erzielt. Um diese Anzahl bereits vor der vollständigen Erfassung und Bewertung verringern zu können, wurden die Dokumente in mehreren Durchgängen sukzessive auf die schließlich in der Datenbank aufgenommenen reduziert.

### ITRD

Auch die Trefferzahlen der International Transport Research Documentation der OECD zeigten ihre große Bedeutung für die Fragestellung im interna-

tionalen Raum. Bei der Recherche in der ITRD fallen jedoch sehr hohe Kosten an. Bereits die Anzeige von Titeln ohne bibliografische Daten wird pro Treffer in Rechnung gestellt, sodass es erforderlich war, die Trefferzahl durch eine sehr restriktive Handhabung der Suchstichworte zu reduzieren.

Die Recherche in der ITRD bedient sich eines „Basic Index“, welcher relevante Suchstichworte aus dem Titel, den Schlagworten und den Kurzfassungen enthält. Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Verknüpfung von Stichworten wurden zunächst variiert und die Entwicklung der Trefferzahlen beobachtet. Als Ergebnis dieser Voruntersuchung wurde die größtmögliche Trefferzahl bei gleichzeitig geringer Fehlerrate bei drei Stichwortkombinationen erwartet, die in Bild 2 dargestellt sind.

Mit der Recherche in der ITRD wurden 141 Dokumente identifiziert. Nach der Anforderung und Durchsicht der bibliografischen Daten wurden 111 Dokumente als relevant identifiziert und beschafft. Unter den beschafften Dokumenten erfolgte die endgültige Auswahl der schließlich eingestellten Dokumente.

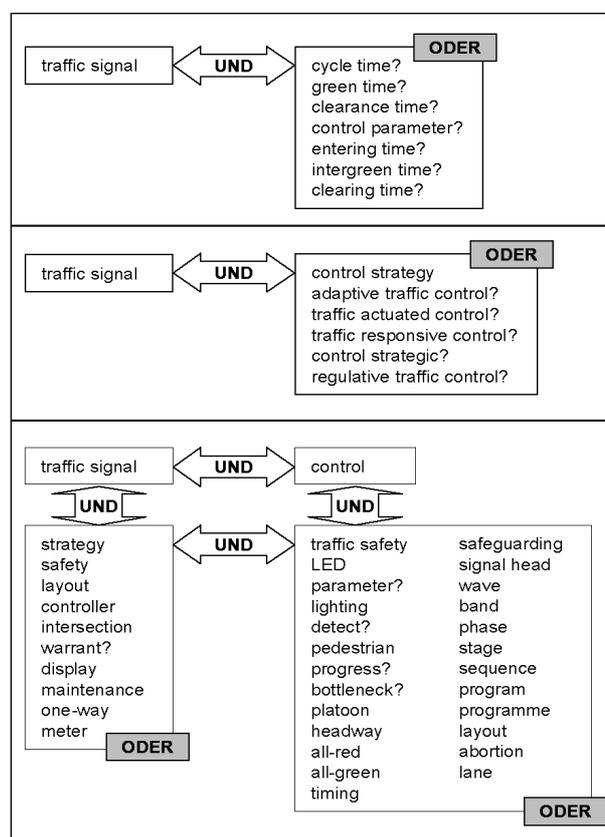


Bild 2: Stichwortgruppen der ITRD-Recherche<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Das Symbol „\*“ kennzeichnet hier eine Trunkierung

<sup>3</sup> Trunkierung hier zur Erfassung des Begriffs in der alten und neuen Rechtschreibung

<sup>4</sup> Das „?“-Zeichen ist das Trunkierungssymbol der Datenbank-Abfragesprache „Messenger“

### 2.3.2 Weitere Quellen

Die weiteren der in Abschnitt 2.2.1, Teil A, benannten Recherchewege ergaben weitere Dokumente, die in die vollständige Erfassung und Vorbewertung einbezogen wurden. Hierbei kam der direkten, quellenorientierten Recherche in Inhaltsverzeichnissen von Fachzeitschriften und Gesamtverzeichnissen von Schriftenreihen eine besondere Bedeutung zu. Diese wurde im Nachgang zur inhaltsorientierten Recherche vorgenommen, um deren Vollständigkeit zu überprüfen (vgl. Abschnitt 2.2.2, Teil A). Die Verzeichnisse folgender Publikationen wurden für den Untersuchungszeitraum vollständig recherchiert:

- Straßenverkehrstechnik,
- Traffic Engineering and Control,
- Straße + Verkehr,
- ITE Journal,
- Reihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“ des BMVBW,
- Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: Unterreihe Verkehrstechnik.

Weitere Veröffentlichungen wurden aus den Literaturempfehlungen des AA 3.16 der FGSV, im Rahmen der Beschaffung anderer Artikel, aus persönlichen Literatursammlungen und gezielten Nachrecherchen (ausgelöst durch Hinweise in erfassten Artikeln) identifiziert.

## 2.4 Gliederung in Themenfelder

### 2.4.1 Neustrukturierung der RiLSA

Ausgehend von der inhaltlichen Abgrenzung der bestehenden RiLSA 1992 einschließlich der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 wurde für die Neufassung der RiLSA im FGSV-Arbeitskreis 3.16.16 eine Neuformulierung der Abgrenzung und der Gliederung vorgenommen. Es wurden dabei die Entwicklungen der letzten Jahre sowie die daraus resultierenden zu erwartenden Ergänzungen berücksichtigt.

Der Neustrukturierung liegen dabei mehrere Prinzipien zugrunde. Zum einen sollen die Inhalte der sektoral geprägten Kapitel bezüglich der besonderen Berücksichtigung der öffentlichen Verkehrsmittel, der Fußgänger und der Radfahrer in die eher methodisch geprägten Kapitel über den Entwurf und die Steuerung integriert werden. Neben der integrierten Betrachtung der einzelnen Verkehrsarten

ergibt sich hieraus auch eine verminderte Redundanz.

Weiterhin sollen die Inhalte aus den Anhängen in den Hauptteil integriert werden. Damit wird das Ziel verfolgt, ein kontinuierliches und im Aufbau einfach verständliches Regelwerk zu erhalten. Die in den RiLSA 1992 teilweise im Hauptteil und teilweise in den Anhängen zusammengestellten Beispiele sollen in einer Neufassung nicht direkt enthalten sein. Stattdessen werden sie in einer Beispielsammlung zusammengestellt und unabhängig vom Textteil der RiLSA veröffentlicht. Dies hat den Vorteil, dass diese Beispielsammlung auch ohne Neubearbeitung der gesamten Richtlinien und damit sehr viel einfacher und kontinuierlicher aktualisiert werden kann.

Aus diesen Arbeitsschritten resultiert letztendlich eine Struktur mit folgenden Kapiteln:

1. Grundsätze,
2. Entwurf des Signalprogramms,
3. Wechselwirkung zwischen Lichtsignalsteuerung und Knotenpunktentwurf,
4. Steuerungsverfahren,
5. Sonderformen der Signalisierung,
6. Technische Ausführung,
7. Technische Abnahme und Betrieb,
8. Qualitätsmanagement,
9. Vorschriften und technische Regelwerke

### 2.4.2 Definition von Themenfeldern

Aufgrund der vorgesehenen straffen Struktur der RiLSA-Neufassung erschien es nicht zweckmäßig, die Überschriften der einzelnen Kapitel als Themenblöcke zu definieren. Stattdessen wurde ausgehend von dieser Struktur eine verfeinerte Betrachtung der Themenfelder angestrebt. Diese verfeinerte Gliederung ist in Bild 3 dargestellt.

### 2.4.3 Zuordnung zu Themenfeldern

Die Zuordnung der identifizierten Literaturfundstellen zu den Themenfeldern wurde jeweils in einem Arbeitsgang mit der Vorbewertung durchgeführt. Dies erwies sich als zweckmäßig, da insbesondere die Bewertung der Relevanz für die RiLSA – vor allem in Abgrenzung zu den durch das HBS behandelten Fragestellungen – direkt mit der (Nicht-)

Einordnung in das vorgesehene Themenspektrum der RiLSA-Neufassung in Beziehung steht.

Grundsätze	Lichtsignale und Signalfolgen Einsatzkriterien für Lichtsignalanlagen
Entwurf des Signalprogramms	Signalprogrammstruktur Berechnungen ( $t_z, t_u, t_p, \dots$ )
Wechselwirkung zwischen Lichtsignalsteuerung und Knotenpunktentwurf	Fahrstreifen, Wendefahrbahnen Inseln, Furten ÖPNV-Haltestellen
Steuerungsverfahren	Grundlagen, Übersicht, Einsatzhinweise Kenngrößen Koordination
Sonderformen der Signalisierung	Engstellensignalisierung Fahrstreifensignalisierung Rampenzuflusssteuerung
Technische Ausführung	Steuergerät Aktorik Anzahl und Aufstellung der Signalgeber Sensorik Bauausführung
Technische Abnahme und Betrieb	Abnahme Regelbetrieb Ersatzmaßnahmen bei Betriebsunterbrechung
Qualitätsmanagement	Qualitätsmanagement
Vorschriften und technische Regelwerke	Vorschriften und technische Regelwerke

**Bild 3:** Definition von Themenfeldern

Bei den 397 Dokumenten wurden insgesamt 502 Themenfeldzuordnungen vorgenommen. Eine große Anzahl von Dokumenten konnte demnach auch nach der Vorbewertung noch nicht eindeutig in der vorgesehenen Gliederung in Themenfelder verortet werden. Dies ist in der Regel dadurch begründet, dass bei der Behandlung einer Forschungsfragestellung verschiedene Themenbereiche der RiLSA angesprochen werden. Hier hat gegebenenfalls auch eine nähere Betrachtung der Dokumente nicht ergeben, dass sie sich nur auf einen der in Frage kommenden Themenbereiche beziehen. (Ein Beispiel hierfür sind etwa BOGENBERGER et al.: Die Veröffentlichung „Integriertes Steuerungskonzept für eine innerstädtische Ringstraße – Erste Ergebnisse aus dem Arbeitsbereich ‚Optimierung im Hauptstraßennetz‘ des BMBF-Leitprojekts MOBINET“ betrifft die Themengebiete Koordination, Rampenzuflusssteuerung und Fahrstreifensignalisierung.)

Tabelle 1 zeigt die Anzahl der Zuordnungen zu den einzelnen Themenfeldern. Dabei ist erkennbar, dass der Schwerpunkt der neuen Forschungserkenntnisse im Bereich der Steuerungsverfahren, hier im Besonderen bei den Grundlagen, zu sehen ist. Dies deckt sich mit den bestehenden Erwartun-

Abschnitt des Gliederungsvorschlags	Anzahl Zuordnungen	Unterabschnitt	Anzahl Zuordnungen
1. Grundsätze	62	Lichtsignale und Signalfolgen	27
		Einsatzkriterien für Lichtsignalanlagen	35
2. Entwurf des Signalprogramms	84	Signalprogrammstruktur	49
		Berechnungen ( $t_z, t_u, t_p, \dots$ )	35
3. Wechselwirkungen zwischen Lichtsignalsteuerung und Knotenpunktentwurf	33	Fahrstreifen, Wendefahrbahnen	26
		Inseln, Furten	2
		ÖPNV-Haltestellen	5
4. Steuerungsverfahren	137	Grundlagen, Übersicht, Einsatzhinweise	78
		Kenngrößen	25
		Koordination	34
5. Sonderformen der Signalisierung	18	Engstellensignalisierung	2
		Fahrstreifensignalisierung	5
		Rampenzuflusssteuerung	11
6. Technische Ausführung	52	Steuergerät	5
		Aktorik	15
		Anzahl und Aufstellung der Signalgeber	3
		Sensorik	18
7. Technischer Abnahme und Betrieb	10	Bauausführung	11
		Abnahme	2
		Regelbetrieb	7
8. Qualitätsmanagement	16	Ersatzmaßnahmen bei Betriebsunterbrechung	1
		Qualitätsmanagement	16
9. Vorschriften und Regelwerke	90	Vorschriften und Regelwerke	90
Summe	502		502

**Tab. 1:** Anzahl der Zuordnungen zur den Themengebieten

gen in Bezug auf die Neufassung der RiLSA und betrifft zugleich auch den Teil, für den hierbei die weitestgehende Neustrukturierung angedacht ist. Weitere herausragende Themenfelder sind die weiteren Themengebiete der Steuerungsverfahren sowie die Grundsatzthemen in der Einleitung (Kapitel 1, Teil B) und der Entwurf des Signalprogramms (Kapitel 2, Teil B) mit den hier adressierten Themen der Sicherung von Verkehrsströmen und des Rechtsabbiegens mit Grünpfeil-Schild.

## 2.5 Festlegung der Bewertungskriterien

### 2.5.1 Allgemeines

Der recherchierte und systematisch erfasste Wissensbestand zu den Forschungserkenntnissen auf dem Gebiet der Lichtsignalsteuerung wurde einem zweistufigen Bewertungsverfahren unterzogen. Hierbei waren die Erkenntnisse hinsichtlich ihrer Validität, ihrer Relevanz und ihrer Aussagekraft zu bewerten, um abschließend beurteilen zu können, ob und inwieweit sie Eingang in die RiLSA-Neufassung finden sollen.

In der Vorbewertung (AP 2) wurden einzelne Literaturfundstellen bewertet, gefiltert und den Themenfeldern zugeordnet. In der Bewertung nach Themenfeldern (AP 3) wurde der Wissensstand zu einzelnen Themenfeldern aus den relevanten Literaturfundstellen extrahiert und synoptisch dargestellt. Auf dieser Grundlage fand eine abschließende Beurteilung über die Berücksichtigung bei der RiLSA-Neufassung statt. Für die beiden Stufen der Bewertung wurden unterschiedliche Bewertungskriterien und Bewertungsverfahren angewendet.

### 2.5.2 Kriterien der Vorbewertung (AP 2.3)

Die Vorbewertung führte dazu, aus der Vielzahl der Literaturfundstellen zum Thema Lichtsignalsteuerung diejenigen zu selektieren, die einen Beitrag zum aktuellen Erkenntnisstand liefern können und daher in der weiteren Analyse verbleiben sollen. Zugleich bietet die Vorbewertung aller Literaturfundstellen zu einem Themengebiet in der Gesamtschau einen ersten Eindruck von der Bedeutung, die der Fragestellung im Gesamtkontext beizumessen ist, um hierauf in der Planung der weiteren Bearbeitung gezielt Bezug nehmen zu können.

In der Vorbewertung ist die Anwendung eines einfach anzuwendenden und übersichtlichen Bewertungsschemas zweckmäßig. Aus diesem Grund

wurde eine fünfteilige Bewertungsskala nach dem folgenden Grundmuster angewendet:

- volle Erfüllung (4),
- wesentliche Erfüllung (3),
- mittlere Erfüllung (2),
- geringe Erfüllung (1) und
- Nichterfüllung (0).

Im Einzelnen wurden folgende Kriterien bewertet:

#### **Bedeutung der Fragestellung**

Im Vordergrund stand hierbei die Beurteilung, als wie dringlich der Handlungsbedarf auf dem betrachteten Gebiet vor dem Hintergrund der Problemlage und eines Verbesserungspotenzials einzuschätzen war.

#### **Praxisrelevanz**

Es wurde bewertet, ob die beschriebenen Entwicklungen und Resultate für die Lichtsignalsteuerung unter den derzeitigen und künftig zu erwartenden Gegebenheiten bedeutsam sind.

#### **Aktualität**

Es wurde bewertet, ob die beschriebenen Entwicklungen und die Resultate als Stand der Forschung anzusehen sind oder ob sie durch neuere Entwicklungen im Untersuchungszeitraum bereits überholt sind.

#### **Vereinbarkeit mit straßenverkehrsrechtlichen Gegebenheiten**

Es wurde insbesondere bei ausländischen Quellen bewertet, inwieweit die beschriebenen Entwicklungen und Resultate mit den derzeitigen straßenverkehrsrechtlichen Gegebenheiten in Deutschland vereinbar sind.

#### **Vereinbarkeit mit den RiLSA 1992 und weiteren Richtlinien**

Es wurde bewertet, ob die beschriebenen Entwicklungen und die Resultate mit den derzeitigen Regelungen der RiLSA 1992 sowie anderer Richtlinien, die Wirkung auf die Lichtsignalsteuerung entfalten, in Einklang stehen oder von ihnen abweichen. Hiermit sollte beurteilt werden, welcher Änderungsbedarf sich mit Blick auf die RiLSA-Neu-

fassung sowie gegebenenfalls hinsichtlich der erforderlichen Anpassung anderer Richtlinien ergibt.

### Klärung der Fragestellung

Es wurde bewertet, ob die beschriebenen Entwicklungen und die Resultate als abgeschlossene und abgesicherte Betrachtung der Fragestellung anzusehen sind oder ob noch weiterer Untersuchungs- und Klärungsbedarf besteht. Hiermit soll beurteilt werden, ob die vorliegenden Ergebnisse als valide Grundlage für verbindliche Regelungen zur Lichtsignalsteuerung gelten können.

### Eignung für eine Berücksichtigung im Richtlinienwerk

Die Vorbewertung schließt ab mit einer Beurteilung, ob es sich bei den beschriebenen Entwicklungen und den Resultaten um grundsätzliche, allgemein bedeutsame oder um nur wenige Einzelfälle oder hochspezialisierte Fragestellungen betreffende Inhalte handelt. Es wurde abgewogen, ob eine künftige Behandlung des Themas im Regelwerk unter Berücksichtigung des grundsätzlichen und allgemeinen Charakters der RiLSA sinnvoll ist.

Die Literaturliteraturstellen wurden mit der Maßgabe ausgewählt, dass sie in keinem der Kriterien mit „Nichterfüllung“ bewertet wurden. Eine Übersicht über die Bewertungskriterien und die Abstufung der Bewertung gibt Tabelle 2.

### 2.5.3 Kriterien der Bewertung nach Themenfeldern (AP 3)

Während die Vorbewertung für jede Fundstelle gesondert durchgeführt wurde, war die vertiefende Bewertung in zwei Blöcke untergliedert: Einige Kriterien wurden weiterhin für jede Fundstelle individuell bewertet (A.1 bis A.3), dann erfolgt jedoch die Bewertung auf der Grundlage der Zusammenstellung aller Literaturliteraturstellen zu einem Themenfeld. Für diese Bewertung war eine individuelle verbalargumentative Begründung erforderlich, die auf Basis einer einheitlichen Gliederung erarbeitet wird. Die so aufbereiteten Zwischenergebnisse des AP 3 dienen sowohl als Grundlage für die Erarbeitung Textvorschlägen zur Neufassung der RiLSA als auch zur Wahrung der erforderlichen Transparenz beim Umgang mit den recherchierten Forschungsergebnissen.

Kriterium	volle Erfüllung	Nichterfüllung
Bedeutung der Fragestellung	Die Fragestellung ist von grundlegender oder wesentlicher Bedeutung für die Lichtsignalsteuerung	Die Fragestellung betrifft keine grundlegenden Aspekte der Lichtsignalsteuerung
Praxisrelevanz	Die Ergebnisse haben eine hohe Bedeutung für die Praxis, da sie eine Fragestellung betreffen, die für die Lichtsignalsteuerung grundlegend oder allgemeingültig ist	Die Ergebnisse haben keine Bedeutung für die Praxis, da sie Fragestellungen betreffen, die für die allgemeine Lichtsignalsteuerung unbedeutend sind
Aktualität	Die Ergebnisse sind uneingeschränkt aktuell	Die Ergebnisse sind durch weitere Forschungsarbeiten oder die allgemeine Entwicklung überholt
Vereinbarkeit mit den straßenverkehrsrechtlichen Gegebenheiten	Die Ergebnisse sind mit den bestehenden gesetzlichen Grundlagen voll vereinbar. Es sind keine Anpassungen erforderlich	Die Ergebnisse sind mit den bestehenden gesetzlichen Grundlagen nicht vereinbar. Eine Anpassung erscheint nicht möglich
Vereinbarkeit mit den RiLSA 1992 und der RiLSA-Teilfortschreibung 2003	Die Ergebnisse werden von den derzeitigen Regelungen der RiLSA 1992 und der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 voll gedeckt	Die Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den derzeitigen Regelungen der RiLSA 1992 und der RiLSA-Teilfortschreibung 2003
Klärung der Fragestellung	Die Ergebnisse können als die Fragestellung abschließend behandelnd angesehen werden. Sie sind weithin akzeptiert	Die Ergebnisse können nicht als abschließend betrachtet werden, da offene Fragen bestehen oder über die Ergebnisse ein laufender Disput in der Fachwelt besteht. Neue Forschungserkenntnisse sind in absehbarer Zeit nicht zu erwarten
Eignung für eine Berücksichtigung im Richtlinienwerk	Die Ergebnisse müssen oder sollten Gegenstand einer Regelung in den Richtlinien sein, da sie allgemeingültig und von grundlegender Bedeutung sind	Die Ergebnisse können oder sollten nicht Gegenstand einer Regelung in den Richtlinien sein, da keine Allgemeingültigkeit vorliegt oder sie keine grundlegende Bedeutung entfalten

Tab. 2: Übersicht über die Bewertungskriterien der Vorbewertung und Darstellung der Extremaussagen

A	Erreichter Forschungsstand
A.1	Detaillierungsgrad
A.2	Absicherung
A.3	Randbedingungen der Gültigkeit
B	Verbleibender Forschungsbedarf
B.1	Umfang des verbleibenden Forschungsbedarfs
B.2	Offene Forschungsfragen
C	Innovationsgrad
C.1	Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk
C.2	Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen
C.3	Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern
D	Handlungsbedarf
D.1	Richtlinienrelevanz der Fragestellung
D.2	Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16
D.3	Erfordernis der Neuregelung

Tab. 3: Gliederung der Bewertung nach Themenfeldern

Die Bewertung der Themenfelder gliedert sich nach der in Tabelle 3 dargestellten Weise.

Im Einzelnen werden die folgenden Sachverhalte beschrieben und bewertet:

- [A] Erreichter Forschungsstand  
Unter diesem Punkt wird ein Überblick über den erreichten Stand der Erkenntnisse gegeben. Dabei stehen die wissenschaftlich-methodische Absicherung sowie die Reichweite der Ergebnisse im Mittelpunkt. Im Einzelnen betrifft dies den Detaillierungsgrad, die Absicherung und die so genannten Randbedingungen der Gültigkeit.
- [A.1] Detaillierungsgrad  
Es wird dargestellt, wie feinteilig unterschiedliche Randbedingungen, Ausprägungen und Handlungsweisen untersucht worden sind, d. h., ob die Forschungstätigkeit einen exemplarischen oder einen umfassenden Ansatz bei der Bearbeitung der Fragestellung verfolgt hat.
- [A.2] Absicherung  
Es wird dargestellt, wie umfassend und abgesichert die analytische Herleitung der Ergebnisse ist und in welcher Weise sie Bezug auf allgemeingültige, anerkannte Grundlagen sowie relevante Erfahrungen verwandter Fragestellungen nimmt. Kriterien hierfür sind Umfang und Tiefe der Literaturrecherche so-

wie Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Darstellungen. Außerdem wird dargestellt, in welchem Umfang empirische Methoden zur Ermittlung von Erkenntnissen oder zur Überprüfung der analytischen Herleitung zum Einsatz gekommen sind. Dabei werden Art und Umfang von Messungen und Erhebungen beschrieben und deren Eignung zur Modellierung und der Erfassung des Allgemeinfalls gewürdigt.

- [A.3] Randbedingungen der Gültigkeit  
Es wird dargestellt, welchen Beschränkungen die Aussagekraft der Ergebnisse in Bezug auf ihren Gültigkeitsbereich unterliegt.
- [B] Verbleibender Forschungsbedarf  
Unter diesem Punkt werden Aspekte behandelt, die sich mit dem Grad der Klärung der Fragestellung des Themenfelds beschäftigen sowie welche weiteren Forschungsanstrengungen erforderlich sind. Im Einzelnen betrifft dies den Umfang des verbleibenden Forschungsbedarfs, offene Forschungsfragen und den Innovationsgrad.
- [B.1] Umfang des verbleibenden Forschungsbedarfs  
Es wird abgeschätzt, wie der Status der Abgeschlossenheit mit der Fragestellung einzuschätzen ist, d. h., ob noch erheblicher weiterer Forschungsbedarf besteht oder allenfalls kleinere Anpassungen der Forschungsergebnisse notwendig sind, bevor eine Berücksichtigung bei der Neufassung des Richtlinienwerks erwogen werden kann.
- [B.2] Offene Forschungsfragen  
Die wesentlichen Forschungsfragen, die für eine weitere Auseinandersetzung mit der Fragestellung von Bedeutung sind, werden benannt. Dabei wird auch dargestellt, ob es erforderlich ist, diese Fragestellungen vor einer Berücksichtigung der Ergebnisse im Richtlinienwerk zu beantworten.
- [C] Innovationsgrad  
Unter diesem Punkt werden Aspekte behandelt, die sich mit dem potenziellen Umfang einer Neuregelung mit Bezug auf die Forschungsergebnisse des Themenfelds ergeben. Im Einzelnen betrifft dies die Abweichungen von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk und von gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie die Einschätzung

- der Akzeptanz in verschiedenen Zielgruppen.
- [C.1] Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk  
Es wird aufgezeigt, in welcher Weise die Ergebnisse von den derzeitigen Regelungen abweichen und inwieweit sie veränderte oder zusätzliche Regelungen in Zukunft erforderlich machen. In diese Betrachtung wird einbezogen, ob diese Fragestellung bei der Erarbeitung der bestehenden RiLSA bereits erörtert wurde und ob sich daraus Rückschlüsse für die erneute Behandlung der Fragestellung ziehen lassen.
- [C.2] Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen  
Es wird aufgezeigt, welche Ergebnisse mit den bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen oder anderen normativen Regelungen nicht übereinstimmen und wie diese gegebenenfalls geändert werden müssen.
- [C.3] Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern  
Es wird abgeschätzt, wie die Ergebnisse in der Fachöffentlichkeit rezipiert werden und ob Einwände, Bedenken oder Zustimmung seitens anderer Wissenschaftler, seitens der Betreiber von Lichtsignalanlagen, seitens anderer betroffener oder verantwortlicher Behörden und Institutionen oder seitens der Verkehrsteilnehmer zu erwarten sind.
- [D] Handlungsbedarf  
Unter diesem Punkt werden abschließend die Aspekte behandelt, die sich mit der Erfordernis einer Berücksichtigung der Fragestellung bei der Neufassung des Richtlinienwerks befassen. Im Einzelnen betrifft dies die Richtlinienrelevanz, die vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16 und darüber hinausgehende erforderliche Neuregelungen.
- [D.1] Richtlinienrelevanz der Fragestellung  
Mit Bezug auf den grundlegenden und allgemeinen Charakter der RiLSA wird beurteilt, ob die Fragestellung eine ausreichende Bedeutung für eine Regelung im Richtlinienwerk aufweist, d. h., ob die Ergebnisse eine allgemeingültige Bedeutung entfalten und die resultierenden Regelungen auf den Allgemeinfall der Lichtsignalsteuerung übertragen werden können.
- [D.2] Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16  
Da die Arbeit des AK 3.16.16 inzwischen relativ weit vorangeschritten ist, wird an dieser Stelle der erfolgte Arbeitsstand (Stand Februar 2006) dokumentiert.
- [D.3] Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung  
Mit Blick auf den Innovationsgrad der Ergebnisse des Themenfelds, den resultierenden Umfang der Abweichung von den bestehenden Regelungen und die Bedeutung dieser Abweichungen für die Planungs- und Betriebspraxis von Lichtsignalanlagen sowie unter Beachtung der bereits im AK 3.16.16 festgelegten Rahmenbedingungen wird abschließend beurteilt, ob eine darüber hinausgehende Neuregelung vorgenommen werden sollte.

## Teil B: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse

### 1 Grundsätze

#### 1.1 Lichtsignale und Signalfolgen

##### 1.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Der Kapitel 1.2 „Lichtsignale und Signalfolgen“ ist in den RiLSA 1992 sehr kompakt gehalten. Es werden die Signalfolgen für den Kraftfahrzeugverkehr beschrieben und davon abweichende Sonderfälle; außerdem wird auf die Signalfolgen für Fußgänger und Radfahrer sowie auf die Signalisierung des ÖPNV nach BOStrab eingegangen. Es schließen sich Hinweise zur Warnung vor Gefahren durch ein gelbes Blinklicht sowie zur Verwendung von Symbolen an. Weiterhin wird in Kapitel 6.3.5 auf die „Signalisierung beim Kreuzen von Straßenverkehrsflächen“ und in Kapitel 6.3.6 auf die „Verwendung des Permissivsignals für die Straßenbahn“ eingegangen. Diese beiden Abschnitte sollen nach dem Gliederungsentwurf des AK 3.16.16 (Stand 22.03.2004) in den Abschnitt „Lichtsignale und Signalfolgen“ der RiLSA 200X integriert werden.

##### 1.1.2 Erreichter Forschungsstand

Die zu diesem Themenfeld ausgewertete Literatur lässt sich auf die vier folgenden Schwerpunkte beziehen:

- Signalisierung zeitweilig gesicherter bzw. nicht gesicherter Linksabbieger,

- Signalisierung des bevorstehenden Endes der Freigabezeit für den Kraftfahrzeugverkehr,
- Signalisierung der Räumphase für Fußgänger und
- alternative Signalisierungen für Fußgänger.

### **Signalisierung zeitweilig gesicherter bzw. nicht gesicherter Linksabbieger**

In Veröffentlichungen aus den USA und der Schweiz wurden verschiedene Möglichkeiten der nicht gesicherten Linksabbiegersignalisierung diskutiert. Untersuchungen in den USA haben ergeben, dass ein gelb blinkender Pfeil während der nicht gesicherten Freigabezeit von den Verkehrsteilnehmern besser und leichter verstanden wird als ein grünes Leuchtfeld ohne Symbol (KACIR et al., 2003; de CAMP/DENNEY, 1999; NOYCE/KACIR, 2001; NOYCE et al., 2002; NOYCE/KACIR, 2002; DRAKOPOULOS/LYLES, 2000; BONNESON/MCCOY, 1994). In der Schweiz wurden ebenfalls positive Erfahrungen mit einer alternativen Signalisierung durch einen gelb blinkenden Pfeil gemacht (PITZINGER, 1999; WEBER, 1992). In einer weiteren Veröffentlichung erwies sich der Grünpfeil mit vollgelbem Blinklicht als die am seltensten fehlinterpretierte bedingt verträgliche Linksabbiegersignalisierung (EWERT, 1994).

### **Signalisierung des bevorstehenden Endes der Freigabezeit für den Kraftfahrzeugverkehr**

In Österreich wird das bevorstehende Ende der Freigabezeit mit mehrmaligen GRÜN-Blinken angezeigt; der Einfluss dieser zusätzlichen Phase auf die Verkehrssicherheit wurde von AXHAUSEN et al. (2001, 2002) untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die Anzahl der Rot- und Gelbüberfahrten abnahm. Es wurden allerdings auch negative Auswirkungen auf die Kapazität beobachtet, da die Fahrzeuge vermehrt früher bremsen bzw. anhalten, obwohl ein sicheres Überqueren während der Freigabezeit (GRÜN und GRÜN-Blinken) möglich gewesen wäre. Auch wurde eine erhöhte Gefahr von Auffahrunfällen durch ein verändertes Brems- bzw. Beschleunigungsverhalten beobachtet. In den USA wurden vergleichbare Erkenntnisse gewonnen, wobei in dieser Untersuchung das bevorstehende Ende der Freigabezeit durch GRÜN mit GELB-Blinken angezeigt wurde (MUSSA et al., 1996).

### **Countdown-Anzeige für Fußgänger**

In den USA wird die Räumphase für Fußgänger durch das Blinken des Fußgänger-Sperrsignals angezeigt. In einer Vorher-/Nachher-Untersuchung in St. Paul und Minneapolis im Jahr 1999 wurde eine Countdown-Anzeige (numerische Anzeige der Restraumzeit) mit positiven Ergebnissen getestet: Der Anteil der Fußgänger, die bis zum Beginn der Sperrzeit die Fahrbahn überquert hatten, wurde größer (75 % statt 67 %). 92 % aller befragten Fußgänger empfanden die Countdown-Anzeige als hilfreich (FARRAHER, 2000).

### **Alternative Signalisierungen für Fußgänger**

Eine Untersuchung in Großbritannien befasste sich mit Alternativen zu den so genannten PELICAN-Crossings (Pedestrian Light Controlled-Crossings) (AUSTIN/WHITE, 2000). Die PELICAN-Crossings zeichnen sich durch die Notwendigkeit der Anforderung der Fußgängerfreigabezeit, die Anordnung der Fußgängersignalgeber auf der gegenüberliegenden Straßenseite und spezielle Fahrbahnmarkierungen (Zick-Zack-Linie) aus. Dabei stellten sich die PUFFIN-Crossings (Pedestrian User-Friendly Intelligent Crossings) als die beste Alternative – aus Sicherheitsgründen – heraus. Merkmale von PUFFIN-Crossings sind, dass zusätzlich Fußgängersignalgeber über dem Anforderungstaster sind, dass der Signalgeber jeweils vor der Konfliktfläche angeordnet ist und daher das GRÜN-Blinken entfallen kann und dass gegebenenfalls eine Freigabezeitverlängerung mit Hilfe von Fußgängerdetektoren erfolgt (DFT, 2001).

In Österreich gibt es bei lichtsignalgeregelten Fußgängerüberwegen die Möglichkeit, diese in der Grundstellung mit GELB-Blinken für Kraftfahrzeuge und Fußgänger zu schalten. Dadurch werden beide Verkehrsströme zu erhöhter Aufmerksamkeit angewiesen. Fußgänger haben neben dieser nicht gesicherten Variante die Möglichkeit, eine gesicherte Signalisierung – mit ROT für den Kraftfahrzeugverkehr und GRÜN für die Fußgänger – anzufordern. Danach gehen beide Schaltungen wieder in den gelb blinkenden Zustand über. In ZIBUSCHKA (1992) wird der verstärkte Einsatz dieser Signalisierung empfohlen, da diese eine individuelle Benutzung durch Fußgänger ermöglicht, den geschwindigkeitsfördernden Effekt durch Dauergrün für den Kraftfahrzeugverkehr unterbinden sowie den Rotgänger-Anteil reduzieren. Der Anteil der Rotüberfahrten durch den Kraftfahrzeugverkehr wird durch

vorgeschaltetes GRÜN für die Kraftfahrzeuge auf den Anteil bei vollständiger Signalfolge reduziert. Die Signalfolge für Kfz ist also GELB-Blinken – GRÜN – (GRÜN-Blinken –) GELB – ROT – ROT/GELB – GELB-Blinken für Kfz. Für Fußgänger erfolgt somit der Übergang von GELB-Blinken über ROT zu GRÜN (und wieder über ROT zu GELB-Blinken).

### 1.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich wird in den RVS nicht ausdrücklich auf die Lichtsignale und Signalfolgen eingegangen.

In der Schweiz werden in den SN 640 832 (Lichtsignalanlagen – Kopfnorm) und SN 640 837 (Lichtsignalanlagen – Übergangszeiten und Mindestzeiten) beschrieben, wie die Übergangszeiten von ROT zu GRÜN, bzw. umgekehrt, zu signalisieren sind (VSS, 1992a und b). Den ÖPNV betreffend wird in der SN 640 836 (Gestaltung der Signalgeber) darauf hingewiesen, dass es für diesen besondere Vorschriften gibt und die Leuchtfelder sich nach Signalreglementen der Verkehrsbetriebe richten und einer Genehmigung der Aufsichtsbehörde des Bundes bedürfen (VSS, 1994b). Für Fahrstreifen-signalisierungen gibt es in der Schweiz mit der SN 640 802 (Verkehrsbeeinflussung – Fahrstreifen-Lichtsignal-System (FLS)) eine eigene Norm (VSS, 2000b).

In Großbritannien werden in den „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DFT, 2002b) die Lichtsignale und Signalfolgen nicht in einem eigenen Kapitel behandelt. Auf die zulässigen Signalfolgen wird stattdessen jeweils in den Paragraphen zu den einzelnen Signalgebern eingegangen. In dem „Design Manual for Roads and Bridges“ wird auf Lichtsignale und Signalfolgen nicht eingegangen (Highways Agency et al., 2005). Einen sehr großen Anteil nehmen die PUFFIN-Anlagen in der „Specification for Traffic Signal Controller“ ein. Weiterhin gibt es mehrere Hinweispapiere (Traffic Advisory Leaflets) des Department for Transport, die sich mit PUFFIN-Anlagen beschäftigen (DFT, 2001; 2002a).

In Frankreich werden in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ in Kapitel II, Artikel 110 C, Lichtsignale bzw. Signalgeber beschrieben sowie die zulässigen Signalfolgen für die einzelnen Signalgeber benannt (METL, 1996).

In den USA wird in dem „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ in den Kapiteln 4D.04 bis 4D.12 die Bedeutung jedes einzelnen Lichtsignals erläutert, in Verbindung mit Hinweisen, in welchen Abfolgen und Kombinationen die Lichtsignale gezeigt werden dürfen (US DOT, 2003). Außerdem wird beschrieben, was es für Möglichkeiten der Anzeige für zeitweilig gesichert geführte Linksabbieger gibt.

Die Lichtsignale und Signalfolgen für Kraftfahrzeuge in Japan unterscheiden sich erheblich von denen in Deutschland. Die drei Felder der Signalgeber sind horizontal nebeneinander angeordnet. Für die verwendete Signalfolge GRÜN – GELB – ROT – GRÜN werden immer Signale durch volle Scheiben verwendet, die zunächst für die gesamte Zufahrt gelten. Sofern abweichend von der Sperrung durch das Hauptsignal einzelne Fahrtrichtungen freigegeben werden sollen, können unmittelbar darunter Signalgeber mit einem grünen Pfeil für die jeweiligen Richtungen angeordnet werden. Im Unterschied zu Deutschland zeigt dieser Grünpfeil aber keine vollständig gesicherte Führung des Verkehrsstroms an. Die Lichtsignale für Fußgänger haben die Signalfolge GRÜN – GRÜN-Blinken – ROT – GRÜN. Ein wesentlicher Unterschied ist also die Signalisierung der Fußgängerräumzeit durch GRÜN-Blinken. Als Signalbilder werden wie in Deutschland eine stehende und eine gehende Person benutzt. Wegen der relativ langen Umlaufzeiten und Freigabezeiten sowie kurzen Räumzeiten für Fußgänger werden teilweise Anzeigen der verbleibenden Freigabezeit und Sperrzeit verwendet. Diese gibt es in der Form einer Balkenanzeige oder in der Form einer Anzeige der verbleibenden Restsekunden. In Tokio sind weniger als 10 % der großen Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen mit diesen Restzeitanzeigen ausgestattet eingesetzt (BOLTZE et al., 2005).

### 1.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis

#### Signalisierung des bevorstehenden Endes der Freigabezeit für den Kraftfahrzeugverkehr

Praktische Erfahrungen für die Signalisierung des bevorstehenden Freigabezeit-Endes beim Kraftfahrzeugverkehr liegen in Deutschland nicht vor, aus der Praxis wird jedoch auch kein Bedarf gesehen. Vielmehr wird auf negative Effekte wie Kapazitätsverlust, Einschränkungen der verkehrsabhängigen Steuerung sowie eine mögliche beschleunigende Wirkung über die zulässige Höchstge-

schwindigkeit hinaus hingewiesen. Verstärkt wird die ablehnende Haltung durch den hohen technischen Aufwand und die in der Regel auftretenden Problemen bei der Einführung von Neuregelungen.

Von Seiten der Stuttgarter Straßenbahnen AG wird jedoch die Anzeige des Freigabezeitendes oder auch -beginns für Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs an Haltestellen vorgeschlagen.

### **Countdown-Anzeige bzw. Anzeige des Freigabezeit-Endes für Fußgänger**

Eine Anzeige des Freigabezeit-Endes für Fußgänger wird dagegen unterschiedlich beurteilt. Vorteilhaft wird beurteilt, dass dem Missverständnis vorgebeugt werde, Sicherheit für Fußgänger bestehe nur, wenn während der Freigabezeit die gesamte Fahrbahn überquert werden kann. Als Anzeige wird ROT-Blinken vorgeschlagen, um die Notwendigkeit des Räumens zu verdeutlichen, wobei die Gefahr erkannt wird, dass die Eindeutigkeit des Signals ROT aufgeweicht wird.

Bei GRÜN-Blinken wäre unklar, ob der Grundsatz, dass man bei GRÜN gehen darf, noch gültig ist. Insgesamt wird ein Fehlverhalten befürchtet, weil Fußgänger, die es eilig haben, noch während des Blinkens die Straße zu queren versuchen.

Ein Handlungsbedarf für eine entsprechende Änderung wird überwiegend nicht gesehen.

### **Weitere Aspekte**

Seitens der Stadt Dortmund wird auf Fälle verwiesen, in denen es sich anbietet, bei zweifeldigen Signalgebern von der vorgeschriebenen Signalfolge ROT – DUNKEL – GELB – ROT abzuweichen. Beobachtungen der Stadtverwaltung haben gezeigt, dass Kraftfahrer an dynamischen Haltestellen oder an Fußgängersignalanlagen ohne Kfz-GRÜN oder Vorsignale erst mit Verzögerung auf die Freigabe reagieren. Durch die Verwendung von ROT/GELB werden Irritationen vermieden, ob das Verlöschen des Rotlichts durch einen Anlagenausfall ausgelöst wurde oder planmäßig und gewollt ist. Die Anwendungsfälle in der Stadt Dortmund wurden nach eigener Einschätzung von den Kraftfahrern honoriert. Die Anwendung bringt für die Abwicklung des Verkehrs nach den gemachten Beobachtungen Vorteile und wirft keinerlei Sicherheitsbedenken auf.

Vom Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Club e. V. wird vorgeschlagen, ergänzend zu den derzeitigen

Regelungen die gesonderte Signalisierung von „Umweltspuren“ (Busfahrstreifen, die vom Radverkehr mitbenutzt werden dürfen bzw. umgekehrt) nach dem Beispiel von Münster so zu regeln, dass ein dreifeldiges Radfahrersignal und ein dreifeldiges ÖPNV-Signal vor der Konfliktfläche nebeneinander angebracht werden, wobei diese synchron schalten müssen.

Aus Sicht der Leipziger Verkehrsbetriebe gibt es Klärungsbedarf hinsichtlich der Anwendung von gelbem Wechselblinklicht über den Gleisbereich bei gleichzeitiger Signalisierung der Straßenbahn mit Fahrtbegriffen (F1 bis F3 der BOStrab). Insbesondere beim Abbiegen besteht der Konflikt zwischen der Anzeige des Straßenbahnsignals und der Verpflichtung aus § 9 StVO, die Fußgänger zu beachten.

### **1.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf**

Das in der ausländischen Literatur viel diskutierte Problem der Signalfolge bei bedingt verträglichem Linksabbiegen muss in Deutschland nicht weiter thematisiert werden, da sich bei der hier angewendeten Signalfolge bisher keine Probleme gezeigt haben.

Die Signalisierung der Räumzeit für Fußgänger dient im Ausland zum Teil der Sicherung der Verkehrsteilnehmer, weil es häufig nur pauschale Zwischenzeiten gibt (amber time + all red) bzw. weil davon ausgegangen wird, dass beim Erscheinen des Sperrsignals die Konfliktfläche bereits geräumt ist. In Deutschland ist der Zeitbedarf für das Räumen nach GRÜN-Ende hingegen immer in der Zwischenzeit berücksichtigt. Grundsätzlich wird eine Signalisierung von Räumzeiten für Fußgänger in Deutschland bisher nicht verfolgt, teilweise jedoch befürwortet. Für die Zukunft sollten neben der Auswirkung auf die Verkehrssicherheit (einschließlich Rotläufer-Analyse) die Einflüsse auf die Verkehrsabhängigkeit und auf die Qualität des Verkehrsablaufs aller Verkehrsteilnehmergruppen untersucht werden.

### **1.1.6 Innovationsgrad**

#### **Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk**

Die Anzeige einer Restlaufzeit für eine bestimmte Signalfolge ist in den derzeitigen RiLSA nicht vorgesehen.

### **Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen**

Auch in der StVO und der VwV-StVO ist die Anzeige einer Restlaufzeit nicht vorgesehen.

### **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Während für die Anzeige der Restlaufzeit für den Kfz-Verkehr kein Bedarf erkennbar ist, wird diese Maßnahme für den Fußgängerverkehr von Seiten der Fachwelt unterschiedlich bewertet. Teilweise wird kein Handlungsbedarf gesehen, von den Befürwortern wird jedoch eine Verbesserung der Verkehrssicherheit erwartet. Bei den Betreibern ist zumindest wegen des nicht unerheblichen Realisierungsaufwands eine kritische Haltung zu erwarten. Die Akzeptanz durch die Verkehrsteilnehmer ist dagegen bisher schwer einzuschätzen.

#### **1.1.7 Handlungsbedarf**

##### **Richtlinienrelevanz der Fragestellung**

Die behandelten Fragestellungen sind richtlinienrelevant, aber in den RiLSA bereits weitreichend geregelt.

##### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Der Arbeitskreis 3.16.16 „Neufassung RiLSA“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) hat inhaltlich keine Änderungen an dem Abschnitt über Lichtsignale und Signalfolgen vorgenommen. Lediglich einige redaktionelle Anpassungen sind erfolgt.

##### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Solange keine weiteren Forschungsergebnisse vorliegen, besteht über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus kein weiterer Änderungsbedarf.

## **1.2 Einsatzkriterien für Lichtsignalanlagen**

### **1.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

In den RiLSA 1992 werden Kriterien für den Einsatz von Lichtsignalanlagen festgelegt und die damit erzielbaren Wirkungen abgeschätzt. Im Einzelnen handelt es sich dabei um

- die Verkehrssicherheit,

- die Qualität des Verkehrsablaufs,
- den Kraftstoffverbrauch sowie um
- die Abgas- und Lärmimmissionen.

Verfahrensvorschläge für die Abschätzung der Auswirkungen werden zwar erwähnt, aber nicht erläutert. Insgesamt erfolgt die Beschreibung der erzielbaren Wirkungen rein verbal ohne eine quantitative Abschätzung.

Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Projektierung wie auch bei anderen Aufgaben der Verkehrsplanung die Notwendigkeit besteht, unterschiedliche Nutzungsansprüche zu berücksichtigen und bei Zielkonflikten sorgfältig abzuwägen, welcher Nutzungsanspruch in welchem Maße berücksichtigt werden soll.

### **1.2.2 Erreichter Forschungsstand**

Generell sind im Vorfeld einer Entscheidung, ob eine Lichtsignalanlage erforderlich ist oder nicht, Ziele zu definieren und die Zielerreichung mit den unterschiedlichen Maßnahmen zu beurteilen. ANDERSON et al. (1998) haben eine Umfrage zu der Bedeutung verschiedener Zielsetzungen veröffentlicht. Das Ergebnis zeigt, dass kein Konsens bei den Zielen der Lichtsignalsteuerung geschaffen werden kann. Dies führt dazu, dass vor allem die Flexibilität zum wichtigen Ziel wird, um auf sich ändernde Bedingungen optimal zu reagieren. Weitere Ziele beziehen sich auf die Gewährleistung eines guten Verkehrsablaufs und einer hohen Verkehrssicherheit sowie auf die Einhaltung von Grenzwerten für Emissionen und Immissionen.

In der Literatur werden im Wesentlichen die Punkte Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit behandelt, die auch im Folgenden näher beschrieben werden. Weiterhin gibt es einige Veröffentlichungen zu der Thematik „Signalisierung von Kreisverkehrsplätzen“, die anschließend aufgegriffen wird.

### **Verkehrsablauf**

Der positive Effekt einer modernen verkehrsabhängigen Verkehrssteuerung sowohl für das Erreichen übergeordneter verkehrsplanerischer Zielstellungen wie z. B. die Priorisierung des ÖPNV als auch für die Gewährung einer guten Qualität des Verkehrsablaufs wird von NIKSCH und GRUNOW (1997) am Beispiel einer regionalen Verkehrsuntersuchung sowie von ANDREE et al. (2001) aufgezeigt. Die Lichtsignalsteuerung wird dabei jeweils

als eine von mehreren Maßnahmen untersucht. Es hat sich als besonderer Vorteil herausgestellt, dass auch mit begrenzten finanziellen Mitteln ein guter Erfolg erzielbar ist.

Eine groß angelegte Umfrage bei verschiedenen Städten in Großbritannien aus dem Jahre 1991 bestätigt dieses Ergebnis (GRAY/IBBETSON, 1991). Es stellt sich heraus, dass die meisten Städte die Lichtsignalsteuerung nicht nur nutzen, um die verkehrliche Situation an einem einzelnen Knotenpunkt zu beeinflussen, sondern um mit Hilfe von übergeordneten Strategien großräumigere Überlastungen zu verlagern oder abzubauen.

Anwendungsbeispiele für dieses Vorgehen finden sich auch in Österreich und in Deutschland. So beziehen sich SCHMUTZHARD und SNIZEK (1995) sowie ZIEGLER (1999) in ihren Veröffentlichungen aus den Jahren 1995 bzw. 1999 ebenfalls auf die Möglichkeiten der Realisierung verkehrsplanerischer Zielsetzungen. Beispielfhaft skizzieren sie die Einrichtung von Pfortneranlagen, die dazu dienen, das Verkehrsaufkommen auf hochbelasteten Ortsdurchfahrten zu bündeln und damit Zeitlücken für die Gewährung anderer Nutzungsansprüche wie den Fußgängerquerverkehr oder dem ÖPNV zu schaffen.

Bei der Betrachtung einzelner Knotenpunkte bestehen unterschiedliche Meinungen, welche Knotenpunktgrundform hinsichtlich des Verkehrsablaufs die günstigste Lösung ist. HÖGLUND (1991) untersuchte für einen beispielhaften Knotenpunkt in Schweden, wie sich die Verlustzeiten der einzelnen Fahrzeuge im Vergleich eines signalisierten Knotenpunkts mit einem Kreisverkehr verhalten. Mit Hilfe von empirischen Untersuchungen ermittelt er, dass bei Durchfahren eines Kreisverkehrs weniger Verluste als an einer Lichtsignalanlage auftreten. Im Gegensatz dazu kommt JORDI (1995) zu dem Schluss, dass Kreisverkehre nicht in allen Fällen die optimale Lösung darstellen. Insbesondere, wenn eine Verkehrsbeeinflussung oder die Bevorrechtigung des ÖPNV erfolgen soll, scheint der Kreisverkehr nur bedingt geeignet.

Unter anderem wird diese Diskussion auch von SCHNÜLL aufgegriffen, der in einem Artikel aus dem Jahr 2003 die Entwicklung des Knotenpunktentwurfs darstellt. Dabei bemängelt er im Wesentlichen, dass in der jüngsten Vergangenheit wieder vermehrt Knotenpunkte gebaut werden, bei denen die Konfliktflächen, um eigentlich notwendige Lichtsignalanlagen zu vermeiden, auseinanderge-

zogen sind (z. B. Kreisverkehre mit Bypässen). Diese Entwurfsstrategie bestand in abgewandelter Form bereits in den sechziger Jahren und wurde aufgrund intensiver Fachdiskussionen verworfen. Als Fazit stellt SCHNÜLL heraus, dass es selbstverständlich sein sollte, bestimmte Knotenpunktgrundformen nicht um jeden Preis anzustreben, sondern sich mit den sicheren Einsatzbereichen zu begnügen. Weiterhin weist er auf verschiedene innovative Möglichkeiten der Steigerung der Kapazität hin, wie z. B. die räumlich bzw. zeitlich partielle Signalisierung von Knotenpunkten.

Hinsichtlich der außerörtlichen Anlage von Lichtsignalanlagen untersuchte RICHTER (1994) Knotenpunkte der Grundform IV nach RAS-K-1 (FGSV, 1988b) an Ortsumgehungen. Aufgrund der Signalisierung verringert sich die erreichbare Pkw-Reisegeschwindigkeit bei Knotenpunktabständen von 1,0 bis 1,5 km auf bis zu 70 km/h. Bei größeren Knotenpunktabständen sind auch Pkw-Reisegeschwindigkeiten von 80 km/h erreichbar. Die positiven Effekte auf die Nebenrichtung bzw. eine Betrachtung der Gesamtverlustzeiten ist aufgrund des methodischen Ansatzes, der im Wesentlichen auf Reisezeitmessungen entlang der Ortsumgehungen basiert, nicht möglich. Insbesondere bei hohen Linksein- und Linksabbiegeanteilen ergeben sich jedoch positive Effekte für die Kapazität des Knotenpunkts.

Ein weiteres wenn auch etwas spezielleres Anwendungsfeld für die Lichtsignalsteuerung ist die Rampenzuflusssteuerung, die unter anderem von STÖCKER und TRUPAT (2001) intensiv untersucht wurde (vgl. dazu Abschnitt 5.3). Durch die Reduzierung des Zuflusses auf die BAB A 40 konnte eine deutliche Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs auf der durchgehenden Fahrbahn nachgewiesen werden, die sich z. B. in einem um 10 km/h gesteigerten Geschwindigkeitsniveau und einem deutlichen Rückgang der Störungen zeigt. Dabei ist keine negative Beeinflussung des untergeordneten Straßennetzes aufgetreten. Die Thematik der Rampenzuflusssteuerung gewinnt insgesamt zunehmend an Bedeutung. Aus diesem Grund wird sie detaillierter in einem eigenen Abschnitt betrachtet (vgl. Abschnitt 5.3).

In den USA erfolgt die Abschätzung, ob eine Lichtsignalanlage erforderlich ist, aufgrund der Verkehrsstärken in Haupt- und Nebenrichtung. Dabei werden nur die absolut zufließenden Verkehrsstärken betrachtet. Eine genauere Analyse wie z. B. die

Einbeziehung der Abbiegeanteile erfolgt nicht. Die Arbeit von PARK et al. (2000) verfeinert dieses Verfahren durch die wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtung, welche Verkehrsstärken in den unterschiedlichen Richtungen gleichzeitig auftreten. Die alleinige Entscheidung für bzw. gegen eine Lichtsignalanlage aufgrund dieser Werte erscheint auf die Verhältnisse in Deutschland nicht übertragbar zu sein. Das Gleiche gilt für die Veröffentlichung von SAMPSON (1999), der die durchschnittliche Rückstaulänge in der Spitzenstunde als Einsatzkriterium propagiert.

### Lichtsignalanlagen und Verkehrssicherheit

Insgesamt gibt es eine Vielzahl von Arbeiten, die eine Verbesserung der Verkehrssicherheit durch die Einrichtung von Lichtsignalanlagen verzeichnen bzw. die die Verkehrssicherheit an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten im Vergleich zu anderen Knotenpunktformen als mindestens vergleichbar einstufen (DATTA/DUTTA, 1990; VOSS, 1994). In verschiedenen Arbeiten stellt die Verkehrssicherheit das maßgebende Kriterium für die Einrichtung einer Lichtsignalanlage dar (McGEE et al., 2003).

Neben der reinen Verbesserung der Verkehrssicherheit für den Kraftfahrzeugverkehr kann insbesondere auch die Sicherheit für Fußgänger erhöht werden. Speziell für Blinde und Sehbehinderte bietet sich durch die Verwendung zusätzlicher akustischer und taktiler Elemente eine sichere Möglichkeit, die Fahrbahn zu überqueren, wie dies von JESCHKE und VOGT (1995) im Jahre 1995 anhand eines Modellprojekts in Berlin deutlich gemacht wurde.

In der oben bereits erwähnten Untersuchung von RICHTER (1994) wurde nachgewiesen, dass Lichtsignalanlagen an Ortsumgehungen mit Knotenpunkten nach der Grundform IV einen positiven Effekt auf die Verkehrssicherheit haben. Insbesondere bei hohen Verkehrsstärken von 12.000 bis 15.000 Kfz/24h und einem großen Anteil von Links- ein- und -abbiegern verbessert sich die Verkehrssicherheit signifikant. Das Gleiche gilt für nachträglich signalisierte Kreisverkehre, an denen sich die Verkehrssicherheit entsprechend verschiedener Untersuchungen durch die zusätzliche Signalisierung stark verbessert (SCHNÜLL/GOLTERMANN, 2000; LINES, 1995).

Nicht in allen Fällen bewirkt die Einrichtung einer Lichtsignalanlage jedoch eine Verbesserung der

Verkehrssicherheit. So konnte in Köln beobachtet werden, dass sich mehr konfliktbehaftete Interaktionen an signalisierten Stadtbahnüberwegen ereignen als an unsignalisierten (DITTEMER/ORTLEPP, 2002). Generell ist darauf zu achten, dass die Lichtsignalanlage eine möglichst sichere Steuerung gewährleistet. Bestimmte Signalisierungs- und AusbaufORMen sind daher laut MEEWES (2003) zu vermeiden.

Auch ADAMS (1995) versuchte nachzuweisen, dass eine Lichtsignalanlage nicht immer die optimale Lösung darstellt. Seine These ist, dass sich die Verkehrssicherheit an unfallgefährdeten Knotenpunkten stärker verbessert, wenn diese in einen Kreisverkehr umgebaut werden, als wenn eine Lichtsignalanlage errichtet wird. Der erste Eindruck bezüglich der Entwicklung der absoluten Unfallzahlen bestätigt diese These. Aufgrund der geringen Anzahl geeigneter Untersuchungsstellen und der ebenfalls geringen Anzahl dort aufgetretener Unfälle kann dies jedoch nicht mit einer ausreichenden statistischen Absicherung bestätigt werden.

Eine ähnliche Tendenz wird von HUBACHER/ALLENBACH (2002) und ALLENBACH (1998) verfolgt, die die positiven und negativen Effekte einer Lichtsignalanlage im Vergleich zum Kreisverkehr betrachten. Letztendlich kommt sie zu dem Schluss, dass keine generelle Aussage getroffen werden kann, welche Knotenpunktgrundform eine höhere Verkehrssicherheit erwarten lässt. Stattdessen ist zu gewährleisten, dass die Knotenpunkte begreifbar und übersichtlich gestaltet sind.

### Signalisierung von Kreisverkehren

In zwei zusammenhängenden Untersuchungen aus dem Jahr 1992 zeigen HALLWORTH (1992) und JONES (1992) die kapazitätssteigernden Effekte eines signalisierten Kreisverkehrs im Vergleich zu anderen Knotenpunkten auf, weisen jedoch auch auf die Schwierigkeit bei der Signalisierung von Kreisverkehren hin. Im Wesentlichen beziehen sie sich dabei auf die Koordinierung des Verkehrs innerhalb des Kreisverkehrs. Durch Planungssoftware wie „TRANSYT“ schien dies überhaupt erst möglich, war jedoch weiterhin problembehaftet. Modellbasierte Signalsteuerungen wie „SCOOT“ können die auftretenden Schwierigkeiten relativieren, führen jedoch bei Kreisverkehren mit mehr als drei Armen zu einer sehr umfangreichen Steuerung, was von JONES als Nachteil angesehen wird.

Mit der zunehmenden Verbreitung moderner Planungsinstrumente werden diese Probleme jedoch weitgehend behoben. So kommen SCHNÜLL und GOLTERMANN (2000) aufgrund einer umfangreichen Untersuchung aus dem Jahre 2000 zu dem Schluss, dass sich sowohl die Verkehrssicherheit als auch die Kapazität von großen Kreisverkehren ( $D > 100$  m) durch eine Lichtsignalanlage erhöhen lassen. Hinsichtlich der Kapazität bewirken verkehrsabhängige Steuerungen eine besonders starke Verbesserung. Teilweise ist damit sogar eine Alternative zu teilplanfreien Knotenpunkten gegeben. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit empfiehlt sich die Signalisierung von Kreisverkehren insbesondere dann, wenn Fußgänger- und Radverkehr zu berücksichtigen ist. Generell gegen den Einsatz eines Kreisverkehrs im Vergleich zu einer Lichtsignalanlage sprechen eine hohe Verbindungsfunktion der Hauptrichtung innerhalb des Knotenpunkts und ein geringer Abstand zu benachbarten Knotenpunkten.

Die deutliche Verbesserung der Verkehrssicherheit anhand der Signalisierung von Kreisverkehren wird am Beispiel der Radfahrer auch von LINES (1995) bestätigt, der basierend auf einer Umfrage einen Vorher-Nachher-Vergleich über jeweils drei Jahre durchgeführt hat. Das Hauptaugenmerk galt dabei den Einfahrten. Eine besonders große Verbesserung tritt auf, wenn alle Einfahrten signalisiert werden und die Anlage ganztägig in Betrieb ist.

SHAWALY et al. (1991) untersuchen die nachträgliche Signalisierung eines Kreisverkehrs mit in Deutschland nicht zulässigen Pfortnersignalen, die zwar eine Anhaltepflicht beinhalten, jedoch keine Vorfahrt gewähren. Obwohl keine Vereinbarkeit mit den deutschen Richtlinien gegeben ist, kann auch hier bestätigt werden, dass sich durch die Signalisierung die Kapazität eines Kreisverkehrs steigern lässt.

### 1.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich werden die Einsatzkriterien für Lichtsignalanlagen, in den RVS (Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau) 5.31 „Verkehrslichtsignalanlagen – Einsatzkriterien“ beschrieben, eingesetzt (FSV, 1998a). Als relevante Kriterien für den Einsatz einer Lichtsignalanlage werden die Verkehrssicherheit und die Verkehrsbelastung betrachtet.

In Bezug auf die Verkehrssicherheit wird die Errichtung einer Lichtsignalanlage nach Möglichkeit ver-

mieden. Andere Maßnahmen, wie z. B. die Reduktion der Geschwindigkeit oder Änderungen im Netz oder am Knotenpunkt (z. B. Einrichten von Einbahnstraßen oder Anlage eines Kreisverkehrs), sind zu bevorzugen. Treten trotz dessen vermehrt Unfälle auf, soll eine Lichtsignalanlage erreicht werden. Auch beim Neubau von Straßen wird aus Sicherheitsgründen nie eine Lichtsignalanlage zwingend empfohlen. Allerdings wird in einigen Fällen die Prüfung der Notwendigkeit einer Lichtsignalanlage vorgeschrieben. Wie diese vorgenommen werden soll, wird jedoch nicht erwähnt.

Für die Betrachtung einer Lichtsignalanlage aufgrund der Verkehrsbelastung gibt es konkrete Berechnungsanweisungen. Diese greifen auf das Zeitlückenkonzept zurück und betrachten in Abhängigkeit von den Verkehrsstärken in den Haupt- und Nebenströmen die Notwendigkeit einer Lichtsignalanlage. Weiterhin werden Einsatzempfehlungen für den Einsatz von Fußgängerlichtsignalanlagen gegeben, die auf die Verkehrsstärken im Fußgänger- und Kraftfahrzeugverkehr sowie auf die Fahrbahnbreite zurückgreifen.

Als Sonderfälle, in denen die Signalisierung notwendig sein kann, werden die Signalisierung von Einsatzfahrzeugen, die Pfortnerung des Verkehrs und die Signalisierung von Engstellen genannt.

Im Gegensatz zu dieser separaten Betrachtung einzelner Wirkungsgrößen verfolgt die entsprechende Norm aus der Schweiz (SN 640 833 „Lichtsignalanlagen – Nutzen“, VSS, 1996) den Ansatz, die verschiedenen Wirkungsgrößen integriert zu betrachten. Es wird ein Verfahren vorgestellt, welches den Nutzen einer Lichtsignalanlage aufgrund der Änderungen der Verkehrssicherheit und der Kapazität der einzelnen Ströme beurteilt. In diese Betrachtungen gehen dann auch wirtschaftliche und ökologische Aspekte mit ein. Erwähnenswert ist dabei, dass in der Schweiz theoretisch auch Lichtsignalanlagen erlaubt sind, wenn die zulässige Höchstgeschwindigkeit mehr als 70 km/h beträgt. Wie diese Anlagen in der Bewertung abschneiden, kann hier nicht beurteilt werden.

Der „Installation Guide for Urban Traffic Control“ aus Großbritannien zählt einige Ziele auf, die mit der Einrichtung von Lichtsignalanlagen verfolgt werden sollen (Highway Agency, 2002). Neben der Gewährleistung einer guten Qualität des Verkehrsablaufs gehören dazu z. B. auch die Lenkung des Verkehrs im Netz oder die Gewährung von Prioritä-

ten. Konkrete Einsatzempfehlungen werden jedoch nicht gegeben.

Die „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ aus Frankreich weist lediglich darauf hin, dass durch die Errichtung einer Lichtsignalanlage eine Verbesserung der Verkehrssicherheit und der Qualität des Verkehrsablaufs erzielt werden kann (METL, 1996). Beispielhaft wird z. B. die Sicherung links-abbiegender Fahrzeugströme erwähnt. Über diese reinen Erwähnungen hinaus erfolgt jedoch keine Definition genauer Kriterien.

In den USA gibt es innerhalb des „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ acht verschiedene Grundsätze und Berechnungsansätze, anhand derer die Notwendigkeit einer Lichtsignalanlage ermittelt wird (Section 4C.02 bis Section 4C.09) (US DOT, 2003). Die ersten drei Punkte beziehen sich auf die Verkehrsstärken im Kraftfahrzeugverkehr. Weitere Kriterien beschäftigen sich mit der Verkehrssicherheit, wobei ein besonderer Fokus auf die Unfallanalyse sowie auf die Berücksichtigung von Fußgängern und die Schulwegsicherung gelegt wird. Letztendlich gibt es noch zwei eher verkehrsplanerische Grundsätze: Der erste berücksichtigt die Koordinierung von Lichtsignalanlagen und der zweite berücksichtigt die Lage des Verkehrs im Netz. Für alle diese Punkte werden konkrete Grenzwerte gegeben, ab welchen eine Lichtsignalanlage errichtet werden sollte.

#### 1.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Seitens des Hessischen Landesamts für Straßen- und Verkehrswesen besteht der Wunsch, innerhalb eines Regelwerks konkrete Entscheidungshilfen für die Wahl einer bestimmten Knotenpunktgrundform zu geben. Im Wesentlichen soll dargestellt werden, in welchen Fällen die Anlage eines Kreisverkehrsplatzes der Errichtung einer Lichtsignalanlage vorzuziehen ist. Dabei sollen insbesondere auch die Interessen der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden.

#### 1.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Die angesprochenen Themen sind in den verschiedensten Arbeiten ausgiebig behandelt und teilweise kontrovers diskutiert worden. In einzelnen Bereichen besteht weiterer Forschungsbedarf.

Der derzeitige Forschungsstand gibt insbesondere hinsichtlich der folgenden Fragen keine Antworten:

- Wie wirksam ist die Lichtsignalsteuerung in Bezug auf die Steuerung des Verkehrs in Straßennetzen?
- Wie wirken sich Pförtneranlagen langfristig aus? Ist eine Verlagerung des Verkehrs auf (eventuell sogar sensiblere) Netzbereiche möglich bzw. zu befürchten?
- Sind die in Köln beobachteten negativen Effekte bei der Signalisierung von Stadtbahnüberwegen auf andere Städte übertragbar oder handelt es sich um eine Einzellerscheinung?

#### 1.2.6 Innovationsgrad

##### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Der derzeitige Forschungsstand steht in keinem Widerspruch zu dem bestehenden Richtlinienwerk.

##### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Es zeigen sich keine Widersprüche zu den geltenden gesetzlichen Bestimmungen.

##### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Sowohl Fragen zu der Qualität des Verkehrsablaufs als auch zu der Verkehrssicherheit werden in der Fachöffentlichkeit kontrovers diskutiert, wie dies auch in der Schilderung des aktuellen Forschungsstands deutlich wird.

#### 1.2.7 Handlungsbedarf

##### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

In den Sitzungen des Arbeitskreises 3.16.16 (RiLSA 200X) wurde bereits ausgiebig diskutiert, in welchem Umfang die Einsatzkriterien für Lichtsignalanlagen Bestandteil der RiLSA sein sollen. Derzeitiger Konsens ist, dass die Kriterien für den Einsatz einer Lichtsignalanlage nur in sehr kurzer Form dargestellt werden, eine nähere Erläuterung soll nicht erfolgen.

Dies begründet sich aus verschiedenen Ursachen: Einerseits sind die bisherigen verbalen Erläuterungen in den RiLSA 1992 wenig hilfreich bei der konkreten Fragestellung. Ergänzend dazu wird auch davon ausgegangen, dass die RiLSA hauptsächlich genutzt werden, wenn eine Entscheidung für eine Lichtsignalanlage bereits gefallen ist. Zur Vorberei-

tung dieser Entscheidung gibt es zahlreiche weitere Richtlinien und Merkblätter wie das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – HBS (FGSV, 2001a), die Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen – R-FGÜ (FGSV, 2001c) oder das Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (FGSV, 2003c).

Andererseits zeigt die Diskussion in der Fachöffentlichkeit, dass keine allgemein akzeptierten Grenzwerte für die Einrichtung einer Lichtsignalanlage vorliegen. In vielen Fällen ist die Systementscheidung zudem neben der fachlichen Beurteilung anderen Randbedingungen wie z. B. der politischen Meinung unterworfen. Für die Zukunft erscheint es daher durchaus sinnvoll, konkretere Entscheidungshilfen zu formulieren, die dann jedoch idealerweise nicht dem Richtlinienwerk zu einer bestimmten Knotenpunktgrundform zugeordnet, sondern gesondert veröffentlicht werden sollten.

### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Der Abschnitt über Einsatzfelder einer Lichtsignalanlage soll für die RiLSA 200X stark gekürzt werden. Nach einer kurzen Einführung in die Thematik werden Kriterien für den Einsatz einer Lichtsignalanlage und die erzielbaren Wirkungen aufgeführt. Dabei wird im Wesentlichen auf die Punkte Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf eingegangen. Weitere Abschnitte widmen sich den Themen Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen sowie dem Ausgleich von Zielkonflikten.

Inhaltlich unterscheiden sich diese Punkte dahingehend von der bestehenden Version der RiLSA, dass im Abschnitt über die Verkehrssicherheit die Einrichtung einer Lichtsignalanlage positiver beurteilt wird. Bezüglich des Verkehrsablaufs wird außer auf die Signalisierung von Knotenpunkten auch auf die Pfortnerung des Verkehrs sowie auf die Zuflussdosierung eingegangen.

### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus besteht kein weiterer Änderungsbedarf.

## **2 Entwurf des Signalprogramms**

### **2.1 Signalprogrammstruktur**

#### **2.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

In den RiLSA 1992 wird in Kapitel 2 auf die Strukturierung des Signalprogramms eingegangen. Die

behandelten Unterpunkte sind die Phaseneinteilung, die Phasenanzahl, -folge und -übergänge. Zusätzlich ist noch der Anhang L aus der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 zu berücksichtigen, der das Rechtsabbiegen mit Grünpfeil-Schild thematisiert, sowie Teile der Abschnitte 6 „Besondere Berücksichtigung der öffentlichen Verkehrsmittel“, 7 „Besondere Berücksichtigung der Fußgänger“, und 8 „Besondere Berücksichtigung der Radfahrer“ (natürlich jeweils unter Beachtung der Änderungen in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003).

Hinsichtlich der Phaseneinteilung werden zunächst einige erläuternde Hinweise gegeben. Darauf folgend werden zuerst die Linksabbieger und dann die Rechtsabbieger behandelt. Bei beiden Verkehrsströmen wird zwischen gesicherten, zeitweilig gesicherten und nicht gesicherten Verkehrsströmen unterschieden. Zusätzlich gibt es bei den Rechtsabbiegern noch den Abschnitt zum nicht signalisierten Rechtsabbiegen.

Besonderes Augenmerk wird darauf gelegt, dass Linksabbieger nach Möglichkeit gesichert geführt werden sollen. Ist eine zeitweilig gesicherte Führung vorgesehen, ist die Möglichkeit einer Vorgabezeit zwar erwähnt, wird jedoch als gefährlicher Ausnahmefall betrachtet. Bei den Rechtsabbiegern ist zu beachten, dass eine nicht signalisierte Führung nur entlang einer Dreiecksinsel und nur nach einer sorgfältigen Prüfung erfolgen darf. Letzteres wird insbesondere auch für die Errichtung von Grünpfeil-Schildern gefordert. Der betreffende Abschnitt enthält im Wesentlichen den Text zu der Grünpfeil-Regelung, wie er auch in der VwV-StVO steht. Unterschieden wird dabei in Ausschlusskriterien und in Einsatzhinweise und Abwägungskriterien.

Ein weiterer Aspekt, der für die Phaseneinteilung von Bedeutung ist, ist die Führung des Radverkehrs über den Knotenpunkt. Unterschieden wird in die direkte und in die indirekte Führung, wobei die jeweilige Variante von den vorhandenen Radverkehrsanlagen in den Zu- und Ausfahrten des Knotenpunkts abhängt.

Die Phasenanzahl ergibt sich im Wesentlichen aus der Phaseneinteilung, also aus der Entscheidung, ob bedingt verträgliche Ströme gesichert oder nicht gesichert signalisiert werden. Aus Sicherheitsgründen werden daher Steuerungen mit mehr Phasen bevorzugt, und aus Kapazitätsgründen Steuerungen mit weniger Phasen.

Bei der Planung der Phasenfolge sind verschiedene Randbedingungen zu beachten: So sollen z. B

Fußgänger und Radfahrer hintereinanderliegende Furten ohne Halt auf der Mittelinsel überqueren können und die Koordinierung mit benachbarten Lichtsignalanlagen muss gewährleistet sein. Bei mehreren möglichen Phasenfolgen ist diejenige mit der kürzesten Umlaufzeit zu wählen.

Der Abschnitt zu den Phasenübergängen ist sehr kurz. Wichtigste Inhalte sind, dass der Phasenübergang die Zwischenzeiten enthalten muss und dass diese auch bei verkehrsabhängigen Eingriffen in die Steuerung nicht verkürzt werden dürfen.

Etwas losgelöst von diesen Fragestellungen, die sich im Wesentlichen auf Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten beziehen, werden im Abschnitt „Besondere Berücksichtigung der Fußgänger“ auch reine Fußgängerlichtsignalanlagen betrachtet. Es werden die Möglichkeiten Grundstellung GRÜN für Fahrzeuge und ROT für Fußgänger, Alles-DUNKEL und Alles-ROT vorgestellt. Eine Sonderstellung nehmen Fußgängerlichtsignalanlagen zur Überquerung besonderer Bahnkörper ein. In der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 wird als Regellösung empfohlen, die Furt über den Bahnkörper bei Annäherung eines Fahrzeugs mit einem gelben Springlicht zu sichern. Alternativ dazu gibt es eine zweite Signalisierungsvariante mit der Grundstellung HALT für ÖPNV-Fahrzeuge und DUNKEL für Fußgänger.

### 2.1.2 Erreichter Forschungsstand

Im Betrachtungszeitraum sind zahlreiche Veröffentlichungen zu den Themen Linksabbiegen und Rechtsabbiegen erschienen. Dabei ist eine starke regionale Konzentration zu beobachten: Während das Linksabbiegen vor allem in den USA behandelt wurde, ist das Rechtsabbiegen schwerpunktmäßig in Deutschland betrachtet worden. Ergänzend zu diesen Themenkomplexen liegen einige Veröffentlichungen vor, die sich speziell mit dem Rad- oder Fußgängerverkehr beschäftigen.

#### Linksabbiegen

Sowohl die absolute als auch die bedingt verträgliche Führung von Linksabbiegern haben ihre Vor- und Nachteile. Während einerseits häufig die Kapazität des Knotenpunkts insgesamt höher ist, wenn die Linksabbieger bedingt verträglich geführt werden, bestehen laut DUNKER et al. (2003) gegen diese Führungsform auch erhebliche Sicherheitsbedenken. Insbesondere an Außerortsknotenpunkten mit relativ hohen gefahrenen Geschwindigkei-

ten oder bei großen Knotenpunkten überwiegen diese Nachteile die Vorteile. Eine der Ursachen dafür ist die Fehlinterpretation der Signalisierung mit vollem GRÜN (ALLENBACH, 2002). Mit dem Ziel, Einsatzbereiche für die unterschiedlichen Führungsformen zu berechnen, wurden verschiedene Verfahren entwickelt (z. B. von PITZINGER, 1995, AL-KAISY und STEWART 2001), welche eine integrierte Betrachtung verschiedener Einflussfaktoren wie der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs sowie der Kraftstoffkosten ermöglichen.

Häufig werden die absolute und die bedingt verträgliche Führung der Linksabbieger auch miteinander kombiniert. Das bedeutet, dass die konkurrierenden Ströme eine gewisse Zeit gemeinsam freigegeben werden. Die Linksabbieger werden entweder bereits vorher freigegeben, sodass ein Vorlauf zu den Geradeausfahrern entsteht, oder ihre Freigabezeit wird länger erhalten, sodass ein Nachlauf entsteht. Der Vorlauf wird im Allgemeinen als problematisch angesehen, da zunächst freie Fahrt besteht, ab einem bestimmten Moment dann jedoch wieder mit Gegenverkehr gerechnet werden muss. In Hessen ist diese Form der Signalisierung sogar verboten. Der Nachlauf hat im Gegensatz dazu den Vorteil, dass die wartenden Linksabbieger sehen, dass der Gegenverkehr gestoppt wird. Dadurch ist die Verkehrssicherheit höher, aber die Kapazität wird schlechter ausgenutzt als beim Vorlauf, da die Zwischenzeiten zwischen dem Anhalten des Gegenverkehrs und dem Signalisieren des Nachlaufs zu beachten sind (EWERT, 1994).

Die Aussagen zum Verkehrsablauf werden von verschiedenen Untersuchungen aus den USA (z. B. WRIGHT und UPCHURCH, 1992, HOOK et al. 1993), die jeweils in längerfristigen Versuchen die verschiedenen Steuerungsstrategien an einem Knotenpunkt eingesetzt und miteinander verglichen haben, bestätigt. Im Rahmen dieser Versuche erfolgten jedoch in der Regel keine Untersuchungen zu der Verkehrssicherheit.

Mit diesem Thema haben sich BASHA und BOX (2003) in einer Veröffentlichung aus dem Jahre 2003 sehr intensiv auseinandergesetzt. In den USA wird der Vorlauf von Linksabbiegern sehr viel häufiger eingesetzt als in Deutschland. Von 107.000 zufällig ausgesuchten analysierten Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage werden 29 % mit bedingt verträglichen Linksabbiegern gesteuert. Bei diesen wiederum werden die Linksabbieger in 83 % der

Fälle im Vorlauf freigegeben, in 11 % im Nachlauf und in 6 % der Fälle in einer Kombination aus Vor- und Nachlauf. Verschiedene Untersuchungen, die in der grundlegenden Literaturanalyse betrachtet werden, zeigen keinen signifikanten Unterschied in der Verkehrssicherheit aufgrund der Freigabe im Vor- oder im Nachlauf. Dieses Ergebnis wird durch eine umfassende Unfallanalyse an acht Lichtsignalanlagen mit Vorlauf und 14 Lichtsignalanlagen mit Nachlauf, die sich über mehrere Jahre erstreckte, bestätigt. Die Signifikanz dieses Ergebnisses wird mit einem T-Test und einem Konfidenzniveau von 99 % nachgewiesen.

Da sich sowohl durch die Gewährung eines Vorlaufs als auch eines Nachlaufs keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit gezeigt haben, wird in Texas empfohlen, als Standardvariante einen kombinierten Vor- und Nachlauf für Linksabbieger einzurichten, um damit die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Die spezielle Lösung sieht so aus, dass eine Richtung einen Vorlauf erhält, dann wird die Gegenrichtung dazugeschaltet und diese erhält dann einen Nachlauf, sodass aus beiden Richtungen für eine gewisse Dauer ein gesichertes Abfließen der Linksabbieger möglich ist (DE CAMP/DENNEY, 1999).

URBANIK et al. (2000) schlagen darüber hinausgehend eine Signalprogrammstruktur vor, bei der in Abhängigkeit von den Randbedingungen absolut bzw. bedingt verträgliches Linksabbiegen ermöglicht wird. Für den Fall, dass das Verkehrsaufkommen ausreichende Lücken für die Linksabbieger ermöglicht, ist keine absolut verträgliche Signalisierung notwendig. Bei stärkerem Verkehr im Hauptstrom oder im betroffenen Linksabbiegerstrom überwiegen jedoch die Vorteile einer eigenen Phase, sodass dann eine absolut verträgliche Signalisierung realisiert wird. Dabei werden die unterschiedlichen Signalisierungsformen nicht in verschiedenen Programmen abgelegt, die nur makroskopisch aktiviert werden, sondern es erfolgt in jedem Umlauf erneut die Entscheidung für eine der beiden Varianten. Sowohl in einer Simulations- als auch in einer Feldstudie wurde nachgewiesen, dass sich die Kapazität des betrachteten Knotenpunkts durch den Verzicht auf die dauerhafte absolut verträgliche Signalisierung erhöht. Da jedoch keine Untersuchungen zu der Verkehrssicherheit erfolgten, sollte die Aussage der Veröffentlichung, dass die betrachtete Signalprogrammgestaltung empfehlenswert ist, kritisch hinterfragt bzw. dahingehend überprüft werden.

Mehrere Untersuchungen, die vor allem in den USA, aber auch in der Schweiz entstanden sind, beschäftigen sich mit der geeigneten Signalisierungsform für die Verdeutlichung des absolut bzw. bedingt verträglichen Linksabbiegens. Näheres dazu findet sich in Abschnitt 1.1, Teil B.

### Rechtsabbiegen

Bereits kurz nach der Wiedervereinigung kam die Idee auf, das Rechtsabbiegen bei ROT mit Grünpfeil auch im Westen Deutschlands zu ermöglichen. Im Vorfeld dazu fand eine umfangreiche Untersuchung zu der Verkehrssicherheit statt, die von der BAST und der Universität Dresden gemeinsam durchgeführt wurde. Zu der Untersuchung gehörten sowohl eine makroskopische Betrachtung der Unfälle als auch verschiedene Untersuchungen mit der Verkehrskonflikttechnik. Ergebnis war, dass sich aufgrund der Regelung kein erhöhtes Sicherheitsrisiko einstellte. Insbesondere wurde keine Beeinträchtigung von Fußgängern und Radfahrern beobachtet (KRAUSE/SCHROBITZ, 1992).

Unter anderem basierend auf diesen Ergebnissen wurde die Grünpfeil-Regelung im Dezember des Jahres 1993 in die StVO aufgenommen. Ergänzend dazu erfolgte die Aufnahme weitreichender Ausschluss- und Einsatzkriterien der neuen Regelung in die VwV-StVO, die unter anderem auch von KRAUSE (1994) detailliert beschrieben wurden, um so für einen höheren Bekanntheitsgrad der neuen Regelung zu sorgen.

Trotz der positiv verlaufenden Sicherheitsuntersuchungen gab es jedoch auch immer wieder Bedenken hinsichtlich einer möglichen Verringerung der Verkehrssicherheit (KRAUSE/SCHROBITZ, 1992). Diese wurden z. B. von PFUNDT (1994) in sechs Thesen formuliert, jedoch nicht durch eigene oder fremde Untersuchungen untermauert.

Mit dem Ziel, die Wirkungen des Grünpfeils auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf zu klären, wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen die Projektgruppe „Grünpfeil“ gegründet. Diese hat die verschiedenen vorliegenden Untersuchungen und Erfahrungen ausgewertet und darauf basierend Empfehlungen für den weiteren Einsatz des Grünpfeils ausgearbeitet (ALBRECHT et al., 1999). Grundtenor der Untersuchung war, dass die Grünpfeil-Regelung bei Beachtung der Einsatzgrenzen kein erhöhtes Sicherheitsrisiko darstellt und daher beibehalten werden kann. Die Ergebnisse aus die-

sem Bericht sind bereits in die RiLSA-Teilfortschreibung 2003 eingeflossen.

Weiterhin wurden LAGEMANN und TOPP (2003) mit einem Forschungsauftrag betraut, in welchem die Einsatzerfahrungen mit dem Grünpfeil einige Jahre nach der Wiedervereinigung dokumentiert wurden. Die Ergebnisse wurden im Jahre 2003 veröffentlicht. Tenor des Aufsatzes ist, dass bei der Einrichtung des Grünpfeils unbedingt die Einsatz- und Ausschlusskriterien der VwV-StVO zu beachten sind. Es wird eindringlich darauf hingewiesen, dass den begrenzten lokalen Vorteilen des Grünpfeils hinsichtlich der Kapazität ein nicht zu unterschätzendes Gefährdungspotenzial gegenübersteht. Leider ist beides nicht beziffert oder durch entsprechende Untersuchungen belegt.

FRIEDRICH und POSCHINGER (1999) haben ein Rechenverfahren entwickelt, mit welchem unter anderem die zusätzliche Kapazität aufgrund der Grünpfeil-Regelung bei Mischfahrstreifen abgeschätzt werden kann. Diese hängt maßgeblich von dem Anteil der rechts abbiegenden Fahrzeuge an der gesamten Verkehrsstärke auf dem betrachteten Fahrstreifen ab.

### **Radverkehr**

Die Berücksichtigung der Radfahrer muss beim Entwurf des Signalprogramms von Beginn an erfolgen. Eine Untersuchung der PGV (1996) aus dem Jahr 1996 hat ergeben, dass es für die Akzeptanz der Lichtsignalanlage durch den Radverkehr von großer Bedeutung ist, dass die Signalisierung einfach verständlich ist und nicht zu einer wesentlich schlechteren Qualität des Verkehrsablaufs als für den Kraftfahrzeugverkehr führt. So ist insbesondere die Freigabezeit von Radverkehrsfurten, die parallel zu einem Kraftfahrzeugstrom verlaufen, derjenigen des Kraftfahrzeugverkehrs anzupassen. Die gemeinsame Signalisierung mit parallel geführten Fußgängerströmen ist aus Akzeptanzgründen negativer zu beurteilen. Weiterhin führen einheitliche Regelungen für den Radverkehr innerhalb einer Stadt zu einer besseren Verständlichkeit der Regelungen und damit auch zu einer verbesserten Akzeptanz.

### **Fußgängerverkehr**

Für die Signalisierung von Fußgängern an reinen Fußgängerlichtsignalanlagen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zu Anfang der 90er Jahre wurde in Österreich als Standardvariante für die Signalisie-

rung der Fußgängerlichtsignalanlagen empfohlen, dass die Grundstellung der Lichtsignalanlage so sein muss, dass der Kraftfahrzeugverkehr freigegeben ist und die Fußgänger mit ROT signalisiert werden. Dies hat jedoch sehr viele Rotlichtmissachtungen der Fußgänger zur Folge. Um dies zu vermeiden, wurde eine unvollständige Signalisierungsvariante entwickelt, in deren Grundstellung sowohl die Signalgeber für den Kraftfahrzeugverkehr als auch für den Fußgängerverkehr GELB-Blinken. Im Praxistest hat sich gezeigt, dass die Rotläuferanteile der Fußgänger durch die geänderte Signalisierung sehr stark zurückgegangen sind. Nach verschiedenen Anpassungen konnte auch erreicht werden, dass der Rotfahreranteil der Kraftfahrzeuge im Bereich der herkömmlichen Fußgängerlichtsignalanlagen lag. In Deutschland ist diese Signalisierungsform jedoch nicht einsetzbar, da sie nicht mit der VwV-StVO vereinbar ist (ZIBUSCHKA, 1992).

Die geänderte Variante erinnert in ihrer grundsätzlichen Funktionsweise jedoch sehr stark an die in Deutschland verbreitete Alles-ROT-Sofort-GRÜN-Schaltung. Diese wurde von FOLLMANN und SCHUSTER (1991a) im Jahre 1991 intensiv untersucht. Ergebnis der Studie war, dass sich durch diese Schaltung positive Wirkungen auf die Verkehrssicherheit erzielen lassen und dass bei Verkehrsstärken bis 300 Kfz/h sogar die Wartezeiten für den Kraftfahrzeugverkehr geringer als bei einer Schaltung mit der Grundstellung GRÜN für den Kraftfahrzeugverkehr sind.

Für den Fall, dass Fußgängerfurten durch eine Mittelinsel unterbrochen werden, ist darauf zu achten, dass möglichst viele Fußgänger die gesamte Furt ohne Halt auf der Mittelinsel überqueren können. NOLL und HAMANN (1995) empfehlen für diesen Fall die standardmäßige Anwendung einer Steuerung, in der die inneren Signale früher auf ROT schalten als die äußeren, damit die Zeit, die die Fußgänger gegen ROT laufen, so gering wie möglich ist.

Die Sicherheit der Überquerungsformen besonderer Bahnkörper wurde von DITTEMER und ORTLEPP (2002) untersucht. Die Signalisierung der Furt über den Gleiskörper erfolgte dabei mit der Grundstellung DUNKEL für Fußgänger, die bei Annäherung der Bahn auf ROT wechselt. Mit Hilfe von Interaktionsbeobachtungen konnte beobachtet werden, dass sich mehr konfliktbehaftete Interaktionen an signalisierten Stadtbahnüberwegen ereignen als an unsignalisierten.

### 2.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

Die relevante Richtlinie aus Österreich für die grundsätzliche Planung von Lichtsignalanlagen ist die RVS 5.32 „Planen von Verkehrslichtsignalanlagen“ (FSV, 1998b). Die Abschnitte, die sich auf die Signalprogrammstruktur beziehen, sind in großen Teilen an die Vorgehensweise der RiLSA angelehnt. Hinsichtlich der Linksabbieger wird hier die gesicherte Führung gegenüber der zeitweilig gesicherten oder der nicht gesicherten Führung bevorzugt. Ist doch die zeitweilig gesicherte Führung vorgesehen, soll diese nach Möglichkeit durch eine Zugabezeit realisiert werden. Hinsichtlich der Rechtsabbieger werden ebenfalls die in den RiLSA 1992 vorgestellten Möglichkeiten aufgegriffen. Nicht möglich ist hingegen die erst mit der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 für ganz Deutschland eingeführte Grünpfeil-Regelung.

In der Schweiz gibt es keine Richtlinie, die ausdrücklich Hinweise für die Gestaltung des Signalprogramms gibt. Lediglich die SN 640 834 „Lichtsignalanlagen – Phasentrennung“ beschäftigt sich mit einem Teilgebiet (VSS, 1996). Inhaltlich geht es um die Frage, ob bedingt verträgliche Ströme gesichert oder nicht gesichert geführt werden. Dafür wird ein relativ aufwändiges Verfahren vorgestellt, mit welchem aufbauend auf den Verkehrsstärken am Knotenpunkt, der Geometrie des Knotenpunkts sowie weiteren Faktoren wie z. B. der Verkehrssicherheit abgeschätzt wird, welche Struktur des Signalprogramms am sinnvollsten ist.

In den verschiedenen aus Großbritannien vorliegenden Richtlinien (z. B. „Design Manual for Roads and Bridges“ (DMRB) (Highway Agency et al., 2005), „Installation Guide for Urban Traffic Control“ (Highway Agency, 2002), „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DFT, 2002b) sind keine Hinweise zur Signalprogrammstruktur gegeben. Im Zusammenhang mit der Beschreibung der Festzeitsteuerung im „Installation Guide for Urban Traffic Control“ wird lediglich darauf hingewiesen, dass die Steuerung im Betrieb auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft und gegebenenfalls angepasst werden muss.

Die in Frankreich gültige „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ empfiehlt, möglichst einfache Phaseneinteilungen zu verwenden (METL, 1996). Phasen, in denen keine bedingt verträglichen Ströme freigegeben werden, nennt man daher auch „phases spéciales“. Diese sollen

nur genutzt werden, wenn keine andere Möglichkeit absehbar ist. In diesem Zusammenhang wird explizit auf die Möglichkeit hingewiesen, den Knotenpunktentwurf so anzupassen, dass keine Spezialphasen benötigt werden. Weiterhin ist es nicht erlaubt, den Linksabbiegern eine Vorgabezeit zu gewähren.

Das „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ aus den USA stellt in Section 4D.06 und 4D.07 jeweils vier verschiedene Signalisierungsvarianten für Links- und Rechtsabbieger vor: die vollständig gesicherte Führung, die zeitweise gesicherte Führung, die ungesicherte Führung sowie Mischformen aus diesen drei Möglichkeiten (US DOT, 2003). Alle Varianten stehen gleichberechtigt nebeneinander. Einzige Empfehlung ist, dass in Gegenden, in denen mit besonders vielen älteren Verkehrsteilnehmern zu rechnen ist, die gesicherte Führung der Linksabbieger von Vorteil ist.

Die Grundsätze und Kriterien zur Signalprogrammstruktur in Japan gleichen weitgehend denen in Deutschland. Für die signaltechnisch in einer eigenen Phase gesicherte oder nicht gesicherte Führung der mit einem Grünpfeil signalisierten Rechtsabbieger gibt es keine festgelegten Entscheidungskriterien. Dies wird lediglich in Abhängigkeit von der Stärke des Gegenverkehrs entschieden. Um ein diagonales Queren zu ermöglichen, werden bei hohen Fußgängerbelastungen auch reine Fußgängerphasen eingesetzt (BOLTZE et al., 2005).

### 2.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis

#### Linksabbiegen

Die Meinungen zum Linksabbiegen sind in der Praxis durchaus gespalten. Es gibt viele Befürworter der derzeit gültigen Regelungen. Wichtige Argumente dafür sind:

- Eigentlich schließt sich ein Vorlauf aufgrund des Verbots des Hinzuschaltens eines bevorrechtigten Stroms zu einem bedingt verträglichen Strom aus.
- Durch das Gewähren eines Vorlaufs wird das Prinzip durchbrochen, dass bedingt verträglich freigegebene Fußgänger und Radfahrer einen Zeitvorsprung vor dem abbiegenden Verkehr auf der Konfliktfläche haben sollen.
- Die gesicherte Freigabe im Nachlauf hat sich als sehr positiv für die Verkehrssicherheit erwiesen.

- Die in einer Stadt verwendeten Signalisierungsarten (z. B. Vor- oder Nachlauf) sollten begrenzt sein, damit sich die Verkehrsteilnehmer daran gewöhnen können.
- In diesem Feld ist nicht davon auszugehen, dass die Regelungen anderer Länder auf Deutschland übertragbar sind, da das Beharren auf bestimmten Rechten als typisch deutsche Eigenschaft gesehen wird, bedingte Verträglichkeiten also weniger positiv angenommen werden.

Befürworter einer für den Vorlauf weniger restriktiven Fassung führen im Gegenzug die folgenden Argumente an:

- In vielen Fällen wird der Vorlauf bereits eingesetzt. Es zeigen sich insbesondere für die Gewährung einer guten Qualität des Verkehrsablaufs in der Grünen Welle als auch für die Beschleunigung öffentlicher Verkehrsmittel positive Wirkungen.
- In den verschiedenen Anwendungsbeispielen wurden keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit beobachtet.
- Auch ein Nachlauf kann gefährlich sein. Dies würde insbesondere bei einer verkehrsabhängigen Steuerung des Nachlaufs zutreffen. Problematisch ist vor allem die Berechnung der Zwischenzeiten, ab welchem Zeitpunkt dem links abbiegenden Strom signalisiert werden kann, dass er vollständig gesichert geführt ist.
- In Dortmund gibt es einige Knotenpunkte, an denen Linksabbieger im Vorlauf gesichert freigegeben werden. Obwohl sich keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit gezeigt haben, wird diese Signalisierungsvariante zukünftig nicht mehr realisiert, da die restriktiven Formulierungen der RiLSA 1992 eine Verringerung der Verkehrssicherheit suggerieren. Als Alternative greift man auf Zwei-Phasen-Steuerungen zurück, sofern sich dadurch keine Probleme zeigen.

Weiterhin haben sich noch einige allgemeine Hinweise ergeben:

- Bedingt verträgliches Linksabbiegen sollte nur erlaubt werden, wenn der Gegenverkehr maximal über einen Fahrstreifen verfügt. Dieses wird beispielsweise in Halle so praktiziert und hat sich als positiv erwiesen.

- Da sich Probleme ergeben, die bedingt verträgliche Führung über Stadtbahnschienen zu verdeutlichen, ist zu erwägen, in diesem Fall nur absolut verträglich zu signalisieren. Für den Fall der zeitweisen Freigabe besteht zudem das Problem, dass es schwierig ist, einen geeigneten Standort für den Signalgeber des Diagonalgrüns zu bestimmen.
- Die Möglichkeit, die verschiedenen Führungsformen in Abhängigkeit von der Lage (innerorts/außerorts) oder in Abhängigkeit von der Tageszeit zu nutzen, sollte diskutiert werden.
- Es ist allgemein einfacher, nur teilweise gesicherte Führungen in gesicherte Führungen umzuwandeln als umgekehrt. Aus diesem Grund ist es oft auch nicht möglich, einen Vor- oder Nachlauf zu installieren, um die Qualität des Verkehrsablaufs in der Grünen Welle zu verbessern.

### Rechtsabbiegen

In der Praxis haben sich mit der Grünpfeil-Regelung insbesondere hinsichtlich der Auswirkungen auf die Fußgänger und Radfahrer einige Probleme ergeben. Dies begründet sich aus verschiedenen Tatsachen: Einerseits wird die Regelung auch an Stellen angewendet, die entsprechend den Einsatzempfehlungen eigentlich nicht geeignet sind (z. B. bei Zwei-Richtungsradwegen). Andererseits resultieren diese Probleme auch aus der Nicht-Beachtung des Haltegebots durch den Kraftfahrzeugverkehr vor dem Rechtsabbiegen bei Grünpfeil-Regelung. Und letztendlich bewirkt die Grünpfeil-Regelung prinzipiell eine Aufweichung der Regelung, dass Fußgänger und Radfahrer bei bedingt verträglicher Freigabe mit einem parallelen Strom einen Vorsprung auf der Konfliktfläche erhalten müssen. Insgesamt sind aus diesen und anderen die Verkehrssicherheit betreffenden Gründen in vielen Städten bestehende Grünpfeil-Regelungen wieder zurückgenommen worden. Flächendeckend ist dies z. B. in Hessen der Fall, wo die Anwendung der Grünpfeil-Regelung bis auf besonders begründete Ausnahmefälle in einem Erlass abgelehnt wird.

Es gibt jedoch auch Beispiele, in denen durch innovative Schaltungen die negativen Folgen des Aufweichens des Vorsprungs für Fußgänger und Radfahrer verringert werden: Durch die Ausrüstung der entsprechenden Furten mit gelben Blinksig-

nalen und den Beginn des GELB-Blinkes 2 s vor Grünbeginn der Fußgänger werden die abbiegenden Fahrzeuge auf die bevorstehende Freigabe der Fußgänger hingewiesen.

Weitere Probleme treten im Falle von beim Grünpfeil abbiegenden Lkw und Bussen auf, die aufgrund ihrer Schleppkurve beim Abbiegen die entgegengesetzte Fahrbahn überstreichen. Aus diesem Grund ist zu erwägen, ein generelles Verbot des Abbiegens bei dem Grünpfeil für Lkw und Busse einzuführen.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Regelungen für die Verkehrsteilnehmer prinzipiell nicht zu kompliziert werden dürfen (Zitat aus dem Workshop: „Regelungen, die eine Gebrauchsanweisung benötigen, funktionieren nicht“). Da heute selbst vielen einheimischen Verkehrsteilnehmern das korrekte Verhalten bei einem Grünpfeil nicht bekannt ist, wird z. B. im Saarland, welches sich durch einen hohen Anteil grenzüberschreitenden Verkehr auszeichnet, ganz auf den Einsatz des Grünpfeils verzichtet.

Trotzdem war eine deutliche Mehrheit von ca. 75 % der im Rahmen des Workshops befragten Experten für die Beibehaltung der Grünpfeil-Regelung und der Integration dieser Regelung in den RiLSA.

### **Fußgänger- und Radverkehr**

Seitens des Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Clubs e. V. besteht der Wunsch, für die Zukunft Schaltungen, bei denen bedingt verträglich geführte Radfahrer- und Fußgängerströme nur auf Anforderung freigegeben werden, nicht mehr zuzulassen. Dies begründet sich einerseits aus der damit einhergehenden Verschlechterung der Qualität des Verkehrsablaufs insbesondere für Radfahrer und andererseits aus der daraus entstehenden Verringerung der Verkehrssicherheit aufgrund einer erhöhten Bereitschaft, das Rotlicht zu missachten.

Darüber hinaus gab es mehrere Anregungen bezüglich der Gleisüberquerungen durch Fußgänger:

- Die Fußgängersicherung mittels eines gelben Springlichts wird prinzipiell positiv beurteilt. Es ergeben sich jedoch kleinere rechtliche Unsicherheiten bei der Signalstellung FAHRT für das ÖPNV-Fahrzeug, da die Fußgänger nicht wartepflichtig sind, sondern nur gewarnt werden.
- Parallel zu dem Springlicht wird seit Oktober 2005 in Bielefeld die zusätzliche Verdeutlichung

der Gefahrenstelle für die Fußgänger mit im Boden installierten LED-Leuchten getestet.

- Nicht behandelt wird in den RiLSA bisher die Signalisierung besonderer Bahnkörper für Blinde und Sehbehinderte. Dies scheint mit vertretbarem Aufwand nur mit Hilfe der aktiven Anforderung eines taktilen oder akustischen Signals möglich. Dabei sollte jedoch die Bahnanforderung nicht unterdrückt werden können. Es ist dann jedoch zu beachten, dass die ÖPNV-Fahrzeuge dann vollständig mit der Folge FAHRT – ACHTUNG – HALT signalisiert werden.

### **2.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf**

Aus der Zusammenstellung der Literatur hat sich ergeben, dass in Deutschland ein Großteil der Fragen zu der reinen Strukturierung des Signalprogramms kaum noch ein Forschungsthema ist. Eine Ausnahme bildet davon die Gewährleistung des Grünpfeils für Rechtsabbieger, welche für die alten Bundesländer erst seit der Grenzöffnung relevant geworden ist. Seit Beginn der 90er Jahre ist sehr viel Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet erfolgt, wobei die Ergebnisse nicht einheitlich zu beurteilen sind. Es ist auch nicht zu erwarten, dass weitere frei vergebene Forschungsarbeiten die Fragestellung lösen können. Empfohlen wird daher, ein Untersuchungsprogramm zu entwickeln, mit welchem von unabhängiger Seite eine langfristige Untersuchung der Verkehrssicherheit erfolgt. In die Betrachtung einbezogen werden sollten sowohl Knotenpunkte, an denen sich die Grünpfeilregelung bewährt hat, als auch solche, an denen sie nicht mehr eingesetzt wird. Aus der Clusterung der Randbedingungen lassen sich langfristig Indizien für besonders gute bzw. besonders schlechte Beispiele ableiten.

Im Gegenzug zu dieser Thematik hat es zu der Signalisierung von Linksabbiegern in den letzten Jahren in Deutschland keine Forschungsprojekte gegeben. Die positiven Erfahrungen in den anderen Ländern mit der nur zeitweiligen bzw. nicht gesicherten Führung der Linksabbieger sowie mit den verschiedenen Möglichkeiten der zeitweiligen Sicherung (Vorlauf, Nachlauf) lassen jedoch vermuten, dass auf diesem Gebiet ein großes Untersuchungspotenzial besteht. Die Erfahrungen der anderen Länder sollten dabei jedoch nicht ohne weitergehende Analyse übernommen werden, sondern es sollten eigene Untersuchungen zur Verkehrssicherheit und zum Verkehrsablauf erfolgen.

Zu berücksichtigen sind dabei die verschiedenen den Knotenpunkt beeinflussenden Randbedingungen. Wiederum mit dem Ziel, die Auswirkungen dieser Randbedingungen zu beschreiben, ist es essenziell, dass die Auswahl der Untersuchungsstellen sorgfältig und entsprechend einer im Vorfeld erstellten Klassifizierung erfolgt.

Ergänzend dazu stellt sich die Frage, ob die Kapazität von Steuerungen mit weniger Phasen tatsächlich höher ist als bei Steuerungen mit mehr Phasen. Aufgrund einer Vielzahl möglicher und zumeist auch asymmetrischer Belastungsfälle, ist dies nicht grundsätzlich zu erwarten. Für die Klärung dieser Fragestellung wird eine Simulationsstudie vorgeschlagen. Als Ergebnis sollen Empfehlungen formuliert werden, welche verkehrlichen Belastungsfälle die Berücksichtigung einzelner Ströme in eigenen Phasen erfordern.

Weiterhin sind verschiedene Fragestellungen, die sich mit der Signalisierung des Fußgängerverkehrs über gesonderte Bahnkörper beschäftigen, noch nicht abschließend geklärt. Daher erscheint es sinnvoll, in einem ersten Schritt eine Beispielsammlung mit verschiedenen Lösungsvarianten zusammenzustellen. Diese werden dann klassifiziert und repräsentative Stellvertreter dieser Klassen einer makroskopischen und mikroskopischen Analyse der Verkehrssicherheit unterzogen, um so fundierte Empfehlungen für die optimale Signalisierung von Stadtbahnüberwegen zu entwickeln. In diese Betrachtungen einzubeziehen sind auch Erkenntnisse zu der Signalisierung von Stadtbahnüberwegen für Blinde und Sehbehinderte.

### 2.1.6 Innovationsgrad

#### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

In den RiLSA 1992 wird die gesicherte Führung der Linksabbieger als Regellösung beschrieben. Für den Fall der zeitweilig gesicherten Führung soll die Gewährung eines Vorlaufs vermieden werden. Die Regelungen in einigen der anderen betrachteten Länder widersprechen damit den in den RiLSA 1992 festgeschriebenen Grundsätzen.

#### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Für den Fall, dass sich langfristig Änderungen hinsichtlich der Grünpfeil-Regelung ergeben, sind diese auch in die VwV-StVO zu integrieren.

### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Da es sich bei der Regelung des Linksabbiegens um eine extrem sicherheitsrelevante Fragestellung handelt, ist es von großer Bedeutung, dass die Forschungsarbeit sorgfältig durchgeführt wird, um so die größtmögliche Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit und bei Betreibern zu erlangen. Hinsichtlich der Verkehrsteilnehmer sind keine Akzeptanzprobleme zu erwarten.

### 2.1.7 Handlungsbedarf

#### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Die Thematik ist richtlinienrelevant.

#### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Der Anhang L der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 soll entsprechend den Planungen des AK 3.16.16 in gekürzter Form in Kapitel 2 integriert werden. Dabei werden die Ausschlusskriterien für den Einsatz des Grünpfeils vollständig übernommen. Lediglich ergänzende Hinweise und Abwägungskriterien entfallen mit der Begründung, dass zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der RiLSA 200X bereits eine stärkere Gewöhnung an die Verwendung des Grünpfeils stattgefunden hat und sie dem Anwender daher nicht mehr in jedem Detail beschrieben werden muss.

In Bezug auf die Linksabbieger ist vom AK 3.16.16 eine Änderung des Texts entwickelt worden, die die Möglichkeiten des Einsatzes einer Vorgabezeit für Linksabbieger erweitert, aber dennoch auf die möglichen Schwierigkeiten hinweist.

Eine weitere inhaltliche Änderung wurde in Bezug auf die Anzahl der Phasen vorgenommen. Da es nicht erwiesen ist, dass wenige Phasen eine erhöhte Kapazität bewirken, wird dieser Zusammenhang nicht mehr erwähnt.

Für die Überquerung besonderer Bahnkörper wird als weitere Alternative für die Signalisierung die Variante vorgeschlagen, als Grundstellung für die Fußgänger ROT und für die ÖPNV-Fahrzeuge FREI zu verwenden.

#### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

Hinsichtlich der Überquerung besonderer Bahnkörper wird der zusätzliche Satz vorgeschlagen:

„Unabhängig von der Art der optischen Signalisierung muss auch eine Signalisierung des Gleisbereichs für Blinde und Sehbehinderte erfolgen. Es ist am zweckmäßigsten, nach Anforderung des Fußgängers ohne Unterdrückung von Bahnanforderungen eine Freigabezeit taktil oder akustisch anzuzeigen. Für die Bahnen ist dann eine vollständige Signalisierung (Signalfolge: FAHRT – ACHTUNG – HALT) erforderlich.“

Darüber hinaus besteht über den Vorschlag des AK 3.16.16 hinaus keine Erfordernis der Neuregelung solange sich aus den vorgeschlagenen Untersuchungen keine neuen Erkenntnisse ergeben.

## 2.2 Berechnungsvorschriften

### 2.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Für die Berechnung des Signalprogramms einschließlich der Phasenübergänge sind in den RiLSA 1992 im Wesentlichen die Abschnitte 2.4 „Übergangszeiten“, 2.5 „Zwischenzeiten“ und 2.6 „Randbedingungen für Freigabezeiten und Sperrzeiten“ relevant. Des Weiteren beinhaltet der Anhang C Erläuterungen zu der Ermittlung der Umlaufzeit und der Freigabezeiten. Dieser Anhang ist jedoch in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 mit Hinweis auf das HBS gestrichen worden.

Die Übergangszeiten gliedern sich in die Gelbzeiten und in die Rot-/Gelbzeiten. Die Gelbzeiten werden bei Kraftfahrzeugen und bei gesondert signalisierten Straßenbahnen und Bussen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit festgesetzt. Gesondert signalisierte Radfahrer haben in der Regel eine Gelbzeit von 2 s. Der Regelwert für die Rot-/Gelbzeiten beträgt 1 s, wobei jedoch auch 2 s möglich sind.

Die Berechnung der Zwischenzeiten erfolgt mit einem sehr detaillierten fahrdynamischen Ansatz, bei dem sowohl die reale Knotenpunktgeometrie als auch die Geschwindigkeiten der verschiedenen Verkehrsströme berücksichtigt werden. Unterschieden wird dabei in sechs verschiedene Fälle, die anhand der Art und der Richtung des räumenden Fahrzeugs charakterisiert werden. Berücksichtigt werden jeweils die Überfahrzeit des räumenden Fahrzeugs, die Zeit, die das Fahrzeug bis zum Räumen der Konfliktfläche benötigt, und im Gegenzug die Zeit, die das einfahrende Fahrzeug bis zum Erreichen der Konfliktfläche benötigt.

In den RiLSA 1992 wurde die minimal notwendige Umlaufzeit für die Bewältigung des Verkehrsauf-

kommens berechnet. Im Gegensatz dazu wird laut HBS eine wartezeitoptimierte Umlaufzeit bestimmt, die in aller Regel größer als die Umlaufzeit nach RiLSA 1992 sein wird. Die Freigabezeiten werden in beiden Regelwerken entsprechend den maßgebenden Belastungen der einzelnen Phasen proportional auf diese aufgeteilt.

### 2.2.2 Erreichter Forschungsstand

#### Zwischenzeiten und Phasenübergänge

Von besonderer Bedeutung für die Berechnung der Zwischenzeiten sind die Räum- und Einfahrgeschwindigkeiten. Für den Fall der räumenden Fußgänger wurden mehrere Untersuchungen in Hongkong durchgeführt, die eine genaue Ermittlung der Geschwindigkeiten beinhalteten. Es hat sich gezeigt, dass die erreichten Durchschnittswerte in verschiedenen Umfeldbedingungen nur geringfügig zwischen 1,1 m/s und 1,3 m/s variieren. Die Wunschgeschwindigkeit ist im Bereich von Stadtbahnhaltestellen in Geschäftsbereichen mit 1,4 m/s am größten. Zu beachten ist allerdings, dass bei zunehmender Fußgängerdichte die erreichbaren Geschwindigkeiten abnehmen (LAM et al., 2002; LAM/CHEUNG, 2000).

Letzteres wird auch von VIRKLER et al. (1995) bestätigt, welche die notwendige Querungszeit der Fußgänger auch in Abhängigkeit von der zu erwartenden Fußgängerverkehrsstärke sehen. Dies begründet sich einerseits aus der Tatsache, dass bei einem hohen Fußgängerverkehrsaufkommen die Fahrbahn von einigen der Fußgänger erst nach einem von der Anzahl der querenden Fußgänger abhängigen Zeitbereich betreten werden kann. Andererseits verringert sich auch die erreichbare Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der in beiden Richtungen querenden Fußgänger.

In besonderen Fällen kann es darüber hinaus sinnvoll sein, die Zwischenzeiten verkehrsabhängig zu beeinflussen. Insbesondere trifft dies auf die Engstellensignalisierung zu. Da aufgrund des langen Räumwegs extrem lange Zwischenzeiten geschaltet werden müssen, ist es sinnvoll, diese direkt nach Überfahren der Haltlinie durch das letzte Fahrzeug beginnen zu lassen. Ein entsprechender Ansatz wurde von FOLLMANN und SCHUSTER (1991b) entwickelt. In einem realen Test dieses Ansatzes hat sich gezeigt, dass sich bei verkehrsabhängiger Variation der Zwischenzeiten im Durchschnitt um 4 s verringerte Wartezeiten einstellen.

In mehreren Ländern, wie z. B. in den USA oder im Irak, wird die Möglichkeit genutzt, die Länge der Gelbzeiten verkehrsabhängig zu variieren (ALLOS/AL-HADITHI, 1992). Dafür muss die so genannte Dilemmazone, d. h. der Bereich, in welchem ein sich annäherndes Fahrzeug weder bremsen kann, um vor der Haltlinie zum Stand zu kommen, noch mit der momentan gefahrenen Geschwindigkeit die Lichtsignalanlage während der Gelbzeit passieren kann, genau detektiert werden. Je nach der gefahrenen Geschwindigkeit und dem Abstand von der Haltlinie der detektierten Fahrzeuge wird die Gelbzeit auf 3 s bis 6 s festgelegt. In Deutschland sind die Gelbzeiten der Lichtsignalanlagen so bemessen, dass bei Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit keine Dilemmazone existiert.

Prinzipiell ist zu beachten, dass für den Fall, dass sich grundlegende Annahmen, die für die Berechnung der Zwischenzeit von Bedeutung sind, ändern, die darauf basierenden Verfahren und Steuerungen überprüft werden. So hat sich z. B. in der Schweiz ergeben, dass mit Einführung einer Rot/Gelb-Zeit von 2 s eine Einfahrzeit von -0,5 s einstellt, während sie im Vorher-Zustand ohne Rot/Gelb-Zeit 1 s betragen hat. Es zeigt sich also auch, dass eine lange Rot/Gelb-Zeit zu vermehrten Frühstarts führt.

### Umlaufzeit

LEONARD und RODEGERDTS (1998) haben im Rahmen einer Simulationsstudie nachgewiesen, dass die optimale Umlaufzeit mehrerer koordinierter Knotenpunkte in starkem Maße von der Zielsetzung der Steuerung abhängt. Weiterhin ist die Umlaufzeit von besonderer Bedeutung für die Kapazität des Systems; andere Einflussfaktoren wie z. B. die Freigabezeitanteile und der Freigabezeitversatz scheinen demgegenüber untergeordnet.

Für die Berechnung der Umlaufzeit innerhalb einer Grünen Welle verwendet HEYMANN (1998) den Ansatz, dass das System mit allen Umlaufzeiten zwischen 45 s und 90 s simuliert wird und aus den Ergebnissen die Umlaufzeit mit den geringsten auftretenden Verlustzeiten als die optimale Umlaufzeit bestimmt wird.

Verschiedene Veröffentlichungen von MARTIN et al. (2001) beschäftigen sich mit der Untersuchung der Zusammenhänge bei schlechten Wetterverhältnissen. Insbesondere kommen sie aufgrund umfangreicher empirischer Untersuchungen zu dem

Schluss, dass die Sättigungsverkehrsstärke an den Knotenpunkten aufgrund geringerer Geschwindigkeiten und eines höheren Zeitbedarfs sinkt. Diesen Bedingungen sollte ein spezielles Signalprogramm mit darauf zugeschnittenen Umlauf- und Freigabezeiten zugeordnet werden (BONNESON/McCOY, 1996).

SCHMUTZHARD und SNIZEK (1995) berichten über eine Pfortneranlage auf einer Ausweichroute der als Mautstrecke betriebenen Brenner-Autobahn. Für diesen Anwendungsfall empfehlen sie, sehr lange Umlaufzeiten zu wählen. Im Beispiel hat sich eine optimale Umlaufzeit von 165 s ergeben. Diese hat den Vorteil, dass innerhalb des zu schützenden Bereichs spürbare Verkehrspausen entstehen, die der lokale Verkehr zum Abbiegen, Einbiegen und für Parkvorgänge nutzen kann.

### Freigabezeit

Bei der Bestimmung der Freigabezeit für Fußgänger sollte für den Fall einer durch eine Mittelinsel getrennten Furt laut HAMANN und NOLL (1995) nicht nur gewährleistet werden, dass ein zu Beginn der Freigabezeit die Fahrbahn betretender Fußgänger die halbe Furt überquert, sondern dass er den gegenüberliegenden Fahrbahnrand erreichen kann. Wird diese Randbedingung nicht eingehalten, führt dies dazu, dass Fußgänger häufig auf der Mittelinsel warten müssen und, um dies zu vermeiden, bei ROT die Fahrbahn betreten, wie dies auch von FRIEDRICH und FISCHER (2002) nachgewiesen wurde.

Weiterhin sollte auch bei der Berechnung der Freigabezeiten der oben beschriebene Zusammenhang, dass sich bei hohen Dichten im Fußgängerverkehr eine geringere Gehgeschwindigkeit einstellt, berücksichtigt werden (LAM et al., 2002; LAM/CHEUNG, 2000; VIRKLER et al., 1995).

### 2.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

Die Berechnung der Zwischenzeiten in Österreich ist in den RVS 5.32 „Planen von Verkehrslichtsignalanlagen“ beschrieben (FSV, 1998b). Die Vorgehensweise ist ähnlich der in Deutschland üblichen laut RiLSA. Ein Unterschied ist jedoch die Ermittlung der Räum- und Einfahrwege. Während in Deutschland bei sich kreuzenden Kraftfahrzeugströmen der Schnittpunkt der mittleren Bewegungslinien maßgebend ist, wird in Österreich der

so genannte Konfliktpunkt definiert. Dieser ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Schleppkurven der Bemessungsfahrzeuge, wobei von dem räumenden Fahrzeug die Hinterkante und von dem einfahrenden Fahrzeug die Vorderkante betrachtet werden. Die Berechnung der Räumzeit erfolgt dann durch lediglich eine Formel, in der die stärkere Variation der einzelnen Parameter die in den RiLSA üblichen Fallunterscheidungen ersetzt. Unterschiede ergeben sich jedoch im Detail. So ist z. B. die Überfahrzeit der Kraftfahrzeuge nicht von der gefahrenen Richtung, sondern von der Geschwindigkeit abhängig, variiert wird dabei zwischen 3 s und 4 s. Weiterhin sind die Räumgeschwindigkeiten der Kraftfahrzeuge und Radfahrer mit bis zu 12 m/s bzw. 5 m/s höher als in Deutschland üblich und bei räumenden Straßenbahnen ist deren ganze Länge zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der Berechnung der Signalprogramme gibt es in der Schweiz zwei relevante Richtlinien: die SN 640 837 „Lichtsignalanlagen – Übergangszeiten und Mindestzeiten“ sowie die SN 640 838 „Lichtsignalanlagen – Zwischenzeiten“ (VSS, 1992c). Als Besonderheit ist einleitend zu erwähnen, dass in der Schweiz auch für die Fußgänger Übergangszeiten von der Grün- zur Rotzeit geschaltet werden können. Diese betragen zwischen 2 s und 9 s und berechnen sich aus der Zeit, die zum Überqueren von 2/3 der Überquerungslänge mit einer Geschwindigkeit von 1,2 m/h benötigt wird, sind also schon großzügiger bemessen als die Mindestfreigabezeit entsprechend RiLSA. Die Vorgehensweise für den Kraftfahrzeugverkehr ist analog zu den RiLSA und für ÖPNV-Fahrzeuge gibt es einen Ermessensspielraum. Die Übergangszeit von ROT zu GRÜN für den Kraftfahrzeugverkehr beträgt 2 s. Die Zwischenzeiten werden so bestimmt, dass so genannte Anfah- und Räumintervalle gemessen werden. Zielsetzung ist dann, dass 90 % der Räum- und 90 % der Anfahvorgänge durch die Zwischenzeiten abgedeckt sein sollen. Damit wird jeder dieser beiden Vorgänge mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 % nicht abgedeckt. Die kombinierte Wahrscheinlichkeit, dass beim Phasenwechsel Konflikte auftreten können, liegt damit bei 1 %. Die zugrunde liegenden Räumgeschwindigkeiten für den Kraftfahrzeugverkehr betragen hier sogar 15 m/s.

In den verschiedenen aus Großbritannien vorliegenden Richtlinien (z. B. „Design Manual for Roads and Bridges“ (DMRB) (Highway Agency et al., 2005), „Installation Guide for Urban Traffic Control“

(Highway Agency, 2002), „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DFT, 2002b) sind keine Hinweise zu der Berechnung von Signalprogrammen gegeben. In der „Specification for Traffic Signal Controller“ werden zwar Mindestfreigabezeiten erwähnt und es erfolgt auch die Darstellung eines Phasenübergangs, dabei werden jedoch keine Berechnungen oder Zahlenwerte gezeigt (Highways Agency, 2001). Des Weiteren wird die manuelle Berechnung der Signalprogramme zwar erwähnt, jedoch wird aufgrund der dabei möglicherweise auftretenden Probleme eher davon abgeraten und auf die Software TRANSYT verwiesen, die eine Optimierung des Signalprogramms durchführt.

Die „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ in Frankreich enthält nur sehr wenige Berechnungsvorschriften (METL, 1996). Unter anderem findet keine Erläuterung des Phasenübergangs und der dabei zu beachtenden Zusammenhänge statt. Die einzigen in dieser Hinsicht relevanten Angaben sind die, dass die Gelbzeit innerorts 3 s und außerorts 5 s sowie die Mindestfreigabezeit für Fußgänger 6 s betragen sollen.

Die Zwischenzeit an Lichtsignalanlagen in den USA setzt sich laut „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ (Section 4.D 10) aus zwei Komponenten zusammen: das Yellow Change und das Red Clearance Interval (US DOT, 2003). Das Yellow Change Interval entspricht der in Deutschland verwendeten Übergangszeit. Die Länge beträgt in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zwischen 3 s und 6 s, wobei längere Intervalle bei höheren Geschwindigkeiten zu wählen sind. Das Red Clearance Interval hat erst innerhalb des letzten Jahrzehnts Eingang in die Richtlinie gefunden. Seine Länge soll maximal 6 s betragen. Für beide Komponenten gibt es keine Berechnungshinweise.

In Japan sind die Übergangszeiten wie in Deutschland geschwindigkeitsabhängig gestaffelt. Bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 30 und 40 km/h soll in Japan die Gelbzeit 3 s lang sein, bei 50 bis 80 km/h 4 s. Für die Berechnung der Ermittlung der Zwischenzeiten sind der Abstand der Haltlinien eines Knotenpunkts als Räumweg und die zulässige Höchstgeschwindigkeit ausschlaggebend. Tendenziell ergeben sich daraus lange Zwischenzeiten, die jedoch aus Sicherheitsgründen auch gewollt sind. Bei Fußgängerströmen ist für die Zwischenzeitberechnung vor allem das GRÜN-Blinken des Fußgängersignals von Bedeutung, das

im Anschluss an die Fußgängerfreigabezeit signalisiert wird. Dessen Dauer wird aus einer Räumgeschwindigkeit von 1,5 m/s und nur der halben Furtlänge als Räumweg berechnet eingesetzt (BOLTZE et al., 2005).

Aufgrund der hohen Verkehrsbelastungen werden in Japan häufig Umlaufzeiten geschaltet, die zwischen 120 s und 180 s liegen. Freigabezeiten werden für Kraftfahrzeuge wie in Deutschland vor allem auf Grundlage von Kapazitätsberechnungen festgelegt. Für Fußgänger werden die Freigabezeiten unter Annahme einer Gehgeschwindigkeit von nur 1 m/s so berechnet, dass die Fußgänger die Fahrbahnbreite vollständig überqueren können. Dies führt bei großen Knotenpunkten mit teilweise acht oder mehr zu überquerenden Fahrstreifen zu sehr langen Fußgängerfreigabezeiten, die auch für die Umlaufzeit maßgebend werden. Der Zusammenhang mit den oben erwähnten vergleichsweise kurzen Räumzeiten ist zu beachten.

## 2.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis

### Zwischenzeiten und Phasenübergänge

Das prinzipielle Vorgehen bei der Berechnung der Zwischenzeiten hat sich im Allgemeinen bewährt und wird mit kleinen Änderungen überall verwendet. Beispielsweise werden in Bielefeld für die Ermittlung der Räum- und Einfahrwege nicht die Schnittpunkte der Fahrbahnachsen, sondern die Außenkanten der Bemessungsfahrzeuge betrachtet. Dies führt in Abhängigkeit von der Knotenpunktgeometrie zu leicht erhöhten bzw. verringerten Zwischenzeiten. Des Weiteren werden für die Berechnung von Zwischenzeiten bei räumenden Straßenbahnfahrzeugen häufig auch realistischere Längen als die in den RiLSA 1992 vorgegebenen 15 m verwendet.

Letzteres wird z. B. in Stuttgart für den Konfliktfall „Bahn räumt – Bahn fährt ein“ generell gefordert, da ansonsten das Räumen so lange dauern kann, dass das konkurrierende Fahrzeug nicht mehr einfahren kann.

Die verkehrsabhängige Anpassung von Zwischenzeiten wird in der Praxis bereits häufig angewendet. Relativ unkritisch wird dabei eine Zwischenzeitverlängerung gesehen. Diese wird zum Beispiel in Dortmund angewendet, wenn sich mehrere Linksabbieger im Knotenpunkt aufstellen können. Ein anderes Anwendungsbeispiel ist die Verlängerung der Zwischenzeit bei sehr langen räu-

menden ÖPNV-Fahrzeugen. Eine Verkürzung der Zwischenzeiten wird dagegen oft kritisch beurteilt, da hier Sicherheitsprobleme und mangelnde rechtliche Absicherung gesehen werden. Ein weiteres Problem besteht darin, dass in vielen Fällen sowohl die Detektoren als auch deren zugehörige Software nicht den sicherheitstechnischen Anforderungen, wie sie ansonsten für die Sicherung der Zwischenzeiten gefordert werden, genügen.

Anwendung findet die verkehrsabhängige Verkürzung von Zwischenzeiten bereits im Bereich von Bahnübergängen und im Zusammenhang mit der signaltechnischen Beschleunigung von Straßenbahnen auf Grundlage der Straßenbahnabmeldung, z. B. in Mannheim und Karlsruhe. Die Erfahrungen sind hier positiv, die Kapazität der Knotenpunkte kann gesteigert werden, Sicherheitsprobleme wurden nicht festgestellt. Moderne Steuergeräte, die das Ablegen von zwei verschiedenen Zwischenzeitenmatrizen ermöglichen, bieten hier neue Möglichkeiten. Diese Art der Steuerung ist jedoch sehr aufwändig.

### Übergangszeiten

Außerorts sind Übergangszeiten von 5 s häufig zu lang und provozieren Auffahrunfälle. Aus diesem Grund werden sie häufig auf 4 s verkürzt. In Einzelfällen werden auch Halbsekundenwerte (4,5 s) realisiert.

Nutzen Straßenbahnen und Kraftfahrzeugverkehr den Straßenraum gemeinsam und erfolgt der Fahrgastwechsel an dynamischen durch Zeitinseln gesicherten Zeitinseln, erscheint die GELB-Zeit von 5 s für den Kraftfahrzeugverkehr zur Sicherung des Fahrgastwechsels als zu lang. In Bielefeld wurden zu dieser Thematik Verkehrssicherheitsuntersuchungen durchgeführt, die zeigen, dass viele Kraftfahrzeuge während GELB den Haltestellenbereich mit hoher Geschwindigkeit passieren und dabei Fahrgäste behindern und teilweise auch gefährden.

Dient die Dunkelanlage zur Sicherung des ÖPNV gegenüber querenden Kraftfahrzeugströmen, ist innerstädtisch häufig die Situation zu beobachten, dass die nächste Lichtsignalanlage sehr nah ist. Wird diese zeitgleich auf ROT geschaltet und fahren die Verkehrsteilnehmer bis zur letzten GELB-Sekunde über die Haltlinie der Dunkelanlage, führt dies oft zu einer Überstauung des Gleiskörpers.

Aus diesen Gründen wird eine flexiblere Handhabung der GELB-Zeiten bei Dunkelanlagen ge-

wünscht, bzw. eine Verkürzung der GELB-Zeit auf 3 s erscheint zweckmäßig.

### Freigabezeit

Bei der Berechnung der Mindestfreigabezeiten für Fußgänger wird in München für den Fall hintereinanderliegender Furten in zwei Fälle unterschieden: Bei der Standardvariante muss die Mindestfreigabezeit so lang sein, dass sowohl die erste Furt als auch der Fahrbahnteiler und die Hälfte der zweiten Furt überquert werden können. In Ausnahmefällen können diese Werte auf die erste Furt und den Fahrbahnteiler verringert werden.

### 2.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Die in den RiLSA festgeschriebene Vorgehensweise für die Berechnung der Zwischenzeiten sowie die dabei verwendeten Eingangsgrößen haben sich sehr gut bewährt und finden auch international Anerkennung, wozu die englische Übersetzung der RiLSA aus dem Jahre 2003 maßgeblich beigetragen hat. Bisher nicht in die Betrachtung einbezogen sind die Auswirkungen von hohen Dichten im Fußgängerverkehr auf die Zwischenzeitberechnung und die notwendigen Freigabezeiten. Um diese Zusammenhänge zuverlässig und für die Verhältnisse in Deutschland zutreffend zu beschreiben, sind verschiedene empirische Untersuchungen notwendig, die das Zusammenspiel zwischen dem verspäteten Betreten der Fahrbahn und den langsameren Gehgeschwindigkeiten dokumentieren. Dabei sollte auf bereits bestehende Forschungsarbeiten der BAST (z. B. FRIEDRICH et al., „Bemessungsgrundlagen für Fußgängerverkehrsanlagen“, FE 77.452/2000) zurückgegriffen werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht bei der verkehrsabhängigen Bestimmung der Zwischenzeiten. Beginnend sollten die in Deutschland und im Ausland existierenden Beispiele zusammengestellt werden. Sofern möglich, sollten Untersuchungen der Verkehrssicherheit erfolgen, die sowohl den Zustand mit festen als auch mit variablen Zwischenzeiten einbeziehen. Zur Ermittlung der kapazitätssteigernden Wirkung sind Simulationen durchzuführen. In die Betrachtung sollen sowohl inner- als auch außerstädtische Knotenpunkte einbezogen werden. Ein besonderer Anwendungsfall ist die Signalisierung von Engstellen (vgl. dazu Abschnitt 5.1). Letztendlich sind auch die Möglichkeiten einzubeziehen, die sich durch die Detektion der Anwesenheit von Fußgängern auf Furten ergeben (vgl. Abschnitte 4.2.2 und 6.4.2). Außerdem ist zu

untersuchen, welche rechtlichen Voraussetzungen geschaffen werden müssen, um ein Steuerungsverfahren mit verkehrsabhängiger Bildung der Zwischenzeiten juristisch abzusichern.

Hinsichtlich der Übergangszeiten ergibt sich auch bei einer Verkürzung der längeren Werte prinzipiell kein neuer Forschungsbedarf, da diese bisher sehr großzügig gewählt sind. Die zugrunde liegenden Berechnungen rechtfertigen die Verkürzung durchaus. In der jetzigen Version der RiLSA sowie in deren Vorgängerversionen wurde sich für die längere Variante entschieden, da man sich dadurch einen Gewinn an Sicherheit versprach. Liegen nun jedoch Beispiele vor, die genau den entgegengesetzten Effekt zeigen, spricht nichts dagegen, die Regelung lockerer zu gestalten.

### 2.2.6 Innovationsgrad

#### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Zwischenzeiten sind entsprechend den aktuellen RiLSA als fixe Werte anzusehen, die auf keinen Fall variiert werden dürfen. Eine verkehrsabhängige Verkürzung oder Verlängerung dieser Werte steht damit der derzeitigen Sicherheitsphilosophie gegenüber.

Fußgänger werden bisher bei der Berechnung von Lichtsignalanlagen nicht anhand ihrer Verkehrsstärke berücksichtigt. Die Mindestfreigabezeit ergibt sich aus der Bedingung, dass die Fußgänger während dieser Zeit die Hälfte der Fahrbahn überquert haben müssen. Dabei wird als Geschwindigkeit der Fußgänger die Räumgeschwindigkeit angesetzt, die in der Regel 1,2 m/s beträgt, aber zwischen 1,0 m/s und 1,5 m/s variiert werden kann. Zusammenhänge wie niedrigere durchschnittliche Geschwindigkeiten bei höheren Fußgängerdichten oder das verspätete Betreten der Fahrbahn und die Verlängerung des zurückzulegenden Wegs bei überfüllten Wartebereichen werden nicht berücksichtigt.

In vielen Fällen werden kürzere GELB-Zeiten als in den RiLSA festgelegt geschaltet. Dies betrifft sowohl Lichtsignalanlagen, in deren Bereich mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h gefahren werden darf, als auch Dunkelanlagen.

#### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Es bestehen keine Widersprüche zu bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen. Einzig die Frage der juristischen Absicherung eines Steue-

rungsverfahrens mit verkehrsabhängiger Bildung der Zwischenzeiten ist zu überprüfen.

### **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Einige Beispiele für die verkehrsabhängige Anpassung der Zwischenzeiten bestehen bereits in Deutschland. In diesen Fällen sind die positiven Auswirkungen auf die Kapazität gegenüber etwaigen Sicherheitsbedenken höher gewichtet worden. Die existierenden Beispiele sind in der Regel nicht publiziert worden, sodass sie der Fachöffentlichkeit nur bedingt bekannt sind. Bei einem verstärkten Einsatz dieser Möglichkeiten ohne begleitende Untersuchungen zur Verkehrssicherheit ist zu erwarten, dass die Sicherheitsbedenken sehr groß werden und eine Aufnahme der Regelung in die Richtlinie nicht möglich sein wird. In den Gruppen der Betreiber und der Verkehrsteilnehmer ist für den Fall, dass sich eine erhöhte Kapazität bzw. eine geringere mittlere Wartezeit einstellt, eine größere Aufgeschlossenheit gegenüber der verkehrsabhängigen Anpassung der Zwischenzeiten zu erwarten.

Im Gegensatz dazu führt die Berücksichtigung großer Fußgängerströme an Lichtsignalanlagen zu längeren Freigabezeiten der Fußgänger. Dadurch können sich auch negative Aspekte für die Kapazität des Kraftfahrzeugverkehrs ergeben, wodurch wiederum Akzeptanzprobleme beim Kraftfahrzeugverkehr resultieren können. Innerhalb der Fachöffentlichkeit wird die Akzeptanz jedoch als gut eingeschätzt.

Eine Verkürzung der GELB-Zeiten bei hohen Geschwindigkeiten und bei Dunkelanlagen wird von der Fachöffentlichkeit und von Betreibern wahrscheinlich positiv beurteilt, da sie sowohl gewünscht als auch (in Einzelfällen) bereits realisiert ist. Seitens der Verkehrsteilnehmer können eventuell Bedenken auftreten, da sich durch verkürzte GELB-Zeiten die Gefahr des Überfahrens der Haltlinie bei ROT erhöht.

## **2.2.7 Handlungsbedarf**

### **Richtlinienrelevanz der Fragestellung**

Die Thematik ist richtlinienrelevant.

### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Für die Berechnung der Übergangszeiten und der Zwischenzeiten sind gegenüber den RiLSA 1992

keine Änderungen vorgesehen. Auch die im Vergleich zur Realität kürzere angesetzte Länge für Straßenbahnen erscheint nicht problematisch, da einerseits darauf hingewiesen wird, dass dadurch keine Sicherheitsprobleme entstehen, da die einfahrenden Fahrzeuge die Situation erfassen. Andererseits kann in Einzelfällen auch mit einer größeren Länge gerechnet werden, sodass abweichende Regelungen wie z. B. in Stuttgart nicht gegen die RiLSA verstoßen.

Im Gegensatz zu der Streichung der Berechnungsvorschriften für die Umlaufzeit sowie die Freigabezeiten, wie sie in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 vorgenommen wurde, ist für die RiLSA 200X geplant, diese wieder aufzunehmen. Für die Berechnung der Umlaufzeit werden dann sowohl die Formel für die mindestens notwendige Umlaufzeit als auch für die wartezeitoptimale Umlaufzeit aufgeführt und erläutert. Diese Vorgehensweise ist abgestimmt mit der Arbeitsgruppe, die für die Neufassung des Kapitels 6 des HBS „Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage“ zuständig ist und auf die Übernahme der Formeln in die Neufassung des HBS verzichten will.

Bei der Berechnung der Freigabezeiten wird ergänzend aufgeführt, dass beachtet werden muss, dass diese bei Straßen- bzw. Stadtbahnfahrzeugen wesentlich länger sind als die für die Ermittlung der Räumzeit angenommenen 15 m. Aus diesem Grund muss darauf geachtet werden, dass die einfahrenden Verkehrsteilnehmer die zur Verfügung stehende Freigabezeit auch nutzen können.

Die vorgeschriebene Mindestfreigabezeit wird einheitlich auf 5 s für jeden Strom. Weiterhin zu beachten ist die Regelung, dass Fußgänger während der Freigabezeit die halbe Furt überqueren können müssen.

### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Die Rückmeldungen aus der Praxis haben ergeben, dass die Übergangszeiten sowohl bei  $V_{\max} = 70$  km/h als auch bei Dunkelanlagen (insbesondere für die Sicherung dynamischer Haltestellen) häufig als zu lang empfunden werden. Da eine etwas lockere Regelung nicht mit dem erreichten Forschungsstand im Widerspruch steht, wird empfohlen, die entsprechenden Passagen zu ergänzen:

„Es sollte sein:

$t_G = 3$  s bei  $V_{\max} = 50$  km/h,

$t_G = 4 \text{ s}$  bei  $V_{\max} = 60 \text{ km/h}$ ,

$t_G = 5 \text{ s}$  bei  $V_{\max} = 70 \text{ km/h}$ .

Sind an Lichtsignalanlagen mit  $V_{\max} = 70 \text{ km/h}$  aufgrund ungünstiger Sichtverhältnisse und der langen Gelbzeit negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit zu erwarten, kann  $t_G$  auf 4 s reduziert werden.

In den einzelnen Knotenpunktzufahrten können die Gelbzeiten daher unterschiedlich lang sein.“

„Bei Signalgruppen mit der Signalfolge DUNKEL – GELB – ROT – DUNKEL, die an dynamischen Haltestellen der Sicherung des Fahrgastwechsels dienen, soll die Gelbzeit  $t_G = 3 \text{ s}$  betragen. An allen anderen Signalgruppen mit der Signalfolge DUNKEL – GELB – ROT – DUNKEL soll die Gelbzeit  $t_G = 5 \text{ s}$  betragen.“

Sowohl aus dem erreichten Forschungsstand als auch aus den Rückmeldungen aus der Praxis hat sich gezeigt, dass die Mindestfreigabezeit für Fußgänger an hintereinanderliegenden Furten länger sein sollte, als notwendig ist, um die Hälfte einer der Furten zu überqueren. Als Kompromiss aus der bisherigen in den RiLSA festgeschriebenen Praxis und der Forderung von HAMANN und NOLL (1995) wird daher vorgeschlagen, analog zu der in München geltenden Regelung vorzugehen, wobei jedoch die Anzahl der zu berücksichtigenden Furten explizit auf zwei beschränkt wird. Der entsprechende Text in dem Abschnitt über Mindestfreigabezeiten lautet damit:

„Bei Fußgängern ist zusätzlich zu gewährleisten, dass bei nur einer zu überquerenden Furt während der Freigabezeit rechnerisch mindestens die halbe Fahrbahnbreite zurückgelegt werden kann. Sind zwei hintereinanderliegende Furten zu überqueren, sollte die Freigabezeit so lang sein, dass die breitere der beiden Fahrbahnen, der Fahrbahnteiler und die Hälfte der zweiten Fahrbahn überquert werden können. Bei einer größeren Anzahl hintereinanderliegender Furten ist auf eine insgesamt möglichst fußgängerfreundliche Gestaltung des Signalprogramms zu achten. Eine explizite Koordinierung wird sich jedoch aufgrund vielfältiger weiterer Randbedingungen in den meisten Fällen nicht realisieren lassen.“

Hinsichtlich der weiteren Themen besteht über den Vorschlag des AK 3.16.16 hinaus kein Erfordernis der Neuregelung, solange sich aus den vorgeschlagenen Untersuchungen keine neuen Erkenntnisse ergeben.

### 3 Wechselwirkung zwischen Lichtsignalsteuerung und Knotenpunktentwurf

#### 3.1 Fahrstreifen, Wendefahrbahnen

##### 3.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Grundsätzlich wird der Knotenpunktentwurf im deutschen Richtlinienwerk in den RAS-K-1 (FGSV, 1988b) behandelt. In den RiLSA 1992 wird speziell auf die Auswirkungen der Lichtsignalsteuerung auf den Knotenpunktentwurf eingegangen, da diese beiden Aufgaben sich gegenseitig beeinflussen. Beim Neubau von Knotenpunkten sollen grundsätzlich standardisierte Knotenpunktformen zum Einsatz kommen, was bei Um- oder Rückbau durch äußere Rahmenbedingungen oft nicht möglich ist. In diesem Fall ist eine optimale Abstimmung zwischen Entwurf und Steuerung erforderlich.

Fahrstreifen werden in Kapitel 3.2 der RiLSA 1892 behandelt. Ihre Anzahl hängt von der Verkehrsbelastung, Qualitätsanforderungen und den Ansprüchen der verschiedenen Verkehrsmittel sowie der Fußgänger ab. Für das Erfordernis von Abbiegefahrstreifen sind innerorts vornehmlich die Kapazität, außerorts die Verkehrssicherheit maßgebend.

Die Anzahl durchgehender Fahrstreifen soll im Knotenpunktbereich grundsätzlich der auf der Strecke entsprechen. Innerorts sind jedoch aus Kapazitätsgründen im Knotenpunktbereich oft zusätzliche Fahrstreifen erforderlich. Für durchgehende Fahrstreifen bestehen weitere Anforderungen. Diese betreffen den Übergang in Abbiegefahrstreifen, Bahnkörper im Straßenraum und die Länge des Ausfahrbereichs vor einer Fahrstreifensubtraktion einschließlich Verziehung.

Rechtsabbiegefahrstreifen sind bei besonderer Signalisierung der Rechtsabbieger erforderlich und wenn eine zweistreifige Rechtsabbiegefahrbahn neben einer Dreiecksinsel verläuft. Bei Mischfahrstreifen können die Fußgänger- und Radfahrerfurten abgesetzt werden, wobei die Belange insbesondere der Radfahrer unbedingt zu beachten sind. Auch Ausfahrkeile innerorts dürfen nur verwendet werden, wenn die Fußgänger und Radfahrer nicht beeinträchtigt werden.

Linksabbiegefahrstreifen sollen grundsätzlich angeordnet werden, wenn Linksabbiegen zugelassen ist, wobei unter bestimmten Bedingungen Ausnahmen möglich sind. Sie sind zwingend erforderlich, wenn Linksabbieger eine eigene Phase erhalten.

Besondere Hinweise werden für Gleisbereiche, Grüne Wellen, untergeordnete Zufahrten sowie für die Gestaltung bei beengten Verhältnissen gegeben. Die Aufstelllänge ist in Abhängigkeit von der Steuerung zu wählen.

Ergänzend wird in Kapitel 8.5 auf die Führung links abbiegender Radfahrer eingegangen. Bei der direkten Führung auf der Fahrbahn sind im Allgemeinen keine besonderen Signale erforderlich. Bei Radwegen oder Radfahrstreifen ist in bestimmten Fällen die Einrichtung von Radfahrschleusen zu prüfen. Bei durchgehenden Radwegen und Vorfahrtstraßen ist in der Regel eine indirekte Führung vorzusehen, für die Hinweise zu Bedingungen, Gestaltung und Signalisierung gegeben werden.

Auf Wendefahrbahnen wird in Kapitel 3.3 eingegangen. Wegen der negativen Auswirkungen von Wendefahrten im Knotenpunkt sollen, wenn notwendig, Wendefahrbahnen vor oder hinter dem Knotenpunkt angeboten werden. Nach Möglichkeit sollen sie so angelegt werden, dass sie nicht signalisiert werden brauchen. Eine Signalisierung ist erforderlich, wenn die Zeitlücken im Hauptstrom nicht ausreichen oder die Sichtverhältnisse nicht ausreichend sind.

### 3.1.2 Erreichter Forschungsstand

Die Thematik der Fahrstreifen wird in den relevanten Veröffentlichungen auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet, wobei die jeweiligen Fragestellungen primär oft nicht den RiLSA, sondern anderen Richtlinien wie den RAS-K-1 oder dem HBS zuzuordnen sind.

MUCSI/KHAN (2003) untersuchen grundsätzlich die Ergänzung weiterer Fahrstreifen als nachhaltige Lösung bei wachsenden Verkehrsbelastungen. Simulationsgestützt weisen sie nach, dass die Lebensdauer dieser Lösungen bei konstanter Zunahme der Verkehrsbelastung sinkt. Wesentliche Faktoren für die Grenzen dieser Lösung sind steigende Zwischenzeiten, ungleichmäßige Fahrstreifenauslastung sowie blockierte Fahrstreifen bei Rückstaus. Vor diesem Hintergrund werden in anderen Veröffentlichungen vor allem aus dem angelsächsischen Raum besondere Knotenpunktformen zur Erhöhung der Kapazität diskutiert. SCHNÜLL (2003) verweist in diesem Zusammenhang in seiner grundsätzlichen Abhandlung über die Verkehrsregelung an Knotenpunkten auf die aus seiner Sicht kritisch zu betrachtende Entwicklung aufgeweiteter Knotenpunkte in Deutschland, die auf das Prinzip

der „Channelisation“ aus den USA aufbaut. Dabei soll eine Kanalisierung der Fahrzeugströme in stark aufgeweiteten Knotenpunkten einen freien Verkehrsfluss ermöglichen. HUTCHINSON (1995) und SIMMONITE/CHICK (2003) betrachten Knotenpunktvarianten, die zwar signalisiert sind, jedoch die Konfliktpunkte der Fahrzeugströme trennen. Dadurch soll eine bessere Qualität des Verkehrsablaufs erreicht werden („Continuous Flow Intersection“ (Australien) oder „Displaced Right Turn Junction“ (Großbritannien – Linksverkehr)). Im Wesentlichen wird der Konflikt zwischen Rechtsabbiegern und dem entgegenkommenden Geradeausstrom mit eigener Signalisierung in das Vorfeld des eigentlichen Knotenpunkts verlagert. Diese Lösung bringt einen erheblichen signaltechnischen Aufwand und Raumbedarf mit sich. Eine Qualitätssteigerung wurde jeweils in Fallstudien durch Simulationen nachgewiesen. Praktische Erfahrungen aus dem einzigen umgesetzten Projekt in Großbritannien liegen jedoch kaum vor, da an dem entsprechenden Knotenpunkt noch keine ausreichend hohen Verkehrsbelastungen aufgetreten sind. Die oben bereits genannte „Continuous Flow Intersection“ stellt eine von insgesamt fünf unkonventionellen Lösungen für die Linksabbiegerführung an hochbelasteten Knotenpunkten in den USA dar, zu denen HUMMER/REID (2000) Hinweise zu Einsatzkriterien geben, wobei auch Wendefahrbahnen eine wesentliche Rolle spielen.

Im Gegensatz zu diesen sehr flächenintensiven Lösungen stehen die Aussagen von HOFFMANN/POTT (1997). Vor dem Hintergrund eingeschränkt verfügbarer Verkehrsflächen vor allem im innerstädtischen Bereich wird die Mehrfachnutzung von Fahrstreifen empfohlen, die signaltechnisch zu steuern sind. Dabei werden jedoch keine neuen Maßnahmen untersucht, sondern RiLSA-konforme Lösungen behandelt.

Die Frage nach der Fahrstreifenauslastung bei mehreren Fahrstreifen je Verkehrsstrom ist als Eingangsgröße für die Berechnung von Kapazität und Qualität des Verkehrsablaufs dem HBS zuzuordnen, stellt jedoch einen wichtigen Zusammenhang zwischen Fahrstreifen und Lichtsignalsteuerung dar. HURLEY (1995, 1998) untersucht die speziellen Fälle der Auslastung von ergänzenden Geradeausfahrstreifen im Knotenpunktbereich und von zwei Linksabbiegefahrstreifen bei anschließender Fahrstreifenabstraktion. Er entwickelt Modelle für beide Fälle, wobei die Auswertung von Erhebungsdaten vor allem die erheblichen Schwankungen bei

der Auslastung belegt. JANSON et al. (2001) beschäftigen sich mit dem Auftreten von so genannten „De-Facto-Linksabbiegefahrstreifen“, also der Nutzung von Mischfahrstreifen (Links/Geradeaus) in Abhängigkeit der verschiedenen Verkehrsströme. Sie stellen ein Verfahren vor, nach dem das Auftreten von Situationen, in denen solche Mischfahrstreifen nur von Linksabbiegern genutzt werden, wesentlich wahrscheinlicher ist als nach dem Highway Capacity Manual 1994 (TRB, 1994). Auch die Ergebnisse von FRIEDRICH/POSCHINGER (1999) sind dem Themenbereich der Kapazitätsbetrachtungen zuzuordnen. Es wird ein stochastischer analytischer Ansatz zur Berechnung des Kapazitätsgewinns durch einen gesondert geführten Rechtsabbiegefahrstreifen vorgestellt.

HERKT (1994) beschäftigt sich ebenfalls mit der Erhöhung der Anzahl durchgehender Fahrstreifen im Knotenpunktbereich. Auf der Basis von acht untersuchten Knotenpunkten ermittelt er die erforderliche Länge der unverändert weitergeführten Fahrstreifen in der Knotenpunktausfahrt sowie die anschließende Verziehungslänge für die Fahrstreifensubtraktion. Der Autor nennt Textvorschläge für die Integration seiner Ergebnisse in die RiLSA. Danach erfolgt die Ermittlung der Länge differenzierter als in den aktuellen RiLSA. Wesentliches Ergebnis ist, dass die Mindestlänge der in der Knotenpunktausfahrt mit unveränderter Anzahl weiterzuführenden Fahrstreifen 50 m betragen soll. Bis zu einer Freigabezeit von  $t_F = 30$  s steigt die erforderliche Stauraumlänge vor dem Verflechtungsbereich ungefähr wie in den RiLSA 1992 auf den jeweils dreifachen Wert der Freigabezeit in [m]. Bei längeren Freigabezeiten wird dieser Wert für einen behinderungsfreien Abfluss jedoch nicht mehr als ausreichend erachtet. Als Länge der anschließenden Verziehung gibt HERKT 30 bis 40 m gegenüber 40 bis 60 m in den RiLSA 1992 an.

Die Sichtweiten von gegenüberstehenden Linksabbiegern wurden in den 1990er Jahren in den USA als wesentliches Sicherheitskriterium untersucht. Aus den Untersuchungen wurden Richtlinien für den Versatz von gegenüberliegenden Linksabbiegefahrstreifen abgeleitet, die einen sicheren Verkehrsablauf gewährleisten (TARAWNEH/McCOY, 1992; 1996; McCOY et al., 1996; JOSHUA/SAKA, 1992).

In seiner Abhandlung über signalisierte Kreisverkehre geht HALLWORTH (1992) auch auf die Fahrstreifen ein, wobei hier nur mehrstreifige Kreisver-

kehre mit Aufweitungen auf drei Fahrstreifen betrachtet werden. Betont wird gerade für Kreisverkehre die Wechselwirkung von Signalisierung und Entwurf wegen der besonderen Rahmenbedingungen bzgl. Verflechtungs- und Rückstaulängen.

Für den Radverkehr wurden im Rahmen einer Untersuchung zur Optimierung für den Radverkehr an LSA in Münster die insbesondere in den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 95) genannten Entwurfshinweise bestätigt und deren Beachtung und einheitliche Verwendung empfohlen (PGV Planungsgemeinschaft Verkehr, 1996).

### 3.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich wird die Thematik Fahrstreifen und Wendefahrbahnen in Kapitel 4 der RVS 5.32 behandelt (FSV, 1998b). Es werden Angaben zur Länge von aufgeweiteten Ausfahrten und Abbiegefahrstreifen gemacht. Für den Knotenpunktentwurf wird auf die Entwurfsrichtlinien für plangleiche Knotenpunkte (RWS 3.41, RVS 3.42) verwiesen. Die Hinweise sind deutlich knapper als in den RiLSA.

In den erfassten Normen zu Lichtsignalanlagen in der Schweiz wird auf Fahrstreifen und Wendefahrbahnen nicht eingegangen.

In Frankreich wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ nicht auf Fahrstreifenaufteilungen und Wendefahrbahnen eingegangen (METL, 1996).

In Großbritannien finden sich im „Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)“ in Band 6, Kapitel 2, Teil 3, umfangreiche Ausführungen zum Entwurf signal geregelter Knotenpunkte, die weit über die Betrachtungstiefe der RiLSA hinausgehen (Highways Agency et al., 2005). In Teil 8 dieses Bandes werden darüber hinaus ergänzende Hinweise für besonders leistungsfähige große Knotenpunkte gegeben, die in deutschen Richtlinien nicht dargestellt sind.

In den USA wird im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ nicht direkt auf die Thematik der Fahrstreifen eingegangen, sondern indirekt in Zusammenhang mit der Markierung in Kapitel 3 (US DOT, 2003). Entsprechend wird die Radverkehrsführung in Kapitel 9 behandelt.

Der Knotenpunktentwurf und die Fahrstreifeneinteilung an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage

folgen in Japan im Wesentlichen denselben Prinzipien wie in Deutschland. Lichtsignalgeregelte Knotenpunkte sind in Japan in vielen Fällen sehr weiträumig und die Haltlinien sind weit vom Knotenpunkt abgerückt. Für Radfahrer werden zum Teil neben den Fußgängerfurten Fahrstreifen markiert. In der Regel setzt sich diese besondere Führung des Radverkehrs aber außerhalb der Knotenpunkte nicht fort (BOLTZE et al., 2005).

### 3.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Zum Themenfeld Fahrstreifen und Wendefahrbahnen liegen keine Rückmeldungen aus der Praxis vor. Grundsätzlich wird ein enger Zusammenhang zwischen Knotenpunktentwurf und Lichtsignalsteuerung gesehen, der in den RiLSA entsprechend herausgestellt werden sollte.

### 3.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Ein wesentlicher Anteil der diesem Themenfeld zugeordneten Veröffentlichungen befasst sich mit grundsätzlichen Fragestellungen zu Knotenpunktformen. Diese Diskussion erfolgt nicht innerhalb der RiLSA. Vor dem Hintergrund wachsender Verkehrsbelastungen sollte grundsätzlich diskutiert werden, ob die dargestellten Formen besonders leistungsfähiger Knotenpunkte in Deutschland zur Anwendung kommen sollten. Dabei ist der in der Regel erhebliche Platzbedarf zu berücksichtigen, der eine Umsetzung vor allem innerorts schwierig macht. Gegebenenfalls sollte eine Bewertung der Auswirkung auf die Kapazität unter den in Deutschland gültigen Rahmenbedingungen erfolgen. Erst bei einer positiven Beurteilung ist eine Betrachtung der Auswirkungen auf die RiLSA erforderlich.

### 3.1.6 Innovationsgrad

#### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Die Umsetzung einiger der beschriebenen Knotenpunktformen stünde im Widerspruch zum deutschen Richtlinienwerk, nach welchem Grundformen im Sinne der RAS-K-1 einzusetzen sind.

Die Länge des erforderlichen Stauraums vor einer Verflechtung von durchgehenden Fahrstreifen in Knotenpunktausfahrten sowie die Länge der anschließenden Verziehung werden in den RiLSA mit  $l = 3 \cdot t_F$  angegeben. In den RAS-K-1 ist sie mit  $l = 2 \cdot t_F$  geringer. Die oben genannte Untersuchung von HERKT (1994) fordert für längere Freigabezei-

ten sogar noch einen Wert, der die bisherige RiLSA-Regelung übersteigt.

#### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Widersprüche zu gesetzlichen Rahmenbedingungen bestehen nicht.

#### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Bei den beschriebenen Knotenpunktformen ist ein erheblicher Diskussionsbedarf zu sehen. Es bestehen insbesondere Fragen zur Begreifbarkeit, zur Wirtschaftlichkeit und zum Flächenverbrauch. Dabei ist aber auch zu berücksichtigen, dass eine entsprechende Lösung gegebenenfalls eine Alternative zum planfreien oder teilplanfreien Ausbau sein kann.

### 3.1.7 Handlungsbedarf

#### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Relevant für die Behandlung in den RiLSA 200X ist insbesondere die notwendige Länge der Fahrstreifen in den Knotenpunktausfahrten. Die weiteren in den letzten Jahren behandelten Fragen sind auch von Bedeutung für Richtlinien, jedoch aufgrund ihres sehr viel allgemeineren Ansatzes eher den RAS-K-1 zuzuordnen.

Für die Führung des Radverkehrs sollte ein Verweis auf die wesentlich detaillierteren Ausführungen in den „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 95)“ (FGSV, 1995) sowie auf die „Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs (HSRa 05)“ erfolgen (FGSV, 2005).

#### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Bei dem Themenfeld Fahrstreifen und Wendefahrbahnen sind im AK 3.16.16 im Wesentlichen die Inhalte aus dem bisherigen Kapitel über die besondere Berücksichtigung der Radfahrer eingearbeitet und es sind redaktionelle Änderungen erfolgt. Inhaltliche Änderungen beziehen sich zumeist auf die Anpassung einzelner Werte:

- Die Mindestlänge  $l$  der in der Knotenpunktausfahrt mit unveränderter Anzahl weiterzuführenden Fahrstreifen ist auf 50 m erhöht worden. Dieser Wert wird auch in den EAHV verwendet.

- Die Länge der Verziehungsstrecke einer Fahrstreifenreduktion in der Knotenpunktausfahrt ist dem Wert aus den RAS-K-1 (40 m) angepasst worden.
- Für die Bestimmung der notwendigen Länge von Stauräumen in der Knotenpunktzufahrt wird auf die Berechnungsverfahren des HBS verwiesen.
- Die Markierung von schmalen nebeneinander angeordneten Aufstellbereichen für Linksabbieger und Geradeausverkehr ist laut EAHV erst ab einer Breite der Aufstellfläche von mindestens 4,25 m erlaubt. Dieser Wert ersetzt die in den RiLSA 1992 verwendeten 4,00 m.

### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Ein weiterhin bestehender Diskussionspunkt ist die notwendige Länge der Fahrstreifen in den Knotenpunktausfahrten. Da die RiLSA 1992 neueren Datums als die RAS-K-1 sind, scheint die erweiterte Länge bereits bei der Neufassung der RiLSA 1992 begründet worden zu sein. In den Vorgängerversionen der RiLSA gab es hierzu keine Angaben. Auch die Forschungsergebnisse von HERKT (1994) stammen aus dieser Zeit, sind jedoch nicht vor Redaktionsschluss zu den RiLSA 1992 veröffentlicht worden. Bei der Beratung der Thematik im AA 3.16 wurde sich explizit für die Beibehaltung der in den RiLSA 1992 getroffenen Regelung ausgesprochen, da diese sich in der Praxis bewährt hat.

## **3.2 Inseln, Furten**

### **3.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

Verkehrinseln werden in Kapitel 3.4 der RiLSA 1992 behandelt. Neben ihrer Führungs- und Schutzfunktion dienen sie als Standort für Verkehrseinrichtungen und Begrünung. Für Einsatzkriterien und Gestaltung von Fahrbahnteilern und Dreiecksinseln wird grundsätzlich auf die RAS-K-1 verwiesen, nur zu den für die Lichtsignalsteuerung relevanten Gesichtspunkten werden Hinweise gegeben. In Verbindung mit den Dreiecksinseln werden die Bedingungen für den Betrieb von nicht signalisierten einstreifigen Rechtsabbiegefahrbahnen genannt. Diese Aussagen werden durch Hinweise in den Abschnitten 7.2.2 und 7.2.3 für die besondere Berücksichtigung von Fußgängern und in den Abschnitten 8.3 und 8.4 für die besondere Berücksichtigung von Radfahrern ergänzt. In den Abschnitten 7.2.3, 8.3 und 8.4 wird zudem auf die Furten eingegangen.

### **3.2.2 Erreichter Forschungsstand**

Inseln und Furten werden in den erfassten Veröffentlichungen nicht als grundsätzliches Forschungsthema behandelt. MENNICKEN/SCHMITZ (2002) stellen die Aussagen der Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA 2002) dar. Für Fußgängerfurten an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten wird betont, dass sie „möglichst unmittelbar im Zuge der Verbindung von Gehwegen der querenden Straße liegen“ sollen.

### **3.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

In Österreich wird die Thematik Inseln und Furten nicht im Richtlinienwerk für Lichtsignalanlagen behandelt. Für den Knotenpunktentwurf wird auf die Entwurfsrichtlinien für plangleiche Knotenpunkte (RVS 3.41, RVS 3.42) verwiesen.

In den erfassten Richtlinien zu Lichtsignalanlagen in der Schweiz und in Frankreich wird auf Inseln und Furten nicht eingegangen.

In Großbritannien finden sich im „Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)“ in Band 6, Kapitel 2, Teil 3, umfangreiche Ausführungen zum Entwurf signalgeregelter Knotenpunkte, die weit über die Betrachtungstiefe der RiLSA hinausgehen. Hier sind auch Inseln und Furten berücksichtigt (The Highways Agency et al., 2005).

In den USA wird im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ nicht direkt auf die Fahrstreifen-Thematik der Inseln und Furten eingegangen, sondern indirekt im Zusammenhang mit der Markierung in Kapitel 3B (US DOT, 2003).

In Japan werden die Furten für Fußgänger wie in Deutschland in der Regel an allen Zufahrten angelegt. Die Furten sind – wie früher auch in Deutschland – mit Zebrastreifen markiert. Mittelinseln, die auch als Wartefläche für Fußgänger dienen, werden auch bei großen Fahrbahnbreiten kaum eingesetzt.

### **3.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis**

Zum Themenfeld Inseln und Furten liegen keine Rückmeldungen aus der Praxis vor.

### **3.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf**

Aus den erfassten Veröffentlichungen ist kein Forschungsbedarf erkennbar.

### 3.2.6 Innovationsgrad

Da die Thematik kaum in der aktuellen Forschung betrachtet wurde, ergeben sich keine Abweichungen zu bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und keine Erkenntnisse in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern.

### 3.2.7 Handlungsbedarf

#### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Die Thematik der Inseln und Furten ist richtlinienrelevant. In den RiLSA 200X sollte ein Verweis auf weiterführende Ausführungen der „Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA)“ erfolgen (FGSV, 2003a).

#### Vorgeschlagene Neuregelungen des AK 3.16.16

Neben redaktionellen Änderungen haben sich die folgenden Aspekte geändert:

- Die Mindestbreite des Fahrbahnteilers wird dem in den Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen verwendeten Wert von  $b = 2,50$  m angepasst (zuvor  $b = 3,50$  m).
- Bei Furtbreiten von mehr als 8 m wird entsprechend der EAHV ein zweiter Signalgeber gefordert.

#### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

Sowohl RiLSA 1992 als auch EFA empfehlen einen Verlauf der Fußgängerfurten möglichst nah am Rand der parallelen Fahrbahn (nicht oder wenig abgesetzt). In den HSRa wird zudem für den Radverkehr die Möglichkeit erwähnt, im Vorfeld des Knotenpunkts einen Wechsel in der Radverkehrsführung vorzunehmen, um die Vorteile einer nicht abgesetzten Furt zu erzielen. Um Aufstellbereiche für rechts abbiegende Kraftfahrzeuge bei Mischfahrstreifen zu schaffen, können die Furten jedoch nach RiLSA 1992 um bis zu 6 m abgerückt werden. Dadurch entsteht ein sicherheitsrelevanter Interessenkonflikt zwischen nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern und Kraftfahrzeugen. Andererseits erscheint es auch nicht sinnvoll, Radverkehrsanlagen, die im Seitenraum (z. B. hinter Parkstreifen mit Schrägaufstellung) verlaufen, im Knotenpunktbereich an die durchgehende Fahrbahn heranzuführen und somit eine nicht notwendige Verschwenkung hervorzurufen. Um diesen Aspekten Rechnung zu tragen, sollte die entsprechende Formulierung in den RiLSA 200X folgendermaßen erweitert werden:

„Im Zuge von Haupttrouten im Radverkehrsnetz sollte von einer abgesetzten Anlage der Radfahrerfurt abgesehen werden, wenn dadurch starke Verschwenkungen der Radverkehrsanlage notwendig wären.“

### 3.3 ÖPNV-Haltestellen

#### 3.3.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Das Thema der ÖPNV-Haltestellen wird in den RiLSA 1992 in den Abschnitten 6.3.1. bis 6.3.3 behandelt. Die Lage der Haltestelle ist danach „in engem Zusammenhang mit der Lichtsignalsteuerung festzulegen“. Wesentlich ist hier vor allem die Frage, ob die Haltestelle vor oder hinter einem Knotenpunkt liegt.

Für Fälle, in denen die Anordnung von Haltestelleninseln bei Straßenbahnen in Mittellage nicht möglich ist, wird die Einrichtung von Zeitinseln dargestellt.

In Kapitel 6.3.3 werden Ausfahrhilfen für Busse beschrieben. Diese sind grundsätzlich nicht nur an Haltestellen, sondern auch für Sonderfahrstreifen außerhalb von Haltestellenbereichen anwendbar. Dargestellte Lösungen sind Vorgabezeiten, die jedoch wegen der entstehenden Verlustzeiten für andere Verkehrsteilnehmer nur auf Anforderung geschaltet werden sollten. Außerdem kommen ein mit Zeitvorsprung geschaltetes Permissivsignal, die Einrichtung einer Bedarfphase sowie die Anordnung einer Busschleuse in Frage. Der Abstand der zusätzlichen Signale für die Busschleuse vor dem Signalgeber der Knotenpunktzufahrt beträgt mindestens 30 m. Die Busschleuse sollte verkehrabhängig gesteuert werden, kann aber auch festzeitgesteuert werden.

#### 3.3.2 Erreichter Forschungsstand

Die wenigen für das Themengebiet der ÖPNV-Haltestellen erfassten Veröffentlichungen beinhalten nur sehr allgemeine bzw. nicht übertragbare Ergebnisse. HOFFMANN/POTT (1997) stellen Vorgabezeiten und Busschleusen als zwei von mehreren möglichen Maßnahmen für die Mehrfachnutzung von Knotenpunktelementen dar. Es werden jedoch keine genaueren Anwendungshinweise gegeben. NGAN (2003) leitet Grundsätze zur ÖPNV-Beschleunigung aus einer mikroskopischen Simulation des Verkehrsablaufs an einem Knotenpunkt ab. Als Teilergebnis wird festgestellt, dass geringere Verlustzeiten für die Busse auftreten, wenn die Hal-

testellen an Knotenpunkten mit ÖPNV-Beschleunigung hinter dem Knotenpunkt liegen. Vor dem Hintergrund, dass die Dauer der Ein- und Aussteigevorgänge nicht bekannt ist, ist dieses Nebenergebnis für die betrachtete Situation jedoch aus grundsätzlichen Überlegungen ableitbar und im Einzelfall im Zusammenhang mit der jeweiligen Integration in die Lichtsignalregelung und die Knotenpunktsituation zu betrachten. WU/HOUNSELL (1998) beschreiben ein Verfahren zur Vorbewertung von Busschleusen und wenden es für theoretische Fälle exemplarisch an. Die Ergebnisse sind jedoch sehr von den betrachteten Rahmenbedingungen sowie den gewählten Werten für die Anwendung abhängig und nicht allgemeingültig.

### 3.3.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich wird auf die Lage der ÖPNV-Haltestellen nicht im Richtlinienwerk für Lichtsignalanlagen eingegangen. Für Zeitinseln und Busschleusen werden in der RVS 5.32 in Kapitel 7.1 Einsatzbereiche und Anforderungen kurz benannt (FSV, 1998b).

In den erfassten Richtlinien zu Lichtsignalanlagen aus der Schweiz, Frankreich, Großbritannien und den USA wird auf ÖPNV-Haltestellen nicht eingegangen.

### 3.3.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Die Vorgabe der RiLSA in den Abschnitten 2.4 bzw. 6.3.2 zur Schaltung einer Gelbzeit von 5 s bei der Signalfolge DUNKEL – GELB – ROT – DUNKEL an Zeitinseln wird in Bielefeld seit ca. 15 Jahren nicht mehr umgesetzt. Da sich Stadtbahn und MIV die Fläche des Gleises in Mittellage teilen müssen, kann die Bahn erst unmittelbar vor der Haltlinie der Zeitinsel anfordern. Bei GELB versuchen dann noch viele Autofahrer, teilweise auch mit hoher Geschwindigkeit, an den in die Haltestelle einfahrenden Bahnen vorbeizufahren. Hierbei werden die Fahrgäste behindert und teilweise auch gefährdet. Diese Beobachtungen sind von den Verkehrsbetrieben „moBiel“ GmbH durch Videoaufnahmen dokumentiert. Um schneller die Sperrzeit schalten zu können, wurde deshalb die Gelbzeit auf 3 s gekürzt.

Die Haltestellen werden in Bielefeld neben dem Haltestellenschild durch Zick-Zack-Markierungen auf der Fahrbahn verdeutlicht. Das vorgezogene Signal an der dynamischen Haltestelle wird durch

eine Kontrastblende zusätzlich hervorgehoben und mit Hilfe eines Auslegerarms möglichst nah an den Fahrbahnrand montiert. Über der Fahrbahn wird das Signal an einem Peitschenmast wiederholt.

### 3.3.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Aus den erfassten Veröffentlichungen ist kein Forschungsbedarf erkennbar.

### 3.3.6 Innovationsgrad

Da die Thematik kaum in der aktuellen Forschung betrachtet wurde, ergeben sich keine Abweichungen zu bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und keine Erkenntnisse in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern.

### 3.3.7 Handlungsbedarf

#### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Für die Arbeit an den RiLSA 200X ergibt sich aus dem aktuellen Forschungsstand kein Handlungsbedarf. Trotzdem kann es sein, dass sich anhand der Neustrukturierung der RiLSA inhaltliche und redaktionelle Änderungen ergeben.

#### Vorgeschlagene Neuregelungen des AK 3.16.16

Der Abschnitt über ÖPNV-Haltestellen ist um die Teile gekürzt worden, die einen eindeutigen Beispielcharakter aufweisen. Diese werden dann in der Beispielsammlung zu den RiLSA wieder aufgenommen. Inhaltlich sind keine Änderungen vorgenommen worden.

## 4 Steuerungsverfahren

### 4.1 Grundlagen, Übersicht, Einsatzhinweise

#### 4.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Kapitel 4 gliedert sich in den RiLSA 1992 so, dass nach einer kurzen Einleitung zu dem Thema eine Auflistung der verwendbaren Kenngrößen (werden hier später behandelt, vgl. Abschnitt 4.2) erfolgt. Dann werden die einzelnen Steuerungsverfahren eingeführt. Dies geschieht durch die Tabelle 2 „Übersicht über die Steuerungsverfahren“ und durch die dazugehörigen verbalen Erläuterungen. Abschließend erfolgt ein kurzer Abschnitt zu der Erarbeitung der Steuerungslogik.

Bei den Steuerungsverfahren wird übergeordnet die makroskopische und die mikroskopische

Steuerungsebene unterschieden. Aus der makroskopischen Ebene heraus werden entweder zeitplan- oder verkehrsabhängig die mikroskopischen Steuerungsverfahren aufgerufen. Dabei handelt es sich um Festzeitsignalprogramme, Signalprogrammmanpassung (Freigabezeitanpassung, Phasentausch, Bedarfsphasenanforderung) und Signalprogrammabbildung.

Für die einzelnen Steuerungsverfahren werden umfangreiche Hinweise zu deren Einsatz gegeben. Zuerst wird dabei allgemein auf die verkehrsabhängige Steuerung eingegangen. Behandelt werden die Aspekte Sicherheitsanforderungen, Anwendung bei geringen Knotenpunktabständen und während der Hauptverkehrszeiten. Im Anschluss daran erfolgt die individuelle Behandlung der Steuerungsverfahren.

Zur Verdeutlichung der Steuerungsverfahren werden in Anhang D Beispiele aufgeführt. Diese beziehen sich ausschließlich auf die regelbasierte Umsetzung der Steuerung. In der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 wird dann auch auf die Weiterentwicklung der Steuerungsverfahren eingegangen, wobei jedoch lediglich eine prinzipielle Erläuterung der Funktionsweise modellbasierter Steuerungen vorgenommen wird. Beispiele dazu werden nicht aufgeführt. Ebenfalls in der Neufassung des Anhangs D werden abschließend die Themengebiete Ablaufdokumentation und Test der Steuerung angesprochen.

Die Umschaltung zwischen verschiedenen Steuerungsprogrammen bzw. Steuerungsverfahren wird in Anhang F der RiLSA 1992 beschrieben. Unterschieden werden vier verschiedene Möglichkeiten: die direkte Umschaltung, die Umschaltung mit Standzeit, die Umschaltung ohne definierten Umschaltzeitpunkt und die Umschaltung mit Umschaltprogramm.

#### 4.1.2 Erreichter Forschungsstand

Ehemals bestehende Bedenken gegenüber einem vermehrten und auch kombinierten Einsatz der verschiedenen verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren, die im Wesentlichen auf der Befürchtung einer geringen Verkehrssicherheit beruhten, konnten durch eine Forschungsarbeit von BRENNER et al. (1997) aus dem Jahre 1997 zerstreut werden. Die Arbeit beinhaltet eine sehr umfangreiche Analyse der Sicherheit an mehreren Knotenpunkten, an denen teilweise während der Untersuchung ein Wechsel des Steuerungsverfahrens erfolgte. Es

wurden sowohl Unfalluntersuchungen als auch weiterführende Auswertungen wie z. B. die Verkehrskonflikttechnik vorgenommen. Ergebnis der Untersuchung ist, dass mit zunehmender Verkehrsabhängigkeit und Flexibilität sogar ein sicherheitsverstärkender Effekt eintritt, der im Wesentlichen auf der optimalen Anpassung der Signalisierung an den derzeitigen Verkehrszustand beruht.

Grundlegend ist bei der Projektierung von Lichtsignalanlagen darauf zu achten, dass alle Verkehrsarten ausgewogen berücksichtigt werden. So weisen FISCHER und FRIEDRICH (2002) darauf hin, dass in vielen Fällen als Nebeneffekt der ÖPNV-Bevorzugung eine Verschlechterung der Qualität des Verkehrsablaufs der nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer eintritt. Um dies zu vermeiden, ist bereits zu Beginn der Planung eine integrierte Betrachtung der verschiedenen Verkehrsteilnehmer vorzunehmen.

Neben der derzeit schwerpunktmäßig eingesetzten verkehrsabhängigen logikbasierten Umsetzung der Steuerungsverfahren gewinnt zunehmend die modellbasierte Umsetzung der Steuerungsverfahren an Bedeutung. Erste Ansätze in dieser Richtung wurden mit dem Modell SCOOT in Großbritannien entwickelt. Auch in Deutschland gibt es seit Beginn der 90er Jahre verschiedene Veröffentlichungen, die sich mit modellbasierter Steuerung beschäftigen. Erste Erfolge konnte das von der Siemens AG entwickelte Verfahren MOTION bereits in den Jahren 1993 und 1994 verzeichnen (BUSCH/KRUSE, 1993).

Einen umfassenden Überblick über bestehende Steuerungen gibt FRIEDRICH (1996, 2000). Darauf aufbauend stellt er das modellbasiert arbeitende Steuerungsverfahren BALANCE vor. Wie auch bei anderen modellbasiert arbeitenden Steuerungen ist die Grundlage von BALANCE die modellbasierte Abschätzung der Staulängen und Wartezeiten und die darauf basierende Entscheidung bezüglich der Bildung eines neuen Rahmensignalplans. Die Besonderheit von BALANCE liegt darin, dass der gewählte Modellansatz auf markowschen Ketten beruht und daher die Stochastizität der Serviceraten berücksichtigt, wie dies auch von BROOKES und BELL (1991) empfohlen wird. Durch die modellbasierte Umsetzung der Steuerungsverfahren ist in vielen Fällen eine Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs zu erwarten.

Andere modellbasierte Steuerungen beruhen auf genetischen Ansätzen wie z. B. neuronalen Netzen.

Sowohl für diese als auch für auf anderen makroskopischen Modellen basierende Steuerungen konnten in Simulationsstudien Verbesserungen im Vergleich zu einer herkömmlichen Steuerung nachgewiesen werden, wobei jedoch zu beachten ist, dass es sich häufig um sehr exemplarische Beispiele handelt, die untersucht wurden. Insgesamt zeichnet sich jedoch ab, dass das größte Verbesserungspotenzial modellbasierter Verfahren an Lichtsignalanlagen besteht, die am Rande der Kapazität belastet sind, da bei diesen Anlagen regelbasierte Steuerungen dazu neigen, wie Festzeitsteuerungen zu reagieren (PARK et al., 2001; HUA/FAGHRI, 1995; RAHMAT et al., 2002; STEWART et al., 1998; SKABARDONIS et al., 1999; POORAN et al., 1997).

Hinsichtlich der erreichbaren Kapazität weisen GARTNER et al. (1995) darauf hin, dass häufig bereits mit verschiedenen Festzeitsteuerungen, die tageszeitabhängig optimiert sind, eine Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs erzielt werden kann, die insbesondere mit den ersten modellbasierten Ansätzen kaum noch zu übertreffen war. Schlussfolgerung ist daher, dass auch bei Verwendung moderner Umsetzungen der Steuerungsverfahren beibehalten werden sollte, dass die verwendeten Programme in einer makroskopischen (zumeist zeitplanabhängigen) Steuerungsebene für den jeweiligen Verkehrszustand optimiert ausgewählt werden.

Besonderes Augenmerk muss dabei natürlich auch auf den optimalen Zeitpunkt für die Umschaltung der Signalprogramme gelegt werden. KOSHI und KUWAHARA (1990) haben zur Lösung dieses Problems die Signalprogramme über den ganzen Tag optimiert und die Lösungen in Gruppen zusammengefügt, zwischen denen dann jeweils eine Umschaltung notwendig ist. Ein flexiblerer Ansatz wird von MUSSA und SELEKWA (2003) beschrieben. Grundlage des Verfahrens ist die Anwendung eines Rechenverfahrens, welches auf quadratischer Optimierung beruht.

Im Gegensatz dazu gibt es verschiedene Arbeiten, die eine Erhöhung der Kapazität der betrachteten Verkehrsanlagen bei Verwendung verkehrsabhängiger Steuerungen nachweisen. Dazu gehören z. B. auch JONGENOTTER und MONSMA (2002), die im Jahre 2002 ein Steuerungsverfahren vorstellten, welches ohne die Vorgabe eines Rahmensignalplans unter Verwendung von Fuzzy-Logik sehr flexibel auf sich ändernde Belastungen reagieren kann.

KRONBORG und DAVIDSSON (1993) beschreiben unter anderem das Steuerungsverfahren LHOVRA, welches – wie allgemein in Schweden üblich – ohne die Definition von Phasen auskommt, also signalgruppenorientiert arbeitet. Das Steuerungsverfahren ermöglicht neben den „normalen“ Funktionen wie z. B. der Bevorrechtigung von ÖPNV-Fahrzeugen oder der Freigabezeitenanpassung auch die verkehrsabhängige Verkürzung der Gelbzeiten. Um dies zu realisieren, werden in jeder Knotenpunktzufahrt drei Detektoren benötigt.

Mit dem Ziel, die Realisierung einer verkehrsabhängigen Steuerung zu vereinfachen und die Fehleranfälligkeit zu verringern, wurde das standardisierte Steuerungsverfahren VS-Plus entwickelt. Dieses baut nicht auf der Einheit der Signalgruppen, sondern auf der Einheit der Verkehrsströme auf. Dabei muss jeder Verkehrsstrom einzeln detektiert werden. Weiterhin wird jedem Verkehrsstrom ein so genanntes Rahmensignal zugeordnet. Von besonderer Bedeutung ist die Einteilung der jeweils angemeldeten Verkehrsströme in Prioritätselemente, anhand derer sekundlich entschieden wird, welche Verkehrsströme zu- und welche ausgeschaltet werden (KAUL, 1994; ALBRECHT, 1994).

Eine Umfrage des AK 3.16.14 „Steuerungsverfahren“ des AA 3.16 „Verkehrsbeeinflussung innerorts“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) bezüglich der Verwendung von standardisierten Methoden bei der Projektierung einer Steuerung hat ergeben, dass sowohl ca. 80 % der Mitarbeiter der Straßenbauämter als auch der Stadtverwaltungen die Teilstandardisierung befürworten. Mit der Einführung vollstandardisierter Umsetzungen der Steuerungsverfahren wird hingegen befürchtet, dass zu viele Einschränkungen auftreten. Insbesondere eine mögliche schlechtere Priorisierung des ÖPNV und das eventuelle Auftreten von Kapazitätseinbußen führen dazu, dass die Akzeptanz der Vollstandardisierung sehr viel geringer ist. Nur ca. 20 % der Befragten halten sie für erforderlich und immerhin noch ca. 35 % für wünschenswert (JANELLO/REICH, 1998).

Als Reaktion auf diese Umfrage wurde vom BMVBW ein Forschungsprojekt vergeben, welches sich mit der Modularisierung und Standardisierung verkehrstechnischer Grundprobleme in der Signalsteuerung beschäftigt hat. Die Ergebnisse dieses Projekts sind im Jahre 1999 veröffentlicht worden (BRENNER et al., 1999). Es ist allerdings nicht bekannt, ob und in welchem Umfang die

entstandenen Module in der Praxis eingesetzt werden.

Eine weitere Fragestellung ist die Berücksichtigung von Fahrzeugen des ÖPNV. Die im Vergleich zum Individualverkehr unterschiedlichen Fahreigenschaften, die sich insbesondere aufgrund der planmäßigen Halte an Haltestellen einstellen, machen eine gesonderte Erfassung der Fahrzeuge notwendig. Dies betrifft sowohl regelbasierte als auch modellbasierte Umsetzungen der Steuerungsverfahren (DÜRR, 2002; SUNKARI et al., 1995; BELL/BROOKES, 1993). Eine Analyse der Reisezeiten der Busse in Hamburg aus dem Jahre 1993 hat ergeben, dass ohne die explizite Berücksichtigung der Busse an den Lichtsignalanlagen bis zu 20 % der Reisezeit durch Standzeiten an Lichtsignalanlagen entstehen (RUHNKE, 1993).

Hinsichtlich der Berücksichtigung müssen die Planer zu Beginn der Projektierung festlegen, welche Strategie verfolgt werden soll. Werden bereits in der Phase der Planung die verschiedenen Zuständigkeiten einbezogen, können eventuelle Interessenskonflikte beteiligter Gruppen minimiert werden (ITS AMERICA, 2002). OBENBERGER und COLLUR (1995) haben sich weitreichende Gedanken zu der Strategieentwicklung gemacht, deren Auswirkungen jedoch nicht überprüft. In den meisten Fällen werden der Grad der Bevorrechtigung und die Mittel für dessen Erreichen von der Politik vorgegeben. Eventuell kann eine tageszeitliche Anpassung erfolgen oder es ergibt sich in der Steuerung, dass bei vermehrter Anforderung anderer Verkehrsteilnehmer auch die ÖPNV-Fahrzeuge größere Verlustzeiten in Kauf nehmen müssen. Eine andere Strategie wird von PITZINGER (2001b) propagiert. Er schlägt vor, die Stufe der ÖPNV-Bevorrechtigung dem Besetzungsgrad des Fahrzeugs anzupassen, um so zu gewährleisten, dass die Gesamtverlustzeit aller Personen (nicht Fahrzeuge!), die den Knotenpunkt passieren, minimal ist.

Ein alternativer Ansatz für die Signalprogrammauswahl ist die Verwendung von Programmen, welche für unterschiedliche Wetterbedingungen optimiert sind. MARTIN et al. (2001) untersuchen dies für Verhältnisse mit Schnee und Matsch, wobei jedoch insbesondere die genaue Definition der Umschaltkriterien problematisch scheint.

Insgesamt ist zu beachten, dass die zu detaillierte Betrachtung von Spezialfällen dazu führen kann, dass die optimale Lösung nur mit einem sehr hohen Rechenaufwand zu finden ist und dafür

zudem weitreichende Annahmen getroffen werden müssen, die oft in der Realität nur teilweise belegbar sind. Ein Beispiel dafür ist die Entwicklung einer Signalisierungsstrategie für gesättigte Straßennetze von CREMER und EDELBÜTTEL (1993), bei der es sich um ein kompliziertes Optimierungsproblem handelt, für welches als Eingangsgrößen die Ankunftsdaten an den Netzeingängen und die Quelle-Ziel-Beziehungen bekannt sein müssten, was in der Realität zumeist nicht gegeben ist.

Neben der Konzeption der Steuerung aufgrund von Kapazitätsgründen ist ein weiterer wichtiger Aspekt die Sicherheit der Steuerung gegenüber Detektorausfällen. GLATZ und HOFFMANN (2002) haben sich mit diesem Aspekt beschäftigt. Die Arbeit bezieht sich auf die Fehlertypen „Dauerauforderung“ und „Detektorausfall“ und betrachtet die Steuerungsbeispiele aus den RiLSA. Ergebnis der Untersuchung ist, dass die Messgenauigkeit bei der regelbasierten Umsetzung der Steuerungsverfahren hauptsächlich im Falle der Bedarfsphasenanforderungen sorgfältig zu prüfen ist und allgemein Maßnahmen zur Fehlererkennung und Fehlerbehandlung sinnvoll sind.

Ein sehr wichtiges Thema, welches bei der Projektierung einer Lichtsignalanlage berücksichtigt werden muss, sind die Schnittstellen. Häufig sind diese seitens der Hersteller nicht offengelegt, sodass die Verknüpfung verschiedener Systeme bzw. die Aktualisierung nicht oder nur mit beträchtlichem Aufwand möglich ist (FRIEDRICH, 1996; WUNDER, 1998; KELLER et al., 2002).

Letztendlich ist es notwendig, die Steuerung zu testen, um die einwandfreie Funktion auch sehr komplexer Steuerungen zu gewährleisten. Dafür gibt es verschiedene Hilfsmittel wie z. B. die Testumgebungen moderner Verkehrsingenieurarbeitsplätze, einfache Simulationsprogramme für den Test der Signalprogramme oder mikroskopische Simulationsmodelle, mit denen der Verkehrsfluss detailliert abgebildet werden kann (WULFFIUS/BORMET, 1994; HUMBERG/REICH, 1994; DICKES/RICHTER, 1992; KORN/RINGEL, 2000; DICKES/RICHTER, 1994; FELLENDORF, 1994; SIMMONITE/MOORE, 1997).

#### **4.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

In Österreich bezieht sich die RVS 5.32 auf die Planung von Verkehrslichtsignalanlagen. Ein Bestandteil dieser Richtlinie sind auch die Steuerungsver-

fahren (FSV, 1998b). Ähnlich der in Deutschland üblichen Vorgehensweise werden die Steuerungsverfahren in zwei Gruppen gegliedert. Übergeordnet ist die Signalprogrammwahl, welche dazu dient, vorbereitete Signalprogramme zeitabhängig oder verkehrsabhängig auszuwählen. In der untergeordneten Steuerungsebene gibt es die Festzeitsteuerung und verkehrsabhängige Signalprogramme, in welchen die Dauer der Freigabezeiten, die Phasenfolge und die Versatzzeiten in der Koordination beeinflussbar sind. Als Regelfall wird die Festzeitsteuerung empfohlen, da die Vorteile derselben höher eingestuft werden als die Nachteile, welche aus der fehlenden Flexibilität entstehen.

Die erfassten Richtlinien aus der Schweiz und den USA gehen nicht auf unterschiedliche Steuerungsverfahren ein. Sie orientieren sich sehr stark an der Beschreibung der Festzeitsteuerung. Verkehrsabhängige Elemente werden im Wesentlichen bei der Beschreibung der Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs erwähnt. Unterschieden wird für diesen Fall in die Realisierung von Vor- bzw. Nachlauf und in die Einschubung einer so genannten Zwischenphase. Die Erläuterungen dieser Elemente in der Schweizer Norm sind sehr detailliert und umfangreich, konzentrieren sich jedoch auf rein konzeptionelle Erläuterungen. Praktische Aspekte wie die Realisierung in einer Logik oder Ähnliches werden nicht behandelt. Das „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ aus den USA hingegen gibt nur einige allgemeine Hinweise (US DOT, 2003). Zusätzlich erwähnt es noch die Berücksichtigung von Fußgängern oder Rettungsfahrzeugen als verkehrsabhängige Elemente.

In Großbritannien gibt es laut „Specification for Traffic Signal Controller“ und „Installation Guide for Urban Traffic Control“ neben der Festzeitsteuerung im Wesentlichen zwei verschiedene Steuerungssysteme (Highways Agency, 2001; 2002). An Einzelknotenpunkten wird häufig das Steuerungsverfahren MOVA „Microprocessor Optimised Vehicle Actuation“ eingesetzt. Die Steuerung basiert auf der zweifachen Detektion des Verkehrs auf jedem Fahrstreifen: Die so genannten X-Detektoren sind in einem Abstand von 35 m bis 55 m von der Haltlinie und die IN-Detektoren in einem Abstand von 80 m bis 150 m (jeweils in Abhängigkeit von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit) angeordnet. Für koordinierte Knotenpunkte hingegen wird das Steuerungsverfahren SCOOT „Split, Cycle and Offset Optimisation Technique“ genutzt. Dieses basiert auf einer kontinuierlichen Erhebung der

Verkehrsstärken im Straßennetz, die dann in einem Onlinemodell weiterverarbeitet werden. Damit ist dann einfach überprüfbar, ob Änderungen in der Steuerung zu einer Verbesserung führen würden.

Eine sehr knappe Beschreibung wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ in Frankreich gewählt (METL, 1996). Einzige Angabe ist dort, dass die Länge der Freigabezeiten in Abhängigkeit des realen Verkehrsaufkommens schwanken kann. Dabei ist zu beachten, dass minimale und maximale Freigabezeiten nicht unter- bzw. überschritten werden.

#### 4.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Der Allgemeine Deutsche Fahrrad-Club e. V. fordert die Aufnahme einer Regelung in die RiLSA, die besagt, dass bei verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen einzelne Radfahrer- und Fußgängerströme in einem Umlauf nicht komplett ausfallen dürfen. Andernfalls verschlechtert sich die Qualität des Verkehrsablaufs sehr stark. Dies ist insbesondere auch im Rahmen der ÖPNV-Priorisierung zu beachten.

#### 4.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Verbleibender Forschungsbedarf besteht lediglich in einer vergleichenden Bewertung der unterschiedlichen Umsetzung der Steuerungsverfahren. Zu diesem Thema gibt es zwar verschiedene Untersuchungen einzelner Beispiele, die in ihrer Gesamtheit auch eine Tendenz zeigen. Ziel einer weiteren Untersuchung wäre jedoch, mehr als nur jeweils zwei unterschiedliche Vorgehensweisen unter gleichen Bedingungen sowohl in der Simulation als auch in der Realität zu testen. Insbesondere der Test in der Simulation eröffnet vielfältige Möglichkeiten, die verschiedenen Randbedingungen zu variieren. Zu untersuchende Verfahren sind

- Festzeitsteuerung,
- regelbasierte Verfahren (evtl. mit unterschiedlichen Ausprägungen),
- modellbasierte Verfahren,
- standardisierte Steuerungsverfahren und
- Signalgruppensteuerung.

In der Simulation sind dabei sowohl sehr einfache dreiarmlige Knotenpunkte abzubilden als auch Knotenpunkte mit mindestens vier Armen und

stark konkurrierenden Nutzungsansprüchen. Mindestens einer der zu untersuchenden Planfälle soll auch die ÖPNV-Bevorrechtigung beinhalten.

Ein weiteres Untersuchungsfeld, für welches noch Forschungsbedarf besteht, ist die Sicherheit der Steuerungen gegenüber Detektorausfall. Die Untersuchungen sollten an die oben genannten anschließen und simulativ die Qualität des Verkehrsablaufs unter zuvor genau definierten Fehlerzuständen ermitteln. Dabei sind nicht nur die Fehlertypen Daueranforderung und Detektorausfall zu untersuchen, sondern es ist eine Betrachtung der realistisch auftretenden Messungenauigkeiten, die sich auch nicht nur auf die Detektoren für den Kraftfahrzeugverkehr beschränkt, durchzuführen.

#### 4.1.6 Innovationsgrad

##### **Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk**

In den RiLSA 1992 werden ausschließlich regelbasierte Steuerungsverfahren angesprochen. In der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 erfolgt dann die Ergänzung modellbasierter Steuerungsverfahren. Nicht angesprochen werden standardisierte Steuerungsverfahren und die Signalgruppensteuerung sowie eine Abgrenzung der Einsatzbereiche der unterschiedlichen Steuerungsmöglichkeiten.

##### **Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen**

Es bestehen keine Einschränkungen aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen.

##### **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Die verschiedenen Umsetzungsvarianten der Steuerungsverfahren werden bereits vielfach in der Realität eingesetzt. Die gegenüber der regelbasierten Umsetzung der Verfahren gleichberechtigte Erwähnung in den RiLSA 200X hätte verschiedene Vorteile: Zum einen würde dadurch die Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit und bei Betreibern gestärkt. Zum anderen wäre zu erwarten, dass eine Manifestierung modellbasierter, standardisierter und signalgruppenorientierter Steuerungen in der Lehre stattfindet, die sich wiederum positiv auf die spätere Akzeptanz im Berufsleben auswirkt. Langfristig sind dadurch neue Entwicklungsschübe moderner Steuerungsverfahren und deren Umsetzungsmöglichkeiten zu erwarten.

#### 4.1.7 Handlungsbedarf

##### **Richtlinienrelevanz der Fragestellung**

Es besteht eine hohe Richtlinienrelevanz der Fragestellung.

##### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Auch in der derzeitigen Version der Neufassung des Abschnitts über Steuerungsverfahren werden weiterhin die mikroskopische und die makroskopische Steuerungsebene unterschieden. Die makroskopische Steuerungsebene ist jedoch um das Steuerungsverfahren A3 „Bildung Rahmensignalprogramm“ erweitert worden. In diesem wird in Abhängigkeit von der aktuellen Verkehrslage online ein neues Rahmensignalprogramm berechnet (also nicht aus einer vorhandenen Auswahl ausgewählt).

Weiterhin wird die signalgruppenorientierte Steuerung eingeführt und es wird unterschieden in die regel- und in die modellbasierte Umsetzung der Steuerungsverfahren. Die Grundlagen beider Varianten werden im Abschnitt „Projektierung der Steuerung“ erläutert.

Die Umschaltung zum Zeitpunkt fasst die bereits bekannte direkte Umschaltung und die Umschaltung mit Standzeit zusammen. Die Umschaltung ohne definierten Umschaltzeitpunkt ist unverändert übernommen worden und die Umschaltung mit Umschaltsignalprogramm ist durch die modernere Umschaltung nach dem Stauch-/Dehnverfahren ersetzt worden.

##### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Es wird vorgeschlagen, den einleitenden Abschnitt zu den Steuerungsverfahren folgendermaßen zu ergänzen:

„... Welches Steuerungsverfahren gewählt werden soll, ist in erster Linie nach vorzuziehenden Zielen zu entscheiden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle Verkehrsteilnehmergruppen angemessen berücksichtigt werden.“

#### 4.2 Kenngrößen

##### **4.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

Das Thema Kenngrößen wird in den RiLSA 1992 an zwei Stellen behandelt. Einleitend werden in dem Abschnitt über Steuerungsverfahren die unterschiedlichen Kenngrößen eingeführt. Dabei wird über die reine Nennung der Kenngrößen hinaus er-

läutert, welche Ziele anhand der Wahl der jeweiligen Kenngröße beurteilt werden können. Bei bestimmten Kenngrößen wird außerdem kurz auf deren Bestimmung eingegangen.

Der zweite Abschnitt, in welchem Kenngrößen eine große Bedeutung haben, ist innerhalb der Erläuterungen zu der Freigabezeitanpassung aufgeführt. Hier handelt es sich im Wesentlichen um die Erfassung der Kenngrößen, also wie viele Detektoren benötigt werden und wie diese anzuordnen sind, sowie um deren Berücksichtigung in der Steuerung. Im Einzelnen werden hier die Zeitlücken, die Belegungsgradmessung und die Stauerfassung beschrieben.

Fußgänger werden in den RiLSA 1992 entweder ohne Anforderung in den Umlauf eingebunden, oder sie führen eine aktive Anforderung durch, betätigen also in der Regel einen Anforderungstaster. Für den Radverkehr werden keine besonderen Hinweise hinsichtlich der zu erfassenden Kenngrößen gegeben.

#### 4.2.2 Erreichter Forschungsstand

Von den Veröffentlichungen, welche sich mit dem Themenfeld Kenngrößen beschäftigen, konzentrieren sich die meisten auf die notwendige Anzahl und die ideale Lage der Anforderungseinrichtungen für die Berücksichtigung des Kraftfahrzeugverkehrs in der regelbasierten Steuerung. Einige Arbeiten gehen darüber hinaus auf weitere Kenngrößen ein, die für die modellbasierte Steuerung notwendig sind. Als verkehrsplanerische Ziele werden nicht nur die Erhöhung der Kapazität an der Lichtsignalanlage oder die Bevorrechtigung einzelner Verkehrsarten genannt, sondern es fließen auch monetäre bzw. ökologische Zielgrößen mit in die Betrachtung ein.

So haben z. B. theoretische Berechnungen von SCHULT und FROESE (1995) ergeben, dass allein auf Grund der volkswirtschaftlichen Kosten, die durch Schadstoffemissionen an lichtsignalisierten Knotenpunkten entstehen, die Anordnung weiterer Schleifen sinnvoll scheint. Für eine vollverkehrsabhängige Steuerung, die jede Richtung so lange freigibt, bis eine Grenzzeitlücke von 2 s bis 3 s erreicht ist, wird empfohlen, alle Zufahrten mit Bemessungsschleifen auszustatten. Diese sollen je nach der zu erwartenden Verkehrsstärke je Umlauf entweder als Langschleifen mit einer Länge von 25 m bis 30 m (bei weniger als 5 Fahrzeugen) oder

als Standardschleifen, die ca. 40 m bis 60 m von der Haltlinie entfernt sind, ausgebildet sein.

HSU (1991) untersucht die günstigste Detektorlage an einem Knotenpunkt mit Hilfe eines eigenen mikroskopischen Verkehrsflussmodells. Im Gegensatz zu den oben genannten Ergebnissen und den Empfehlungen im Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr kommt er zu dem Schluss, dass haltliniennahe Detektoren mit einem Abstand von bis zu 5 m zu der Haltlinie optimal für die Zeitlückenmessung sind (FGSV, 1991). Dienen die Detektoren der Anforderung, sollen sie in einem Abstand von ca. 30 m zu der Haltlinie angeordnet sein. Hintergrund dieser Betrachtungen ist eine genaue Analyse der Schaltwahrscheinlichkeit eines Detektors. Es ist jedoch zu beachten, dass sich das Modell nur auf ganz bestimmte Logiken bezieht und nicht in der Realität validiert wurde, sodass die Übertragbarkeit der Ergebnisse nicht gesichert ist.

BONNESON und McCOY (1996) beziehen sich auf die so genannte Dilemmazone, die genau detektiert werden muss. Mit der Dilemmazone wird der Bereich der zuführenden Strecke beschrieben, in welchem ein sich annäherndes Fahrzeug bei Wechsel auf ROT quasi die Entscheidungsfreiheit hat, ob es die Lichtsignalanlage ohne Stopp passiert oder stoppt. Aus den fahrdynamischen Gegebenheiten ergeben sich damit Abstände der Detektoren von der Haltlinie von mehr als 200 m bei innerstädtischen Knotenpunkten. Die Übertragbarkeit auf deutsche Verhältnisse, in denen der Abstand zwischen benachbarten Knotenpunkten häufig kleiner als 200 m ist, erscheint damit fragwürdig. Aus dem gleichen Grund ist auch das Verfahren von OWEN und STALLARD (1999) nicht anwendbar, die einen ähnlichen Abstand der Detektoren von der Haltlinie empfehlen.

Für die algorithmische Ermittlung der Staulänge gibt es verschiedene Ansätze. Beispielsweise arbeitet das von BROOKES und BELL (1991) entwickelte Verfahren anhand der Informationen haltliniennaher Detektoren. Dabei wurde das Prinzip der markowschen Ketten genutzt und in die Online-Steuerung implementiert. Ein weiterer Ansatz wird von MÜCK (2002) beschrieben. Im Gegensatz zu der Überprüfung der Überstauung haltlinienferner Detektoren oder zu der Ermittlung eines Belegungsgrads auf einer Langschleife hat MÜCK ein Verfahren entwickelt, welches ausgehend von der so genannten Füllzeit des Bereichs zwischen Halt-

linie und Detektor die Staulänge in der betreffenden Zufahrt online schätzt. Mit Hilfe dieses Verfahrens können Staulängen bis zum fünf- bis zehnfachen Abstand des Detektors zur Haltlinie ermittelt werden.

Benötigt eine Steuerung als Information auch die erfolgte bzw. gewünschte Fahrtrichtung der detektierten Fahrzeuge, ergibt sich häufig das Problem, dass mehrere Fahrzeugströme gemeinsam detektiert werden, also aus der reinen Belegung des Detektors keine Aussage zu der gewünschten Fahrtrichtung getroffen werden kann. Verschiedene Algorithmen beschäftigen sich damit, eine Aussage zu der wahrscheinlichen Fahrtrichtung zu treffen. Verschiedene Verfahren wie z. B. von VIRKLER und KUMAR (1998) oder MIRCHANDANI et al. (2001) basieren auf dem zeitlichen Vergleich von Detektoraktivierungen vor und hinter der Haltlinie. Für den beispielhaft untersuchten Knotenpunkt konnten mit Hilfe dieses Verfahrens mehr als 95 % der Abbiegemanöver richtig erkannt werden, sofern eine sorgfältige Kalibrierung der Eingangsparameter erfolgte. Zu beachten ist dabei jedoch, dass sowohl in den Knotenpunktzufahrten als auch in den Knotenpunktausfahrten und teilweise sogar innerhalb der Konfliktfläche Detektoren angeordnet sein müssen.

Diese Notwendigkeit wird durch den Ansatz von MATSCHKE und FRIEDRICH (2002), der auf einem Abgleich der detektierten Fahrzeuge in den Knotenpunktausfahrten mit den Schaltzuständen an der Lichtsignalanlage beruht, vermieden. Da dies zu nicht detektierten Knotenpunktzufahrten führt, ist dieses Verfahren im Wesentlichen für die Ermittlung der Verkehrslage im Netz, wie sie für die modellbasierte Realisierung der Steuerung benötigt wird, relevant.

Sollen Kenngrößen für die Realisierung der Bevorrechtigung von ÖPNV-Fahrzeugen erhoben werden, ist das Zusammenspiel der Lage der nächsten Haltestelle und der Detektion zu berücksichtigen. Entsprechend einer Simulationsstudie von NGAN (2003) ist die Entfernung der Detektion bei einer knotenpunktnahen Haltestelle ohne Bedeutung für die resultierende Verlustzeit des ÖPNV-Fahrzeugs. Befindet sich keine Haltestelle in der Nähe des Knotenpunkts, nimmt die durchschnittliche Verlustzeit der ÖPNV-Fahrzeuge mit zunehmender Entfernung der Detektion vom Knotenpunkt ab. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass im Gegensatz dazu bei zu großen Entfernungen (ab ca. 250 m) die Wahrscheinlichkeit zunimmt, dass eine angeforder-

te Freigabezeit nicht so lange aufrechterhalten werden kann, bis das ÖPNV-Fahrzeug die Haltlinie passiert hat.

Fußgänger werden in der Regel nicht detektiert oder müssen aktiv einen Anforderungstaster betätigen, um eine Freigabezeit anzufordern. Die Berücksichtigung in der Steuerung erfolgt dann über die Information, ob angefordert wurde und wie lange diese Anforderung bereits zurückliegt. Einige Veröffentlichungen aus den letzten Jahren beschäftigen sich jedoch auch mit der automatischen Fußgängerdetektion. Für den Fall, dass Fußgänger auch auf der Konfliktfläche detektiert werden, ist damit eine Bemessung der Freigabezeit für Fußgänger – analog zu der für Kraftfahrzeuge üblichen Vorgehensweise – möglich. Dies hat im Wesentlichen den Vorteil, dass es weniger nicht genutzte Freigabezeiten gibt und damit die Kapazität des Knotenpunkts gesteigert werden kann (DICKINSON et al., 1995; SCHIRMACHER, 2001; SECO et al., 1998; DFT, 2001; HUGHES et al., 2000).

Bei der Detektion von Fahrrädern ist darauf zu achten, dass der Anteil von Fahrrädern mit schwachen magnetischen Eigenschaften mittlerweile sehr groß ist. Aus diesem Grund ergeben sich häufig Probleme in der Detektion mittels Induktivschleifendetektoren. Andererseits bieten Detektoren im Gegensatz zu Drucktastern die Möglichkeit, auch verkehrsabhängige Freigabezeitverlängerungen für den Radverkehr zu realisieren (MARTI, 1996).

#### 4.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

Die RVS 5.32 aus Österreich greifen für die Bewertung von Steuerungen nur Festzeitsteuerungen auf (FSV, 1998b). Bei diesen werden offline die Kenngrößen Leistungsfähigkeit, Sättigungsgrad, Wartezeit, Anzahl der Halte, Staulängen und die Dichte auf den Warteflächen für Fußgänger berechnet. An einer anderen Stelle wird sehr kurz auf verkehrsabhängige Steuerungsverfahren eingegangen. Die Steuerungsgrößen werden in direkt und indirekt zu messende Größen unterteilt. Nähere Angaben, wie die Messung oder die Aufbereitung der Messgrößen am besten erfolgen sollte, werden nicht gegeben.

Im Gegensatz dazu beschränkt sich die Norm 640 834 aus der Schweiz vollständig auf Festzeitsteuerungen (VSS, 1996). Als Bewertungskriterien werden die Kapazität einzelner Fahrstreifen und die

Staulänge betrachtet. Für die Berechnung gibt es zahlreiche Berechnungshilfen wie Tabellen und Diagramme. Auf eine direkte Erfassung der Kenngrößen wird nicht eingegangen.

In den verschiedenen Richtlinien aus Großbritannien wird kaum auf die notwendigen Kenngrößen für die Realisierung der einzelnen Steuerungsverfahren eingegangen. Dies betrifft auch die komplexen Steuerungsverfahren SCOOT und MOVA. In den ergänzenden „Traffic Advisory Leaflets“ des DFT (1995, 1997) werden beide Verfahren in einem Überblick dargestellt und es werden Beispiele für eine zielführende Einrichtung der Infrastruktur gegeben. Detaillierte bzw. sogar verbindliche Hinweise gibt es jedoch nicht. In der Regel ist es so, dass in SCOOT jeweils zu Beginn einer auf eine Lichtsignalanlage zuführenden Strecke die Verkehrsstärke erhoben wird. Aus den so gewonnenen Informationen werden dann mit Hilfe eines Verkehrsmodells weitere Kenngrößen ermittelt. Für MOVA werden je zuführendem Fahrstreifen zwei Detektoren benutzt, die den Verkehrszustand jeweils lokal messen und darauf aufbauend eine Optimierung der Steuerung durchführen. Welche Kenngrößen dabei erhoben bzw. ermittelt werden, ist nicht Bestandteil der erfassten Richtlinien.

Auch die „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ in Frankreich bezieht sich nur auf Festzeitsteuerungen (METL, 1996). Für die Beurteilung der Steuerung wird als Kenngröße die Verlustzeit betrachtet. Angaben zu deren Ermittlung erfolgen nicht. Unabhängig von der Verkehrsart soll die Verlustzeit nicht mehr als 120 s betragen.

In den USA finden verkehrsabhängige Steuerungen im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ zwar kurz Erwähnung (US DOT, 2003). Eine genaue Beschreibung der dafür notwendigen Randbedingungen findet sich jedoch nicht. Genauere Beschreibungen werden lediglich für die Fußgängerdetektion gegeben. Im Wesentlichen wird sich dabei auf die Betätigung von Anforderungstastern beschränkt. Lediglich falls es für Körperbehinderte nicht möglich sein sollte, den Taster zu betätigen, wird auf die Möglichkeit der automatischen Fußgängerdetektion hingewiesen. Diese erfolgt dann jedoch lediglich als Ergänzung zu dem normalen Taster, die Erhebung weiterer Kenngrößen als der reinen Anmeldung geschieht also nicht.

#### 4.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis

In Bezug auf die Kenngrößen liegen zwei Rückmeldungen aus der Praxis vor:

Zum einen wird darauf hingewiesen, dass die Hinweise in den RiLSA für die Ermittlung von Rückstaulängen vor Lichtsignalanlagen nicht sehr hilfreich scheinen.

Zum anderen wird auf die Detektion des Radverkehrs eingegangen. Bei verkehrsabhängiger Steuerung können Mängel bei der Detektion des Radverkehrs zu vermehrten Rotlichtverstößen führen. Aus diesem Grund ist sicherzustellen, dass eine eventuell notwendige Anforderung auch durch den Radverkehr komfortabel und gefahrlos vorgenommen werden kann.

#### 4.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Die günstigste Lage von Detektoren, wie sie im „Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr“ beschrieben ist, basiert auf weitreichenden Forschungsarbeiten, welche in den letzten Jahrzehnten erfolgten (FGSV, 1991). Die Arbeiten, welche sich in den letzten Jahren mit der optimalen Detektorlage für die Erfassung verschiedener Kenngrößen beschäftigt haben und im Rahmen dieser Literaturrecherche betrachtet wurden, beziehen sich auf exemplarische Studien und scheinen nicht übertragbar zu sein. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse dieser Arbeiten im weiteren Verlauf nicht in die Betrachtung einbezogen. Es erscheint auch nicht notwendig, weitere Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet anzustoßen (HSU, 1991; BONNISON/McCOY, 1996; SCHULT/FROESE, 1995).

Von Interesse hingegen ist die algorithmische Ermittlung von Kenngrößen, wie dies von MÜCK durchgeführt wurde. Die guten Erfahrungen, die mit diesem Verfahren gesammelt wurden, lassen jedoch weitere Forschung in diesem Gebiet derzeit als nicht notwendig erscheinen.

Weitreichender verbleibender Forschungsbedarf besteht einerseits in der Detektion der verschiedenen Abbiegebeziehungen. Diese sind eine wichtige Information für die Abbildung der gesamten Verkehrslage, welche wiederum in der Regel für den optimalen Betrieb modellbasierter Steuerungsverfahren benötigt wird. Andererseits besteht Forschungsbedarf, wie und welche weiteren Kenngrößen auch für die Steuerung von Lichtsignalanlagen genutzt werden können. Denkbar wäre es zum

Beispiel, auch Informationen über Reisezeiten einzubinden oder Floating Car Data zu nutzen.

Ein weiteres Feld, auf welchem durchaus verbleibender Forschungsbedarf zu konstatieren ist, ist die automatische Detektion von Fußgängern und die sich daraus ergebenden neuen Möglichkeiten der Kenngrößenverarbeitung, die sich nicht nur auf die reine Erfassung der Anwesenheit beschränken. Bisher nicht behandelt wurde zudem die Frage, ob auch die automatische Detektion von Radfahrern und damit auch die sich für diese Verkehrsteilnehmergruppe ändernden Möglichkeiten der Kenngrößenbetrachtung sinnvoll sind. Soll die Signalsteuerung in Deutschland diese neuen Möglichkeiten nutzen, wird empfohlen, eine Untersuchung anfertigen zu lassen, die einen umfassenderen Ansatz als die bereits bestehenden Studien verfolgt.

#### 4.2.6 Innovationsgrad

##### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Bestimmte Aussagen in den Veröffentlichungen, die sich auf die Erfassung der Kenngrößen für den Kraftfahrzeugverkehr beziehen, stehen mit den derzeitigen Regelungen im Widerspruch (z. B. Erfassung der Anwesenheit von Fahrzeugen über haltlinienferne Detektoren). Da die Absicherung der Ergebnisse jedoch nicht gegeben ist, wird empfohlen, die bestehende Vorgehensweise beizubehalten. Es ist jedoch auf die Möglichkeiten der algorithmischen Bestimmung der Kenngrößen hinzuweisen.

Auf die Notwendigkeit der Bestimmung der Verkehrslage im Netz wird bisher nicht eingegangen, da modellbasierte Steuerungsverfahren erst seit der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 Bestandteil der Richtlinien sind und in diesen nur eine kurze Beschreibung der grundlegenden Unterschiede zu der regelbasierten Umsetzung der Steuerung erfolgt. Die Thematik der zu erfassenden Kenngrößen wird in diesem Zusammenhang nicht angesprochen.

Letztendlich werden auch die automatische Detektion von Fußgängern und auch Radfahrern sowie die damit verbundene Möglichkeit der Erfassung weiterer Kenngrößen im bisherigen Richtlinienwerk nicht behandelt.

##### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Es bestehen keine Einschränkungen aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen.

##### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Hinsichtlich der Detektion von Kraftfahrzeugen haben sich die derzeit gängigen Regelungen im Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr und in den RiLSA 1992 bewährt. Darüber hinaus hat die algorithmische Ermittlung von Kenngrößen in den letzten Jahren eine große Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit und bei Betreibern gefunden.

Die zusätzliche Detektion von Abbiegeströmen bzw. eine veränderte Detektorlage, um die Fahrtrichtungen der Fahrzeuge auch bei gemeinsamen Fahrstreifen ermitteln zu können, wird wahrscheinlich aufgrund der damit verbundenen erhöhten Kosten nur bei ganz neuen Lichtsignalanlagen thematisiert werden. Anlagen im Bestand, die bereits über Erfassungseinrichtungen verfügen, können in der Regel auch mit den bestehenden Erfassungseinrichtungen eine modellbasierte Umsetzung der Steuerung ermöglichen, wobei die daraus resultierende Qualität des Verkehrsablaufs noch optimierbar ist.

Verkehrsteilnehmer realisieren die Erfassung der Kenngrößen in der Regel nicht, sodass für diese Gruppe keine Einschätzung der Akzeptanz erfolgen muss.

Bei der automatischen Detektion nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer sind die Verkehrsteilnehmer hingegen die wichtigste Gruppe, da die gesamte Fragestellung von der Beobachtung herrührt, dass aktiv zu betätigende Anforderungseinrichtungen, die bei der automatischen Detektion dann höchstens noch einen ergänzenden Charakter hätten, häufig nicht akzeptiert werden. Bei einer automatischen Detektion besteht dieses Problem nicht mehr.

#### 4.2.7 Handlungsbedarf

##### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Die Themengebiete algorithmische Bestimmung von Kenngrößen für den Kraftfahrzeugverkehr und die automatische Detektion nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer sind richtlinienrelevant.

##### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Die Themengebiete, die sich mit den Kenngrößen beschäftigen, sollen in einem gemeinsamen Abschnitt behandelt werden. Die bestehenden Texte

sind dabei stellenweise stark gekürzt worden, da weite Teile der Inhalte auch im „Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr“ thematisiert werden (FGSV, 1991).

Um der algorithmischen Ermittlung der Staulänge Rechnung zu tragen, wird im Abschnitt über die Stauerfassung der Satz eingefügt: „Daneben kommen Verfahren zur Schätzung von Staulängen, die auf den Rohdaten konventioneller Zeitlückendetektoren und den Freigabezeiten der Lichtsignalanlage basieren, zum Einsatz.“ Eine nähere Beschreibung erfolgt nicht, um so die Gefahr der schnellen Überalterung der neuen RiLSA 200X weitmöglichst zu verhindern.

Ein ähnliches Vorgehen ist bei der Beschreibung der Kenngrößen für die modellbasierte Umsetzung der Steuerungsverfahren gewählt worden: Es wird darauf hingewiesen, dass Kenngrößen wie z. B. die Gesamtreisezeit aller Fahrzeuge verwendet werden müssen, die mit Modellen zu bestimmen sind. Das genaue Vorgehen für die Bestimmung dieser Kenngrößen wird jedoch nicht näher beschrieben.

Kenngrößen nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer werden weder in der Zusammenstellung der Kenngrößen noch in der Beschreibung der Steuerung und Bewertung der Kenngrößen thematisiert.

### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Für die zusätzliche Neuregelung werden zwei Stufen vorgeschlagen:

Die Detektion des Radverkehrs, wenn dieser auf der Fahrbahn geführt wird, sollte thematisiert werden. Dafür wird im Abschnitt „Kenngrößen zur Steuerung – Erfassung und Verarbeitung der Kenngrößen – Anforderung“ folgende Ergänzung empfohlen:

„Wird der Radverkehr gemeinsam mit dem Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn geführt und ist für die Freigabe der betreffenden Signalgruppe eine Anforderung notwendig, muss gewährleistet werden, dass auch der Radverkehr erfasst wird.“

In einem nächsten Schritt, welcher aufgrund der zeitlichen Rahmenbedingungen wahrscheinlich nicht in der nächsten Version der RiLSA realisiert werden kann, aber für die Zukunft Beachtung finden sollte, wird angestrebt, auch neue Forschungserkenntnisse, welche sich im Wesentlichen auf die automatische Detektion nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer beziehen, zu berücksichtigen.

## **4.3 Koordinierung**

### **4.3.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

In den RiLSA 1992 widmet sich das Kapitel 5 der Grünen Welle. Aufbauend auf einigen allgemeinen Grundsätzen werden Hinweise für die Berechnung gegeben. Ein weiterer Teil des Abschnitts beschäftigt sich mit der Möglichkeit, die Qualität der Grünen Welle durch die Verwendung von Geschwindigkeitssignalen zu verbessern.

Konkretere Hinweise für die Planung gibt Anhang E „Hinweise zur Zeit-Weg-Planung für Grüne Wellen“, wobei sich jedoch auf die Vorstellung des grafischen Planungsverfahrens und die Nennung numerischer Verfahren beschränkt wird.

Etwas detailliertere Berechnungshinweise, die sich neben der Grünen Welle auch auf die Koordinierung im Netz beziehen, finden sich im „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)“ (FGSV, 2001a).

### **4.3.2 Erreichter Forschungsstand**

Durch die Koordinierung des Verkehrs in Straßenzügen (Grüne Welle) oder in Netzen, ist es möglich, die Kapazität zu steigern (SCHNABEL, 1990; ABBAS et al., 2001). Bei der Planung der Koordinierung ist es essenziell, dass genaue Kenntnisse über die zu erwartenden Verkehrsstärken vorliegen. Es müssen sowohl die realen Abbiege- und Querverkehrsstärken als auch die Pulkentzerrung beachtet werden, um die bestmögliche Koordinierung zu erzielen (TODD, 1995). Die Koordinierung kann dabei sowohl in innerörtlichen als auch in außerörtlichen Straßenzügen oder -netzen vorgenommen werden (HAN/REISS, 1994).

Für die Berechnung einer Grünen Welle ist die Festsetzung einer Progressionsgeschwindigkeit notwendig. Diese soll nach den RiLSA nicht geringer als 85 % der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sein. Der Grund dafür ist, dass die Grüne Welle kein Mittel der Verkehrsberuhigung ist, da zu geringe Progressionsgeschwindigkeiten von den Verkehrsteilnehmern nicht akzeptiert werden. Diese Aussage wird von SCHUSTER (1997) bestätigt, der verschiedene Untersuchungen zu Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit an Grünen Wellen mit niedriger Progressionsgeschwindigkeit vorgenommen hat. Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass das Ansetzen einer niedrigen Progressionsgeschwindigkeit von 30 km/h bei Beibehaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h zu nega-

tiven Wirkungen sowohl hinsichtlich der Verkehrssicherheit als auch des Verkehrsablaufs führt. Wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit auch auf 30 km/h herabgesetzt, ergibt sich eine Harmonisierung im Verkehrsablauf, die auch eine Verbesserung der Verkehrssicherheit bewirkt.

Andererseits ist auch darauf zu achten, dass die Grüne Welle nicht mit einer überhöhten Progressionsgeschwindigkeit geplant wird, die zu hohen gefahrenen Geschwindigkeiten und zu einer Verringerung der Verkehrssicherheit führt (ELLENBERG/BEDEAUX, 1999).

Die Berechnung von Grünen Wellen erfolgt in der Regel computergestützt. LEONARD und RODEGERDTS (1998) haben in einer vergleichenden Studie ermittelt, dass das Programm TRANSYT dabei besonders hilfreich ist. Eine umfangreiche Zusammenstellung theoretischer Berechnungsverfahren und weiterer Software für die Berechnung von Grünen Wellen hat PITZINGER (2001a) vorgenommen.

Bei der Optimierung der Projektierung für die Grüne Welle wird laut HEYMANN (1998) häufig der Fehler gemacht, dass die Umlaufzeit nicht als Variable, sondern als Konstante gesehen wird. Eine Simulationsuntersuchung beispielhafter Netze, die mit allen möglichen Umlaufzeiten zwischen 45 s und 90 s durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass es in der Regel für jedes System mehr als eine optimale Umlaufzeit gibt. Dies ist besonders interessant für den Fall, dass zwei sich kreuzende Grüne Wellen betrachtet werden. Die gleiche Thematik wurde auch von TVEIT (2003) aufgegriffen. Die von ihm aufgestellte These ist, dass die gemeinsame Umlaufzeit ihren Ursprung und ihre Begründung in der ehemals zu geringen Rechnerkapazität für die Berechnung der Grünen Welle mit unterschiedlichen Umlaufzeiten hat. Theoretisch ist sie nie begründet worden, und auch er hat in der Simulation nachgewiesen, dass durch die Verwendung angepasster Umlaufzeiten eine starke Verringerung der Reisezeiten erreicht werden kann.

Ebenfalls mit Hilfe der Simulation wurde von NGAN (2003) nachgewiesen, dass sich eine gute Qualität der Koordinierung für den Kraftfahrzeugverkehr auch positiv auf die Beschleunigung von ÖPNV-Fahrzeugen auswirkt. Trotzdem ist es in der Regel so, dass Grüne Wellen für die Belange des Individualverkehrs optimiert sind und sich aufgrund der Randbedingungen (wie z. B. feste Umlaufzeit, Progressionsgeschwindigkeit) negative Auswirkungen auf die ÖPNV-Bevorrechtigung ergeben, wie dies

von BOSSERHOFF und HUMBERG (1993) gezeigt wurde. Häufig gestaltet sich die Berücksichtigung von Fahrzeugen des ÖPNV aufgrund der geänderten Fahreigenschaften und der planmäßigen Halte an Haltestellen innerhalb der Koordinierung als schwierig. Dies betrifft sowohl festzeitgesteuerte als auch verkehrsabhängige Verfahren, die dann wiederum sowohl regelbasiert als auch modellbasiert umgesetzt sein können (SUNKARI et al., 1995)

BOSSERHOFF und HUMBERG fordern, dass für eine möglichst gute Berücksichtigung des ÖPNV in der Grünen Welle jedes einzelne Fahrzeug messtechnisch erfasst werden muss, damit es entsprechend seiner tatsächlichen Ankunftszeit verkehrsabhängig berücksichtigt werden kann. Weiterhin ist es sinnvoll, bei einer hohen Belastung durch den Individualverkehr eine Steuerung zu verwenden, die auch für den Individualverkehr verkehrsabhängig arbeitet, damit Freigabezeitreserven möglichst effektiv genutzt werden können. Wie von HOFFMANN und POTT (1997) zusammengestellt wurde, ist es dahingegen häufig nicht notwendig, für die Realisierung einer guten ÖPNV-Beschleunigung bauliche Maßnahmen zu ergreifen. Alleine durch die Verwendung betrieblicher Maßnahmen, zu denen auch die Lichtsignalsteuerung gehört, kann eine sehr gute Beförderungsqualität erreicht werden.

Bei modellbasierten Steuerungsverfahren besteht die Schwierigkeit, dass die Fahrzeuge des ÖPNV gesondert beachtet und in die Modellierung integriert werden müssen. Ein Ansatz hierzu wurde von DÜRR (2002) vorgestellt, jedoch bis zu dem Zeitpunkt der Veröffentlichung nur in der Simulation getestet. Diese hat allerdings starke Verkürzungen der Reisezeit der ÖPNV-Fahrzeuge nachgewiesen, die bis zu 41 % betragen. Ein weiterer Ansatz wurde von MERTZ und WEICHENMEIER (2002) veröffentlicht. Neben der Simulation fand auch ein Test statt, bei dem sich gezeigt hat, dass sich innerhalb des koordinierten Straßenzugs homogene Verlustzeiten einstellen. Auch wenn dadurch einzelne Ströme gegenüber der Ausgangsversion benachteiligt werden, ergeben sich damit auch insgesamt geringere Verlustzeiten.

#### **4.3.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

Das Thema Koordinierung wird in Österreich in der RVS 5.32 „Verkehrslichtsignalanlagen – Planen von Verkehrslichtsignalanlagen“ behandelt (FSV, 1998b).

Es wird in die Koordinierung für den Kraftfahrzeugverkehr und in die Koordinierung für den ÖPNV unterschieden. Als gebräuchlichstes Verfahren wird die Grüne Welle genannt. Die Erläuterungen beziehen sich dann auch nur auf dieses Verfahren. Im Wesentlichen wird dabei nicht von der laut RiLSA üblichen Vorgehensweise abgewichen. Als Besonderheit ist jedoch anzumerken, dass explizit die Möglichkeit der verkehrsabhängigen Führung des ÖPNV in der ansonsten festzeitgesteuerten Grünen Welle erwähnt wird.

Auch in der Schweiz wird nur die Grüne Welle als Koordinierung genannt. Die relevante Richtlinie ist die SN 640 840 „Lichtsignalanlagen – Koordination in Straßenzügen mit der Methode der Teilpunktreserven“ (VSS, 2003b). Inhaltlich sind keine Besonderheiten im Vergleich zu den RiLSA zu erwähnen.

In Großbritannien wird sowohl im „Installation Guide for Urban Traffic Control“ als auch in der „Specification for Traffic Signal Controller“ darauf hingewiesen, dass für den Fall, dass mehrere benachbarte Knotenpunkte signalisiert werden, das Steuerungsverfahren SCOOT einzusetzen ist, welches eine Koordinierung im Straßennetz erzielt (Highways Agency, 2001, 2002). Nähere Hinweise zu der Funktionsweise von SCOOT finden sich im „Traffic Advisory Leaflet The ‘SCOOT’ Urban Traffic Control System“ (DfT, 1995).

Die in Frankreich gültige „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ betrachtet nur Einzelknotenpunkte. Koordinierung – egal ob in Straßenzügen oder -netzen – wird nicht thematisiert (METL, 1996).

Im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ aus den USA wird in Section 4D.14 die Koordinierung von Lichtsignalanlagen erwähnt (US DOT, 2003). Einzige konkrete Aussage ist jedoch, dass Lichtsignalanlagen, die in einem Abstand von weniger als 800 m stehen, koordiniert werden sollten. Hinweise darauf, wie dies geschehen sollte, werden nicht gegeben.

#### 4.3.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Seitens des Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Clubs e. V. (ADFC) wird vorgeschlagen, die Berücksichtigung des Radverkehrs in der Grünen Welle stärker zu betonen. Hinsichtlich der erreichbaren Progressionsgeschwindigkeiten im Radverkehr und der Streuung der tatsächlich auftretenden Geschwindigkeiten besteht nach Ansicht des ADFC noch Forschungsbedarf.

Weiterhin wird angeregt, dass eine verminderte Progressionsgeschwindigkeit auch ohne Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit sinnvoll sein kann. Dies sei insbesondere dann der Fall, wenn auf kurzfristige Ereignisse, wie z. B. schlechtes Wetter reagiert werden muss. Diese Aussage widerspricht jedoch den Erkenntnissen des erreichten Forschungsstands und wird daher im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

#### 4.3.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Die in den letzten Jahren zur Koordinierung erschienenen Veröffentlichungen beziehen sich im Wesentlichen auf die Grüne Welle. Theoretische Betrachtungen zu den Hintergründen der Koordinierung in Straßennetzen sind nicht veröffentlicht. Dies begründet sich wahrscheinlich zum Teil aus der Tatsache, dass eingesetzte Netzsteuerungen (also im Wesentlichen SCOOT) auch vermarktet werden und daher die Grundlagen nur ansatzweise wiedergegeben werden.

Forschungsbedarf ist aus diesem Grund im Wesentlichen in der Koordinierung von Straßennetzen zu sehen. Relevant scheint dabei die Weiterentwicklung bestehender Verfahren der Offline- und Online-Optimierung. Weiterhin ist von besonderem Interesse zu untersuchen, wie das Zusammenspiel der Koordinierung von Netzen und der linienhaften Optimierung des ÖPNV zu sehen ist.

Hinsichtlich der Berücksichtigung des Radverkehrs in der Grünen Welle werden die in die Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs (HSRa) eingeflossenen Erkenntnisse berücksichtigt (FGSV, 2005). Weitere Forschung zu diesem Thema scheint im Moment nicht notwendig.

#### 4.3.6 Innovationsgrad

##### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

In den RiLSA 1992 sind Netzkoordinierungen nicht thematisiert. Erwähnung finden sie bisher lediglich im „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)“ (FGSV, 2001a). Die Einführung dieser Koordinierungsebene widerspricht jedoch auch nicht den Regelungen der RiLSA.

##### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Es bestehen keine Einschränkungen aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen.

### **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Insbesondere Verkehrsteilnehmer nehmen die Koordinierung, bzw. vielmehr die eventuell nicht optimal funktionierende Koordinierung, sehr sensibel wahr. Da es in Deutschland langjährige Planungspraxis ist, insbesondere hochbelastete Achsen zu koordinieren und dafür in Kauf zu nehmen, querende oder einbiegende Fahrzeuge weniger ausgeprägt zu beachten, würde eine verstärkte Berücksichtigung der Verkehrslage im Netz unweigerlich zu einer stärkeren Beachtung dieser Ströme führen und damit wahrscheinlich eine vehemente Diskussion herbeiführen. Die Akzeptanz solcher Maßnahmen hängt dann im Wesentlichen von deren Vermarktung und der Verdeutlichung der Vorteile ab.

Bei Betreibern und in der Fachöffentlichkeit ist nicht mit Akzeptanzproblemen zu rechnen. Allerdings muss beachtet werden, dass die vollständige Überarbeitung der Signalsteuerung in einem Gebiet eine eher seltene Aufgabenstellung ist, sodass es naturgemäß einige Zeit dauert, bis sich bedeutende Verbesserungsvorschläge in der Praxis durchsetzen.

#### **4.3.7 Handlungsbedarf**

##### **Richtlinienrelevanz der Fragestellung**

Die Thematik ist durchaus richtlinienrelevant. Etablieren sich jedoch konkrete Verfahren, ist auch der Weg denkbar, der in Großbritannien eingeschlagen wird, dass lediglich ein Hinweis auf das Verfahren erfolgt. Diese Vorgehensweise hat einerseits den Vorteil, dass keine urheberrechtlichen Probleme auftauchen und andererseits dass Neuerungen in den Verfahren nicht sofort in die RiLSA eingearbeitet werden müssen, diese also mit dem Verweis auf die Primärquellen eine höhere Aktualität hat.

##### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Der AK 3.16.16 gliedert den derzeitigen Abschnitt 5 der RiLSA 1992 „Grüne Welle“ in den Abschnitt über die Steuerungsverfahren ein. Darüber hinaus behandelt der Abschnitt zwar weiterhin schwerpunktmäßig die Grüne Welle, geht jedoch auch auf andere Themen der Koordinierung ein. Gegliedert werden die Betrachtungen entsprechend der Frage, ob sie an einem einzelnen Knotenpunkt, innerhalb eines Straßenzugs oder in Straßennetzen relevant ist. Dabei beziehen sie sich nicht nur auf

den Kraftfahrzeugverkehr, sondern binden auch den ÖPNV, die Fußgänger und die Radfahrer ein.

Stark gekürzt werden soll der Abschnitt über die Verwendung von Geschwindigkeitssignalen in der Grünen Welle, da diese nur im Falle einer Festzeitsteuerung sinnvoll sind. Darüber hinaus werden sie nur in Einzelfällen eingesetzt.

##### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Über die bereits vorgeschlagenen Neuregelungen hinaus besteht kein weiterer Änderungsbedarf.

## **5 Sonderformen der Signalisierung**

### **5.1 Engstellensignalisierung**

#### **5.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

Die Engstellensignalisierung wird in den RiLSA 1992 im Anhang G behandelt. Dort werden zunächst Aussagen zu den Einsatzkriterien gemacht. Weiterhin wird die Bestimmung der Signalzeiten (Übergangszeiten, Zwischenzeiten, Umlaufzeiten und Freigabezeiten) erläutert. Der Abschnitt „Steuerungsverfahren“ behandelt zum einen die Festzeitsteuerung mit festen Freigabezeiten und zum anderen mit veränderbaren Freigabezeiten. Auch werden die zu verwendenden Einschaltprogramme für transportable und fest installierte Engstellensignalanlagen erläutert. Dabei kann in einfachen Anwendungsfällen auf ein Einschaltprogramm verzichtet werden. Außerdem werden kurz die Besonderheiten der Verkehrsführung an Engstellen thematisiert. Im Abschnitt „Hinweise zur Gerätetechnik“ wird auf die Übertragung der Steuerbefehle, die Betriebsspannung und die Signalsicherung eingegangen. Schließlich werden Aussagen zur Markierung und Beschilderung gemacht. Am Ende des Abschnitts steht eine Beispielberechnung.

#### **5.1.2 Erreichter Forschungsstand**

In der ausgewerteten Literatur wurden ausschließlich die verkehrsabhängige Zwischenzeitenbildung (betrifft auch die Themenfelder „Berechnungsvorschriften“ in Abschnitt 2.2 und „Steuerungsverfahren“ (Abschnitt 4)) sowie Verkehrslenkungsmaßnahmen (betrifft Abschnitt 6.5 „Bauausführung“) behandelt.

FOLLMANN (1990) hat nachgewiesen, dass eine Steuerung mit verkehrsabhängig gebildeten Freigabe- und Zwischenzeiten bis zu einer Engstellen-

länge von ca. 350 m zu den geringsten mittleren Wartezeiten führt. Ab einer Länge von ca. 350 m liefert eine Steuerung mit verkehrsabhängig gebildeter Zwischenzeit und konstanten Freigabezeiten die geringsten mittleren Wartezeiten. Die verkehrsabhängige Zwischenzeit wird gebildet, indem der Zeitpunkt ermittelt wird, an dem das letzte Fahrzeug die Haltlinie überfahren hat, und dann die Zeit berechnet wird, die dieses Fahrzeug zum Passieren der Engstelle benötigt.

Bei praktischen Untersuchungen zeigte sich, dass dabei eine sorgfältige Bestimmung der Räumgeschwindigkeit und eine Differenzierung der Räumzeiten z. B. in Abhängigkeit vom Wochentag und von der Verkehrszusammensetzung erforderlich sind (FOLLMANN/SCHUSTER, 1991b).

Im Rahmen eines Pilotversuchs wurde außerdem festgestellt, dass es hinsichtlich der Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs sowie der Verbesserung der Fahrzeugerkennung durch Detektoren empfehlenswert ist, vor dem Konfliktbereich einen zweistreifigen Sicherheitsraum einzurichten, um ein zu frühzeitiges Wechseln vor dem Engstellenbereich auf den Gegenfahrstreifen zu verhindern (FOLLMANN, 1990).

Eine weitere Feldstudie zeigte, dass

- nach Möglichkeit mit Warnbaken oder wenigstens mit Markierungen kanalisiert werden sollte,
- die Kanalisierungsstrecke in Abhängigkeit von der Höchstgeschwindigkeit so bemessen sein sollte, dass ein Fahrzeug ungefähr 2 s benötigt, um diese zu passieren (bei Stadtstraßen 20 bis 30 m),
- die Strecke für den Fahrstreifenwechsel rund 18 m lang sein sollte und
- sich die Anordnung einer Haltlinie positiv auf das Fahrverhalten auswirkt (FOLLMANN/SCHUSTER, 1991b).

### 5.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich ist nach der RVS 5.32, Kapitel 8 (Engstellensignalisierung), die verkehrsabhängige Bildung bzw. Verkürzung der Zwischenzeit möglich (Highways Agency et al., 2005). Es werden Kriterien für den Einsatz einer Engstellensignalisierung und Richtwerte für die Umlaufzeiten in Abhängig-

keit von der Engstellenlänge genannt. Zum Sicherheitsbereich werden keine Vorgaben gemacht.

In der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ aus Frankreich gibt es im Teil „Signalisation Temporaire“ Hinweise zur Engstellensignalisierung (METL, 1993). In Artikel 127 „Circulation alternée“ wird auf die wechselseitige Freigabe des Fahrzeugverkehrs eingegangen. Wenn nicht durch Polizeibeamte, soll der Verkehr an solchen Engstellen mit einer transportablen Lichtsignalanlage, mit Handsignalen für Durchfahrt verboten bzw. erlaubt oder mit einer Beschilderung geregelt werden. Für die transportablen Lichtsignalanlagen wird unter anderem festgelegt, dass diese rechts von der Fahrbahn aufzustellen sind, dass die Gelbzeiten 5 s zu betragen haben sowie dass die Signalgeber auf beiden Seiten nicht gleichzeitig GRÜN, GELB-Blinken (im untersten Leuchtfeld) oder GELB anzeigen dürfen. Im Falle eines Ausfalls des Signalprogramms ist hingegen GELB-Blinken im mittleren Leuchtfeld zulässig.

In der Schweiz wird die Engstellensignalisierung in der Norm 640 886 thematisiert (VSS, 2002). In erster Linie werden Hinweise zur Ausstattung (Markierung, Beschilderung, Beleuchtung usw.) und Verkehrsführung gegeben. Ausführungen zu Steuerungsverfahren und zur Signalzeitenbestimmung einer Baustellensignalisierung sind in dieser Norm nicht enthalten; es werden nur die Einsatzkriterien genannt (ungünstige Sichtverhältnisse und/oder mehr als 5.000 Fz/Tag).

In Großbritannien wird die Engstellensignalisierung in der „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DfT, 2002b) nicht explizit berücksichtigt. Es werden zwar Ausführungen zu portablen Lichtsignalanlagen gemacht, in diesem Zusammenhang wird aber nicht auf die Signalisierung von Engstellen eingegangen.

In den USA befassen sich im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ die Kapitel 4 (Highway Traffic Signals) und dort Kapitel 4D.20 (Temporary Traffic Control Signals) und 4G (Traffic Control Signals for One-Lane, Two-Way Facilities) sowie Kapitel 6 (Temporary Traffic Control) mit der Engstellensignalisierung (US DOT, 2003). Die Engstellensignalisierung mit einer Lichtsignalanlage ist einer Regelung durch Sicherheitsmitarbeiter bei Langzeit-Baustellen und für den Fall, dass eine Regelung bei Nacht erforderlich ist, vorzuziehen. Die Einrichtung und der Betrieb einer Engstellensignalisierung sollen den Anforderungen an eine regulä-

re Lichtsignalanlage entsprechen. Die Signalzeiten sollen von „autorisierten Beamten“ festgelegt werden; dabei soll die Sperrzeit adäquat zur Räumzeit für den Engstellenbereich sein.

#### 5.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Die Anwendung von verkehrsabhängigen Zwischenzeiten wird an Engstellen im Gegensatz zur Anwendung an Knotenpunkten nicht kritisch gesehen. Praktische Erfahrungen über die oben genannten Forschungsergebnisse hinaus liegen jedoch nicht vor.

Von Seiten des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit wird darauf hingewiesen, dass die Qualitätsansprüche an Lichtsignalanlagen im Bereich der Baustellensicherung mindestens das gleiche Niveau wie stationäre Anlagen aufweisen sollten. Auch für Lichtsignalanlagen zur Engstellensignalisierung wird eine verkehrstechnische Unterlage abgefordert. Untersuchungsbedarf wird für die Detektion unterschiedlicher Fahrzeugarten zur Zwischenzeitbestimmung bei Engstellensignalisierung gesehen. Zielsetzung ist die Festlegung einer möglichst hohen Räumgeschwindigkeit als Bemessungsgrundlage einerseits und die Verlängerung der Zwischenzeit bei langsam fahrenden Verkehrsteilnehmern andererseits.

#### 5.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Im Bereich der verkehrsabhängigen Zwischenzeitenbemessung bei der Engstellensignalisierung besteht weiterer Forschungsbedarf. Nachdem die positiven Auswirkungen hinsichtlich der mittleren Wartezeit nachgewiesen werden konnten, scheint es angebracht, eventuelle nachteilige Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit gründlicher zu untersuchen. Der derzeitige Forschungsstand zu den verkehrsabhängigen Zwischenzeiten an Engstellen gibt außerdem hinsichtlich der folgenden Fragen keine Antworten:

- Wie kann die Erkennung unterschiedlicher Fahrzeugarten durch Detektoren verbessert werden? Erforderlich sind weitere Fallstudien.
- Welche fallspezifischen Räumzeiten sind bei einer verkehrsabhängigen Bildung der Zwischenzeiten zu wählen?

Grundsätzlicher Forschungsbedarf zu verkehrsabhängigen Zwischenzeiten ist bereits in Abschnitt 2.2, Teil B, benannt.

#### 5.1.6 Innovationsgrad

##### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Zwischenzeiten sind entsprechend den aktuellen RiLSA als fixe Werte anzusehen, die auf keinen Fall variiert werden dürfen (vgl. dazu Abschnitt 2.2, Teil B).

##### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Es zeigen sich keine Widersprüche zu den geltenden gesetzlichen Bestimmungen. Einzig die Frage der juristischen Absicherung eines Steuerungsverfahrens mit verkehrsabhängiger Bildung der Zwischenzeiten ist zu überprüfen.

##### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Durch die Verwendung verkehrsabhängiger Zwischenzeiten bei der Engstellensignalisierung kann auf der einen Seite die mittlere Wartezeit der Verkehrsteilnehmer reduziert und damit eine höhere Kapazität erreicht werden, daher ist eine größere Aufgeschlossenheit der Verkehrsteilnehmer und der Betreiber zu erwarten. Auf der anderen Seite können nachteilige Auswirkungen einer verkehrsabhängigen Bildung von Zwischenzeiten auf die Verkehrssicherheit zu sehr großen Sicherheitsbedenken führen und eine Aufnahme in die Richtlinie unmöglich machen.

#### 5.1.7 Handlungsbedarf

##### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Das Themenfeld der Engstellensignalisierung einschließlich der Erkenntnisse zu der Bildung verkehrsabhängiger Zwischenzeiten im Steuerungsverfahren einer Engstelle und zur Gestaltung des Konfliktbereichs ist von ausreichender Bedeutung für eine Regelung im Richtlinienwerk.

##### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Der AK 3.16.16 hat das Thema Engstellensignalisierung noch nicht behandelt.

##### Erfordernis der Neuregelung

Es sollte vor einer Neuregelung weitere Forschung zur Verkehrssicherheit bei einer verkehrsabhängigen

gen Zwischenzeitenbildung (s. o.) durchgeführt werden. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung ergibt sich diesbezüglich kein Erfordernis der Neuregelung.

Der Unterabschnitt „Markierung und Beschilderung“ sollte um die Erkenntnisse zur Gestaltung des Konfliktbereichs ergänzt werden.

Da sich der Abschnitt Engstellen derzeit in der Bearbeitung befindet, werden an dieser Stelle keine Textvorschläge vorgestellt.

## 5.2 Fahrstreifensignalisierung

### 5.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Die Fahrstreifensignalisierung wird in Anhang H der RiLSA 1992 behandelt. Dieser Anhang ist erst Ende des Jahres 1997 ergänzt worden. Die Bearbeitung liegt demzufolge weniger lang zurück als für den Rest der RiLSA.

Grundsätzlich wird bei der Fahrstreifensignalisierung in die zwei Varianten „Richtungswechselbetrieb“ und „Fahrstreifenabsicherung“ unterschieden. Richtungswechselbetrieb wird angewendet, wenn richtungsbetonte Belastungen wiederkehrend auftreten. Dies kann einerseits durch den Berufsverkehr und andererseits durch Großveranstaltungen induziert werden. Ein anderer Anwendungsfall ist die Berücksichtigung öffentlicher Verkehrsmittel. Essenziell für die Qualität des resultierenden Verkehrsablaufs ist die detaillierte Erfassung der relevanten Kenngrößen. Besondere Sicherheitsvorkehrungen sind insbesondere bei einem Wechsel der Betriebszustände zu treffen. Fahrstreifensignalisierung für die Fahrstreifenabsicherung wird nur bei Anlagen, die sehr empfindlich auf interne Störungen des Verkehrsablaufs reagieren, wie z. B. Straßentunnel oder Brücken, angewendet.

Weiterhin wird das Thema Fahrstreifensignalisierung in den „Hinweisen zu variablen Fahrstreifen-zuteilungen“ behandelt (FGSV, 2003b). Im Wesentlichen werden in diesem Hinweispapier Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzmöglichkeiten detailliert beschrieben. Ergänzend zu den oben genannten Themen wird dabei auch auf die Seitenstreifenmitbenutzung eingegangen.

### 5.2.2 Erreichter Forschungsstand

Im Jahre 1990 vollendeten BRILON und WU (1992) eine Studie zu der Verkehrsführung an Autobahn-

baustellen mit drei Fahrstreifen, bei der der mittlere Fahrstreifen in wechselnder Richtung benutzt werden kann und die im Jahre 1992 veröffentlicht wurde. Ergebnis der einführenden Analyse war, dass die so genannte 1+W+1-Führung bei Autobahnbaustellen nur sehr selten angewendet wird. Weitreichende Untersuchungen haben ergeben, dass im Vergleich zur Verkehrsführung „3+1“ kein wirtschaftlicher Nutzen besteht. Weiterhin existieren erhebliche Sicherheitsbedenken gegenüber einem Einsatz auf Autobahnen, die auch bei der sichersten Führungsvariante nicht ganz ausgeschaltet werden können.

Zu einem anderen Ergebnis kommen SCHNABEL et al. (1994), die die 1+W+1-Führung bis zu einem täglichen Verkehr von 45.000 Kfz/24h befürworten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass dieses Ergebnis im Wesentlichen auf der Betrachtung der Kapazität, die anhand von Simulationsrechnungen erfolgte, beruht. Die oben angesprochenen Sicherheitsbedenken kommen dabei nicht zum Tragen.

Ein anderer Anwendungsfall für die Fahrstreifensignalisierung wird von SCHÜTTE et al. (2000) beschrieben. Dabei handelt es sich um die variable Zuweisung von Fahrstreifen innerhalb von Verflechtungsbereichen entlang des Münchener Mittleren Rings. Eine nähere Beschreibung der zu dem Zeitpunkt der Veröffentlichung lediglich geplanten Maßnahmen erfolgt jedoch nicht.

Fahrstreifensignalisierung kann auch innerhalb von signalisierten Knotenpunkten erfolgen. Diese Möglichkeit wird zwar auch schon in den RiLSA 1992 ausführlich behandelt, jedoch nur sehr zögerlich angewendet. Ein Anwendungsbeispiel wird von SEIFERT et al. (2002) beschrieben. Dabei handelt es sich um einen Knotenpunkt im Bereich der Messestadt München-Riem, der in der Hauptrichtung über sechs Fahrstreifen verfügt, von denen zwei in entgegengesetzter Richtung betrieben werden können. Testmessungen haben ergeben, dass die Steuerung die an sie gestellten Anforderungen in vollem Umfang erfüllt.

### 5.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In den RVS 5.35 in Österreich und den „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ in Frankreich wird ähnlich wie in den RiLSA in die zwei Fälle „Richtungswechselbetrieb“ und

„Fahrstreifensperren und Fahrstreifenzuteilungen“ unterschieden (FSV, 2001; METL, 1996). Im Gegensatz zu Deutschland wird die Fahrstreifensignalisierung jedoch eindeutig für Streckenabschnitte außerhalb von Knotenpunkten empfohlen.

Die Schweizer Norm SN 640 802 fasst die Anwendungsgrundsätze wesentlich vorsichtiger und weniger konkret (VSS, 2000b). Es werden jedoch zahlreiche Beispiele für die Anordnung der Signale, die sich alle auf die Strecke beziehen, gegeben.

Ein Abschnitt der „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DFT, 2002b) aus Großbritannien beschäftigt sich mit der Fahrstreifensignalisierung. Beschrieben wird hier im Wesentlichen die Gestaltung der dafür notwendigen Signalgeber. Richtlinien, in denen ergänzende Hinweise zu finden sind, liegen nicht vor.

In den USA gibt es laut „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ auch Richtungswechselbetrieb ohne die Signalisierung von Fahrstreifen (US DOT, 2003). Dieser wird dann durch statische Beschilderung am Straßenrand für die unterschiedlichen Tageszeiten angezeigt. Für den Fall, dass dies mehr als einen Fahrstreifen betrifft, Unklarheiten in den Knotenpunktbereichen auftreten oder vermehrt Unfälle beobachtet wurden, wird die Fahrstreifensignalisierung empfohlen (US DOT, 2003).

#### 5.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Zur Fahrstreifensignalisierung haben sich keine Rückmeldungen aus der Praxis ergeben.

#### 5.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Für den Fall, dass die Führungsform 1+W+1 auch bei Baustellen auf Autobahnen empfohlen werden soll, wären weitere Untersuchungen zu der Verkehrssicherheit notwendig. Da jedoch auch weitreichende Bedenken hinsichtlich des wirtschaftlichen Nutzens dieser Ausbauform bestehen, erscheint eine Untersuchung nur bedingt sinnvoll.

#### 5.2.6 Innovationsgrad

##### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

In den letzten Jahren gab es keine Veröffentlichung zu der Fahrstreifensignalisierung, die von den bestehenden Regelungen abweicht.

#### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Es gibt keine Abweichungen von den bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen.

#### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Die bestehenden Regelungen erfahren sowohl in der Fachöffentlichkeit als auch bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern eine hohe Akzeptanz. Da keine neuen Forschungsergebnisse vorliegen, erscheint eine Änderung der bestehenden Regelung als nicht notwendig.

#### 5.2.7 Handlungsbedarf

##### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Die Fragestellung ist richtlinienrelevant. Da jedoch keine neuen Forschungsergebnisse vorliegen, ist eine Änderung der bestehenden Regelung nicht notwendig.

##### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Der AK 3.16.16 hat das Thema Fahrstreifensignalisierung noch nicht behandelt.

##### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

Aus der Literaturanalyse heraus besteht keine Erfordernis der Neuregelung. Dies bedeutet jedoch nicht, dass keine redaktionellen oder strukturellen Änderungen an dem Abschnitt vorgenommen werden sollen. So sind z. B. die Ergänzungen aus dem Jahre 1997 in den bestehenden Text einzufügen.

#### 5.3 Rampenzuflusssteuerung

##### 5.3.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

In den aktuellen RiLSA wird die Rampenzuflusssteuerung nicht behandelt. Gemäß einem Entwurf zur RiLSA-Teilfortschreibung 2003 vom März 2003 war zunächst beabsichtigt, dass die Rampenzuflusssteuerung als Anhang M in die RiLSA-Teilfortschreibung 2003 Eingang findet. Im Einzelnen finden sich in diesem Entwurf Aussagen zu Formen der Steuerung, Einsatzkriterien, Steuerung sowie zu rechtlichen Aspekten.

### 5.3.2 Erreichter Forschungsstand

In der Literatur werden vor allem

- Ziele, Einsatzkriterien und Voraussetzungen,
- die Steuerung,
- Anlagenkomponenten,
- Wirkungen sowie
- rechtliche Aspekte

der Rampenzuflusssteuerung behandelt.

#### Ziele, Einsatzkriterien und Voraussetzungen

Als Hauptziele der Zuflussregelung im Bereich von BAB-Zufahrten werden von TRUPAT (2001) die Gewährung einer Einfahrhilfe für den zufahrenden Verkehrsteilnehmer, die Verbesserung der Unfallsituation im Umfeld der Zufahrtrampe, eine Verbesserung der Störungssituation sowie eine Verringerung der durch zufahrende Pulks bedingten „Schockwellen“ bei gleichzeitiger Erhöhung des Geschwindigkeitsniveaus auf der Hauptfahrbahn (Harmonisierungseffekt) genannt. Weiterhin wird nach STÖCKER/TRUPAT (2001) die Reduzierung der Umweltbelastungen und des Energieverbrauchs angeführt. Eine angestrebte Wirkung ist nach MÖLLER et al. (2001) auch die Verlagerung von zufließendem Verkehr auf andere Anschlussstellen. Bei der Systemkonzeption ist die Vermeidung von negativen Auswirkungen auf das nachgeordnete Netz ein wichtiges Ziel (TRUPAT, 2001).

Nach BMVBW (2000) ist im Rahmen einer Voruntersuchung grundsätzlich zu klären, ob an der betroffenen Anschlussstelle mit Hilfe der Zuflussregelung eine Verbesserung der Verkehrssituation erreicht werden kann. Kriterien für den Einsatz sind die Verkehrs-, Unfall- und Störungssituation sowie die Rampen- und Streckengeometrie (TRUPAT, 2001; STÖCKER/TRUPAT, 2001; BMVBW, 2000). Ein typisches Einsatzfeld einer Zuflussregelung ist die Kombination einer hohen Verkehrsbelastung auf der Hauptfahrbahn mit zufahrenden Pulks an der Anschlussstelle (TRUPAT, 2001; STÖCKER/TRUPAT, 2001).

In der Regel lässt sich die Zuflussregelung bei fast allen Rampentypen und Rampenformen einsetzen, sie ist nur dann schwieriger oder nur eingeschränkt einsetzbar, wenn ein sehr kurzer Beschleunigungsstreifen vorhanden ist oder der Beschleunigungsstreifen gleichzeitig ein Verflechtungsstreifen ist

(STÖCKER/TRUPAT, 2001). In der Zufahrt sollte ausreichend Stauraum vorhanden sein (ZACKOR et al., 2001).

#### Steuerung

Es werden drei Grundformen der Zuflussregelung unterschieden: die Einzelfahrzeugsteuerung, die Pulksteuerung und die Rampenschließung (ZACKOR et al., 2001).

Bei der Einzelfahrzeugsteuerung erhalten die Fahrzeuge einzeln ein Freigabesignal und die Zuflussregelung wird über die Länge der Sperrzeit zwischen den Freigabezeiten gesteuert. Dadurch wird eine Verbesserung der Sicherheit bei Einfädelungsvorgängen erreicht und durch die Pulkauflösung der Einfahrbereich entlastet. Der Nachteil ist eine geringere Zuflussrate als bei der Pulksteuerung. Bei der Pulksteuerung können mehrere Fahrzeuge während der Freigabezeit einfahren. Damit ist die maximale Zuflussrate höher und die Anzahl der Halte- und Beschleunigungsvorgänge (und damit die Abgasemissionen) geringer als bei der Einzelfahrzeugsteuerung. Allerdings wird die Sicherheit bei Einfädelvorgängen nicht verbessert und der Einfahrbereich nicht entlastet. Die Rampenschließung dient zwar einem stabilen Verkehrsablauf auf der Hauptfahrbahn, allerdings lösen Rampenschließungen in der Regel heftige Gegenreaktionen in der Öffentlichkeit aus und sind politisch nur schwer durchzusetzen, außerdem bewirken sie durch den zwangsverlagerten Verkehr eine Überlastung auf den möglichen Alternativrouten. Aufgrund dieser Nachteile wird der Einsatz von Rampenschließungen nicht empfohlen und nur in Ausnahmefällen als erforderlich angesehen.

Hinsichtlich der Steuerungsstrategien wird unterschieden zwischen lokalen und koordinierten Ansätzen (TRUPAT, 2001; STÖCKER/TRUPAT, 2001; BMVBW, 2000). Unabhängig davon wird zwischen so genannten Feedforward- (Steuerung in Abhängigkeit von der Verkehrssituation stromabwärts) und Feedback- (Steuerung in Abhängigkeit von der Verkehrssituation stromaufwärts) Strategien unterschieden. Eines der meisteingesetzten Verfahren ist die Nachfrage-Kapazitäts-Strategie (STÖCKER/TRUPAT, 2001). Eine häufig eingesetzte Feedback-Strategie ist die Strategie RWS (Rijkswaterstaat) (TRUPAT, 2001; STÖCKER/TRUPAT, 2001; BMVBW, 2000). Bekanntester Feedforward-Ansatz ist der Algorithmus ALINEA (Asservissement linéaire d'netree autoroutière, z. B. an der BAB A 40).

Dieser Algorithmus hat sich in Deutschland für die Steuerung bewährt (ZACKOR et al., 2001; BMVBW, 2000). Zukünftig würden nach TRUPAT (2001) aber auch verstärkt Fuzzy-Control-Algorithmen eingesetzt werden. Als Argumente für ein auf der Fuzzy-Set-Theorie beruhendes Vorgehen werden nach BOGENBERGER et al. (2000) Transparenz und Modularität genannt. Daher wird ein solcher Ansatz als probates Instrument gesehen, um aus teilweise unscharfen Systemzuständen einen Algorithmus abzuleiten, der stabile Ergebnisse liefert. Erfolgreich evaluiert gegenüber den konventionellen Algorithmen wurden die ACCEZZ-Modelle (drei Versionen: genetic fuzzy online, genetic fuzzy offline, genetic fuzzy reality), die auf einfachen lokalen Fuzzy-Reglern basieren (BOGENBERGER, 2002).

In den 90er Jahren wurden mehrere koordinierte Steuerungsstrategien entwickelt; zu unterscheiden sind dabei Erweiterungen bestehender Ansätze, die Entwicklung neuer Ansätze unter Berücksichtigung der benachbarten Anschlussstellen sowie die Entwicklung theoretischer Ansätze unter Einbeziehung des Gesamtverkehrs und eventuell vorhandener Alternativrouten (STÖCKER/TRUPAT, 2001).

Generell als möglich betrachtet wird die Einbeziehung der Lichtsignalsteuerung im nachgeordneten Netz (BMVBW, 2000). Dies wird aber nach bisher vorliegenden Erfahrungen als nicht erforderlich und vorteilhaft angesehen, außer für den Fall, dass die Kapazität der Zufahrtrampe das Aufnehmen der Fahrzeuge eines Umlaufs der Lichtsignalanlage bei gleichzeitig reduziertem Abfluss nicht ermöglicht. Nach HAN/REISS (1994) hat eine Untersuchung zur Steuerung einer Zuflussregelungsanlage mit einer Lichtsignalanlage im nachgeordneten Netz gezeigt, dass Wartezeit und Staulängen auf der Rampe durch variable Zuflussraten (korrespondierend zur Umlaufzeit der Lichtsignalanlage im nachgeordneten Netz) reduziert werden können. Es wurde auch ein Steuerungsverfahren entwickelt, das die Zuflussregelung mit der Geschwindigkeitsregelung verknüpft (STÖVEKEN, 1992). Dabei wurde durch Simulationsrechnungen des Verkehrsablaufs auf der BAB A 40 nachgewiesen, dass Streckenüberlastungen nur durch die Kombination der Geschwindigkeits- und Zuflussregelung vermieden werden können. In einer weiteren Forschungsarbeit wird zur Steuerung des Einfahrtbereichs die Kombination von Zuflussregelung und fahrstreifenbezogener Geschwindigkeitsregelung empfohlen (ZACKOR et al., 2001).

Im Rahmen der Implementierung der Pilotanlage an der BAB A 40 wurde eine Begleituntersuchung der Kriterien und Parameter durchgeführt, mit dem Resultat, dass die maximale Sperrzeit auf 16 s bzw. 11 s reduziert wurde (Mindestzufluss 3 bzw. 4 Kfz/min), da sich der zunächst vorgesehene Mindestzufluss von nur 1 Kfz/min als zu restriktiv herausgestellt hat (TRUPAT, 2001; (STÖCKER/TRUPAT, 2001)). Die Akzeptanz ist sehr stark abhängig von der Dauer der Freigabe; diese sollte deshalb auf die Zeitdauer bis zur Abmeldung des Fahrzeugs begrenzt werden, eine Mindestfreigabezeit von 2 s hat sich nicht bewährt (BMVBW, 2000).

### Anlagenkomponenten

Es wird zwischen Anlagenkomponenten auf der Hauptfahrbahn, auf der Zufahrtrampe, im nachgeordneten Netz und zur Steuerung unterschieden (TRUPAT, 2001; STÖCKER/TRUPAT, 2001; BMVBW, 2000). Auf der Hauptfahrbahn sollte in Abhängigkeit von der Steuerungsstrategie stromauf- und/oder stromabwärts der Zufahrtrampe eine Verkehrsdatenerfassung eingerichtet werden. In der Zufahrtrampe sind Mess- und Anzeigeeinrichtungen zu installieren. Im Bereich vor der Haltlinie sollten eine Freigabezeitanforderungs- und unmittelbar hinter der Haltlinie eine Abmeldeschleife sowie gegebenenfalls in ca. 30 bis 50 m Abstand zum Übergang in das nachgeordnete Netz eine zusätzliche Stauschleife angeordnet werden. Die Regelung des Zuflusses erfolgt über zwei- oder dreifeldige Signalgeber ein- oder beidseitig der Rampe. Der Abstand zwischen der Haltlinie und dem Ende des Beschleunigungsstreifens sollte Untersuchungen zufolge mindestens 200 m betragen (STÖCKER/TRUPAT, 2001; ZACKOR et al., 2001). Als Hinweisschild wird empfohlen, das Zeichen 131 StVO (LSA) (bei alleiniger Information in der Zufahrtrampe mit dem Zusatzschild „Ein Fahrzeug bei GRÜN“ oder „Zuflussregelung“, das mit gelben Blinklichtern ausgerüstet ist, die bei Aktivierung der Regelung eingeschaltet werden) anzuordnen (BMVBW, 2000). Im nachgeordneten Netz werden auf der BAB A 40 umgerüstete Vorwegweiser (VWW) Z 440 StVO mit Dreikantprismen (Neutralstellung – Zuflussregelung mit Z 131 StVO-Anzeige von Z 250 StVO (gesperrt)) und Blinklichter eingesetzt (TRUPAT, 2001; STÖCKER/TRUPAT, 2001). Eine Umrüstung soll allerdings wegen des hohen steuerungstechnischen Aufwands nur erfolgen, wenn für den zufahrenden Verkehrsteilnehmer die Rampe und vor allem der Bereich der Lichtsignal-

anlage schlecht einsehbar sind (TRUPAT, 2001; BMVBW, 2000). Alternativ zu Z 250 StVO kann auch Z 124 StVO (Stau) verwendet werden (BMVBW, 2000).

Die Steuerung kann entweder dezentral vor Ort oder aber über den Anschluss an eine übergeordnete Steuerzentrale erfolgen (STÖCKER/TRUPAT, 2001).

### Wirkungen

In einer Untersuchung der Wirkungen von Zuflussregelungsanlagen auf der BAB A 40 konnte eine deutliche Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs auf der Autobahn nachgewiesen werden, die sich z. B. in einem gesteigerten Geschwindigkeitsniveau und damit Reisezeitgewinnen sowie einem deutlichen Rückgang der Unfälle und Störungen zeigt (STÖCKER/TRUPAT, 2001; BMVBW, 2000). Dabei ist keine negative Beeinflussung des untergeordneten Straßennetzes beobachtet worden; Untersuchungen in den USA bestätigen diese Beobachtungen (STÖCKER/TRUPAT, 2001). Laut der vorläufigen Hinweise für Zuflussregelungsanlagen sind in Einzelfällen hingegen geringfügig längere Wartezeiten auf der Rampe zu erwarten (BMVBW, 2000). Die Untersuchung der Wirkungen von zwei Rampenzuflusssteuerungen in der Schweiz berechnete nach PITZINGER/SPACEK (2001) neben den positiven Folgen für den Verkehrsablauf ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 8 bzw. 15.

Erfahrungen in Großbritannien zeigten, dass die Einfädelvorgänge kleinerer Pulks (8 bis 9 Kfz/Freigabezeit) keine Störungen des Verkehrsablaufs im Einfahrbereich verursachen (ZACKOR et al., 2001).

Ein häufig auftretendes Problem war bei vielen Anlagen die zu Beginn hohe Anzahl von Rotlichtfahrern, mit der Zeit ging deren Zahl aber stets zurück (STÖCKER/TRUPAT, 2001). Als Ursachen für die Rotlichtverletzungen werden die steigende Ungeduld bei längeren Umlaufzeiten sowie die Missachtung der Hinweise, dass nur ein Fahrzeug pro Umlauf die Haltlinie passieren darf, genannt (ZACKOR et al., 2001).

Ein signifikanter Vorteil von koordinierten Steuerstrategien gegenüber lokalen Steuerstrategien konnte noch nicht nachgewiesen werden (STÖCKER/TRUPAT, 2001).

Zum Nachweis der Wirksamkeit ist grundsätzlich ein Vorher-/Nachher-Vergleich der Unfall- und der Störungssituation im Anschlussstellenbereich für

einen Mindestzeitraum von jeweils einem Jahr (in bestimmten Fällen auch für einen Halbjahreszeitraum) durchzuführen; auch Veränderungen des Geschwindigkeitsprofils und der Verkehrsstärke in kritischen Situationen sind als zusätzlicher Nachweis zu dokumentieren (BMVBW, 2000).

### Rechtliche Aspekte

Bei häufigerem Einsatz der Zuflussregelung als Element der Verkehrsbeeinflussung ist laut BMVBW (2000) eine entsprechende Anpassung der Regelwerke (RILSA, StVO bzw. VwV-StVO) anzustreben (während der Zuflussregelung weichen die Zeiten für die Freigabe- (bis zur Abmeldung) und Gelbzeit (1 s) von den Vorgaben der RILSA bzw. der VwV-StVO ab).

#### 5.3.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich gehen die RVS nicht auf die Rampenzuflusssteuerung ein.

In der Schweiz wird die Rampenzuflusssteuerung, die in der Schweizer Fachsprache als Rampenbewirtschaftung bezeichnet wird, in der SN 640 807 behandelt (VSS, 2000c). Aufbauend auf der Definition der Ziele und Voraussetzungen der Rampenbewirtschaftung werden die Steuerungsmodelle ALINEA und McMaster aufgeführt und beschrieben. (Das Modell McMaster wurde in der ausgewerteten Literatur nicht erwähnt. Es handelt sich um ein sehr einfaches Modell, bei dem bei Staubildung auf der Hauptfahrbahn der Zufluss maximal gedrosselt und nach Stauauflösung stufenweise wieder zugelassen wird.) Zur Einzelfahrzeugsteuerung ist eine Freigabezeit von 2 s bei einer variablen Sperrzeit vorgesehen, wobei eine maximale Sperrzeit von 18 s zur Verbesserung der Akzeptanz vorgegeben wird. Die Freigabezeit kann entweder 2 s betragen oder durch eine Abmeldeschleife gesteuert werden, ebenfalls um die Akzeptanz zu verbessern. In der Schweiz ist, im Gegensatz zu Deutschland, die Anwendung zweifeldiger Signalgeber für den Kraftfahrzeugverkehr mit der Signalfolge ROT – GRÜN – ROT zulässig. Zur Pulksteuerung werden eine variable Freigabezeit von mindestens 4 s bei einer variablen Sperrzeit von mindestens 5 s sowie Übergangszeiten (GELB bzw. ROT und GELB) vorgegeben.

In Frankreich wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ das Thema Rampenzuflusssteuerung behandelt (METL, 1996). In

Kapitel 1, Artikel 109-3 B, werden zwei Ausführungsvarianten für Signalgeber zur Rampenzuflusssteuerung beschrieben. Die erste gleicht einem gewöhnlichen dreifeldigen Signalgeber. Bei der zweiten Variante wird das grüne Leuchtfeld durch ein gelb blinkendes Leuchtfeld ersetzt. In Kapitel 3, Artikel 111-1, wird die Anwendung der Rampenzuflusssteuerung beschrieben. Dort werden kurz die Einsatzkriterien sowie geeignete Standorte erläutert.

In Großbritannien werden in den „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DfT, 2002b) in Teil 1, Sektion 5, Nr. 37 und 38, Lichtsignale für die Rampenzuflusssteuerung beschrieben. Demnach gibt es zwei verschiedene Lichtsignale, die verwendet werden können. Diese unterscheiden sich durch das dargestellte Symbol in der Mitte. Wenn das Lichtsignal an der Seite aufgestellt ist (Autobahnzufahrt), darf nicht passiert werden. Ist das Signal über einem Fahrstreifen angebracht, darf auf diesem Fahrstreifen nicht weitergefahren werden.

In den USA befasst sich im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ das Kapitel 4 (Highway Traffic Signals) und dort Kapitel 4H (Traffic Control Signals for Freeway Entrance Ramps) mit der Rampenzuflusssteuerung (US DOT, 2003). Eine Rampenzuflusssteuerung wird eingesetzt, wenn sich durch diese Maßnahme die Gesamtreisezeit auf der Schnellstraße, einschließlich Zufahrten und des nachgeordneten Straßennetzes, verkürzen lässt und mindestens eine der drei folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Überlastung der Hauptfahrbahn (es werden Untergrenzen für die Geschwindigkeit von 80 km/h bis 50 km/h innerhalb einer halben Stunde als Kriterium genannt) oder zu viele Unfälle auf der Zufahrt,
- die Zuflussregelung wird in ein örtliches Verkehrsmanagement eingebunden, um bestimmte Ziele zu erreichen,
- auf bestimmten Abschnitten kommt es zu kurzzeitigen Spitzenbelastungen durch Veranstaltungen oder Freizeitverkehr.

Der Einrichtung einer Rampenzuflussregelung soll eine Untersuchung vorangehen; zu den Inhalten der Untersuchungen werden ausführlich Anforderungen formuliert. Außerdem sollen Betrachtungen der voraussichtlichen Akzeptanz in der Öffentlichkeit sowie der Voraussetzungen an eine Rampen-

zuflusssteuerung als auch alternativer Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung, Nachfragereduzierung oder zur Verbesserung der Hauptfahrbahn stattfinden. Die Lichtsignalanlage hat den allgemeinen Anforderungen an eine Lichtsignalanlage zu entsprechen, mit den Ausnahmen, dass entweder zweifeldige (ROT-GRÜN) oder dreifeldige (ROT-GELB-GRÜN) Signalgeber eingesetzt werden können. Die Lichtsignalanlage sollte so gestaltet und aufgestellt sein, dass sie von der Hauptfahrbahn aus möglichst nicht zu sehen ist.

In Japan wird bisher keine Rampenzuflusssteuerung angewendet.

### 5.3.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Zur Rampenzuflusssteuerung wurden keine Praxiserfahrungen benannt. Sicherheitsbedenken bestehen von Seiten des Tiefbauamts Dortmund beim geplanten Einsatz einer Zuflussregelung an einer planfrei ausgebauten Anschlussstelle.

### 5.3.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Die oben aufgeführten Themen werden ausgiebig behandelt. Wesentliche Widersprüche konnten nicht identifiziert werden. In einigen Bereichen besteht aber weiterer Forschungsbedarf. Der derzeitige Forschungsstand gibt insbesondere hinsichtlich der folgenden Fragen keine Antworten:

- Gibt es signifikante Unterschiede zwischen den Wirkungen von koordinierten und lokalen Steuerungsstrategien?
- Welche rechtlichen Aspekte der Zuflussregelung sind noch zu klären?

### 5.3.6 Innovationsgrad

#### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Die (Mindest-)Freigabe- und die Gelbzeit (1 s) weichen von den Vorgaben der RiLSA ab.

#### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Die (Mindest-)Freigabe- und die Gelbzeit (1 s) weichen von den Vorgaben der VwV-StVO ab. Weiterhin ist die Anordnung von Lichtsignalanlagen auf Bundesautobahnen nicht zulässig, sodass beachtet werden muss, dass das Zeichen 330 StVO (Autobahn) erst hinter der Rampenzuflusssteuerung angeordnet werden darf.

### **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Im Rahmen der umfangreichen Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der Rampenzuflusssteuerung wurde eine Vielzahl von Erkenntnissen zu deren Vor- und Nachteilen gewonnen. Auf der einen Seite konnten positive Wirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit (Geschwindigkeitsniveau, Reisezeitgewinne, weniger Unfälle und Störungen, Einfahrhilfe) nachgewiesen werden. Die Rampenzuflusssteuerung ist somit eine geeignete Maßnahme zur Verkehrsbeeinflussung und es ist eine allgemein hohe Akzeptanz zu erwarten. Sowohl bei den Betreibern als auch in der Fachöffentlichkeit dürfte das erwiesene günstige Kosten-Nutzen-Verhältnis die Akzeptanz zusätzlich steigern. Auf der anderen Seite sind eventuell Akzeptanzprobleme aufgrund längerer Wartezeiten bzw. Rückstaus auf der Zufahrt und der Auswirkungen auf das nachgeordnete Netz möglich.

#### **5.3.7 Handlungsbedarf**

##### **Richtlinienrelevanz der Fragestellung**

Die Richtlinienrelevanz ist, aufgrund des zunehmenden Einsatzes von Zuflussregelungsanlagen, sehr groß.

##### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Der AK 3.16.16 hat das Thema Rampenzuflusssteuerung noch nicht behandelt.

##### **Erfordernis der Neuregelung**

Da sich der Abschnitt Rampenzuflusssteuerung derzeit in der Bearbeitung befindet, werden an dieser Stelle keine Textvorschläge vorgestellt.

## **6 Technische Ausführung**

### **6.1 Steuergerät**

#### **6.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

In den RiLSA 1992 wird auf die Steuergeräte in Kapitel 9.6 entsprechend den verschiedenen Aspekten der elektrotechnischen Ausführung eingegangen. Grundsätzlich wird auf die Gültigkeit der DIN VDE 0832 verwiesen (VDE, 2002). Als Steuerungsarten werden die Einzel-, die Gruppen- und die Gebietssteuerung genannt. In Abhängigkeit von der Fragestellung, ob die Verkehrsströme eines Knoten-

punkts im Rahmen der jeweiligen verkehrstechnischen Zielvorstellungen einzeln angesteuert werden müssen, werden die unterschiedlichen Steuerungstechniken beschrieben. Weiterhin werden die verschiedenen Gerätearten Schaltgerät, Steuergerät und Gruppensteuergerät dargestellt. Die genannten Themen werden nur grundsätzlich behandelt. Für Einzelheiten wird auf das „Merkblatt über Schalt- und Steuergeräte“ verwiesen, das jedoch 2003 von der FGSV (1988a) zurückgezogen wurde. Bezüglich der Organisationsformen von Steuergeräten wird jedoch in einem Entwurf des AK 3.16.16 zum Abschnitt „Technische Ausführung“ (Stand 03.02.2005) auf die „Hinweise zu Verkehrsrechnern als Bestandteil der innerörtlichen Lichtsignalsteuerung“ aus dem Jahr 2001 verwiesen (FGSV, 2001b).

#### **6.1.2 Erreichter Forschungsstand**

Steuergeräte werden in den Forschungsaktivitäten der vergangenen Jahre nicht in grundsätzlicher Weise im Sinne der RiLSA betrachtet. In Fachveröffentlichungen wie von WULFFIUS und BORMET (1994) werden Produkte einzelner Hersteller dargestellt, die in der Regel keine unmittelbare Richtlinienrelevanz haben.

ALBRECHT et al. (2000) beschreiben die Anforderungen der OCA (Open Traffic Systems City Association) als Verbund von Städten im deutschsprachigen Raum an eine offene Standardschnittstelle für Geräte der Straßenverkehrstechnik, die im Rahmen von OCIT (Open Communications Interface for Road Traffic Control) umgesetzt wird.

#### **6.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

In Österreich wird in der RVS 5.33 in Kapitel 3.2 auf allgemeine Anforderungen an die Gestaltung und Aufstellung von Steuergeräten eingegangen (FSV, 1998c). Genaue Anforderungen sind in den österreichischen Normen V2000, V2001, V2002 (jeweils Steuergeräte für Verkehrslichtsignalanlagen) und V2004 (Steuertableau für Verkehrslichtsignalanlagen) beschrieben. Darüber hinaus werden in Kapitel 3.4 kurz Steuerzentralen (Geräteschränke, Gebietsrechner, zentrale Bedienrechner) angesprochen.

In der Schweiz wird die Thematik der Steuergeräte in einer eigenen Norm, der SN 640844-3 „Steuergeräte für Lichtsignalanlagen – Funktionelle Sicherheitsanforderungen“, entsprechend der auch in Deutschland gültigen EN 12675:2000 behandelt (DIN, 2000).

In Frankreich wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ nicht auf Steuergeräte eingegangen (METL, 1996).

In Großbritannien wird in der „Specification for Traffic Signal Controller“ auf Steuergeräte eingegangen (Highways Agency, 2001). Es werden unter anderem die Technologie, mechanische Komponenten und Standardschnittstellen beschrieben. Organisationsformen werden im „Installation Guide for Urban Traffic Control“ behandelt“ (Highways Agency, 2002).

In den USA wird die Thematik der Steuergeräte im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ nicht behandelt (US DOT, 2003).

In Japan scheinen die Steuergeräte der Lichtsignalanlagen grundsätzlich etwas einfacher ausgeführt zu sein als in Deutschland. Weitere Informationen liegen nicht vor.

#### **6.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis**

Die einzige zum Themenfeld Steuergerät vorliegende Rückmeldung bezieht sich darauf, dass ein Hinweis aufgenommen werden sollte, dass neue Steuergeräte für die ÖPNV-Beschleunigung tauglich sein müssen.

#### **6.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf**

Im Bereich der Steuergeräte betreiben die Systemhersteller kontinuierlich Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Dies umfasst auch die Weiterentwicklung von OCIT in Abstimmung mit der OCA. Darüber hinausgehende Forschung von Dritten scheint jedoch nicht zielführend.

#### **6.1.6 Innovationsgrad**

Da die Thematik nicht in der aktuellen Forschung betrachtet wurde, ergeben sich keine Abweichungen zu bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und damit auch keine Reaktionen in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern.

#### **6.1.7 Handlungsbedarf**

##### **Richtlinienrelevanz der Fragestellung**

Es erscheint wichtig, dass in den RiLSA der Begriff des Steuergeräts eingeführt wird und allgemeine Grundlagen angesprochen werden. Alle weiteren Erläuterungen gehören in speziellere Papiere des

Normen- und Richtlinienwerks wie z. B. in die „Hinweise zu Verkehrsrechnern als Bestandteil der Lichtsignalsteuerung“ (FGSV, 2001b) und die DIN 0832-100, in denen sie derzeit auch zu finden sind (VDE, 2002).

#### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.15**

Die Bedeutung des Steuergeräts in den neuen RiLSA wird insofern angehoben, als es direkt zu Beginn des Abschnitts 5 „Technische Ausführung“ explizit in der zweiten Überschriftenebene genannt wird. Inhaltlich wird kurz auf wesentliche Funktionen des Steuergeräts sowie auf die Organisationsform, also ob es sich z. B. um eine Einzelsteuerung ohne Anschluss an einen Verkehrsrechner oder um eine koordinierte Steuerung handelt, eingegangen.

#### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus besteht nur sehr geringer Änderungsbedarf. Um darauf hinzuweisen, dass gegebenenfalls eine ÖPNV-Beschleunigung eingerichtet werden muss und dafür besondere Maßnahmen notwendig sind, sollte in der Aufzählung zu den Funktionen eines Steuergeräts der Punkt „die Möglichkeit zur Bevorrechtigung von ÖPNV-Fahrzeugen“ ergänzt werden.

## **6.2 Aktorik**

### **6.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

In den RiLSA 1992 wird die Aktorik nicht ausdrücklich behandelt, sie ist jedoch in den Abschnitten 9.2 „Lichttechnische Ausführung“, 9.3 „Gestaltung der Leuchtfelder“, 7.5 „Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte“ (Neufassung in RiLSA-Teilfortschreibung 2003) sowie Anhang I „Signalgeber und Sinnbilder“ berücksichtigt.

In Kapitel 9.2 „Lichttechnische Ausführung“ wird zunächst auf DIN 67 527 Teil 1 und DIN 6163 Teil 5 verwiesen (DIN, 2001a; DIN, 2001b). Weiterhin befasst sich der Abschnitt mit der Erkennbarkeit der Signale, dem Phantomlicht, der Größe der Leuchtfelder sowie der Betriebsspannung. In Kapitel 9.3 „Gestaltung der Leuchtfelder“ werden die Ausführungen der verschiedenen Signalgeber beschrieben. Der Abschnitt 7.5 „Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte“ in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 erläutert die Einsatzbereiche und die technische Ausgestaltung der Zusatzein-

richtungen. Im Anhang I „Signalgeber und Sinnbilder“ wird zunächst auf die Sinnbilder (Pfeile, Fußgängersignale, Radfahrsignale, Signale für Straßenbahnen und Linienbusse, Sinnbilder im gelben Blinklicht, Fahrstreifensignale sowie Geschwindigkeitssignale) eingegangen. Zur einheitlichen Ausführung der Verkehrszeichen soll auf die Bildbank der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zurückgegriffen werden. Weiterhin wird mit Bezug zur Aktorik das Thema Blenden an Signalgebern behandelt.

### 6.2.2 Erreichter Forschungsstand

Die Veröffentlichungen, die dem Themenfeld Aktorik zugeordnet wurden, befassen sich überwiegend mit akustischen und taktilen Signalgebern für Sehbehinderte, aber auch mit der Erkennbarkeit der Signale sowie mit Kontrastblenden an Signalgebern. Viele der oben genannten Aspekte der Aktorik werden nicht thematisiert.

#### Akustische und taktile Signalgeber für Blinde und Sehbehinderte

Eine Befragung von Experten für Orientierung und Mobilität in den USA zu beobachteten Problemen von Blinden und Sehbehinderten an Lichtsignalanlagen hat ergeben, dass große Schwierigkeiten beim Erkennen des richtigen Zeitpunkts für die Überquerung, beim Halten der Richtung sowie beim Auffinden des Anforderungstasters (bzw. das Erkennen der Notwendigkeit, einen Anforderungstaster betätigen zu müssen) bestehen (BENTZEN et al., 2000).

In Berlin wurde in einem Modellprojekt mit Hilfe einer Befragung und einer akustischen Begleituntersuchung ein blindengerecht ausgebauter Knotenpunkt (gemäß DIN 32 981 (DIN, 2002) und RiLSA 1992) untersucht (JESCHKE/VOGT, 1995). Es zeigte sich, dass Lichtsignalanlagen mit den folgenden zusätzlichen Komponenten ausgestattet werden sollten (vgl. dazu Kapitel 6.5):

- Orientierungssignalgeber (Dauersignale) mit automatischer Anpassung an den Umgebungsgeräuschpegel, Montage direkt am Mast;
- Anforderungstaster (in Kombination mit Vibratoren), Anbringung an der Unterseite des Geräts zur Vermeidung von unbefugtem Auslösen;
- akustische Signalgeber mit einer Tonfrequenz von 880 Hz +/-50 Hz und einer Taktfrequenz von

2 Hz +/-0,2 Hz und SchalldruckpegelEinstellung entsprechend der Fahrbahnbreite jeder Fußgängerfurt, mit automatischer Anpassung an den Umgebungsgeräuschpegel;

- taktile Signalgeber an der Unterseite des Anforderungsgeräts (mit Richtungspfeil);
- Aufmerksamkeitsfelder (Rillenplatten) sowie
- abgesenkte Bordsteine auf eine Höhe von 3 cm. Dieser Wert stellt einen Kompromiss zwischen den Anforderungen der Blinden und Sehbehinderten und Rollstuhlfahrer dar.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden von den Autoren für übertragbar gehalten; die am Modellprojekt Beteiligten empfehlen die Berücksichtigung in künftigen Richtlinien und Konzepten. In der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 ist bereits, im Gegensatz zu den RiLSA 1992, die Einrichtung von Orientierungssignalgebern sowie von Aufmerksamkeitsfeldern berücksichtigt, sodass die oben aufgeführten Empfehlungen den Ausführungen in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 entsprechen.

Einen Überblick zu in den USA eingesetzten Zusatzeinrichtungen und Empfehlungen gibt der Leitfaden zur barrierefreien Fußgängersignalisierung („Guidelines for Accessible Pedestrian Signals“) von 2003 sowie der im MUTCD empfohlene Leitfaden „Accessible Pedestrian Signals“ von 1998, der auf dem im Juni 1998 verabschiedeten „Transportation Equity Act for the 21st century (TEA 21)“ basiert (BARLOW et al., 2003b; BENTZEN/TABOR, 1998). Danach sind die Belange von Sehbehinderten bei der Planung von Verkehrsprojekten zu berücksichtigen. In seiner Auswertung dieses Leitfadens weist ROSSBANDER (1999) darauf hin, dass die aktuelle Vorgehensweise in diesem US-amerikanischen Leitfaden stärker von einem anderen Mobilitätsideal (Behindertenmobilität überall) als in Deutschland (Zusatzeinrichtungen vor allem an stark frequentierten Punkten) geprägt ist (ROSSBANDER, 1999). Das Spektrum an Zusatzeinrichtungen ist im Richtlinienwerk der USA größer als in Deutschland (ROSSBANDER, 1999; BARLOW et al., 2003a; 2003b). So weist ROSSBANDER darauf hin, dass es in Deutschland, im Gegensatz zu den USA, ausschließlich akustische Signalgeber mit Orientierungs- und Freigabesignal, gegebenenfalls kombiniert mit Vibrationstastern und mechanischen Anforderungsschaltern gibt; der Einsatz von Lautsprecheranlagen und Sender/Empfängersystemen ist z. B. nicht vorgesehen.

Eine zunehmende Verbreitung von Lautsprechern für Sprachnachrichten in den USA als Zusatzeinrichtungen wird von BARLOW et al. (2003b) festgestellt. Es werden Empfehlungen zur Ausgestaltung von Sprachnachrichten gegeben: Z. B. sollten diese nicht im Befehlstone und einheitlich formuliert sein und nicht den Eindruck vermitteln, dass das Überqueren der Fahrbahn sicher ist; für Empfehlungen zu Modell-Sprachnachrichten wird in dieser Leitlinie auf eine vorangegangene Untersuchung derselben Autoren verwiesen (BENTZEN et al., 2002).

Auch auf die Möglichkeiten durch den Einsatz neuer mobiler Informationstechnologien zur Übertragung von Fußgängersignalen, wie z. B. Mobiltelefone und andere mobile Kommunikationsgeräte, weisen BARLOW et al. (2003a) hin; so befand sich zum Zeitpunkt der Veröffentlichung ein entsprechender Handheld-PC in der Entwicklung.

Weiterhin wird die automatische Lautstärkeanpassung von akustischen Signalen von BARLOW et al. (2003a) diskutiert; diese wird positiv beurteilt, da die Lärmbelastung für die Umgebung minimiert und Verkehrsräusche, die für Blinde und Sehbehinderte zur Beurteilung der Situation am Knotenpunkt wichtig sind, bei einem niedrigen Geräuschpegel von den akustischen Signalen nicht übertönt werden.

### **Erkennbarkeit der Signale**

Mit der Erkennbarkeit der Signale befasste sich das Institute of Transportation Engineers (ITE, 2003) im Rahmen einer Untersuchung zu Rotlichtüberfahrten. Die Auffälligkeit der Signale kann durch die Anbringung von zwei roten Leuchtfeldern, LED-Signalgebern, Kontrastblenden sowie durch Blinklichter erhöht werden. Es wird von einer Untersuchung berichtet, durch die nachgewiesen werden konnte, dass die Anbringung eines zweiten roten Leuchtfelds zur einer Reduzierung der Unfälle um 33 % führt. In weiteren Forschungsarbeiten konnte nachgewiesen werden, dass durch den Einsatz von LED-Signalgebern die Reaktionszeiten verkürzt und die Anzahl der Rotlichtüberfahrten verringert werden können. Allerdings wird auch auf die Problematik der Blendwirkung von LED-Signalgebern in der Nacht aufgrund der besonders hohen Leuchtstärke der LEDs hingewiesen. Die LED-Signalgeber sollten fest an den Masten befestigt sein, um die Beweglichkeit einzuschränken und einen möglichen Blinkeffekt zu verhindern (zu Erkenntnis-

sen zu Kontrastblenden an Signalgebern siehe unten). Der Einsatz von LED-Signalgebern ist in Japan weit verbreitet. Insbesondere die Langlebigkeit der Leuchtdioden wird als großer Vorteil gesehen.

### **Größe der Leuchtfelder**

Es konnte nachgewiesen werden, dass durch den Einsatz von 300 mm (12-in.) statt 200 mm großen Leuchtfeldern die Anzahl der Unfallereignisse abnimmt (ITE, 2003).

### **Kontrastblenden an Signalgebern**

Untersuchungen an sechs Knotenpunkten in Kanada mit gelben retroreflektierenden Kontrastblenden haben ergeben, dass in einem Dreijahres-Zeitraum die Anzahl der Unfälle an entsprechend ausgestatteten Knotenpunkten signifikant zurückging (ITE, 2003).

Zwei Veröffentlichungen von JANOFF (1991, 1994) beziehen sich auf eine groß angelegte Literaturrecherche zur Sichtbarkeit von Signalen. Die in diesen Veröffentlichungen gemachten Aussagen betreffen vorwiegend die lichttechnischen Vorschriften (DIN-Normen), es werden aber auch Erkenntnisse zu Kontrastblenden an Signalgebern dargestellt. Das Vorhandensein einer Kontrastblende verringert diesen Veröffentlichungen zufolge die erforderliche Intensität der Leuchtfelder um 25 % bis 40 %, wobei der Effekt bei größeren Entfernungen abnimmt. Als die optimale Größe (Breite) einer Kontrastblende wurde für einen Signalgeber mit 200-mm-Leuchtfeldern 600 mm ermittelt.

### **6.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

In Österreich werden in den RVS 5.33 im Kapitel 3 (Ausführung der Anlagen) und dort in Kapitel 3.1 (Signalgeber) Aussagen gemacht, die das Themenfeld Ausrüstung betreffen (Highways Agency et al., 2005). Zunächst wird auf österreichische Normen verwiesen, in denen u. a. die Abmessungen, Eigenschaften, Farben und Farbgrößen der Leuchtfelder festgelegt sind. Bezüglich der Lichtstärken, der Lichtstärkenverteilung sowie zur Begrenzung des Phantomlichts gilt DIN 67527 Teil 1 (DIN, 2001a). Die weiteren in dieser Norm gemachten Aussagen entsprechen im Wesentlichen den Aussagen in den RiLSA 1992, Kapitel 9.1 bis 9.3. Fußgängersignalgeber für Blinde und Sehbehinderte werden nur

kurz behandelt, für deren Ausführung wird auf weitere österreichische Normen verwiesen.

In der Schweiz finden sich Ausführungen zur Akto-rik in der SN 640 836 (Gestaltung der Signalgeber) sowie in der SN 640 836-1 (Lichtsignalanlagen – Signale für Sehbehinderte) (VSS, 1994b; VSS, 2000d). Bis auf die Möglichkeit, für Fußgänger bzw. Fußgänger und Radfahrer rechteckige Leuchtfelder zu verwenden, unterscheidet sich die SN 640 836 im Wesentlichen nicht von den in den RiLSA 1992 gemachten Aussagen. Hingegen werden in den SN 640 836-1 nicht nur Anforderungen an akustische und taktile Fußgängersignale, sondern im Gegensatz zu Kapitel 7.5 (Zusatzeinrichtungen für Sehbehinderte) in den RiLSA 1992 auch an optische (modulierte, mit tragbaren Empfängern erschlossene) Fußgängersignale für Sehbehinderte festgelegt. Es handelt sich dabei um optische LED-Fußgängersignale mit moduliertem Licht, das von einem Handgerät detektiert werden und akustisch oder taktil wiedergegeben werden kann.

In Frankreich werden in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ Aussagen zum Thema Akto-rik gemacht (METL, 1996). Das Kapitel 1 beschäftigt sich mit der Gestaltung der Signalgeber und der Erkennbarkeit von Signalgebern; auch die Größe der Leuchtfelder wird behandelt (200 mm und 300 mm).

In Großbritannien werden in den „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DFT, 2002b) in Teil 1, Sektion 5, alle Lichtsignale und die darin enthaltenen Sinnbilder in einzelnen Abschnitten erklärt und jeweils auf Abbildungen verwiesen, in denen die Lichtsignale mit den zulässigen Abmessungen dargestellt sind; grundsätzlich haben die Lichtsignale der europäischen Norm EN 12368:2000 zu entsprechen. Des Weiteren existieren offizielle „advisory leaflets“ zu den verschiedenen Formen der Fußgänger- und Radfahrersignalisierung.

Aussagen mit Bezug zur Akto-rik in den USA sind im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ in Kapitel 4D (Traffic Control Signal Features; Signalgeber allgemein und Kraftfahrzeugsignalgeber im Besonderen), sowie in Kapitel 4E (Pedestrian Control Features; Fußgängersignalgeber) zu finden (US DOT, 2003). Wie in Deutschland sind, nach Kapitel 4D.15 (Size, Number and Location of Signal Faces by Approach), runde Leuchtfelder mit 200 mm und 300 mm Größe vorgesehen. Für den Einsatz von 300 mm großen Leuchtfeldern

gelten ähnliche Kriterien wie in den RiLSA 1992; zusätzlich ist aber das Kriterium benannt, 300 mm große Leuchtfelder an Knotenpunkten einzusetzen, die zu einem hohen Anteil von älteren Menschen befahren werden. In Kapitel 4D.16 (Number and Arrangement of Signal Sections in Vehicular Traffic Signal Faces) wird erläutert, nach welchen Kriterien und auf welche Weise die Leuchtfelder horizontal oder vertikal anzuordnen sind. In Kapitel 4D.17 (Visibility, Shielding and Positioning of Signal Faces) sind Ausführungen zu Anordnungsmöglichkeiten der Leuchtfelder, Abschirmblenden, Sichtblenden und Kontrastblenden (mit dem Hinweis, dass diese auch hilfreich für ältere Verkehrsteilnehmer sind) enthalten. Hinweise zur Gestaltung der Signalgeber und der lichttechnischen Ausführung finden sich in Kapitel 4D.18 (Design, Illumination and Color of Signal Sections). Die Kapitel 4E.01 (Pedestrian Signal Heads), 4E.02 (Meaning of Pedestrian Signal Head Indications) sowie 4E.10 (Pedestrian Intervals and Signal Phases) beziehen sich allgemein auf Fußgängersignalgeber. Das Kapitel 4E.04 (Size, Design and Illumination of Pedestrian Signal Head Indications) enthält Ausführungen zur Gestaltung der Leuchtfelder. Als Symbole gibt es in einem eckigen Leuchtfeld einen schreitenden Fußgänger (weiß) bzw. den Text „WALK“ (jeweils nicht blinkend) und eine erhobene Hand (Portland-orange) bzw. den Text „DON'T WALK“ (jeweils nicht blinkend bzw. blinkend während der Räumzeit). Die Belange der sehbehinderten Fußgänger werden in Kapitel 4E.06 (Accessible Pedestrian Signals) berücksichtigt. In diesem Kapitel werden Einsatzkriterien definiert, Empfehlungen für die Ausführung gegeben und es wird empfohlen, den U.S.-Access Board-Leitfaden „Accessible Pedestrian Signals“ (Document A-37) für die barrierefreie Ausstattung heranzuziehen (BENTZEN/TABOR, 1998) Im Unterschied zu der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 sind auch Sprachdurchsagen für Sehbehinderte vorgesehen. Das Kapitel 4E.07 (Countdown Pedestrian Signals) enthält Ausführungen zu Countdown-Anzeigen für Fußgänger, die die Restsekunden der Freigabezeit für Fußgänger (gleichzeitig mit der Anzeige der blinkenden, erhobene Hand) anzeigen sollen.

Im Straßenraum der Großstädte in Japan sind zahlreiche Lautsprecheranlagen installiert, die im Zusammenhang mit der Videoüberwachung von der Verkehrsüberwachungszentrale aus genutzt werden können, um Anweisungen an die Verkehrsteilnehmer zu geben. Sie werden beispielsweise bei

Unfällen, Störfällen oder auch regelwidrig halten- den Fahrzeugen eingesetzt. Die Informationsüber- mittlung an die Verkehrsteilnehmer erfolgt auch über elektronische Anzeigetafeln im Straßenraum. Markierungsstreifen zur Führung sehbehinderter Fußgänger werden in Japan sehr umfassend ein- gesetzt. An nahezu allen Knotenpunkten sind sol- che Markierungsstreifen in gelber Farbe und mit strukturierter Oberfläche jeweils vor dem Beginn der Konfliktfläche mit den Kraftfahrzeugen ange- bracht. Die akustische Signalisierung für blinde oder sehbehinderte Fußgänger wurde 1975 lan- desweit vereinheitlicht und verbindlich festgelegt. Es gibt zwei Arten, eine Freigabe akustisch zu sig- nalisieren: zum einen elektronisches Vogelgezwit- scher und zum anderen japanische Volkslieder.

#### 6.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Die Praxisrückmeldungen konzentrieren sich auf die Beschreibung von Problemen beim Einsatz von akustischen Signalgebern für Blinde und Sehbe- hinderte, bis hin zu einer Anwohnerklage gegen die Stadt Dortmund. Es wird die Forderung aufgestellt, die Notwendigkeit von akustischen Signalen wei- terhin im Einzelfall unter Abwägung von Lärm- schutz und Gleichstellung von Behinderten zu prü- fen, wofür das Richtlinienwerk entsprechende Hin- weise liefern sollte. Grundsätzlich sollte die Laut- stärke-Regelung in Abhängigkeit von der Stärke der Umfeldgeräusche erfolgen.

Auch die begrenzten finanziellen Ressourcen spre- chen für einen differenzierten Einsatz akustischer Signalgeber, wobei argumentiert wurde, dass mit den vorhandenen Mitteln durch eine reduzierte Ausstattung mehr Anlagen ausgerüstet werden können. Solche Lösungen könnten im Einverneh- men mit Blindenverbänden umgesetzt werden.

Zur Reduzierung der Lärmproblematik wird der Be- darf an Produkten gesehen, die den Sehbehinderten in die Lage versetzen, durch eigene Anforderung den gesuchten Signalmast auffinden zu können.

Bei der Anwendung akustischer Signalgeber wurde beobachtet, dass das akustische Freigabesignal bei entsprechender Windstärke „verblassen“ wird. Dadurch entsteht der Eindruck, die Schallquelle befinde sich an einem anderen Ort als dem tatsächlichen Standort. Dies führte dazu, dass Nut- zer dieses Signals in ungünstigen Fällen und be- sonders bei böigem Wind in die Mitte des Knoten- punkts geführt wurden.

#### 6.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Auf dem Gebiet der barrierefreien Fußgängersigna- lisierung wurde weitreichende Forschung betrie- ben. Die wesentlichen Erkenntnisse wurden in ak- tuellen Richtlinien umgesetzt. Es wird kein weiterer Forschungsbedarf gesehen.

Bezüglich der Erkennbarkeit der Signale gibt es keine Erkenntnisse zur Problematik von komplexen Hintergründen bei Tageslicht sowie zu Anforderun- gen an die Intensität von Leuchtfeldern bei un- günstigen Wetterbedingungen. In mehreren Veröf- fentlichungen wird auf die Notwendigkeit von For- schung zur Schaltung unterschiedlicher Lichtstär- ken bei Tag und bei Nacht hingewiesen (maximale Intensität, Blendeffekt, insbesondere von LEDs bei Nacht).

#### 6.2.6 Innovationsgrad

##### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Einige der beschriebenen Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte in den USA, insbeson- dere Lautsprecheranlagen und Sender-/Empfän- gersysteme, sind nach der RiLSA-Teilfortschrei- bung 2003 nicht vorgesehen.

Nach den RiLSA 1992 soll das innere Feld der Kon- trastblende schwarz und die Umrandung weiß mit schwarzer Kante sein; eine gelbe Kontrastblende weicht von dieser Regelung ab. Die empfohlene Breite für eine Kontrastblende ist laut RiLSA 1992 450 mm; die in der Literatur empfohlene Abmes- sung (600 mm) weicht von dieser Regelung ab.

##### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Einige der in den USA verwendeten Zusatzeinrich- tungen für Blinde und Sehbehinderte entsprechen nicht der DIN 32 981 (DIN, 2002).

##### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffent- lichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilneh- mern

Vor allem auf dem Gebiet der Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte ist eine rege For- schungstätigkeit zu verzeichnen. In mehreren Un- tersuchungen wurden die betroffenen Gruppen di- rekt oder indirekt eingebunden, und es wurden Feldversuche durchgeführt, sodass bezüglich der Probleme Sehbehinderter und der barrierefreien

Ausstattung sehr nutzer- und praxisorientierte Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Aufgrund dieser Vorgehensweise ist von einem hohen Akzeptanzpotenzial für die empfohlenen Zusatzeinrichtungen z. B. nach JESCHKE und VOGT (1995) auszugehen.

### 6.2.7 Handlungsbedarf

#### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Das Themenfeld ist richtlinienrelevant. Insbesondere die Erkenntnisse zu akustischen und taktilen Signalgebern für Blinde und Sehbehinderte sind aufzugreifen.

#### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Der Entwurf des AK 3.16.16 sieht eine Zusammenführung der vorgenannten Abschnitte zu einem neuen Kapitel 5.2 „Ausgestaltung der Aktorik: Lichtsignale, akustische und taktile Signalgeber“ (Stand 03.02.2005) in den RiLSA 200X vor, das untergliedert wird in die Abschnitte

- Hinweise auf lichttechnische Vorschriften,
- Erkennbarkeit der Signale,
- Phantomlicht,
- Größe der Leuchtfelder,
- Betriebsspannung,
- Kraftfahrzeugsignalgeber,
- Fußgängersignalgeber,
- Radfahrersignalgeber,
- Signalgeber für Straßenbahnen und Linienbusse,
- Hilfssignalgeber,
- Fahrstreifensignalgeber,
- Geschwindigkeitssignalgeber,
- einheitliche Gestaltung der Sinnbilder in den Leuchtfeldern,
- Abschirmblenden an Signalgebern (Schuten),
- Sichtblenden an Signalgebern,
- Kontrastblenden an Signalgebern und
- akustische und taktile Signalgeber für Sehbehinderte.

Inhaltlich haben sich verschiedene kleinere Änderungen ergeben. Dazu gehört z. B., dass die „Am-

pelmännchen“ bei der Gestaltung der Leuchtfelder mit aufgenommen werden. Insbesondere aufgrund der höheren Leuchtkraft des roten Ampelmännchens werden die Ampelmännchen in der Fachwelt positiv beurteilt und so jeweils an erster Stelle (also vor der Variante, wie sie in den RiLSA 1992 aufgeführt ist) genannt.

Weiterhin wird die Rasterdarstellung von Fahrstreifen- und Geschwindigkeitssignalen kein Bestandteil der RiLSA 200X mehr sein. Stattdessen ist ein eigener Abschnitt über akustische und taktile Signalgeber eingeführt, der die Inhalte der DIN 32981 „Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA)“ kurz zusammenfasst (DIN, 2002).

#### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

In der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 wurden die Forschungserkenntnisse der letzten Jahre bereits berücksichtigt. Darüber hinaus konnten durch die Literaturanalyse keine grundsätzlich neuen Erkenntnisse ermittelt werden, die Neuregelungen der RiLSA über die vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16 hinaus erforderlich machen.

## 6.3 Anzahl und Aufstellung der Signalgeber

### 6.3.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Die RiLSA 1992 beschreiben in Kapitel 9.4 die Anzahl und Aufstellung der Signalgeber differenziert nach Kraftfahrzeugen, Fußgängern, Radfahrern und Straßenbahnen und Linienbussen sowie für Hilfs-, Fahrstreifen und Geschwindigkeitssignalgeber. Für Kraftfahrzeuge sind die Anzahl der gesondert signalisierten Verkehrsrichtungen der Zufahrten und der Ausbauquerschnitt maßgebend. Ergänzende Hinweise werden für die angezeigte Zugabe- oder Vorgabezeit für Linksabbieger im Knotenpunkt („Diagonalgrün“), ein- oder zweifeldige Richtungssignalgeber für zeitweilig gesichert geführte Rechtsabbieger und für aufgeweitete Kreuzungen mit überbreiten Mittelstreifen gegeben.

### 6.3.2 Erreichter Forschungsstand

Die Anzahl und die Aufstellung der Signalgeber werden in den erfassten Veröffentlichungen nicht als grundsätzliches Kernthema behandelt.

Für den US-amerikanischen Raum wurden Maßnahmen gegen Rotlichtverstöße in einem Handbuch zusammengefasst (ITE, 2003). Über die Vor-

gaben im US-amerikanischen Richtlinienwerk „Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD)“ hinaus werden hier grundsätzlich ein Signalgeber je Fahrstreifen über der Fahrbahn sowie ergänzende Signalgeber neben der Fahrbahn empfohlen (US DOT, 2003). Die Signalgeber sollten möglichst nah an der Blickrichtung des Fahrers angebracht und es sollte besondere Sorgfalt darauf verwendet werden, Sichtbehinderungen durch Hindernisse zu vermeiden bzw. zu entfernen.

Im Rahmen einer Untersuchung zur Optimierung für den Radverkehr an Lichtsignalanlagen in Münster wurde unter anderem auf die Standorte der für die Radfahrer gültigen Signale eingegangen. Entsprechend der VwV-StVO wird der Grundsatz bestätigt, dass die Signalgeber vor der Konfliktfläche rechts des Verkehrswegs anzubringen sind, für den sie gelten (PGV, 1996). Dies gilt insbesondere auch dann, wenn das Signal für den Kraftfahrzeugverkehr auch für den Radverkehr gilt. Diese Vorgehensweise entspricht auch der Neufassung von Kapitel 8 in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003. Die derzeitige Regelung bzgl. der Aufstellung vor oder hinter der Konfliktfläche wird nicht in Frage gestellt.

In einer empirischen Untersuchung zur Sicherheit von Fußgängern an Lichtsignalanlagen in Nordrhein-Westfalen wird unter anderem die Aufstellung der Fußgängersignalgeber vor der Konfliktfläche betrachtet (Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr NRW, 1991). Es wird deutlich, dass diese Maßnahme sehr ungewohnt ist und von befragten Verkehrsteilnehmern abgelehnt wird. Die Ergebnisse lassen jedoch insgesamt keine abschließende Empfehlung zu.

### 6.3.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich sind laut RVS 5.33 mindestens zwei Signalgeber je getrennt signalisiertem Verkehrsstrom vorzusehen (FSV, 1998c). Ansonsten entsprechen die Vorgaben weitgehend denen der RiLSA.

In der Schweiz wird die Thematik Anzahl und Aufstellung der Signalgeber in der SN 640836 in Abschnitt D sehr kompakt dargestellt (VSS, 1994b). Die Signalgeber für Kraftfahrzeuge sind am rechten Rand der Fahrbahn aufzustellen. Bei mehreren Fahrstreifen können Signalgeber für den linken Außenstreifen auch links stehen. Signalgeber über den jeweiligen Fahrstreifen sind möglich. Je ge-

trennt gesteuertem Verkehrsstrom ist mindestens ein Signalgeber erforderlich. Die Grundsätze für Fußgänger-, Radfahrer-, ÖPNV- und Hilfssignalgeber entsprechen den Angaben in den RiLSA.

In Frankreich werden in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ die Anzahl und Aufstellung der Signalgeber für Kraftfahrzeuge, Fußgänger, Radfahrer und Linienbusse sowie für Hilfs- und Fahrstreifensignalgeber beschrieben (METL, 1996). Für Kraftfahrzeuge sind die Anzahl der gesondert signalisierten Verkehrsrichtungen der Zufahrten und der Ausbauquerschnitt maßgebend.

In Großbritannien werden in den „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DFT, 2002b) im Anhang kurz die Möglichkeiten der Aufstellung und Anzahl der Signalgeber für den Kraftfahrzeugverkehr bei mehrstreifigen Zufahrten beschrieben.

In den USA wird im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ in Kapitel 4D.15 auf die Anzahl der Signalgeber eingegangen. Danach sollen für die Hauptrichtung mindestens zwei Signalgeber eingerichtet werden (US DOT, 2003). Die Angaben zur Anzahl der Signalgeber für abbiegende Fahrströme erfolgen durch die Verwendung der PPLT-Signalisierung differenzierter.

### 6.3.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Die Verwendung von Kfz-Signalgebern hinter der Konfliktfläche wird unterschiedlich beurteilt. Aus Sicht der Stadt Darmstadt ist diese vor allem außerorts möglich, innerorts jedoch wegen mangelnder Übersichtlichkeit nicht ratsam. Die Stadt Dortmund setzt solche Signale ein, vermeidet dabei jedoch die Verwendung dreifeldiger Signalgeber.

Der Allgemeine Deutsche Fahrrad-Club e. V. (ADFC) sieht die Notwendigkeit einer zusammenfassend dargestellten Beschreibung mit Erläuterung der Einsatzkriterien der verschiedenen Signalisierungsformen für Radfahrer im Richtlinienwerk.

Die Regelung, dass das Fußgängersignal auch für Radfahrer gilt, wenn Radfahrer- und Fußgängerfurt aneinander grenzen, sollte aus Sicht des ADFC durch den Grundsatz der Verwendung von Kombinationsstreuscheiben oder eines zweifeldigen Radfahrersignals neben dem Fußgängersignal ersetzt werden, da die bisherige Regelung zu zahlreichen sicherheitsrelevanten Missverständnissen führt.

### 6.3.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Es hat sich gezeigt, dass in verschiedenen Fällen die Signalgeber für den Kraftfahrzeugverkehr hinter der Konfliktfläche aufgestellt werden. Gesicherte Erkenntnisse zu den Auswirkungen auf die Sicherheit liegen jedoch nicht vor. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, eine Untersuchung durchzuführen, die verschiedene Beispiele zusammenstellt. Dabei sind verschiedene Sicherheitsbetrachtungen wie Unfalluntersuchungen und Verkehrssituationsanalysen durchzuführen. Des Weiteren sind auch Beispiele zu betrachten, bei denen die Signalgeber hinter der Konfliktfläche wieder entfernt wurden. Als Ergebnis aus dieser Untersuchung sollte ein Katalog mit sinnvollen Anwendungsbeispielen für die Positionierung der Signalgeber zusammengestellt werden und es sollten Einsatzempfehlungen abgeleitet werden.

### 6.3.6 Innovationsgrad

#### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Entsprechend den RiLSA sind Fußgängersignale und kombinierte Signalgeber hinter der Konfliktfläche sowie reine Radfahrersignale und Signale für den Kraftfahrzeugverkehr vor der Konfliktfläche anzubringen.

#### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Der vom Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Club e. V. kritisierte Grundsatz, dass die Fußgängersignale für Radfahrer gelten, wenn eine Radwegfurt an eine Fußgängerfurt grenzt, ist in der StVO, § 37 (6), verankert.

#### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Die Aufstellung insbesondere der Radfahrersignale wird bereits in der Fachöffentlichkeit diskutiert, es besteht kein einheitliches Meinungsbild. Im Falle einer Änderung der bestehenden Regelungen sind Übergangsregelungen erforderlich, da der Aufwand für Änderungen erheblich ist.

### 6.3.7 Handlungsbedarf

#### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Das Themenfeld der Anzahl und der Aufstellung der Signalgeber ist richtlinienrelevant. In den letz-

ten Jahren sind jedoch keine Forschungstätigkeiten erfolgt, die neue Erkenntnisse in diesem Themenfeld gebracht haben. Daher ergibt sich für die Arbeit an den RiLSA aus dem aktuellen Forschungsstand kein Handlungsbedarf. Trotzdem kann es sein, dass sich anhand der Neustrukturierung der RiLSA inhaltliche und redaktionelle Änderungen ergeben.

#### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Weite Teile des bestehenden Abschnitts aus den RiLSA 1992 sind mit kleineren redaktionellen Änderungen für die RiLSA 200X übernommen worden. Als inhaltliche Ergänzung wurde lediglich die Empfehlung aufgenommen, dass bei abgesetztem Rechtsabbiegefahrstreifen ein Signalgeber für den Geradeausverkehr über dem zugehörigen Fahrstreifen angeordnet werden sollte. Die Variante, dass dieser Signalgeber am rechten Fahrbahnrand steht, ist demzufolge nur in Ausnahmefällen zu wählen.

#### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

In Anlehnung an die Rückmeldungen des Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Clubs e. V. und die aktuell veröffentlichten Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs (HSRa) wird befürwortet, bei der gemeinsamen Signalisierung des Rad- und Fußgängerverkehrs Signalgeber mit kombinierten Sinnbildern einzusetzen (FGSV, 2005). Damit ändert sich der letzte Absatz im Abschnitt über Radfahrersignalgeber folgendermaßen:

„Bei gleichzeitig signalisierten parallel geführten Radfahrer- und Fußgängerfurten haben sich die Radfahrer nach den Fußgängersignalen zu richten. Dabei sollten in den Leuchtfeldern die kombinierten Sinnbilder für Fußgänger und Radfahrer gezeigt werden (Bild 5.4c und Bild 5.4d). Radfahrersignalgeber mit kombinierten Sinnbildern für Fußgänger und Radfahrer stehen hinter der Konfliktfläche (zweifeldige Signalgeber). In Ausnahmefällen kann sich auf die Darstellung der Fußgängersinnbilder beschränkt werden.“

## 6.4 Sensorik

### 6.4.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

In den RiLSA 1992 wird sehr kurz auf das Thema der Sensorik eingegangen. Im Kapitel 9.6.7 (Ausführung, Elektrotechnische Einrichtungen, Detektoren) werden lediglich die gebräuchlichsten Erfas-

sungseinrichtungen für die unterschiedlichen Verkehrsteilnehmergruppen genannt. Dabei handelt es sich um Induktivschleifen- und Infrarot-Detektoren für Kraftfahrzeuge und Fahrräder, um Fahrdraht- und Schienenschalter für Schienenfahrzeuge und um Anforderungstaster für Fußgänger und Radfahrer. Auch bei der näheren Beschreibung der Erfassung der für die verkehrsabhängige Steuerung notwendigen Kenngrößen wird lediglich auf Induktivschleifendetektoren eingegangen. Bezüglich weiterer Informationen wird auf das Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr verwiesen (FGSV, 1991).

#### 6.4.2 Erreichter Forschungsstand

Die die Sensorik behandelnde Literatur beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Thematik der automatischen Detektion von Fußgängern. In Bezug auf die Detektion des Kraftfahrzeugverkehrs sind innerhalb des betrachteten Zeitraums nur wenige Veröffentlichungen erfolgt. Diese beschäftigen sich einerseits mit der notwendigen bzw. sinnvollen Anzahl von Detektoren und andererseits mit der digitalen Videobildanalyse.

Entsprechend Berechnungen von SCHULT/FROESE (1995) ist die Anordnung weiterer Schleifen bereits hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Einsparungen, die durch verringerte Schadstoffemissionen an lichtsignalisierten Knotenpunkten entstehen, sinnvoll. Für eine vollverkehrsabhängige Steuerung, die jede Richtung so lange freigibt, bis eine Grenzzeitlücke von 2 s bis 3 s erreicht ist, wird empfohlen, alle Zufahrten mit Bemessungsschleifen auszustatten. Diese sollen je nach der zu erwartenden Verkehrsstärke je Umlauf entweder als Langschleifen mit einer Länge von 25 m bis 30 m (bei weniger als 5 Fahrzeugen) oder als Standardschleifen, die ca. 40 m bis 60 m von der Haltlinie entfernt sind, ausgebildet sein.

Weitere Detektionsmethoden für den Kraftfahrzeugverkehr, wie z. B. die digitale Videobildanalyse, haben sich in den letzten Jahren auf dem Markt etabliert. Während im Jahre 1992 der Anwendungszweck noch hauptsächlich die Offline-Analyse war, sind inzwischen auch automatisierte und in Echtzeit laufende Auswertungen realisiert (SCHWEIG/HORSTMANN, 1998; SAITO et al., 2001).

In Japan werden zur Fahrzeugdetektion kaum Induktivschleifen eingesetzt, sondern vor allem Ultraschall-Detektoren, die über den einzelnen Fahr-

streifen montiert sind. Seit dem Jahre 1992 wurden in Japan auch etwa 40.000 Infrarot-Baken installiert, die mit Empfangs- und Sendeeinheiten ausgestattet sind und so außer der Fahrzeugdetektion eine Zwei-Wege-Kommunikation ermöglichen, die beispielsweise für das in Japan verbreitete dynamische Navigationssystem VICS (Vehicle Information and Communication System) genutzt werden kann. Anhand der Identifizierung von Fahrzeugen an mehreren Querschnitten können auch Fahrzeitberechnungen durchgeführt werden. Aufgrund dieses Vorteils der Infrarot-Baken gegenüber den Ultraschall-Detektoren treibt die Universal Traffic Management Society of Japan (UTMS) derzeit ihre Verbreitung voran. In Tokio liegt der Anteil der Infrarot-Detektoren zurzeit bei etwa 15 %. Zu berücksichtigen ist hierbei der in Japan bereits hohe Ausstattungsgrad der Fahrzeuge mit VICS (BOLTZE et al., 2005).

Seit etwa zwei Jahren wird in Japan eine neue Generation von Video-Detektoren mit nachgeschalteter Bildverarbeitung für die Lichtsignalsteuerung eingesetzt. Diese dienen zur Erfassung von Fahrzeuganzahl, Fahrzeugtyp, Fahrstreifenbelegung und Geschwindigkeit der Fahrzeuge. Probleme bei der Detektion entstehen allerdings erwartungsgemäß bei schlechten Lichtverhältnissen.

Hinsichtlich der Detektion einzelner Fahrzeuge werden verschiedene Taktiken verfolgt. Während in den meisten Fällen die ÖPNV-Priorisierung durch die direkte Anmeldung eines Fahrzeugs an der Lichtsignalanlage erfolgt oder die Priorisierung durch ein zentrales rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL) optimiert wird, hat sich ein Projekt in Krefeld mit der Möglichkeit beschäftigt, die Priorisierung entlang eines Streckenzugs mit Hilfe eines so genannten Datenkonzentrators zu realisieren. Dieser fragt von einer ausgewählten Lichtsignalanlage aus die Meldedaten an den benachbarten Lichtsignalanlagen ab, wertet sie aus und trifft darauf aufbauend Entscheidungen (GRUND et al., 1992).

Seit den 90er Jahren gibt es in vielen Ländern Bestrebungen, auch den Fußgängerverkehr automatisch zu detektieren. Dabei werden zwei Anwendungsfälle unterschieden: die automatische Freigabezeitanforderung und die Konfliktflächenüberwachung. Insbesondere die automatische Freigabezeitanforderung erscheint hier von Bedeutung, da sich in verschiedenen Untersuchungen (SCHIRMACHER, 2001; 2002) gezeigt hat, dass der Anteil

der Fußgänger, die einen Freigabetaster aktivieren, selten höher als 60 % ist (DICKINSON et al. 1995). Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Gruppe der Blinden und Sehbehinderten, ergeben sich laut einer Untersuchung von BENTZEN et al. (2000) mehr als 90 % der Befragten, die den Freigabetaster aus verschiedenen Gründen nicht aktivieren. In Großbritannien entwickeln sich daher Fußgängerlichtsignalanlagen mit automatischer Freigabezeit Anpassung zur Regellösung. Sie werden dort mit PUFFIN abgekürzt, was Pedestrian User-Friendly Intelligent bedeutet (vgl. dazu Kapitel 1.1, Teil B).

Im Gegensatz dazu ergeben sich jedoch bei der automatischen Freigabezeit Anforderung häufig Probleme, da einerseits in vielen Fällen Fehldetektionen auftreten, wie in einem Modellversuch in Großbritannien von DICKINSON et al. (1995) gezeigt wurde. Verstärkt wird dieser Effekt dadurch, dass sich die Fußgänger häufig auch außerhalb des Detektionsbereichs aufstellen. Eine Beeinflussung des Aufstellorts ist nur schwer möglich, wobei jedoch zu beachten ist, dass die Dauer der empirischen Untersuchungen nur zwei Tage betrug, also kein nennenswerter Lernprozess eintreten konnte.

Beachtet man hingegen eine gewisse Eingewöhnungszeit nach dem Einrichten der automatischen Detektion, wie dies von SECO et al. (1998) im Rahmen einer Vorher-Nachher-Untersuchung an drei Versuchsfeldern in Großbritannien, Griechenland und Portugal vorgenommen wurde, ergeben sich für die Fußgänger sowohl ein Sicherheitsgewinn als auch eine durchschnittlich geringere Verlustzeit.

Diese Aussage wird von HUGHES et al. (2000) aufgrund von relativ umfassenden Untersuchungen aus dem Jahr 2000 bestätigt. Auch unter Berücksichtigung der Gefahr der Fehldetektion ist ein erheblicher Sicherheitsgewinn zu verzeichnen. Untersucht wurden Beispiele, die sowohl über automatische Anforderung als auch über Konfliktflächenüberwachung verfügen. Durch den Einbau der automatischen Fußgängerdetektion zusätzlich zu der bestehenden Detektion über Drucktaster wurden sowohl der Anteil der Rotläufer als auch die Anzahl der Konflikte zwischen Fußgängern und einfahrenden Kraftfahrzeugen verringert.

Aus diesem Grund erstellte das DFT aus Großbritannien ein Hinweispapier (2001), in welchem der Einsatz der automatischen Fußgängerdetektion in

verschiedenen Steuerungsverfahren (sowohl logikbasiert als auch modellbasiert) empfohlen wird. Auch in Japan ist dies Stand der Technik. Es werden vor allem Video-Detektoren und Laser-Scanner eingesetzt (BOLTZE et al., 2005).

In Deutschland wird die Detektion von Fußgängern sehr viel zögerlicher angewandt. In Einzelfällen wird die automatische Konfliktflächenüberwachung praktiziert. Beispiele mit automatischer Freigabezeit Anforderung sind in Deutschland bisher nicht bekannt (SCHIRMACHER, 2001).

Bei der Detektion von Fahrrädern ist darauf zu achten, dass der Metallanteil mit magnetischen Eigenschaften bei modernen Fahrrädern nur sehr gering ist. Aus diesem Grund ergeben sich häufig Probleme in der Detektion mittels Induktivschleifendetektoren. Andererseits bieten Detektoren im Gegensatz zu Drucktastern die Möglichkeit, auch verkehrsabhängige Freigabezeitverlängerungen für den Radverkehr zu realisieren (MARTI, 1996).

#### **6.4.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

Die RVS 5.33 aus Österreich geht in einem kurzen Absatz auf die Sensorik ein (FSV, 1998c). Aufgezählt werden verschiedene Arten der Detektion für die unterschiedlichen Verkehrsteilnehmergruppen, wobei sowohl etablierte als auch moderne Erfassungseinrichtungen Erwähnung finden.

Da sich die erfassten Richtlinien aus der Schweiz und aus Frankreich auf Festzeitsteuerungen konzentrieren, wird die Sensorik dort nicht thematisiert. Das „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ aus den USA geht lediglich auf Anforderungstaster für Fußgänger ein (US DOT, 2003).

In der „Specification for Traffic Signal Controller“ und im „Installation Guide for Urban Traffic Control“ aus Großbritannien wird die Erfassung der Fahrzeuge nur am Rand thematisiert (Highways Agency, 2001; 2002). Im Wesentlichen wird darauf hingewiesen, dass Kraftfahrzeuge zumeist mit Induktivschleifendetektoren und ÖPNV-Fahrzeuge darüber hinaus auch über Fahrzeugtelegramme und Ähnliches erkannt werden. Einen sehr großen Anteil nehmen jedoch die PUFFIN-Anlagen in der „Specification for Traffic Signal Controller“ ein. Weiterhin gibt es mehrere Hinweispapiere (Traffic Advisory Leaflets) des Department for Transport, die sich mit PUFFIN-Anlagen beschäftigen (DFT, 2001; 2002a).

#### 6.4.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Von verschiedenen Seiten wird die Untersuchung von Einsatzmöglichkeiten und Grenzen einer automatischen Detektion nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer begrüßt. Dies bezieht sich nicht nur auf den Fußgängerverkehr, sondern auch auf den Radverkehr, da sich an Lichtsignalanlagen mit einer gemeinsamen Führung von Rad- und Kraftfahrzeugverkehr Probleme für den Radverkehr, falls dieser nicht richtig detektiert wird, ergeben können. Beispielsweise werden in Bielefeld auf Grund des geringer werdenden Anteils an magnetischem Material bei Fahrrädern verstärkt auch Infrarotdetektoren zur Erfassung des Radverkehrs genutzt.

Bezüglich der automatischen Detektion von Fußgängern hat sich aus der Praxis insgesamt eine relativ positive Resonanz gezeigt. Bereits eingesetzte Beispiele nutzen im Wesentlichen die Freigabezeitverlängerung für den besseren Schutz von Schülern auf der Furt. Aus diesem Grund ist die Einsatzdauer in der Regel auch zeitlich auf den Schulbeginn begrenzt.

Für die Erfassung der Fußgänger hat sich ebenso wie für den Radverkehr in Bielefeld und auch in Frankfurt die automatische Detektion mit Infrarot-Detektoren bewährt. Insbesondere die in Frankfurt verwendete Lösung ist sehr praxisorientiert, da sie mit einem Detektor auskommt, der sowohl die Furten überwacht als auch die Freigabezeit für den Kraftfahrzeugverkehr bemisst. Die suboptimale Lage des Detektors für letzteren Zweck wird durch die positiven Effekte hinsichtlich der Auswirkungen auf den Fußgängerverkehr und die Wirtschaftlichkeit aufgewogen. Im Gegensatz zu diesen positiven Erfahrungen haben sich in Leipzig Probleme ergeben, da die verwendeten Detektoren nur Fußgänger mit einer gewissen Geschwindigkeit detektieren, die Freigabezeit aber insbesondere für langsame Fußgänger verlängert werden muss.

Eine andere Vorgehensweise in der Praxis für die verkehrsabhängige Berücksichtigung der Fußgänger ist, dass in einigen Fällen die Mindestfreigabezeit an Furten bei Nicht-Anmeldung von Fußgängern auf 5 s reduziert wird. Sind Fußgänger auf der Wartefläche detektiert worden, muss dieser Wert so weit erhöht werden, dass die halbe Fahrbahnbreite überquert werden kann.

Die geringe Zahl der Fußgänger, die sich korrekt an einer Lichtsignalanlage anmeldet, um eine Freigabezeit zu erhalten, erscheint auch aus dem Grund so gering, da es keine einheitliche Verdeutlichung der

notwendigen Anforderung gibt. Sinnvoll wäre z. B. ein Display, welches aktiv zeigt, dass sich angemeldet werden muss (im Gegensatz zu den heute häufig verwendeten Displays, die lediglich anzeigen, dass sich erfolgreich angemeldet wurde). Für die Zukunft ist anzustreben, die Vermittlung der Notwendigkeit der Anforderung stärker zu bedenken und nach Möglichkeit bundesweit zu vereinheitlichen.

Darüber hinaus gibt es eine Rückmeldung, die sich darauf bezieht, neuere Möglichkeiten für die Erfassung des ÖPNV (z. B. Digitalfunk) stärker zu betonen.

#### 6.4.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Es werden zunehmend moderne Detektionsmethoden für den Kraftfahrzeugverkehr in der Praxis angewandt. Allerdings gibt es keine vergleichenden Untersuchungen bezüglich der Messgenauigkeit der einzelnen Systeme. Auch seitens der Hersteller gibt es nur sehr vereinzelt Informationen, die keinesfalls umfassend sind. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, unterschiedliche Detektionsmethoden einer genauen Analyse zu unterziehen. Dabei sollen die Detektoren im laufenden Betrieb sein, also nicht unter Laborbedingungen getestet werden. Weiterhin ist darauf zu achten, verschiedene Umfeldbedingungen (wie z. B. Licht- und Wetterverhältnisse) zu berücksichtigen. Auch die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Detektionssysteme ist in die Betrachtung einzubeziehen.

Wie bereits im Abschnitt über die Erfassung der Kenngrößen ausgeführt, ist die automatische Detektion von Fußgängern ein weiteres Feld, auf welchem durchaus verbleibender Forschungsbedarf zu konstatieren ist. Bisher nicht behandelt wurde zudem die Frage, ob auch die automatische Detektion von Radfahrern mittels anderer Systeme als Induktivschleifendetektoren sinnvoll ist. Ähnlich wie bei der Untersuchung für den Kraftfahrzeugverkehr wird auch hier eine Untersuchung empfohlen, bei der unterschiedliche Erfassungssysteme einander gegenübergestellt werden. Dabei ist dann auch die aktive Betätigung von Druck Tastern einzubeziehen.

#### 6.4.6 Innovationsgrad

##### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

In den RiLSA wird nur sehr oberflächlich auf die Sensorik eingegangen. Näheres dazu findet sich im „Merkblatt über Detektoren für den Straßenver-

kehr“ (FGSV, 1991). Allerdings gibt es dort auch keine Hinweise zu der Genauigkeit der Daten.

### **Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen**

Es bestehen keine Einschränkungen aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen.

### **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Da moderne Detektionsmethoden zunehmend eingesetzt werden, ist von einer guten Akzeptanz der Betreiber auszugehen. Weitergehende Untersuchungen bezüglich der Genauigkeit erleichtern die Auswahl eines Systems über das derzeit eingesetzte hinaus.

In der Fachöffentlichkeit ist moderne Sensorik ein viel diskutiertes Thema. Von den Verkehrsteilnehmern hingegen wird die Sensorik kaum wahrgenommen.

#### **6.4.7 Handlungsbedarf**

##### **Richtlinienrelevanz der Fragestellung**

Die Thematik ist richtlinienrelevant, betrifft die RiLSA jedoch nur indirekt. Eigentliche Adresse für die Thematik ist das „Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr“.

##### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

In der vom AK 3.16.16 vorgeschlagenen Neuregelung des Abschnitts über die Sensorik wird nicht auf die Technik eingegangen, mit welcher die notwendigen Kenngrößen erhoben werden sollen. Erwähnt wird lediglich, um welche Kenngrößen es sich handelt, und es wird auf das „Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr“ verwiesen. Dieses Vorgehen hat unter anderem den Vorteil, dass die in den RiLSA getroffenen Aussagen nicht so schnell veralten.

##### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Innerhalb der RiLSA besteht keine Erfordernis der Neuregelung über den Vorschlag des AK 3.16.16 hinaus.

## **6.5 Bauausführung**

### **6.5.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

Einen zusammenfassenden Abschnitt über die Bauausführung gibt es in den RiLSA 1992 nicht.

Thematisch sind der Bauausführung jedoch die folgenden Bereiche zuzuordnen:

- Anbringung der Signalgeber und Anforderungstaster,
- Haltlinien,
- Markierung,
- Beschilderung,
- bauliche Orientierungshilfen für Blinde und Sehbehinderte.

### **Anbringung der Signalgeber und Anforderungstaster**

Die Anbringung der Signalgeber und Anforderungstaster wird in den RiLSA 1992 in Anhang I.3 dargestellt. Die Anbringung der Signalgeber soll eine eindeutige Zuordnung zu den Verkehrsströmen sicherstellen. Es werden Hinweise zur Masten, Auslegermasten, Signalbrücken und Fahrbahnüberspannungen gegeben, wobei diese aus städtebaulichen Gründen besonders sorgfältig zu gestalten sind. Für Signalgeber und Taster werden Höhen bzw. Mindesthöhen angegeben.

### **Haltlinien**

In Kapitel 3.5 der RiLSA 1992 werden die einzuhaltenen Abstände der Haltlinien für den Kraftfahrzeugverkehr und für den Radverkehr beschrieben. Die notwendige Abrückung der Haltlinie bei Konflikten des Abbiegeverkehrs mit dem Querverkehr durch beengte Verhältnisse ist in Anhang J dargestellt.

### **Markierung**

Für Markierungen wird in Kapitel 3.6 grundsätzlich auf die RMS (FGSV, 1993) sowie auf die VwV-StVO verwiesen. An Knotenpunkten ist die Eindeutigkeit besonders zu beachten. Für Abbiegefahrstreifen sowie die Führung der Linksabbieger im Knotenpunktbereich werden konkrete Empfehlungen gegeben.

### **Beschilderung**

Kapitel 3.7 stellt die Grundsätze der Beschilderung an Lichtsignalgeregelten Knotenpunkten dar. Es wird kurz auf Vorfahrtzeichen, Fahrtrichtungsgebote, verkehrsberuhigte Bereiche, Ankündigung von Lichtsignalanlagen und Geschwindigkeitsbeschränkungen eingegangen. In Kapitel 9.5 werden

Ausführung und Anbringung insbesondere für Vorfahrtzeichen und Fahrtrichtungsgebote behandelt.

### **Bauliche Orientierungshilfen für Blinde und Sehbehinderte**

In Kapitel 7.5 der neu gefassten RiLSA-Teilfortschreibung 2003 wird auf Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte eingegangen. Die Aussagen beziehen sich aber im Wesentlichen auf die Aktorik (vgl. Kapitel 6.2), nicht aber auf die bauliche Gestaltung.

### **6.5.2 Erreichter Forschungsstand**

#### **Anbringung der Signalgeber und Anforderungstaster**

Die Anbringung der Signalgeber und Anforderungstaster wird in den erfassten Veröffentlichungen nicht grundsätzlich behandelt. Allerdings ist die Höhe der Anforderungstaster in der 1998 erschienenen DIN 18024 von 1,05 m auf 0,85 m reduziert worden (DIN, 1998).

#### **Haltlinien**

Vor dem Hintergrund einer hohen Anzahl von Unfällen mit verletzten Fußgängern an Knotenpunkten in den USA untersuchen RETTING/van HOUTEN (2000) den Lösungsansatz, den Haltlinienabstand zur Furt von 4 Fuß (etwa 1,2 m, US-Standard) auf 20 Fuß (etwa 6,1 m) zu vergrößern. Die Maßnahme wurde von 57 % der Fahrer korrekt angenommen, insbesondere konnte aber die Anzahl derjenigen Fahrer, die den ursprünglichen Zielwert von 4 Fuß einhalten, deutlich erhöht sowie derjenigen Fahrer, deren Fahrzeug in die Furt ragt, erheblich reduziert werden. Die Fahrzeit des ersten Fahrzeugs von der Haltlinie in den unmittelbaren Knotenpunktbereich nach Freigabezeitbeginn erhöht sich von 3,3 s auf 4,0 s.

In Großbritannien wurde eine Häufung von Unfällen festgestellt, bei denen Fußgänger auf der Furt von Schwerverkehrsfahrzeugen angefahren werden. Da die Lkw über die Haltlinie hinaus sehr dicht an die Furt gefahren sind, konnten die Fahrzeugführer die räumenden Fußgänger nicht mehr sehen, sodass es bei Freigabezeitbeginn für den Kraftfahrzeugverkehr zu Unfällen kam. In der Untersuchung von WALL (2000) an drei Knotenpunkten gehört das Abrücken der Haltlinie aus diesem Grund zu den einfachen Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit für Fußgänger.

Im Rahmen einer Untersuchung zur Optimierung der Lichtsignalsteuerung für den Radverkehr in Münster wurde speziell auf die Haltlinien für Radfahrer eingegangen (PGV, 1996). Diese sollen für signalisierte Ströme grundsätzlich so nah wie möglich dem jeweiligen Signal angeordnet werden.

WHEELER et al. (1993) untersuchten 1993 die Akzeptanz von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Großbritannien, die insgesamt positiv bewertet wurde. Die Grundform gleicht der Ausführung nach ERA 95. Als Standard wurde in Großbritannien jedoch ein zweiter Signalgeber vor der Haltlinie für den Kraftfahrzeugverkehr aufgestellt, der bei ROT für den Kraftfahrzeugverkehr ein ergänzendes Freigabesignal für den Radverkehr zur Einfahrt in den Aufstellbereich zeigt. Die Ausführung ohne Zusatzsignal wurde ebenfalls betrachtet. An dieser Lösung bestand von Betreiberseite wegen des geringeren Implementierungs- und Betriebsaufwands großes Interesse. Der geringe verfügbare Stichprobenumfang ließ jedoch noch keine abschließende Bewertung zu.

#### **Markierung**

In der oben genannten Untersuchung von WALL (2000) werden an zwei Knotenpunkten breitere Markierungen (250 mm statt 100 bis 150 mm) der Fahrstreifen eingesetzt. Darauf wird eine geringfügige Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit zurückgeführt. Der Untersuchungsumfang lässt jedoch keine abschließende Beurteilung zu. Gleiches gilt für den Einsatz der grünen Einfärbung der Fußgängerfurt an einer Zufahrt eines Knotenpunkts. Der Anteil der Fußgänger, der die Zufahrt innerhalb der Markierung querte, konnte von 29 % auf 35 % erhöht werden.

#### **Beschilderung**

Im US-amerikanischen Raum stellt die Ankündigung von lichtsignalgeregelten Knotenpunkten durch großzügige Knotenpunktentwürfe, entsprechend hohe Geschwindigkeiten und die daraus resultierenden häufigen Rotlichtverstöße an Außerortsknotenpunkten ein wichtiges Thema dar. FARRAHER et al. (1999) untersuchen die Wirksamkeit von Blinklichtern zur Ankündigung von Lichtsignalanlagen anhand der Anzahl der Rotlichtverstöße. An dem ausgewählten Außerortsknotenpunkt mit entsprechender Problemlage wird ein Rückgang der Rotlichtverstöße um 29 % ermittelt, eine hohe Wirksamkeit ist insbesondere beim Schwerverkehr

festzustellen. In einer zweiten Untersuchung, ein Jahr nach der Implementierung, ist jedoch ein Wiederanstieg auf die ursprünglichen Werte festzustellen. Da die Gestaltung der Ankündigung in den USA nicht einheitlich vorgegeben ist, untersuchen PANT/HUANG (1992) verschiedene Varianten der Ankündigung. Die Ergebnisse variieren stark in Abhängigkeit des Verlaufs der Zufahrt. In bestimmten Situationen, z. B. bei Nichtblinken in geraden Zufahrten, wurde sogar eine Steigerung der Durchfahrtsgeschwindigkeiten festgestellt.

### **Bauliche Orientierungshilfen für Blinde und Sehbehinderte**

JESCHKE und VOGT (1995) definieren für die Orientierung der Blinden und Sehbehinderten folgende Anforderungen (vgl. Kapitel 5.2):

- Einrichtung von Aufmerksamkeitsfeldern in Form von farbigen, robusten Rillenplatten;
- Absenkung der Bordsteine bei Bedarf auf eine Höhe von 3 cm. Dieser Wert stellt einen Kompromiss zwischen den Anforderungen der Blinden und Sehbehinderten und Rollstuhlfahrer dar.

### **6.5.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

Die Grundsätze der Anbringung der Signalgeber in den RVS 5.33 in Österreich entsprechen denen in den RiLSA (FSV, 1998c). Der Standort soll so gewählt werden, dass eine Erkennbarkeit aus möglichst großer Entfernung gewährleistet ist. Als Mindestwerte werden 75 m bei 50 km/h, 125 m bei 70 km/h verlangt. Angaben zur Anbringung der Anforderungstaster werden hier nicht gemacht, es wird auf die Normen verwiesen. Möglichkeiten der Markierung und Beschilderung werden nur benannt, auch hier wird auf die gültigen Verordnungen verwiesen.

In der Schweiz wird die Anbringung der Signalgeber in der Norm 640 836 behandelt (VSS, 1994b). Die Signalgeber sollen dabei den signalisierten Verkehrsströmen eindeutig zuzuordnen sein. Sie sind so anzubringen, dass sie den Verkehrsteilnehmer nicht behindern und dass Fahrzeuge nicht beschädigt werden können. Die Höhe der Unterkante von Signalgebern neben der Fahrbahn soll zwischen 2,35 m und 3,5 m betragen, der seitliche Abstand neben der Fahrbahn innerorts 0,3 m bis 2,0 m,

außerorts 0,5 m bis 2,0 m. Die Themenfelder Haltlinien, Markierung, Beschilderung und bauliche Orientierungshilfen für Blinde und Sehbehinderte werden nicht in den erfassten Schweizer Normen für Lichtsignalanlagen betrachtet.

In Frankreich wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ die Anbringung der Signalgeber beschrieben (METL, 1996). Die einzuhaltenden Höhen und Standorte für die Signalgeber für den Kraftfahrzeugverkehr werden dargestellt. Die weiteren Themenfelder der Bauausführung werden nicht behandelt.

In Großbritannien werden die Themen der Bauausführung in den „Traffic Signs Regulations and General Directions (TSRGD)“ (DFT, 2002b) in mehreren Teilen behandelt, die über die Betrachtungstiefe der RiLSA hinausgehen.

In den USA werden im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ in Kapitel 4.D.15 für die Anbringung der Kfz-Signalgeber umfangreiche geometrische Angaben für eine optimale Sichtbarkeit gegeben (US DOT, 2003). Fußgängersignale sollen nach Abschnitt 4.E.04 in 2,1 m bis 3 m Höhe ebenfalls so angebracht werden, dass die Sichtbarkeit optimal ist. Markierungen werden umfassend in Kapitel 3 dargestellt, Haltlinien sollen nach Abschnitt 3B.16 1,2 m von der Furt bzw., wenn keine Furt vorhanden ist, 1,2 m bis 9 m vom Rand der kreuzenden Fahrbahn entfernt markiert werden. Beschilderung wird in Kapitel 2 detailliert erläutert, auf Gefahrzeichen wird umfassend in Kapitel 2C eingegangen. Es gilt der Grundsatz eines sparsamen Einsatzes von Gefahrzeichen. Ergänzende Ausführungen zu Warnblinklichtern zur Ankündigung von lichtsignalgeregelten Knotenpunkten finden sich in Kapitel 4K.

In Japan sind die Haltlinien an den oft weiträumigen Knotenpunkten weit abgerückt. Auffällig ist in vielen Fällen eine sehr umfangreiche Markierung. Insgesamt werden die Markierungen offensichtlich häufig erneuert und sind in sehr gutem Zustand. Markierungstreifen zur Führung sehbehinderter Fußgänger werden in Japan sehr umfassend eingesetzt. An nahezu allen Knotenpunkten sind solche Markierungstreifen in gelber Farbe und mit strukturierter Oberfläche jeweils vor dem Beginn der Konfliktfläche mit den Kraftfahrzeugen angebracht eingesetzt (BOLTZE et al., 2005).

#### 6.5.4 Rückmeldungen aus der Praxis

##### Anbringung der Signalgeber und Anforderungstaster

Zur Höhe für die Anbringung der Anforderungstaster in 0,85 m nach DIN 18024 wird auf die erhöhte Wahrscheinlichkeit einer „Fußbedienung“ hingewiesen (DIN, 1998). Neben hygienischen Aspekten wird vor allem ein Anstieg der Beschädigungen befürchtet. Problematisch ist dies besonders, wenn der Taster Stromkreise, die 230 V führen, enthält, wie es bei Anlagen mit taktilen Signalgebern in der Regel der Fall ist. Für Blinde wird zudem das Auffinden des häufig unter dem Anforderungsgerät angebrachten taktilen Signalgebers erschwert. Weiterhin ist gegebenenfalls die Erreichbarkeit der Anforderungstaster durch Radfahrer zu berücksichtigen.

Es wird Bedarf für die Vereinheitlichung der Bauart und Anbringung der Anforderungstaster sowie der Anforderungsquittierung im Signalgeber gesehen. Damit wird für die Fußgänger, insbesondere für Kinder und ältere Menschen, eine Verbesserung der Sicherheit bei der Nutzung der Lichtsignalanlagen angestrebt.

Grundsätzlich wurde die Frage diskutiert, ob statt der Quittierung der Anmeldung eine aktive Aufforderung zur Anmeldung, z. B. durch entsprechende Beschilderung, erfolgen sollte, um die Notwendigkeit der Anmeldung zu verdeutlichen. Die Sinnhaftigkeit dieses Vorgehens wird jedoch unterschiedlich eingeschätzt. Weiterhin wird die Praxis kritisch gesehen, dass an vielen Anlagen Anforderungstaster angebracht sind, obwohl bei den geschalteten Signalprogrammen keine Anmeldung notwendig ist. Dies kann dazu führen, dass sich Fußgänger auch an Knotenpunkten, an denen eine Anforderung erforderlich ist, nicht mehr anmelden.

##### Bauliche Orientierungshilfen für Blinde und Sehbehinderte

Die in Berlin gewählte Höhe der Bordsteinabsenkung auf 3 cm ist bei Berücksichtigung anderer Mobilitätsbehinderter aus Sicht der Stadt Bielefeld zu hoch (JESCHKE/VOGT, 1995). Mit der Erprobung eines 1,5 cm hohen Anschlags an neu gebauten Knotenpunkten bis zum Ende des Jahres 2005 soll in Bielefeld versucht werden, diesen mit dem Behindertenbeirat zunächst gefundenen Kompromiss auch zukünftig umzusetzen.

Seitens der Stadt Wiesbaden wird angemerkt, dass mit einem von der Hessischen Straßen- und Ver-

kehrsverwaltung (HSV) entwickelten speziellen Bordstein („Kasseler Rollbord“) eine für Gehbehinderte wichtige Verbesserung und damit ein guter Kompromiss zwischen den Ansprüchen für Blinde und Sehbehinderte sowie denen der Gehbehinderten erreicht werden. Trotz Bordsteinhöhe von 0 cm sei dieser Bordstein auch für Blinde und Sehbehinderte erkennbar.

#### 6.5.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Für die betrachteten Themengebiete ist kein Forschungsbedarf erkennbar.

#### 6.5.6 Innovationsgrad

Da die Thematik der Bauausführung kaum in der aktuellen Forschung betrachtet wurde, ergeben sich keine Abweichungen zu bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und keine Reaktion in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern.

#### 6.5.7 Handlungsbedarf

##### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Das Themenfeld der Bauausführung ist richtlinienrelevant. In den letzten Jahren sind jedoch keine Forschungstätigkeiten erfolgt, die neue Erkenntnisse in diesem Themenfeld gebracht haben. Notwendige Anpassungen an die DIN 18024 sind zu berücksichtigen (DIN, 1998). Darüber hinaus ergibt sich für die Arbeit an den RiLSA aus dem aktuellen Forschungsstand kein Handlungsbedarf.

##### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Die verschiedenen Bereiche dieses Themenfelds wurden mit kleinen redaktionellen Änderungen für die Neufassung übernommen. Inhaltlich wurde lediglich die Höhe der Anforderungstaster angepasst. Diese ist in der DIN 18024 geregelt (DIN, 1998). Seit der letzten RiLSA wurde die Höhe der Taster von 1,05 m auf 0,85 m reduziert. Diese Änderung wurde in den Entwurf für die RiLSA 200X übernommen.

##### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

Über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus besteht kein weiterer Änderungsbedarf, da die Erfordernisse, die aus der DIN 18024 resultieren, beachtet werden müssen (DIN, 1998). Zeigen sich langfristig negative Folgen durch erhöhten Vandalismus, sind diese Regelungen zu überdenken.

## 7 Technische Abnahme und Betrieb

### 7.1 Abnahme

#### 7.1.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Die RiLSA 1992 stellen in Kapitel 10.2 zur Abnahme die notwendigen Prüfungen des Errichters einer LSA vor der Übergabe an den Betreiber dar. Dies beinhaltet die Prüfung der Anlage gegenüber der Planunterlage sowie der Steuerungslogik bezüglich der aufgestellten Bedingungen und Sicherheitsmaßnahmen. Der Betreiber hat bei der Abnahme die Unterlagen Knotenpunktausbau und -ausstattung sowie bauliche Ausführung und Steuerung der Lichtsignalanlagen zu kontrollieren. Hierzu ist ein Protokoll anzufertigen und in die Signalakte zu übernehmen. Die Abnahme ist bei Änderung oder Erweiterung der Anlage für die geänderten Teile zu wiederholen.

#### 7.1.2 Erreichter Forschungsstand

Zur Abnahme selbst liegen keine neuen Forschungsergebnisse vor. PITZINGER (1998) beschreibt die Abnahme in einem Normenvorschlag. Basis hierfür ist ein Forschungsbericht, der in diesem Themenfeld auf ausländischen Normen und Richtlinien (u. a. aus Deutschland) sowie Erfahrungen des Forschungsnehmers aufbaut. Es werden keine weiterführenden Untersuchungen durchgeführt. Die wesentlichen Inhalte sind in das Schweizer Normenwerk überführt worden.

Ein Thema, das gegebenenfalls der Abnahme noch vorausgehen müsste, in den RiLSA derzeit jedoch nicht behandelt wird, sind Übergangsmaßnahmen sowohl vor Inbetriebnahme als auch vor dem Abbau von Lichtsignalanlagen. COLE et al. (2002) betrachten dieses Thema vor dem Hintergrund von Sicherheits- und Haftungsfragen als einen von mehreren Fällen für Übergangsmaßnahmen (z. B. bei Vorfahrtänderung oder Richtungsänderung in Einbahnstraßen). Die Maßnahmen umfassen z. B. die Ankündigung durch Beschilderung sowie die Übergangsphase mit GELB-Blinken. Grundlage dieser Veröffentlichung sind eine frühere Studie von 1989, die Rückmeldungen auf deren Veröffentlichung sowie Erfahrungen der Autoren. Es wird auf einen Mangel an belastbaren Daten aus Vorher-Nachher-Untersuchungen hingewiesen. Deshalb wurden zur Validierung der Ergebnisse Fallstudien durchgeführt, die in Umfang und Inhalten nicht näher beschrieben sind. Mögliche Einschränkungen der Gültigkeit der Aussagen bzw. die Notwen-

digkeit ergänzender Maßnahmen bei besonderen Rahmenbedingungen, z. B. hohen Geschwindigkeiten, hohen Verkehrsbelastungen, unzureichenden Sichtweiten, hoher Unfallhäufigkeit oder hohem Fußgängeraufkommen, wurden nicht untersucht.

#### 7.1.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich wird die Abnahme in der Norm RVS 5.33 in Kapitel 4 behandelt (FSV, 1998c). Hierin werden die zu überprüfenden Kriterien genannt:

- Übereinstimmung der Lichtsignalanlage mit den Planungsunterlagen,
- richtige und eindeutige Anbringung aller Signalgeber, Verkehrszeichen und Bodenmarkierungen,
- Funktion der Anlage,
- Wirksamkeit der Signalsicherungsmaßnahmen,
- Einhaltung der entsprechenden Vorschriften für den elektrischen Teil und
- Vollständigkeit der Bedienungsanleitung.

Das Ergebnis der Übernahmeproofung ist in einem Abnahmeprotokoll festzuhalten, welches die Prüfung, die Hardware, die Steuerungsfunktionen und die Knotenpunktausstattung detailliert auflistet. Dieses Protokoll ist in der RVS 5.34 dargestellt (FSV, 1998d).

In der Schweiz wird die Abnahme einer Lichtsignalanlage in der Norm 640 842 geregelt (VSS, 1998). Hierbei soll festgestellt werden, ob die Lichtsignalanlage ordnungsgemäß funktioniert. Die Abnahme erfolgt in drei Schritten:

- in einer Testumgebung,
- vor der Inbetriebnahme am Knotenpunkt und
- mit der Inbetriebnahme am Knotenpunkt.

Bei der Prüfung in einer Testumgebung sind alle funktionellen Anforderungen an das Projekt zu überprüfen, besonders die Anforderungen an die Verkehrssicherheit und an die elektrische Betriebssicherheit. Bei der Prüfung vor der Inbetriebnahme am Knotenpunkt sind die Übereinstimmungen zu dem Projekt zu überprüfen. Für eventuell vorliegende Sondererdungswiderstände und Isolationswiderstände von Verkabelung ist ein Messprotokoll zu erstellen. In der Prüfung bei Inbetriebnahme am

Knotenpunkt wird das Lichtsignalprogramm im Zusammenhang mit den Nachbarknoten überprüft. Die Dokumentation der Lichtsignalanlage wird auf Vollständigkeit und Richtigkeit überprüft.

In Frankreich wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ nicht auf die Abnahme eingegangen (METL, 1996).

In Großbritannien wird in der „Specification for Traffic Signal Controller“ im Kapitel Environmental Testing kurz auf die Testvorschriften für die Steuergeräte eingegangen (Highways Agency, 2001). Im Anhang sind zu testende Funktionen beschrieben.

In den USA wird im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ lediglich die Abnahme von provisorischen Lichtsignalanlagen dargestellt (US DOT, 2003).

#### **7.1.4 Rückmeldungen aus der Praxis**

Für den Bereich der Übergangsmaßnahmen wird von Seiten der Stadt Bielefeld vorgeschlagen, bei einer Veränderung der Signalplanstruktur (z. B. für den seltenen Fall einer Änderung von einer dreiphasigen auf eine zweiphasige Schaltung) eine auffällige Beschilderung für etwa sechs bis acht Wochen aufzustellen. Bei veränderter Fahrstreifenaufteilung könnten Einordnungstafeln eingesetzt werden. Für diese Maßnahmen liegen aber keine Erfahrungen vor.

#### **7.1.5 Verbleibender Forschungsbedarf**

Für das Thema der Abnahme ist kein Forschungsbedarf erkennbar.

#### **7.1.6 Innovationsgrad**

##### **Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk**

Übergangsmaßnahmen sind im derzeitigen Richtlinienwerk nicht vorgesehen. Die Übertragung der oben genannten Vorgehensweise auf Deutschland wäre für den hier relevanten Fall der Einrichtung bzw. des Abbaus einer Lichtsignalanlage mit einigen Anpassungen grundsätzlich möglich.

##### **Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen**

Hinweisschilder auf neue bzw. geänderte Lichtsignalanlagen sind als Gefahrzeichen einzustufen. Ein

entsprechendes Gefahrzeichen ist jedoch in der StVO nicht vorgesehen. Weiterhin gilt der Grundsatz, dass Gefahrzeichen dort angebracht sind, „wo es für die Sicherheit des Verkehrs unbedingt erforderlich ist, weil auch ein aufmerksamer Verkehrsteilnehmer die Gefahr nicht oder nicht rechtzeitig erkennen kann und auch nicht mit ihr rechnen muss“ (§ 40 (1) StVO). Eine solche Situation scheint in diesem Fall nicht gegeben.

##### **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Die Sinnfälligkeit von Übergangsmaßnahmen kann gerade für den Fall der Neueinrichtung einer Lichtsignalanlage in Frage gestellt werden. Ortsunkundige Fahrzeugführer werden grundsätzlich mit einer Lichtsignalregelung an Knotenpunkten rechnen. Die Maßnahmen richten sich jedoch vor allem an ortskundige Verkehrsteilnehmer. Unter Berücksichtigung der Bauzeit einer Lichtsignalanlage einschließlich aller notwendigen begleitender Maßnahmen am Knotenpunkt (z. B. Markierungsarbeiten) scheinen jedoch spezielle Hinweise nicht mehr erforderlich. Die Notwendigkeit entsprechender Maßnahmen wird somit nicht gesehen.

#### **7.1.7 Handlungsbedarf**

##### **Richtlinienrelevanz der Fragestellungen**

Das Themenfeld der Abnahme ist richtlinienrelevant und in den RiLSA 1992 umfassend dargestellt. In den letzten Jahren sind keine Forschungstätigkeiten erfolgt, die neue Erkenntnisse in diesem Themenfeld gebracht haben. Daher ergibt sich für die Arbeit an den RiLSA aus dem aktuellen Forschungsstand kein Handlungsbedarf. Trotzdem kann es sein, dass sich anhand der Neustrukturierung der RiLSA inhaltliche und redaktionelle Änderungen ergeben.

##### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Weite Teile des bestehenden Abschnitts aus den RiLSA 1992 sind mit kleineren redaktionellen Änderungen für die RiLSA 200X übernommen worden. Inhaltlich wurden zwei Punkte ergänzt: Erstens wird einleitend darauf hingewiesen, dass mit der Abnahme einer neuen Lichtsignalanlage der Gefahrenübergang vom Errichter auf den Betreiber erfolgt. Zweitens wird die Liste der Punkte, die vom Betreiber zu prüfen sind, um die Gewährleistung der Funktionalitäten der Schnittstellen, z. B. zwi-

schen Lichtsignalanlagen oder zu vorhandenen Zentralen, erweitert.

### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus besteht kein weiterer Änderungsbedarf.

## **7.2 Regelbetrieb**

### **7.2.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

Im Abschnitt „Betrieb“ betrachten die RiLSA 1992 die Vorgehensweise beim Ein- und Ausschalten der Lichtsignalanlage, die Signalsicherung sowie die Betriebsüberwachung. Das Ein- und Ausschalten muss jeweils über verkehrstechnisch unbedenkliche Signalzustände bzw. Folgen von Signalzuständen erfolgen. Bei Ausfällen sollte der Übergang über GELB bzw. ROT für Fußgänger erfolgen. Nach dem Ausschalten oder einem Ausfall soll in der Kfz-Nebenrichtung GELB-Blinken angezeigt werden.

Im Abschnitt zur Signalsicherung wird festgelegt, welche technischen Fehler zu einer Abschaltung führen sollen und bei welchen eine Fortführung des Betriebs vorzusehen ist. Der Abschnitt zur Signalsicherung wurde in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 überarbeitet. Dabei wurden die Aussagen vervollständigt und Widersprüche zur DIN VDE 0832-100 beseitigt (VDE, 2002). Es wird unterschieden, ob Sicherungsmaßnahmen unerlässlich, bedingt erlässlich oder erlässlich sind.

Zur Betriebsüberwachung wird festgelegt, welche Unterlagen in der Signalakte zu führen sind und welche am Knotenpunktgerät bereitzuhalten sind. Weiterhin werden Anforderungen für die Registrierung von Abweichungen im Betrieb dargestellt.

Das Thema der Betriebszeiten soll in den RiLSA 200X ebenfalls im Rahmen des Regelbetriebs behandelt werden. Das zeitweise Abschalten von Lichtsignalanlagen wird derzeit in den Grundsätzen in Kapitel 1.4 thematisiert. Danach ist aus Gründen der Sicherheit grundsätzlich davon auszugehen, dass kein reguläres Abschalten erfolgt. Ausnahmen dürfen nur in sorgfältig überprüften Einzelfällen gemacht werden.

### **7.2.2 Erreichter Forschungsstand**

In der Literatur werden vor allem die Risiken des Abschaltens von Lichtsignalanlagen sowie Alternativen dazu behandelt. POLANIS (2002) untersuchte speziell die Unfälle vom Typ Einbiegen-Kreuzen bei

Nachtabstaltung an 19 ausgewählten Knotenpunkten in North Carolina, USA, und stellt eine erheblich größere Unfallwahrscheinlichkeit fest. Entsprechend konnte eine deutliche Reduzierung der Unfallhäufigkeit nach Wiederaufnahme des durchgehenden Normalbetriebs beobachtet werden.

SCHLABBACH/ROTHER (2003) haben eine Befragung von 123 Städten aus dem Jahr 2002 ausgewertet, die aufzeigt, dass durchschnittlich etwa 50 % der Lichtsignalanlagen in Städten nachts abgeschaltet werden, insbesondere in kleineren Städten. Hauptgrund ist die Einsparung von Betriebskosten, außerdem ist die Lärminderung von großer Bedeutung. Die Auswirkung auf die Verkehrssicherheit wird sehr unterschiedlich eingeschätzt. SCHLABBACH/KÖSTER (2004) vergleichen diese Erhebungsdaten mit früheren Befragungen. Auch wenn die Vergleichbarkeit nur eingeschränkt möglich ist, wird bezogen auf die alten Bundesländer nur ein leichter Rückgang der Abschaltquote festgestellt. Die Abschaltpraxis ist in den Bundesländern sehr unterschiedlich. Die Wirksamkeit bezüglich der Betriebskostenminimierung und Lärminderung wird nicht gesehen bzw. relativiert.

SCHNÜLL (2003) diskutiert das Nachtabstalten vor dem Hintergrund der Entscheidung zur Knotenpunktregelung mit oder ohne Lichtsignalanlage. Er weist dabei auf die Folgen hinsichtlich der grundsätzlichen Bewertung von Lichtsignalregelungen bei durchgängigem Betrieb in Schwachverkehrszeiten hin. Insbesondere für lichtsignalgeregelte Kreisverkehrsplätze sieht er geeignete Bedingungen für ein zeitweises Abschalten (gegebenenfalls nicht nur nachts) öfter gegeben als bei Kreuzungen.

Alternativen zum Nachtabstalten wurden bereits von HOFFMANN et al. (1990) untersucht und 1990 veröffentlicht. Trotz meist schlechterer Qualität des Verkehrsablaufs wird wegen der (in dieser Studie nicht untersuchten) Verschlechterung der Verkehrssicherheit von einem Nachtabstalten abgeraten. Die alternativen Steuerungsverfahren werden in Abhängigkeit von Knotenpunktbelastung und Aufteilung der Belastung auf die Zufahrten dargestellt.

PARSON/WALKER (1992) gehen der Frage nach, ob die Praxis des „blinkenden Betriebs“ beim Ausfall von Lichtsignalanlagen, wie in den USA durchgeführt, hinreichend ist. Die beschriebene Problematik gilt für Deutschland aufgrund unterschiedli-

cher Bemessungsvorgaben und Zustände beim Blinken nur bedingt, die Frage nach Konsequenzen für Verkehrssicherheit und Qualität des Verkehrsablaufs ist aber grundsätzlich nicht auf die USA begrenzt.

Die Abläufe beim Ein- und Ausschalten selbst wurden von PITZINGER (1998) in der Schweiz untersucht. Das Einschalten soll danach entsprechend der in den RiLSA beschriebenen Vorgehensweise erfolgen. Für das Ausschalten wurde für die bisherige Vorgehensweise über GELB in allen Kreuzungszufahrten festgestellt, dass das angestrebte Verkehrsverhalten nicht erreicht wird. Stattdessen wurde das Ausschalten über „Signal aus“ in allen Zufahrten aus ROT für die Nebenrichtung als zielführend ermittelt. Weiterhin wurde die verkehrliche Betriebssicherheit untersucht. Die Ausführungen hierzu stimmen weitgehend mit dem Kapitel 10.3.2 der RiLSA 1992 und der RiLSA-Fortschreibung 2003 zur Signalsicherung überein.

### 7.2.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder

In Österreich wird das Ein- und Ausschalten der Lichtsignalanlagen in Kapitel 3.3.4 der Norm RVS 5.32 beschrieben (FSV, 1998b). Das Vorgehen ähnelt dem in den RiLSA, es wird jedoch GELB-Blinken in der Hauptrichtung angezeigt. Aussagen zu der Signalsicherung werden nicht explizit getroffen. Auch in Österreich gilt nach RVS 5.31 der Grundsatz, dass Lichtsignalanlagen durchgängig betrieben werden sollen. Ausnahmen mit Gelbblinkbetrieb sind unter bestimmten Rahmenbedingungen nach eingehender Prüfung möglich.

In der Schweiz gilt die Norm 640 842 für den Betrieb der Lichtsignalanlagen (VSS, 1998). GELB-Blinken wird ggf. für alle Richtungen angezeigt. Beim Einschalten wird zuerst mindestens 5 s GELB-Blinken für alle Fahrrichtungen angezeigt. Dann werden in einer Grundvariante alle Signalgruppen über GELB auf ROT geschaltet. Eine Idealvariante entspricht dem Vorgehen nach RiLSA. Beim Ausschalten werden wie beim Ausfall zuerst grundsätzlich alle Signale mindestens 4 s DUNKEL geschaltet. Es werden knappe Aussagen zur Betriebssicherheit gemacht. Danach müssen Lichtsignalanlagen ausfallen, wenn folgende verkehrsgefährdende Fehler auftreten:

- fehlendes ROT bei allen Signalgebern einer Signalgruppe,

- fehlendes GELB-Blinken des Hilfssignals für bedingt verträgliche Abbieger,
- Unterschreiten der Zwischenzeiten,
- Störungen der Signalsicherung,
- Änderung sicherheitsrelevanter Daten im Betrieb,
- GRÜN/GRÜN-Konflikt nicht verträglicher Signalgruppen,
- GRÜN/GELB-Konflikt definierter, nicht verträglicher Signalgruppen.

In Frankreich wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ in Kapitel II, Artikel 110 C, die Vorgehensweise beim Ein- und Ausschalten einer Lichtsignalanlage kurz erläutert (METL, 1996). Es werden Sicherheitsprüfungen für kritische Schaltzustände formuliert und Ersatzmaßnahmen in Form von GELB-Blinken der Signalgeber beschrieben.

In Großbritannien wird in der „Specification for Traffic Signal Controller“ im Kapitel „Safety Monitoring“ auf kritische Zustände eingegangen, die durch Kontrollgeräte überwacht werden (Highways Agency, 2001). Im Anhang ist beschrieben, wie das Gerät auf jeden einzelnen Zustand reagieren soll.

In den USA wird im „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ in Kapitel 4D.12 das Ein- und Ausschalten beschrieben (US DOT, 2003). Im Gegensatz zu Deutschland blinken nach dem Abschalten vom Regelbetrieb alle Signalgeber, wobei GELB-Blinken lediglich die Aufmerksamkeit erhöhen soll, während ROT-Blinken Zeichen 206 StVO („Halt! Vorfahrt gewähren“) entspricht. Die Ein- und Ausschaltvorgänge sind entsprechend differenziert.

Bei Betriebsausfall und in verkehrsschwachen Zeiten wird in Japan dem Hauptstrom GELB-Blinken und dem Nebenstrom ROT-Blinken signalisiert. Für diese Schaltung gibt es keine festgelegten Einsatzkriterien, die Entscheidung wird von der Polizei getroffen. Aus Sicherheitsgründen wird aber der Betrieb der Lichtsignalanlagen auch in verkehrsschwachen Zeiten befürwortet.

### 7.2.4 Rückmeldungen aus der Praxis

In der Praxis wird von den Empfehlungen der RiLSA 1992 beim Ein- und vor allem beim Aus-

schalten häufig abgewichen, wobei die Vorgehensweise in den Städten unterschiedlich ist.

Das Einschalten erfolgt für die Kfz-Nebenrichtung teilweise nicht mit den jeweils zugehörigen Gelbzeiten. Stattdessen wird die Gelbzeit auf einen einheitlichen Wert, meist 5 s, verlängert. Damit verlängern sich auch die Übergänge in die jeweils erste zu schaltende Phase. Diese Vorgehensweise wird gewählt, weil das Einschalten einer Lichtsignalanlage dem Schalten einer schlafenden Anlage, einer Zeitinsel oder einem Bahnübergang vergleichbar gesehen wird. In diesen Fällen schlägt die RiLSA eine Gelbzeit von 5 s vor. Diese Vorgehensweise ist jedoch nicht mit allen Steuergeräten umsetzbar.

In Erfurt erfolgt das Einschalten generell entsprechend den RiLSA. Bei Lichtsignalanlagen mit mehr als zwei Phasen ist im Einschaltprogramm zusätzlich nach der Mindestfreigabezeit der Haupttrichtungssignale eine „Alles ROT“-Zeit (20 s bis 40 s in Abhängigkeit der Knotenpunktgröße) vorzusehen, um den im Knotenpunktbereich befindlichen Fahrzeugen ein gefahrloses Räumen zu gewährleisten.

In München wird zwischen Beginn des Einschaltprogramms und der Freigabe der Haupttrichtung grundsätzlich die längste Zwischenzeit der Matrix geschaltet. Alle zuerst freizugebenden Ströme werden gleichzeitig direkt von DUNKEL auf GRÜN geschaltet.

Von Seiten der Stadt Dortmund wird beim Einschalten das Zuschalten der Fußgänger über die Kfz-Nebenrichtung parallel zu den Rechtsabbiegern der Haupttrichtung kritisch gesehen. Als Alternative wird hier die Gleichbehandlung der Fußgänger parallel zur Haupttrichtung mit dem Kraftfahrzeugverkehr der Haupttrichtung vorgeschlagen. Hierbei soll der parallel laufende Fußgänger zeitgleich mit der Haupttrichtung von DUNKEL auf GRÜN geschaltet werden.

Nach den Vorgaben in Berlin erfolgt das Einschalten über GELB für alle Kraftfahrzeug- und Radverkehrssignale, die Fußgängersignale sind in dieser Zeit ROT, die Blindensignale sind gesperrt. Die ÖPNV-Signalisierung ist anlagenspezifisch „Halt zu erwarten“ oder „Gesperrt“. Nach Ablauf des Einschaltprogramms ist das Signalbild des programmspezifischen Einschaltpunkts erreicht. In der Regel handelt es sich dabei um GRÜN in der Haupttrichtung. Die Dauer des Einschaltprogramms wird in Anlehnung an die Knotenpunktgröße bzw. von dem Vorhandensein von Straßenbahnsignalen

abhängig gemacht und auf 8 s (kleiner Knotenpunkt, ohne Straßenbahn) oder 12 s (großer Knotenpunkt oder Straßenbahn) pauschal festgelegt. Als Erfahrungswert wird ergänzt, dass in der Praxis die in den Knotenpunktbereich vorgerückten Fahrzeuge der Nebenrichtungen nach dem Einschalten den dann regulär freigegebenen Hauptrichtungsverkehr behindern, da es für ihn vorher keine Möglichkeit zum sicheren Räumen gibt.

Aus technischer Sicht stellt sich das Problem, dass dabei nicht alle Zwischenzeiten einer Anlage innerhalb einer Alles-GELB-Phase abgelaufen sind, sodass der Übergang zum Hauptrichtungs-GRÜN zu Zwischenzeitverletzungen führen kann. (Beispiel: Für Fußgänger über die Haupttrichtung wird beim Einschalten ROT geschaltet, sie haben aber eine längere Zwischenzeit auf den Fahrverkehr als z. B. 8 s. Nach dieser Zeit wird jedoch für den Kraftfahrzeugverkehr nach der pauschalisierten Programmdauer bereits GRÜN geschaltet.) Die technische Realisierung bedarf aus diesem Grund einigen Aufwands auf Seiten der Signalbaufirmen.

Das Ausschalten erfolgt in Berlin analog zum Einschalten. Das aktuelle Programm wird zum programmspezifischen Ausschaltpunkt verlassen. Die Signalbilder der einzelnen Signalgruppen entsprechen dabei dem Bild beim Einschalten. Die Dauer des Ausschaltprogramms wird entsprechend den oben genannten Maßstäben pauschal festgelegt.

In der Praxis kommt es immer wieder vor, dass der fließende Kraftfahrzeugverkehr in der Haupttrichtung nach dem Ausschalten einer Lichtsignalanlage nicht unbedingt gleich die unsignalisierte Regelung registriert. Die Nebenrichtung sieht ihre Sperrzeit dagegen durch GELB als Beginn von GELB-Blinken beendet und rückt in den Knotenpunktbereich vor. Hierbei kommt es dann häufig zu Konflikten mit „Nachzüglern“ des Hauptverkehrspulks.

In Erfurt wird, um ein Verwechseln mit dem Signal ROT/GELB zu vermeiden, im Ausschaltprogramm zwischen dem letzten Signalzustand und dem Beginn des GELB-BLINKENS ein Zustand von 2 s DUNKEL programmiert.

In München erfolgt das Ausschalten entsprechend dem Einschaltprogramm nach 10 s Freigabezeit unter Verwendung der längsten Zwischenzeit.

Das Ausschalten über DUNKEL in allen Richtungen, wie es nach Schweizer Norm verlangt wird,

wird z. B. in Bielefeld (5 s DUNKEL) und in Frankfurt (2 s DUNKEL) seit einiger Zeit angewendet. Dies begründet sich daraus, dass vorher in Einzelfällen beobachtet werden konnte, dass der Beginn von GELB-Blinken mit dem normalerweise erwarteten ROT/GELB-Signal verwechselt wird und die Autofahrer ohne Beachten der nun geltenden Vorfahrtregeln in den Knotenpunkt einführen. Das Signalbild DUNKEL hingegen sei für die Verkehrsteilnehmer ein nicht erwartetes Signalbild, sodass vor einer Entscheidung zunächst weitere Informationen erwartet werden.

Vom Landratsamt Neu-Ulm wird auf einen Beschluss des Verkehrssicherheitskreises hingewiesen, alle Signalgeber zunächst auf ROT, und dann erst auf GELB-Blinken umzuschalten. Ohne die Vorschaltung des Rotlichts wird die Gefahr von Missverständnissen gesehen, die in diesem Zuständigkeitsbereich schon mehrfach Ursache für Unfälle war.

Eine andere Vorgehensweise beim Ausschalten wird, sofern vom Kunden nicht anders gewünscht, beim Anlagenhersteller Signalbau Huber angewendet. Dabei wird in der Regel – analog zum Einschalten – zuerst für die Hauptrichtung DUNKEL und für den parallelen Fußgänger ROT geschaltet. Unmittelbar nach Ablauf der entsprechenden größten Zwischenzeit werden die Nebenrichtung auf GELB-Blinken und alle Fußgänger auf DUNKEL geschaltet.

Als Mangel bei den bisherigen Regelungen der RiLSA wurde benannt, dass auf das Ein- und Ausschalten von Signalgebern für Linksabbieger aus der Hauptrichtung nicht eingegangen wird, obwohl hier erheblicher Klärungsbedarf gesehen wird.

Hinsichtlich der Betriebszeiten wird eine genaue, differenzierte Betrachtung der betreffenden Knotenpunkte nach festgelegten Kriterien als notwendig angesehen. Gerade eine Abschaltung aus rein wirtschaftlichen Gründen wird in Frage gestellt. Es wird jedoch bestätigt, dass zumindest die teilweise Abschaltung der Lichtsignalanlage gängige Praxis ist. Negative Erfahrungen wurden – zumindest von den am Workshop teilnehmenden Kommunen – dabei kaum gemacht. Von Seiten des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) wird jedoch nachdrücklich auf die nachgewiesenen Sicherheitsprobleme hingewiesen.

Neben der Frage, ob abgeschaltet wird, wird auch der Abschaltzeitpunkt teilweise kritisch gesehen.

Gerade das häufig übliche Abschalten um 20 Uhr wird dabei als zu früh bewertet.

### 7.2.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Beim Ein- und Ausschalten haben sich in der Praxis unterschiedliche, von den Empfehlungen der RiLSA abweichende Verfahren bewährt, die teilweise aus negativen Erfahrungen mit den Angaben aus den RiLSA entstanden sind. In einer vergleichenden Betrachtung sind die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit genauer zu untersuchen und entsprechende Empfehlungen zu entwickeln. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die Untersuchungsmethodik zu legen, da es sich beim Ein- und Ausschalten um besonders seltene Ereignisse handelt, wodurch sowohl die makroskopische als auch die mikroskopische Betrachtung erschwert wird.

Die Thematik der Nachtabschaltung ist in der Fachwelt bereits ausführlich diskutiert worden. Einschränkungen der Verkehrssicherheit scheinen grundsätzlich zu bestehen, andererseits scheint sich die gängige Praxis des Nachtabschaltens für einen Teil der Anlagen bewährt zu haben, sodass hier keine endgültige Klärung besteht. Vor diesem Hintergrund sollten die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit geprüft werden. Eine entsprechende Untersuchung sollte nicht nur die nächtliche, sondern auch das zeitweise Abschalten grundsätzlich betrachten. Grundsätzlich ist auch der Abschaltzeitpunkt zu hinterfragen und es sollte geprüft werden, ob bei Kreisverkehren Abweichungen bestehen. Darauf aufbauend sollten Empfehlungen für die Betriebszeiten von Lichtsignalanlagen mit klaren Vorgaben für die Untersuchung von relevanten Knotenpunkten entwickelt werden.

### 7.2.6 Innovationsgrad

#### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Der Grundsatz, den Betrieb der Lichtsignalanlagen auch in Schwachverkehrszeiten aufrechtzuerhalten, ist bereits in den RiLSA verankert. Eine Änderung des Ausschaltvorgangs würde gegebenenfalls die Modifizierung der RiLSA erfordern.

#### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Es zeigen sich keine Widersprüche zu den geltenden gesetzlichen Bestimmungen.

## **Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern**

Da das Nachtabschalten bereits kontrovers diskutiert wird, wird auch jede Änderung der Regelung entsprechende Diskussionen nach sich ziehen.

### **7.2.7 Handlungsbedarf**

#### **Richtlinienrelevanz der Fragestellungen**

Die Thematik der Nachtabschaltung ist richtlinienrelevant. Die in den letzten Jahren dazu herausgegebenen Veröffentlichungen zeigen jedoch keinen Konsens, sodass vor einer Integration der Thematik in die RiLSA 200X das Ergebnis der oben angesprochenen Untersuchungen abgewartet werden sollte.

#### **Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16**

Die Abschnitte der RiLSA 200X, die sich mit dem Regelbetrieb befassen, sind teilweise umfassend redaktionell und teilweise auch inhaltlich überarbeitet worden. So wurden beispielsweise die Ein- und Ausschaltprogramme dahingehend erweitert, dass nicht nur Kraftfahrzeuge und Fußgänger, sondern auch Radfahrer und ÖPNV berücksichtigt werden. Beim Einschalten des Signals für Fußgänger über die Kfz-Nebenrichtung wird jetzt der direkte Übergang von DUNKEL auf GRÜN empfohlen. Weiterhin wird die Thematik der Rotlampenüberwachung durch verschiedene kleine Beispiele verständlich erläutert und es wird darauf verzichtet, dass in den einzelnen Signalakten Zeit-Weg-Diagramme zur Verdeutlichung der Einbindung der Steuerung in das Gesamtsystem vorgehalten werden sollen.

Der Abschnitt über das zeitweise Abschalten von Lichtsignalanlagen ist inhaltlich unverändert übernommen worden, wobei er jedoch aus dem einleitenden Abschnitt in den Betrieb verschoben wurde.

#### **Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung**

Über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus besteht kein weiterer Änderungsbedarf, solange keine weiteren Untersuchungen erfolgt sind.

## **7.3 Ersatzmaßnahmen bei Betriebsunterbrechung**

### **7.3.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA**

Die RiLSA 1992 stellen drei Möglichkeiten von Ersatzmaßnahmen dar. Die Verkehrsregelung durch

Polizeibeamte kann grundsätzlich immer erfolgen, ist aber oft nicht über längere Zeit möglich. Bei Störungen längerer Dauer, aber auch bei kürzeren Störungen, kann insbesondere bei größeren und komplexen Knotenpunkten eine Verkehrsregelung durch Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen, also zum Beispiel Unterbindung von Verkehrsbeziehungen oder das Einziehen von Fahrstreifen eingeführt werden. Eine ersatzweise Signalsteuerung mit transportablen Lichtsignalanlagen sollte nur bei längeren und vorhersehbaren Störungen eingesetzt werden, da transportable Anlagen meist einen erheblichen Aufwand erzeugen. Die RiLSA 1992 beschreiben für diese Anlagen unter anderem die Anforderungen hinsichtlich der Einbindung in die Koordination, Freiluftverkablung und Funkübertragung.

### **7.3.2 Erreichter Forschungsstand**

Ersatzmaßnahmen bei Betriebsunterbrechung werden in den Forschungsaktivitäten der vergangenen Jahre nicht behandelt. Die von PITZINGER (1998) in einem Normenvorschlag für die Schweiz genannten Maßnahmen entsprechen den Angaben der RiLSA 1992. Bei einer Verkehrsregelung durch zusätzliche Verkehrszeichen und Leiteinrichtungen soll darüber hinaus geprüft werden, ob räumliche Verkehrsverlagerungen auftreten. Gegebenenfalls sollen entsprechende Maßnahmen durchgeführt werden.

### **7.3.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

In den Richtlinien zu Lichtsignalanlagen in Österreich werden Ersatzmaßnahmen nicht behandelt.

In der Schweiz wird auf die Thematik Ersatzmaßnahmen in den erfassten Normen zu Lichtsignalanlagen nicht eingegangen. Die Norm 640 886 zur temporären Signalisierung auf Haupt- und Nebenstraßen betrifft planbare Ereignisse wie Baustellen und Veranstaltungen und beinhaltet statische Maßnahmen wie z. B. die Beschilderung (VSS, 2002).

In Frankreich wird in der „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ im Teil „Feux des Circulation Permanents“ in Kapitel II, Artikel 110 C, auf Sicherheitsmaßnahmen eingegangen (METL, 1996). Im Teil „Signalisation Temporaire“ werden Aussagen zur temporären Signalisierung gemacht (METL, 1993). Für die temporäre Regelung des Ver-

kehrts werden als Maßnahmen unter anderem die Regelung durch Polizeibeamte, mit Beschilderungen sowie mit GELB-Blinken im mittleren Leuchtfeld des Signalgebers aufgeführt.

In Großbritannien wird in den berücksichtigten Richtlinien nicht auf Ersatzmaßnahmen eingegangen.

In den USA wird Kapitel 6 des „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“ detailliert auf temporäre Lichtsignalanlagen eingegangen (US DOT, 2003). Anwendungsbereich sind jedoch planbare Ereignisse wie Baustellen.

### 7.3.4 Rückmeldungen aus der Praxis

Die Stadt Bielefeld beschreibt ein bewährtes Vorgehen für Ersatzmaßnahmen speziell bei den vorgeschriebenen Wartungsarbeiten, die in zweijährigem Rhythmus ein gezieltes Abschalten der Lichtsignalanlagen erfordern. Die Ersatzmaßnahmen werden in Absprache mit der Baustellenkoordination durchgeführt. Am Donnerstag der vorausgehenden Woche werden die betroffenen Anlagen in einer Liste vorab der Polizei, der Pressestelle, dem Amt für Schule und Kinder- und Jugendeinrichtungen der Stadt Bielefeld gemeldet. Diese Informationen werden anschließend auch regelmäßig von der örtlichen Presse aufgenommen und veröffentlicht. Während der Wartungsarbeiten wird zum Schutz der Fußgänger der Kreuzungsbereich eingegengt und die zulässige Geschwindigkeit auf 30 km/h reduziert. Anlagen, die sich in unmittelbarer Nähe von Schulen befinden, werden in der Regel in den Ferienzeiten gewartet.

Von Seiten des Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Clubs e. V. wird darauf hingewiesen, dass die in den RiLSA genannte Möglichkeit, bei längerfristigen Anlagenausfällen Fahrbeziehungen zu unterbinden, für Radfahrer und Fußgänger wegen der hohen Umwegempfindlichkeit nicht gelten sollen.

Vom Tiefbauamt Dortmund wird der Bedarf für die Möglichkeit der Regelung des fließenden Verkehrs durch städtische Ordnungskräfte beim Ausschalten von Lichtsignalanlagen, z. B. zu Wartungszwecken, gesehen, was zumindest in Nordrhein-Westfalen nicht erlaubt ist.

### 7.3.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Für das Thema ist kein Forschungsbedarf erkennbar.

### 7.3.6 Innovationsgrad

Da die Thematik nicht in der aktuellen Forschung betrachtet wurde, ergeben sich keine Abweichungen zu bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und keine Reaktionen in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern. Lediglich die Verkehrsregelung durch städtische Mitarbeiter steht nicht im Einklang mit den Verordnungen mehrerer Bundesländer.

### 7.3.7 Handlungsbedarf

#### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Das Themenfeld der Ersatzmaßnahmen bei Betriebsunterbrechung ist richtlinienrelevant. In den letzten Jahren sind jedoch keine Forschungstätigkeiten erfolgt, die neue Erkenntnisse in diesem Themenfeld gebracht haben. Daher ergibt sich für die Arbeit an den RiLSA aus dem aktuellen Forschungsstand kein Handlungsbedarf.

#### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Weite Teile des bestehenden Abschnitts aus den RiLSA 1992 sind mit redaktionellen Änderungen für die RiLSA 200X übernommen worden. Dabei werden jedoch einige sehr detaillierte Regelungen nicht mehr mit aufgeführt. Inhaltlich wird im Wesentlichen geändert, dass die Verwendung transportabler Lichtsignalanlagen als eine Ausnahme zu betrachten ist.

#### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

Über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus besteht kein weiterer Änderungsbedarf.

## 8 Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen

### 8.1 Vorgehensweise in den aktuellen RiLSA

Ein systematisches und umfassendes Verständnis des Qualitätsmanagements, welches gesondert und fokussiert die Aufgaben zur Erreichung und dauerhaften Sicherung einer angestrebten Qualität des Verkehrsablaufs im Verkehrssystem betrachtet, dringt erst in jüngerer Zeit in den Verkehrssektor vor. Dem entsprechend ist auch in den RiLSA 1992 das Qualitätsmanagement als solches noch nicht thematisiert. Ungeachtet dessen leiten sich Einsatzkriterien und Gestaltungsziele für Lichtsignalanlagen aus einer Qualitätsorientierung auf das

„Endprodukt“ Verkehr ab: Erhöhung der Verkehrssicherheit, Verbesserung des Verkehrsablaufs, Verringerung der Schadstoffemissionen etc. Zugleich werden Anforderungen an die Tätigkeiten der Abnahme und der technischen Wartung beschrieben, deren implizites Ziel die dauerhafte Sicherung der einer regelgerechten Planung unterstellten angestrebten hohen Qualität der Verkehrssteuerung ist. Die Tätigkeiten der Überprüfung und gegebenenfalls der Instandsetzung richten sich jedoch vornehmlich auf den Zustand der einzelnen Bestandteile der Lichtsignalanlage gemäß der ursprünglichen Planung; eine Rückbindung an die resultierende, durch geänderte Rahmenbedingungen gegebenenfalls veränderte Qualität des Verkehrsablaufs findet nicht statt.

Alle qualitätssichernden Tätigkeiten der verschiedenen Phasen der Lebensdauer einer Lichtsignalanlage werden gebündelt erstmals in der RiLSA-Teilfortschreibung 2003 im Kontext der resultierenden Qualität des Verkehrsablaufs betrachtet. In einem neu hinzugekommenen Anhang „Qualitätssicherung“ werden für Anlagen im Betrieb eine turnusmäßige und ereignisbezogene Kontrolle und Systempflege gefordert, bei der das Unfallgeschehen sowie aus Beobachtungen gewonnene Informationen zu Kenngrößen des Verkehrsablaufs – z. B. die Überstauung von Fahrstreifen – zu einer umfassenden Qualitätsbewertung genutzt werden. Das Ergebnis dieser Beurteilung ist der Indikator für das Erfordernis, durch geeignete Verbesserungsmaßnahmen die resultierende Qualität des Verkehrsablaufs zu erhöhen.

## 8.2 Erreichter Forschungsstand

Qualitätsmanagement oder Qualitätssicherung wird im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen bisher nur selten explizit als Forschungsgegenstand, Forschungsziel oder Thema einer Veröffentlichung benannt. Dennoch wurden im Untersuchungszeitraum Studien veröffentlicht, die sich mit Teilfragestellungen beschäftigen, die im Rahmen eines Qualitätsmanagements zu betrachten sind.

Innerhalb der in solcher Weise dem Qualitätsmanagement zuordenbaren Literatur werden vor allem

- das Handlungserfordernis einer Verbesserung der Lichtsignalsteuerung und ihrer Anpassung an die Richtlinien,
- die systematische Überprüfung und Bewertung von Lichtsignalanlagen,

- die Automatisierung und Standardisierung von Überwachungsfunktionen und -aufgaben und
- die Kommunikation mit Verkehrsteilnehmern im Umfeld der Lichtsignalsteuerung

behandelt.

Die Ergebnisse verschiedener empirischer Untersuchungen unterstreichen einen bedeutenden Handlungsbedarf für die Verbesserung der Lichtsignalsteuerung und ihre Anpassung an die gültigen Richtlinien.

Anhaltspunkte für den Handlungsbedarf zeigt eine Untersuchung von THOMAS (2001), der in einer Untersuchung von mehr als 40 im Betrieb befindlichen Lichtsignalanlagen im US-Bundesstaat Iowa erhebliche Mängel festgestellt. Diese reichen von unzureichend ermittelten Zwischenzeiten über die nicht ausreichende Ausstattung und Sichtbarkeit der Signalgeber zu einem grundsätzlich mangelhaften Wartungszustand. Zwar können die Ergebnisse weder auf den Gesamtbestand der Lichtsignalanlagen in Iowa noch auf Deutschland übertragen werden, die Untersuchung zeigt jedoch auf, dass das Fehlen einer regelmäßigen und systematischen Überprüfung in den verschiedenen Phasen der Lebensdauer von Lichtsignalanlagen zum Auftreten signifikanter Mängel führen kann, die im Routinebetrieb unentdeckt bleiben.

Dass durch eine systematische Überprüfung und Bewertung bestehender Lichtsignalanlagen weitreichende Verbesserungspotenziale erschlossen werden können, zeigt auch der Erfahrungsbericht von HANGLEITNER et al. (1997). Hier wurde bei der Überprüfung von insgesamt 29 Streckenzügen in 15 Fällen ein erhebliches Verbesserungspotenzial ermittelt. In einer volkswirtschaftlichen Betrachtung hat SUNKARI (2004) ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 40:1 für eine Verbesserung der Signalprogramme festgestellt.

Die Bedeutung eines systematischen Ansatzes beim Unterhaltungsmanagement von Lichtsignalanlagen unterstreicht KRAFT (1997). Als Ergebnis einer Befragung unter US-amerikanischen Betreibern von Lichtsignalanlagen zeigte sich jedoch, dass die überwiegende Anzahl der Betreiber ausschließlich mit listen- und kontrollbuchbasierten Systemen arbeitet und keine softwaregestützten Verwaltungs- und Wartungssysteme nutzt, sodass auf diesem Feld ein weitreichendes Verbesserungspotenzial gesehen wird. Der dieser Untersu-

chung zu Grunde liegende Unterhaltungsbegriff geht über die technische Wartung hinaus; er umfasst neben Störungsbeseitigung und Vorsorge als wesentliche Bestandteile der Wartung auch die Anpassung der Lichtsignalanlage an geänderte Anforderungen. Die Notwendigkeit eines systematischen Unterhaltungsmanagements wird mit betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Kosten begründet, die wiederum auf normativ-ethische Forderungen (Vermeidung von Unfällen, Verbesserung der Luftqualität) zurückgeführt werden, ohne dass hierbei jedoch explizit auf einen Qualitätsbegriff Bezug genommen wird. Als wesentliche Voraussetzungen des Unterhaltungsmanagements werden die Festlegung und Einhaltung eines turnusmäßigen Untersuchungsprogramms, die Bereitstellung finanzieller und personeller Ressourcen und die Einrichtung eines zweckmäßigen Daten- und Informationsmanagements gesehen. Es wird auf die Bedeutung einer guten Kommunikation mit der Öffentlichkeit, die sich von der Nutzung von Zeitungen und dem Radio als Informationsmedium bis hin zu öffentlichen Hearings zur Lichtsignalsteuerung erstreckt, hingewiesen.

Bereits zuvor hat PARSONSON (1992) eine jährliche Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung der Signalprogramme gefordert. Um dies zu erleichtern, fordert er verstärkte Bemühungen um einheitliche und systematische Verfahrensvorschläge sowie kostengünstige Möglichkeiten, die erforderlichen Verkehrsdaten zu gewinnen. Handlungsbedarf sieht er jedoch auch bei der Aus- und Fortbildung der verantwortlichen Ingenieure, beim Drängen auf die Beachtung der gültigen Regelwerke und letztlich bei der Schulung der Bevölkerung im Umgang mit Lichtsignalanlagen. Als wichtigster Indikator für die Notwendigkeit einer Überarbeitung der Steuerung – noch vor Auffälligkeiten im Unfallgeschehen – werden von befragten Betreibern Beschwerden aus der Bevölkerung genannt. Es wird jedoch auf die Schwierigkeit hingewiesen, regelmäßige Aufwendungen für eine Verbesserung der Signalisierung betriebswirtschaftlich zu begründen.

Die Untersuchung von PITZINGER (1998) bietet eine knapp zusammengefasste Auflistung von möglichen Ursachen von Qualitätsproblemen an Lichtsignalanlagen, denen durch regelmäßige Inspektion und das Ergreifen geeigneter Korrekturmaßnahmen begegnet werden kann. Bei den Anlässen für eine Überprüfung und Anpassung der Lichtsignalsteuerung wird unterschieden zwischen neuen Randbedingungen (Unfallgeschehen, Ände-

rungen am Knotenausbau, Änderungen des Verkehrsaufkommens, Änderung der Linienführung des ÖPNV) und neuen Anforderungen geänderter Richtlinien oder durch Weiterentwicklungen des Stands der Technik. Als Turnus für die Feststellung eventuell geänderter Randbedingungen wird zwei Jahre angegeben.

ALLENBACH/HUBACHER (2002) betonen mit Verweis auf die einschlägigen Regelwerke zur verkehrssicheren Gestaltung der Verkehrssysteme, dass zur Verbesserung der Verkehrssicherheit nach dem Auftreten von Unfällen nicht nur Maßnahmen der Signalisierung, sondern auch des Knotenpunktentwurfs und der technischen Ausstattung der Lichtsignalanlagen einzubeziehen sind. Maßgebenden Einfluss auf das Unfallgeschehen hat stets die Verbindung aus Regelungsart und Knotenpunktgestaltung, was die Forderung nach Einheit von Entwurf und Betrieb unterstreicht. Somit können die Analyse und schließlich die Verbesserung von Lichtsignalanlagen nicht allein bei den Steuerungsmaßnahmen oder der Anpassung der Technik ansetzen. Im Besonderen wird in dieser Untersuchung die Problematik der gesicherten oder ungesicherten Führung von Linksabbiegern festgestellt, wonach bei Lichtsignalanlagen mit bedingt verträglicher Freigabe ein um 50 % erhöhtes Unfallrisiko festgestellt sind. Pauschale Vorhersagen des Unfallgeschehens werden jedoch kritisch gesehen. Zur praktischen Durchführung von Analysen und Knotenpunktinspektionen bietet diese Untersuchung ein Erfassungsprotokoll und eine Checkliste an.

Für die Automatisierung und Standardisierung der Tätigkeiten der Projektierung, Versorgung und Betriebsüberwachung von Lichtsignalanlagen boten sich in den zurückliegenden Jahren mit fortschreitender Entwicklung der Mikroprozessoren immer weitreichendere Möglichkeiten. Unmittelbar qualitätsrelevant sind hierbei unter anderem die Aspekte, dass durch automatisierte Datenübernahme Fehlerquellen einer händischen Übertragung ausgeschaltet und durch Prüfroutinen Inkonsistenzen und Widersprüche erkannt werden können. MÖNNICH (2003) sieht dadurch hohe Anforderungen an die Funktionalität von Programmen und Schnittstellen und erwartet von modernen Systemen, dass sie auf Fehler hinweisen und Möglichkeiten zu ihrer Behebung aufzeigen, ohne jedoch automatische Korrekturen durchzuführen. Er sieht jedoch hohe Anforderungen einer Standardisierung von Hardwareschnittstellen und Datenprotokollen, damit solche Systeme in gemischten Herstellerum-

gebungen arbeiten können, und beschreibt die hierzu vorangetriebenen Entwicklungen im Rahmen der OCIT-Initiative.

Mehrere Untersuchungen (NIKSCH et al., 2003 GRUND et al., 1992; HEAD, 1990) beschreiben die im frühen Untersuchungszeitraum erheblich verbesserten und heute in weitreichendem Umfang verfügbaren Technologien der Fernüberwachung von Lichtsignalanlagen und begründen deren Einsatz mit der schnelleren und umfassenderen Störungsbeseitigung. Ein weiterer Vorteil solcher Systeme ist, dass auf dem Weg der Fernüberwachung Verkehrsdaten an eine Zentrale übergeben und dort analysiert werden können und dass diese Informationen wiederum zu Verbesserung der Lichtsignalsteuerung beitragen.

Die Untersuchung von SMITH et al. (2002) zeigt an einem Beispiel, wie kontinuierlich erhobene und gespeicherte Datensätze mit Hilfe eines Data Minings daraufhin überprüft werden, ob Grundannahmen noch gültig sind oder angepasst werden müssen. Hieran wird deutlich, dass die erweiterten Möglichkeiten der Datenübertragung, Datenspeicherung und Datenanalyse bei gezielter Nutzung einen Beitrag zur Qualitätssicherung leisten können.

Zur Einbeziehung von Nutzererfahrungen gibt es bislang keine wissenschaftlich abgesicherten Untersuchungen. Die Erfahrungen der Stadt Köln mit der Einrichtung einer „Ampel-Hotline“ geben jedoch Hinweise darauf, dass ein reges Interesse der Verkehrsteilnehmer an diesem Service besteht und dass vor allem die eingehenden Rückmeldungen wertvolle Anregungen zur Systemoptimierung liefern (Amt für Straßen- und Verkehrstechnik, Stadt Köln, 2000).

Das Ergebnis einer erst nach dem Betrachtungszeitraum abgeschlossenen Untersuchung von BOLTZE und REUSSWIG (2005) ist ein Vorschlag für ein modulares Verfahren für ein systematisches Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen im Betrieb. Hierbei wird zunächst der Gesamtzustand der Lichtsignalsteuerung gebietsbezogen hinsichtlich der Verkehrssicherheit und der Qualität des Verkehrsablaufs beurteilt, bevor die einzelnen Lichtsignalanlagen nach einem jährlichen Grundturnus untersucht und bewertet werden. Wenn sich aus der Analyse der Qualität des Verkehrsablaufs ein Handlungsbedarf ergibt, so werden mit Hilfe einer Maßnahmendatenbank Handlungsansätze zur Qualitätsverbesserung identifiziert, die

sich von Anpassungen der Steuerung über Erneuerung von Hardwarekomponenten bis zu Änderungen der Knotenpunktgestaltung erstreckt. Zur Analyse werden Unfalldaten, Prozessdaten, Betriebsdaten sowie Inspektionen und Beobachtungen am Knotenpunkt herangezogen. Das Verfahren ist wegen seines modularen Aufbaus zur Anwendung an Lichtsignalanlagen mit unterschiedlicher Datenverfügbarkeit geeignet. Beispielanwendungen haben gezeigt, dass durch die Überprüfung und Umsetzung geeigneter Maßnahmen deutliche volkswirtschaftliche Vorteile erzielt werden können. Dennoch wird die Notwendigkeit gesehen, die verbreitete Anwendung von Qualitätsmanagement durch normative Anforderungen im Richtlinienwerk und betriebswirtschaftlich wirksame Anreize zu fördern.

### **8.3 Berücksichtigung der Thematik in den Richtlinien anderer Länder**

Wie auch in den RiLSA 1992 wird in den Richtlinien anderer Länder das Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen noch nicht explizit behandelt. Insbesondere findet in den vielfältigen Ausführungen zum Themenbereich Abnahme, Unterhaltung und Wartung von Lichtsignalanlagen keine direkte Bezugnahme auf die resultierende Qualität des Verkehrsablaufs statt; die beschriebenen Anforderungen beschränken sich im Allgemeinen darauf, eine Übereinstimmung der tatsächlich vorhandenen Lichtsignalsteuerung mit der ursprünglichen Planung zu gewährleisten. Eine systematische Verfahrensweise zur regelmäßigen, umfassenden Überprüfung von Lichtsignalanlagen und ihrer Wirkungen auf die Qualität des Verkehrsablaufs findet sich in keiner der in die Betrachtung einbezogenen ausländischen Richtlinien.

In Österreich findet sich im Rahmen der Regelungen zur Abnahme (RVS 5.33) die Forderung, vor Inbetriebnahme zu prüfen, ob die Lichtsignalanlage mit den Planungsunterlagen übereinstimmt (FSV, 1998c). Hierzu zählen insbesondere die richtige und eindeutige Anbringung aller Signalgeber und Verkehrszeichen, korrekte Bodenmarkierungen, einwandfreie Betriebsfunktionen der Anlage, die Wirksamkeit der Signalsicherung und die Einhaltung der VDE-Vorschriften. Das Ergebnis der Abnahmeprüfung ist in einem Prüfprotokoll gemäß RVS 5.34 festzuhalten, welches als Gegenstände der Prüfung die Hardware, die Steuerungsfunktionen und die Knotenpunktausstattung detailliert auflistet (FSV, 1998d). Zur Betriebsüberwachung

fordert die RVS 5.33 eine automatische Betriebszustandsmeldung.

Auch für die Schweiz listet die Schweizer Norm 640 842 „Abnahme – Betrieb – Wartung“ die Betrachtungsgegenstände bei der Wartung auf (VSS, 1998). Unter dem Stichwort Betriebsbetreuung wird jedoch konstatiert, dass sich Mängel des Zustands der Lichtsignalanlage in der Betriebssicherheit, der Verkehrssicherheit und im Verkehrsablauf zeigen. Daher sollen bei der Betriebsbetreuung Beobachtungen des Verkehrsablaufs, statistische Analysen von Verkehrs- und Betriebsdaten, Auswertungen von Unfalldaten und Mängelmeldungen und Änderungswünsche ausgewertet werden.

Für Großbritannien sieht die Richtlinie „Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)“ eine jährlich durchzuführende Vor-Ort-Inspektion vor, die sich jedoch ebenfalls nur auf die Funktionsfähigkeit der technischen Einrichtungen und die Bestandteile des Knotenpunkts bezieht, nicht jedoch auf die Qualität des Verkehrsablaufs (Highways Agency et al., 2005). Qualitätsmanagement wird als Anforderung für den Projektierungsprozess genannt und es werden Qualitätspläne gefordert, ohne dass diese näher spezifiziert werden.

Die „Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière“ in Frankreich geht nicht auf Fragestellungen des Betriebs ein (METL, 1996).

Für die USA fordert das „Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)“, dass bereits vor der Installation einer Lichtsignalanlage die Verantwortlichkeit für die Unterhaltung festgelegt wird (US DOT, 2003). Für die Unterhaltung wird eine regelmäßige Überprüfung der Übereinstimmung mit der Planung vorgesehen, außerdem wird ein konsistentes Informationsmanagement gefordert, aus dem alle Änderungen am Signalplan hervorgehen. Die näheren Ausführungen und Anforderungen beschäftigen sich ebenfalls nur mit der technischen Wartung im engeren Sinn; eine Einbeziehung der Qualität des Verkehrsablaufs findet nicht statt.

#### **8.4 Rückmeldungen aus der Praxis**

Das häufige Auftreten von technischen Defiziten im Anlagenbestand sowie von der aktuellen Verkehrssituation nicht mehr angemessenen Signalprogrammen und somit ein grundsätzlicher Bedarf für ein systematisches Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen sind in der Praxis unbestritten. In der zunehmenden Privatisierung von nicht-ho-

heitlichen Aufgaben wird ein zusätzlicher Handlungsbedarf gesehen, geeignete Instrumente des Qualitätsmanagements zu etablieren. Dieser Kenntnis stehen die begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen gegenüber, wobei darauf hingewiesen wird, dass für die Beseitigung von Defiziten oft nur geringe Aufwände erforderlich sind. Vor dem Hintergrund dieses Konflikts besteht weitgehender Konsens, dass einerseits die Grundlagen für ein Qualitätsmanagement im Richtlinienwerk verankert werden sollten. In der Frage, ob diese Ausführungen verpflichtenden oder nur empfehlenden Charakter haben sollten, besteht jedoch kein einheitliches Meinungsbild. Zur Vermeidung von kurzfristigen Aufwandsspitzen ist außerdem die Einführung von Übergangsregelungen erforderlich. Um Investitionen begründen zu können, werden die Benennung erforderlicher finanzieller Ressourcen und die Gegenüberstellung des Nutzens als zielführend erachtet.

Unbedingter Handlungsbedarf wird gesehen, wenn die Verfügbarkeit der Anlage oder weitere sicherheitsrelevante Aspekte nicht mehr gewährleistet sind. Hier soll ein Qualitätsmanagement entsprechende Prioritäten vorsehen. So führt die Stadt Krefeld ein Qualitätsmanagement bei der Störfallbeseitigung durch und kann damit belegen, dass 60 % der Störfälle innerhalb einer Stunde beseitigt sind. Die Verringerung der Verkehrsqualität wird dagegen als sekundär eingestuft. Sofern keine sicherheitsrelevanten Probleme bestehen, sollen Qualitätsdefizite nicht zur Abschaltung von Lichtsignalanlagen führen.

Die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung verweist auf den 2003 veröffentlichten „Leitfaden Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen“. Danach sind die Bereiche Verkehrssicherheit, Qualität des Verkehrsablaufs und betriebliche Fragen zu untersuchen. Aus dem Ergebnis ist eine Dringlichkeitsliste für zu überarbeitende Anlagen zu erstellen, um die verfügbaren Mittel mit hoher Effizienz einzusetzen. Im Rahmen der Initiative „Staufreies Hessen 2015“ werden die Aktivitäten zum Qualitätsmanagement durch eine entsprechende Projektgruppe weiter forciert. Ergänzend ist zu erwähnen, dass in Hessen ab 2006 GVFG-Mittel für die Erneuerung von Lichtsignalanlagen beantragt werden können.

In dem Zusammenhang mit der Diskussion um die Qualität der Lichtsignalsteuerung ist auch der Vorschlag des Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Clubs e. V. einzuordnen, Hinweise zu Übergangsregelun-

gen für Anlagen, die nicht mehr den aktuellen technischen und rechtlichen Standards entsprechen, in das Richtlinienwerk aufzunehmen, da eingehende Beschwerden und Anregungen sich oft gerade auf solche älteren Anlagen beziehen. Eine zeitnahe Umsetzung dieser Bestimmungen würde somit dazu führen, dass als veraltet geltende Bestimmungen zeitnäher abgelöst werden könnten und sich auch schneller ein neuer Standard manifestieren könnte.

Die Diskussion während des Workshops hat jedoch gezeigt, dass dies insbesondere aus Kostengründen in vielen Fällen nicht möglich ist. Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dass es sinnvoller ist, neue Regelungen dann einzuführen, wenn es für den betrachteten Knotenpunkt sinnvoll ist, und nicht, wenn eine bestimmte Frist abgelaufen ist.

Entsprechend der oben beschriebenen Diskussion zum Qualitätsmanagement wird auch hier darauf verwiesen, dass zu unterscheiden ist zwischen altersbedingten Einschränkungen der grundsätzlichen Funktionsfähigkeit und der verkehrstechnischen Möglichkeiten, wobei im ersten Fall ein kurzfristiger Austausch erforderlich ist, während im zweiten Fall der Einzelfall betrachtet werden sollte. Mit Hilfe der konsequenten Anwendung des Qualitätsmanagements kann sichergestellt werden, dass die Lichtsignalanlage langfristig den Ansprüchen genügt.

Von Seiten der Signalanlagenhersteller wird auf das sowohl haushaltstechnisch als auch betriebswirtschaftlich relevante Argument hingewiesen, dass die Einführung von starren Übergangszeiten für den Ersatz von Altanlagen zu einem kurzfristig erhöhten Bedarf an Haushaltsmitteln und somit zu nicht erfüllbaren Auftragsspitzen führen würde, denen sich eine entsprechend lange Phase ohne Investitionen anschließen würde.

### 8.5 Verbleibender Forschungsbedarf

Für das Themenfeld des Qualitätsmanagements besteht kein grundsätzlicher Forschungsbedarf mit Bezug auf Handlungserfordernis, grundsätzliche Verfahrensweise und Wirksamkeit mehr. Für eine verbreitete praktische Anwendung sind jedoch noch die folgenden Fragestellungen relevant, die durch geeignete Untersuchungen, Beispielanwendungen und Langzeitstudien erörtert werden sollten:

- Turnus von Qualitätsprüfungen: Die in den Quellen und Richtlinien benannten Turnusse sind in der Regel nicht wissenschaftlich untermauert, sondern in Anlehnung an etablierte Verfahrensweisen (z. B. Verkehrsschau) oder aus Erfahrungswissen begründet. Insbesondere, um die erforderlichen Aufwendungen einer regelmäßigen Prüfung begründen zu können, wären hierzu weitere Untersuchungen erforderlich, die den Nutzen n-jährlicher Überprüfungen und Anpassungen belegen.
- Wirksamkeit typischer Verbesserungsmaßnahmen zur Verbesserung der Nutzen-Kosten-Bewertungen: Hierzu ist eine systematische Erfassung von Anpassungen an die Lichtsignalsteuerung mit wissenschaftlich abgesicherten Vorher-Nachher-Untersuchungen erforderlich.
- Bewertungsmaßstäbe: Über die bestehenden absoluten Ansätze wie Schwellenwerte für Unfallhäufungsstellen und Qualitätsstufen nach HBS hinaus stellt sich die Frage nach einer zeit- und umfeldspezifischen Ausprägung von Zielwerten und der vergleichenden Bewertung der Ergebnisse bei unterschiedlichen städtebaulichen Gegebenheiten oder Anforderungsprofilen. Dies wird insbesondere dann wichtig, wenn an die Ergebnisse von Qualitätsprüfungen z. B. Anreize, Förderinstrumente oder Zertifizierungen gebunden werden.
- Die Möglichkeiten, den Einsatz von Qualitätsmanagement durch betriebswirtschaftliche Anreize zu fördern, sollte selbst Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Hierzu sind Förderinstrumente ebenso in Betracht zu ziehen wie Anreizsysteme auf der Grundlage von Benchmarking-Untersuchungen etc.
- Zur systematischen und effizienten Einbeziehung von Nutzererfahrungen besteht noch weitreichender Forschungsbedarf. Dabei sind sowohl die Weiterentwicklung passiver Systeme wie des kommunalen Beschwerdemanagements als auch die Anwendung aktiver Marketing-Instrumente wie geeigneter Befragungsmethoden der Verkehrsteilnehmer zu erörtern.
- Die Weiterentwicklung eines systematischen Qualitätsmanagements zu einem umfassenden, geschlossenen und zertifizierbaren Qualitätsmanagement-System kann auf die Ergebnisse der vorgenannten Fragestellungen aufbauen und zu einer Vereinheitlichung der Ansätze ver-

schiedener Betreiber führen. Hierzu wäre die Entwicklung eines Musterhandbuchs Qualitätsmanagement ein wichtiger Schritt, in dem neben den Prozessen und Instrumenten des Qualitätsmanagements auch die Festlegung der Qualitätsziele und die Bereitstellung der erforderlichen Ressourcen thematisiert werden.

## 8.6 Innovationsgrad

### Abweichung von bestehenden Regelungen im Richtlinienwerk

Das Qualitätsmanagement bezieht sich in seinen sachlich-funktionalen Anforderungen stets auf die gültigen Regelungen im Richtlinienwerk.

### Übereinstimmung mit bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen

Anforderungen und Tätigkeiten, die zum Erreichen von Qualitätszielen eines sicheren und reibungslosen Verkehrsablaufs beitragen, erfüllen per se die gesetzlichen Anforderungen der Verkehrssteuerung.

### Einschätzung der Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit, bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern

Die Bedeutung des Qualitätsmanagements als wichtige künftig zu behandelnde Fragestellung ist sowohl in der Fachöffentlichkeit als auch bei Betreibern und Verkehrsteilnehmern unstrittig. Es wird nicht in Frage gestellt, dass das Erzielen und dauerhafte Absichern eines hohen Qualitätsniveaus der Lichtsignalsteuerung eine Aufgabe ist, die eines systematischen und umfassenden Ansatzes bedarf und für die auch die erforderlichen Ressourcen und Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden müssen. Inwieweit die praktische Umsetzung in Form regelmäßiger Qualitätsüberprüfungen den genannten Anforderungen entsprechen wird, ist von vielfältigen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig und kann – insbesondere solange die betriebswirtschaftliche Rentabilität des Qualitätsmanagements nicht durch geeignete Anreizsysteme und Förderung verbessert ist – nicht gesichert eingeschätzt werden. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass durch eine Festlegung in den RiLSA diesen Anforderungen eine erheblich größere Bedeutung zukommen wird, als dies bisher der Fall ist.

## 8.7 Handlungsbedarf

### Richtlinienrelevanz der Fragestellung

Das umfassende Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen und die hierfür erforderlichen Verfahrensweisen sind richtlinienrelevante Fragestellungen. Anforderungen, Tätigkeiten und Nachweise im Kontext der Verkehrssteuerung orientieren sich zunehmend verstärkt an einer Qualitätsperspektive, die vom Endprodukt – dem Verkehrsablauf – ausgeht. Diese Sichtweise wird sukzessive im technischen Regelwerk umgesetzt, wie unter anderem auch andere, neu eingeführte Verfahren wie das Sicherheits-Audit zeigen.

Für die Lichtsignalsteuerung stellt sich eine besondere Bedeutung dieser Fragestellung zudem im Zusammenhang mit zunehmenden Aktivitäten der Privatisierung von Aufgaben. Um privatisierte Aufgaben bewerten und die hoheitliche Gesamtverantwortung für die Verkehrssteuerung gewährleisten zu können, ist eine Rückbindung an die resultierende Qualität des Verkehrsablaufs, insbesondere hinsichtlich der Verkehrssicherheit, von grundlegender Bedeutung.

### Vorgeschlagene Neuregelung des AK 3.16.16

Die Bedeutung dieser Fragestellung wurde durch die Beauftragung eines Forschungsvorhabens unterstrichen, dessen Ergebnis ein Formulierungsvorschlag für die Neufassung eines Abschnitts „Qualitätsmanagement“ in den RiLSA 200X war. Dieser Formulierungsvorschlag wurde bereits vorab in den AK 3.16.16 eingebracht und bildet dort die Grundlage der inhaltlichen und redaktionellen Arbeiten.

### Erfordernis der zusätzlichen Neuregelung

Über die bereits vorgeschlagene Neuregelung hinaus besteht kein weiterer Änderungsbedarf.

## 9 Zusammenfassung

Der Schwerpunkt der neuen Forschungserkenntnisse liegt im Bereich der Steuerungsverfahren. Weitere herausragende Themenfelder sind die Grundsatzthemen in der Einleitung und der Entwurf des Signalprogramms mit den hier adressierten Themen der Sicherung von Verkehrsströmen und des Rechtsabbiegens mit Grünpfeil-Schild.

Weiterer Forschungsbedarf hat sich ergeben bezüglich

- der Signalisierung von Räumzeiten für Fußgänger hinsichtlich der Auswirkung auf die Verkehrssicherheit, der Einflüsse auf Verkehrsabhängigkeit und der Qualität des Verkehrsablaufs aller Verkehrsteilnehmergruppen,
- der Wirksamkeit der Lichtsignalsteuerung in Bezug auf die Steuerung des Verkehrs in Straßennetzen und hinsichtlich der langfristigen Wirkung von Pflörtneranlagen, z. B. einer möglichen Verlagerung des Verkehrs auf andere Netzbereiche,
- einer langfristigen Untersuchung der Verkehrssicherheit beim Rechtsabbiegen mit Grünpfeilschild,
- der Auswirkung einer Vorgabezeit für Linksabbieger auf die Verkehrssicherheit,
- der optimalen Signalisierung des Fußgängerverkehrs über gesonderte Bahnkörper insbesondere für Blinde und Sehbehinderte,
- der Auswirkungen von hohen Dichten im Fußgängerverkehr auf die Zwischenzeitberechnung und die notwendigen Freigabezeiten,
- der verkehrsunabhängigen Bestimmung der Zwischenzeiten,
- einer vergleichenden Bewertung der unterschiedlichen Umsetzung der Steuerungsverfahren,
- der Detektion der verschiedenen Abbiegebeziehungen, als Basis für den optimalen Betrieb modellbasierter Steuerungsverfahren,
- der Frage, welche weiteren Kenngrößen auch für die Steuerung von Lichtsignalanlagen genutzt werden können,
- der automatischen Detektion von Fußgängern und Radfahrern und damit auch bezüglich der sich ändernden Möglichkeiten der Kenngrößenbetrachtung für diese Verkehrsteilnehmergruppen,
- der Koordinierung in Straßennetzen einschließlich der Weiterentwicklung bestehender Verfahren der Offline- und Online-Optimierung,
- des Zusammenspiels der Koordinierung von Netzen und der linienhaften Optimierung des ÖPNV,

- der Aufstellung der Signalgeber hinter der Konfliktfläche und den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf,
- der Messgenauigkeit der einzelnen Detektionssysteme,
- der Auswirkungen des Nachtabschaltens auf die Verkehrssicherheit,
- der optimalen Gestaltung von Ein- und Ausschaltprogrammen,
- der Wirkungen von koordinierten und lokalen Steuerungen sowie zu rechtlichen Aspekten der Rampenzuflusssteuerung sowie bezüglich
- der erforderlichen Turnusse und der Wirksamkeit von Maßnahmen im Rahmen des Qualitätsmanagements für Lichtsignalanlagen.

## 10 Quellenverzeichnis

### Literatur

- ABBAS, M., BULLOCK, D., HEAD, L.: Real-Time Offset Transitioning Algorithm for Coordinating Traffic Signals. Transportation Research Record, Heft 1748, 2001, Seite 26-39
- ADAMS, P.: Traffic signals and roundabouts: Are they really safer? Road & Transport Research, Heft 4, 1995, Seite 88-100
- ALBRECHT, F., BRÜHN., E., FRENZEL, K. H., KRAUSE, K., MEEWES, V., SCHNABEL, W., TOPP, H. H.: Rechtsabbiegen bei Rot mit Grünpfeil. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 72, Bergisch Gladbach, 1999
- ALBRECHT, H.: VS-Plus – ein neuer Weg zur Realisierung verkehrsunabhängiger Steuerung. FGSV-Kolloquium Verkehrsunabhängige Steuerung am Knotenpunkt, Köln, 1994, Seite 19-30
- ALBRECHT, H., BEHR, E., BIELEFELD, J., HARTZENDORF, K., WITHOLD, J., PABST, B., SANTFORT, A., RICHTER, H., SCHÖTTLER, U.: OCIT – eine offene Standardschnittstelle für Geräte der Straßenverkehrstechnik. Straßenverkehrstechnik, Heft 11, 2000, Seite 590-595
- AL-KAISY, A. F., STEWART, J. A.: New approach for developing warrants of protected left-turn phase at signalized intersections. Transportation Research Part A, Heft 6 (Volume 35), 2001, Seite 561-574

- ALLENBACH, R.: Analyse von gefährlichen Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignalanlagen. bfu-Report, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, Schweiz, 1998
- ALLENBACH, R., HUBACHER, M.: Lichtsignalanlagen – Anlagespezifische Untersuchung sicherheitsrelevanter Aspekte von vierarmigen Kreuzungen im Innerortsbereich. bfu-Report, Heft H. 48, Bern, Schweiz, 2002
- ALLOS, A. E., AL-HADITHI, M. I.: Driver behaviour during onset of amber at signalised junctions. *Traffic Engineering and Control*, Heft 5, 1992, Seite 12-317
- Amt für Straßen- und Verkehrs-Technik, Stadt Köln: Ampel-Hotline des Amtes für Straßen- und Verkehrstechnik der Stadt Köln – Eine erste Zwischenbilanz. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 5, 2000, Seite 235
- ANDERSON, J., SAYERS, T., BELL, M.: The objectives of traffic signal control. *Traffic Engineering and Control*, Heft 3, 1998, Seite 167-170
- ANDREE, R., BOLTZE, M., JENTSCH, H.: Entwicklung von Strategien für ein dynamisches Verkehrsmanagement. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 12, 2001, Seite 610-620
- AUSTIN, K., WHITE, P.: Reducing pedestrian and vehicle conflict at pelican crossing. *Traffic Engineering and Control*, Heft 5, 1997, Seite 257-261
- AXHAUSEN, K., KÖLL, H., BADER, M.: Regelwidriges Fahrverhalten an Lichtsignalanlagen. Empirische Ergebnisse aus Österreich, Schweiz und Deutschland. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 7, 2001, Seite 313-317
- AXHAUSEN, K., KÖLL, H., BADER, M.: Entscheidungsverhalten an LSA mit und ohne Grünblinker als Ankündigung der Übergangszeit Gelb. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 7, 2002, Seite 339-345
- BARLOW, J. M., BENTZEN, B. L., TABOR, L. S.: Accessible Pedestrian Signals: Synthesis and Guide to Best Practice. NCHRP Research Results Digest, Heft 278, Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 2003a
- BARLOW, J. M., BENTZEN, B. L., TABOR, L. S.: Guidelines for Accessible Pedestrian Signals. Transportation Research Board, Berlin, MA, USA, 2003b
- BASHA, P. E., BOX, P. C.: A Study of Accidents with Lead Versus Lag Left-Turn Phasing. *ITE Journal*, Heft 5, 2003, Seite 24-28
- BELL, M., BROOKES, D.: ÖPNV-Beschleunigung durch Lichtsignalsteuerung. HEUREKA '93 – Optimierung in Verkehr und Transport, Köln, 1993, Seite 323-333
- BENTZEN, B. L., BARLOW, J. M., FRANCK, L.: Addressing Barriers to Blind Pedestrians at Signalized Intersections. *ITE Journal*, Heft 9, 2000, Seite 32-35
- BENTZEN, B. L., BARLOW, J., FRANCK, L.: Determining Recommended Language for Speech Messages used by Accessible Pedestrian Signals: Final Report. 2002
- BENTZEN, B., TABOR, L. S.: Accessible Pedestrian Signals. Berlin, MA, USA, 1998
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Vorläufige Hinweise für die Erstellung von Zuflussregelungsanlagen. (SSP Consult), Bergisch Gladbach, 2000
- BOGENBERGER, K.: Adaptive Zuflussregelung mit genetischen Fuzzy-Algorithmen. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 3, 2002, Seite 117-126
- BOGENBERGER, K., SCHÜTTE, C., ERNHOFER, O.: Integriertes Steuerungskonzept für eine innerstädtische Ringstraße. Erste Ergebnisse aus dem Arbeitsbereich „Optimierung im Hauptstraßennetz“ des BMBF-Leitprojektes MOBILNET. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 7, 2000, Seite 334-336
- BOLTZE, M., KITTLER, W., NAKAMURA, H.: Lichtsignalsteuerung in Japan. Unveröffentlicht, Darmstadt, 2005
- BOLTZE, M., REUSSWIG, A.: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft V 128, Bergisch Gladbach, 2005
- BONNESON, J. A., McCOY, P. T.: Driver Understanding of Protected and Permitted Left-Turn Signal Displays. *Transportation Research Record*, Heft 1464, 1994, Seite 42-50

- BONNESON, J. A., McCOY, P. T.: Traffic Detector Designs for Isolated Intersections. ITE Journal, Heft 8, 1996, Seite 42-47
- BOSSERHOFF, D., HUMBERG, W.: Steuerungsverfahren zur Priorisierung von Straßenbahn und Bus an Lichtsignalanlagen in Grüner Welle. HEUREKA '93 – Optimierung in Verkehr und Transport, Köln, 1993, Seite 358-377
- BRENNER, M. F., GENZ, H., KRAUSE, S.: Standardisierung und Modularisierung verkehrstechnischer Grundprobleme in der Lichtsignalsteuerung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 769, Bonn, 1999
- BRENNER, M. F., ZIEGLER, H., SEELING, K.: Sicherheitsrisiken an Lichtsignalanlagen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 44, Bergisch Gladbach, 1997
- BRILON, W., WU, N.: Untersuchung einer Verkehrsführung an Autobahnbaustellen mit drei Fahrstreifen, bei der der mittlere Fahrstreifen in wechselnder Richtung benutzt werden kann. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 623, Bonn, 1992
- BROOKES, D., BELL, M. G. H.: Expected delay and stop calculation for discrete time adaptive traffic signal control. Highway Capacity and Level of Service, Aa Balkema, Rotterdam, 1991, Seite 75-82
- BUSCH, F., KRUSE, G.: MOTION – Ein neues Verfahren für die städtische Lichtsignalsteuerung und seine Erprobung im Rahmen des EG-Programms ATT. HEUREKA '93 – Optimierung in Verkehr und Transport, Köln, 1993, Seite 79-93
- COLE, W. E., CHILDERS, A. L., HUMPHREYS, J. B.: Traffic Control Changes Requiring Transition. ITE Journal, Heft 12, 2002, Seite 34-42
- CREMER, M., EDDELBÜTTEL, J.: Signalisierungsstrategie für gesättigte Straßennetze. HEUREKA '93 – Optimierung in Verkehr und Transport, Köln, 1993, Seite 95-115
- DATTA, T. K., DUTTA, U.: Traffic Signal Installation and Accident Experience. ITE Journal, Heft 9, 1990, Seite 39-42
- de CAMP, G., DENNEY, R. W.: Improved protected-permitted left-turn signal displays. The Texas approach. ITE Journal, Heft 10, 1992, Seite 21-24
- Department for Transport (DFT): "Toucan" – An unsegregated crossing for pedestrians and cyclists (Traffic advisory leaflet). Department for Transport, London, UK 1993
- Department for Transport (DFT): The "SCOOT" Urban Traffic Control System (Traffic advisory leaflet). Department for Transport, London, UK, 1995
- Department for Transport (DFT): The MOVA Signal Control System (Traffic advisory leaflet). Department for Transport, London, UK, 1997
- Department for Transport (DFT): Toucan Crossing development (Traffic advisory leaflet), Department for Transport, London, UK 1998
- Department for Transport (DFT): PUFFIN Pedestrian Crossing (Traffic advisory leaflet), Department for Transport, London, UK, 2001
- Department for Transport (DFT): The Installation of PUFFIN Pedestrian Crossings (Traffic advisory leaflet). Department for Transport, London, UK, 2002a
- Department for Transport (DFT): The Traffic Signs Regulations and General Directions – TSRGD. Norwich, UK, 2002b, einschl. The Traffic Signs (Amendment). General Directions 2003 und 2004
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN 18024 Barrierefreies Bauen – Teil 1: Straßen. Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze; Planungsgrundlagen. Berlin, 1998
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN EN 12675 Steuergeräte für Lichtsignalanlagen – Funktionale Sicherheitsanforderungen. Köln, 2000
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN 67527 Lichttechnische Eigenschaften von Signallichtern im Verkehr – Teil 1: Ortsfeste Signallichter im Straßenverkehr. Berlin, 2001a
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN 6163 Farben und Farbgrößen für Signallichter – Teil 5: Ortsfeste Signallichter im öffentlichen Nahverkehr. Berlin, 2001b
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN 32981 Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA) – Anforderungen. Berlin, 2002

- DICKES, P., RICHTER, M.: FLUSS – ein Planungsinstrument für verkehrabhängige Steuerungen. Straßenverkehrstechnik, Heft 5, 1992, Seite 269-273
- DICKES, P., RICHTER, M.: Ein Planungsinstrument für verkehrabhängige Steuerungen. FGSV-Kolloquium Verkehrabhängige Steuerung am Knotenpunkt. Köln, 1994, Seite 51-60
- DICKINSON, K. W., READING, I. A. D., WAN, C. L.: Developments in pedestrian detection. Traffic Engineering and Control, Heft 10, 1995, Seite 538-542
- DITTEMER, T., ORTLEPP, J.: Gleisquerungen für Fußgänger. Der Nahverkehr, Heft 12, 2002, Seite 29-32
- DRAKOPOULOS, A., LYLES, R. W.: Preferences for permitted and protected Left-Turn-Signal Displays. Journal of Transportation Engineering, Heft 5/6, 2000, Seite 202-211
- DUNKER, L., HÜLSEN, H., STAADT, H.: Sicherheitsrelevante Signalisierungsbedingungen. Straßenverkehrstechnik, Heft 12, 2003, Seite 624-627
- DÜRR, P.: Evolution adaptiver Steuerungsverfahren für den städtischen Mischverkehr. Straßenverkehrstechnik, Heft 4, 2002, Seite 188-195
- ELLENBERG, M., BEDEAUX, J.-F.: Calming waves for safety – A time to rethink green waves? Traffic Technology International, Heft 4/5, 1999, Seite 55-58
- EWERT, U.: Zum Verständnis von Lichtsignalregelungen beim Linksabbiegen. bfu-Report, Schweizerische, Bern, Schweiz, 1994
- FARRAHER, B. A. B.: Pedestrian Countdown Indication – Market Research and Evaluation. ITE 2000 Annual Meeting and Exhibit, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, USA, 2000
- FARRAHER, B. A. B., WEINHOLZER, R., KOWSKI, M.: The Effect of Advanced Warning Flashers on Red Light Running. Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, USA, 1999
- FELLENDORF, M.: VISSIM – Ein Instrument zur Beurteilung verkehrabhängiger Steuerungen. FGSV-Kolloquium Verkehrabhängige Steuerung am Knotenpunkt, Köln, 1994, Seite 31-37
- FOLLMANN, J.: Verkehrabhängige Zwischenzeitbemessung an Engstellen mit Lichtsignalanlagen. Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1990, Seite 21-25
- FOLLMANN, J., SCHUSTER, G.: Alles-Rot-/Sofort-Grün-Schaltung von Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten. Schlussbericht, Darmstadt, 1991a
- FOLLMANN, J., SCHUSTER, G.: Praktische Anwendung der verkehrabhängigen Bildung der Zwischenzeit an Engstellen mit Lichtsignalanlage. Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1991b, Seite 20-22
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt über Schalt- und Steuergeräte für Lichtsignalanlagen (zurückgezogen). Köln, 1988a
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Anlage von Straßen – RAS; Teil: Knotenpunkte – RAS-K, Kapitel 1: Plangleiche Knotenpunkte. Köln, 1988b (berichtigter Nachdruck 2001)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Markierung von Straßen – Teil 2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen – RMS-2 Köln, 1989
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr, Köln, 1991
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): RiLSA – Richtlinien für Lichtsignalanlagen – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr, Köln, 1992
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Markierung von Straßen – Teil 1: Abmessung und geometrische Anordnung von Markierungszeichen – RMS-1. Köln, 1993
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen – ERA. Köln, 1995
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen. Köln, 1999

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – HBS. Köln, 2001a
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Hinweise zu Verkehrsrechnern als Bestandteile der innerörtlichen Lichtsignalsteuerung. Köln, 2001b
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen – R-FGÜ. Köln, 2001c
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen – EFA. Köln, 2003a
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Hinweise zu variablen Fahrstreifenzeileteilungen. Köln, 2003b
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. Köln, 2003c
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): RiLSA – Richtlinien für Lichtsignalanlagen – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr – Teilfortschreibung 2003. Köln 2003d
- Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs – HSRa. Köln, 2005
- FRIEDRICH, B.: Methoden und Potentiale adaptiver Verfahren für die Lichtsignalsteuerung. Straßenverkehrstechnik, Heft 9, 1996, Seite 431-442
- FRIEDRICH, B.: Steuerung von Lichtsignalanlagen: BALANCE – Ein neuer Ansatz. Straßenverkehrstechnik, Heft 7, 2000, Seite 321-328
- FRIEDRICH, B., FISCHER, N.: Nahverkehrsbevorzugung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 92, Bergisch Gladbach, 2002
- FRIEDRICH, B., POSCHINGER, A.: Gesondert geführte Abbiegestreifen an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen. Straßenverkehrstechnik, 1999, Heft 10, Seite 507-511
- GARTNER, N. H., STAMATIADIS, C., TARNOFF, P. J.: Development of Advanced Traffic Signal Control Strategies for Intelligent Transportation Systems: Multilevel Design. Transportation Research Record, Heft 1494, 1995, Seite 98-105
- GRAY, B. M., IBBETSON, L.: Operational traffic control strategies for congestion. Traffic Engineering and Control, Heft 2, 1991, Seite 60-66
- GRUND, R., KÖRNER, N., LINDNER, P.: Dezentrale Betriebsüberwachung und Fahrgastinformation (DEBUE). Verkehr und Technik, Heft 2, 1992, Seite 71
- HAN, B., REISS, R. A.: Coordinating Ramp Meter Operation with Upstream Intersection Traffic Signal. Transportation Research Record, Heft 1446, 1994, Seite 44-47
- HALLWORTH, M. S.: Signalling roundabouts – 1. Circular arguments. Traffic Engineering and Control, Heft 6, 1992, Seite 354-363
- HANGLEITNER, S., JENDRYSCHIK, W., KROEN, A., KÜHNE, R., ZIEGLER, B.: Bestandsanalyse Grüner Wellen in München. Straßenverkehrstechnik, Heft 10, 1997, Seite 483
- HEAD, J. R.: Traffic signal remote monitoring: the next generation and beyond. Traffic Engineering and Control, Heft 6, 1990, Seite 344-346
- HERKT, S.: Abstimmung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und knotenpunktfreien Strecken an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen. Stuttgart, 1994
- HEYMANN, G.: Die optimale Umlaufzeit. Straßenverkehrstechnik, Heft 8, 1998, Seite 380-384
- Highways Agency: Specification for Traffic Signal Controller – TR 2210A. Highways Agency, Bristol, UK, 2001
- Highways Agency: Installation Guide for Urban Traffic Control – MCH0010D. Highways Agency, Bristol, UK, 2002
- Highways Agency, The Scottish Office, Development Department, The Welsh Office, The Dep. of the Environment for Northern Ireland: Design Manual for Roads and Bridges – DMRB. Stationary Office Ltd., London, UK, 2005
- HOFFMANN, G., GLATZ, M.: Fehlertolerante Verkehrserfassungssysteme für verkehrsabhängige

- Steuerungsverfahren. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 833, Bonn, 2002
- HOFFMANN, G., HOLZ, D., SCHÖBER, W., SLAPA, R.: Untersuchung der Auswirkungen spezieller Signalprogramme als Alternativlösung zu zeitweisen Signalabschaltungen in verkehrsschwachen Zeiten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 588, Bonn, 1990
- HOFFMAN, S., POTT, B.: Signaltechnisch gesteuerte Mehrfachnutzung von Knotenpunktelementen (I). Straßenverkehrstechnik, Heft 4, 1997, Seite 177-183
- HÖGLUND, P. G.: Case study: Performance effects of changing a traffic signal intersection to roundabout. Berlin, Heidelberg, New York, 1991
- HOOK, D. J. P., LEE, J. C., WORTMAN, R. H., POPPE, M. J.: Operational Comparison of Leading and Lagging Left Turns. Transportation Research Record, Heft 1421, 1993, Seite 1-10
- HUA, J., FAGHRI, A.: Development of Neural Signal Control System – Toward intelligent traffic signal control. Transportation Research Record, Paper No 950769, Washington, DC, USA, 1995, Seite 53-61
- HUBACHER, M., ALLENBACH, R.: Sicherheitsrelevante Aspekte von Lichtsignalanlagen. bfu-Report, Bern, Schweiz, 2002
- HUGES, R., HUANG, H., ZEGEER, Ch., CYNECKI, M.: Automated Detection of Pedestrians in Conjunction with Standard Pedestrian Push Buttons at Signalized Intersections. Transportation Research Record, Heft 1705, 2000
- HUMBERG, W., REICH: TRELAN/TRENDS – Plänen und Testen von verkehrsabhängigen Steuerungen am Schreibtisch – das Steuergerät direkt versorgen. FGSV-Kolloquium Verkehrsabhängige Steuerung am Knotenpunkt, Köln, 1994, Seite 38-50
- HUMMER, J. E., REID, J. D.: Unconventional Left-Turn Alternatives for Urban and Suburban Arterials: An Update. Transportation Research Circular, Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 2000
- HURLEY, J. W.: Utilization of Auxiliary Through Lanes at Signalized Intersections. Transportation Research Record, Heft 1484, 1995, Seite 50-57
- HURLEY, J. W.: Utilization of Double Left-Turn Lanes with Downstream Lane Reduction. Journal of Transportation Engineering, Heft 5, 1998, Seite 235-239
- HUTCHINSON, T. P.: The continuous flow intersection – The greatest new development in traffic engineering since the traffic signal? Traffic Engineering and Control, Heft 3, 1995, Seite 156-157
- HSU, T.-P.: Optimierung der Detektorlage bei verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Heft 46, Karlsruhe, 1991
- Institute of Transport Engineers (ITE): Making Intersections Safer: A Toolbox of Engineering Countermeasures to Reduce Red-Light Running. Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, USA, 2003
- ITS AMERICA: Transit Signal Priority. Internetquelle, 2002
- JANELLO, A., REICH, B.: Strukturierte und standardisierte Methoden in der Lichtsignalsteuerung. Straßenverkehrstechnik, Heft 3, 1998, Seite 133-141
- JANOFF, M. S.: Traffic Signal Visibility: A Synthesis of Human Factors and Visual Science Literature with Recommendations for Required Research. Journal of Illuminating Engineering Society, Heft 1, 1994, Seite 76-89
- JANOFF, M. S.: Traffic Signal Visibility: A Preliminary Standard for Round Signal Indications Derived from Scientific Research. Transportation Research Record, Heft 1316, 1991, Seite 5-12
- JANSON, B. N., FINOCHIO, M. R., KARIMKHANI, E.: Estimation of de Facto Left-Turn Lanes at Signalized Intersections. Transportation Research Record, Heft 1776, 2001, Seite 100-105
- Japan Society of Traffic Engineers: Manual on Traffic Signal Control. Tokyo, Japan, 1994
- Japan Society of Traffic Engineers: The Planning and Design of At-Grade Intersections. Tokyo, Japan, 1988

- JESCHKE, C., VOGT, J.: Behindertengerechte Ausrüstung von Lichtsignalanlagen. Straßenverkehrstechnik, Heft 3, 1995, Seite 101-106
- JONES, S. E.: Signalling roundabouts – Controlling the revolution. Traffic Engineering and Control, Heft 11, 1992, Seite 606-613
- JONGENOTTER, E., MONSMA, S.: Green logic and the benefits for traffic-actuated control – the Dutch experience. Traffic Engineering and Control, Heft 10, 2002, Seite 351-353
- JORDI, A.: Wo sind Kreisellampens geeignet und wo nicht?. Strasse und Verkehr, Heft 11, 1995, Seite 561-564
- JOSHUA, S. C., SAKA, A. A.: Mitigation of Sight-Distance Problem for Unprotected Left-Turning Traffic at Intersections. Transportation Research Record, Heft 1356, 1992, Seite 73-79
- KACIR, K. C., BREHMER, C.-L., NOYCE, D.: A Recommended Permissive Display for Protective/Permissive Left-Turn Control. ITE Journal, Heft 12, 2003, Seite 32-40
- KAUL, H.: Standardsteuerungsverfahren VS-Plus. FGSV-Kolloquium Verkehrsabhängige Steuerung am Knotenpunkt, Köln, 1994, Seite 10-18
- KHAN, A. M., MUCSI, K.: Effectiveness of Additional Lanes at Signalized Intersections. ITE Journal, Heft 1, 2003, Seite 26-30
- KELLER, H., FRIEDRICH, B., WULFFIUS, H., WOLTERS, W., MERTZ, J., SCHÜLER, T.: Verkehrsadaptive Netzsteuerung von Lichtsignalanlagen. Straßenverkehrstechnik, Heft 7, 2002, Seite 333-337
- KOSHI, M., KUWAHARA, M.: Decision of Timing of Signal Program Switching in Pretime Multi-Program Control. Transportation and Traffic Theory, Proceeding of the Eleventh International Symposium on Transportation, Elsevier, New York, NY, USA, 1990, Seite 531-550
- KRAFT, W. H.: Traffic Signal Control Systems Maintenance Management Practises. NCHRP Report, Heft 245, Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 1997
- KRAUSE, K.: Die Anwendung des Grünpfeils an Wechsellichtzeichen. Straßenverkehrstechnik, Heft 3, 1994, Seite 125-129
- KRAUSE, K., SCHROBITZ, U.: Rechtsabbiegen beim Farbzeichen „Rot“ durch die Regelung „Grüner Pfeil“. Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1992, Seite 12-22
- KRONBORG, P., DAVIDSSON, F.: MOVA and LHOVRA: Traffic signal control for isolated intersections. Traffic Engineering and Control, Heft 4, 1993, Seite 195-200
- KORN, J., RINGEL, R.: Simulation des Verkehrsablaufs an Lichtsignalanlagen mit SIMVAS++. Straßenverkehrstechnik, Heft 12, 2000, Seite 636-645
- LAGEMANN, A., TOPP, H. H.: Der Grünpfeil – Verkehrsbeschleuniger oder Grüne Gefahr? Straßenverkehrstechnik, Heft 7, 2003, Seite 373-379
- LAM, W. H. K., CHEUNG, C.-Y.: Pedestrian Speed/Flow Relationships for Walking Facilities in Hong Kong. Journal of Transportation Engineering, 2000
- LEONARD II, J. D., RODEGERDTS, L. A.: Comparison of alternate signal timing policies. Journal of Transportation Engineering, Heft 11/12, 1998, Seite 510-520
- LINES, C. J.: Cycle Accidents At Signalised Roundabouts. Traffic Engineering and Control, Heft 2, 1995, Seite 74-77
- MARTI, U.: Berücksichtigung des leichten Zweiradverkehrs bei Lichtsignalanlagen. Straße und Verkehr, Heft 1, 1996, Seite 35-39
- MARTIN, P. T., PERRIN, H. J., HANSEN, B. G.: Modifying Signal Timing During Inclement Weather. Transportation Research Record, Heft 1748, 2001, Seite 66-71
- MATSCHKE, I., FRIEDRICH, B.: Dynamisches Verfahren zur Schätzung von Herkunfts-/Zielbeziehungen mittels Nutzung der Freigabezeiten an Knotenpunkten. HEUREKA '02 – Optimierung in Verkehr und Transport, Köln, 2002, Seite 461-468
- McCOY, P. T., NAVARRO, U. R., WITT, W. E.: Guidelines for Offsetting Opposing Left-Turn Lanes on Four-Lane Divided Roadways. Transportation Research Record, Heft 1356, 1992

- McGEE, H., TAORI, S., PERSAUD, B.: Crash Experience Warrant for Traffic Signals. NCHRP Report, Heft 491, Washington, DC, USA, 2003
- MEEWES, V.: Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten. Straßenverkehrstechnik, Heft 4, 5, 6, 2003, Seiten 201-208, 254-262 und 327-331
- MENNICKEN, C., SCHMITZ, A.: Die EFA – Anlagen für den Querverkehr. Straßenverkehrstechnik, Heft 11, 2002, Seite 595-598
- MERTZ, J., WEICHENMEIER, F.: Modellbasierte multimodale LSA-Steuerung in Echtzeit. Straßenverkehrstechnik, Heft 5, 2002, Seite 245-250
- Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr Nordrhein-Westfalen (Hg.): Mehr Sicherheit für Fußgänger an Verkehrsampeln. Schlussbericht, Düsseldorf, 1991
- Ministre de L'interieur et le Ministre de L'equipement, du logement, des Transports et de L'espace (METL): Instruction interministerielle sur la signalisation routiere – Huitième Partie: Signalisation temporaire. Paris, Frankreich, 1993
- Ministre de L'interieur et le Ministre de L'equipement, du logement, des Transports et de L'espace (METL): Instruction interministérielle sur la signalisation routiere – Livre I. – Sixième Partie: Feux de circulation permanents. Paris, Frankreich, 1996
- MIRCHANDANI, P. B., NOBE, S. A., WU, W. W.: Online turning proportion estimation in real-time traffic-adaptive signal control. Transportation Research Record, Heft 1748, 2001, Seite 80-86
- MÖLLER, B., ZACKOR, H., RHEINLÄNDER, J.-H.: Strategien zur Verkehrssteuerung an hochbelasteten BAB- Anschlussstellen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 803, Bonn, 2001
- MÖNNICH, J.: Projektierung verkehrabhängiger Lichtsignalanlagen auf der Basis standardisierter Schnittstellen. Straßenverkehrstechnik, Heft 11, 2003, Seite 581-588
- MÜCK, J.: Schätzverfahren für den Verkehrszustand an Lichtsignalanlagen unter Verwendung halteliniennaher Detektoren. Straßenverkehrstechnik, Heft 11, 2002, Seite 613-618
- MUSSA, R., NEWTON, C. J., MATTHIAS, J. S., SADALLA, E. K., BURNS, E. K.: Simulator Evaluation of Green and Flashing Amber Signal Phasing. Transportation Research Record, Heft 1550, 1996, Seite 23-29
- MUSSA, R., SELEKWA, M.: Proposed methodology of optimizing transitioning between time-of-day timing plans. Journal of Transportation Engineering, Heft 7/8, 2003, Seite 392-398
- NGAN, V.: Daniel B. Fambro Student Paper Award: A Comprehensive Strategy for Transit Signal Priority. ITE Journal, Heft 11, 2003, Seite 28-32
- NIKSCH, T., GRUNOW, V.: Optimierung des Verkehrsablaufs durch komplexe Lösungen der Verkehrstechnik für den MIV und ÖPNV in Klein- und Mittelstädten in Thüringen. Straßenverkehrstechnik, Heft 8, 1997, Seite 361-369
- NIKSCH, T., GRUNOW, V., STROP, O.: Neue Wege beim Betrieb von Verkehrsrechnern in Thüringen. Straßenverkehrstechnik, Heft 8, 2003, Seite 433-437
- NOLL, B., HAMANN, R.: Der progressiv-geschaltete Fußgängerlauf an LSA. Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1995, Seite 13-14
- NOYCE, D. A., FAMBRO, D. B., KACIR, K. C.: Traffic Characteristics of Protected/Permitted Left-Turn Signal Displays. Transportation Research Record, Heft 1708, 2000, Seite 28-39
- NOYCE, D. A., KACIR, K. C.: Driver's Understanding of Protected-Permitted Left-Turn Signal Displays. Transportation Research Record, Heft 1754, 2001, Seite 1-10
- NOYCE, D. A., KACIR, K. C.: Driver Understanding of Simultaneous Traffic Signal Indications in Protected Left Turns. Transportation Research Record, Heft 1801, 2002, Seite 18-26
- OBENBERGER, J., COLLURA, J.: Transition strategies to exit preemption control. Transportation Research Record, Heft 1484, 1995, Seite 72-79
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr (FSV): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau – RVS (Österreich) – 5.31: Einsatzkriterien. Wien, Österreich, 1998a
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr (FSV): Richtlinien und Vorschriften

- für den Straßenbau – RVS (Österreich) – 5.32: Planen von Verkehrslichtsignalanlagen. Wien, Österreich, 1998b
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr (FSV): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau – RVS (Österreich) – 5.33: Ausführung, Abnahme, Betrieb, Instandhaltung, Öster. Forschungsgesellschaft Strasse und Verkehr, Wien, Österreich, 1998c
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr (FSV): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau – RVS (Österreich) – 5.34: Abnahme- und Prüfprotokoll. Wien, Österreich, 1998d
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr (FSV): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau – RVS (Österreich) – 5.35: Verkehrsleitsysteme. Wien, Österreich, 2001
- OWEN, L. E., STALLARD, C. M.: Rule-Based Approach to Real-Time Distributed Adaptive Signal Control. Transportation Research Record, Heft 1683, 1999, Seite 95-101
- PANT, P. D., HUANG, X. H.: Active Advance Warning Signs at High-Speed Signalized Intersections: Results of a Study in Ohio. Transportation Research Record, Heft 1368, 1992
- PARK, B., ROUPHAIL, N., HUMMER, J.: Probabilistic approach to implementing traffic signal warrants. Journal of Transportation Engineering, Heft 4, 2000, Seite 332-342
- PARK, B., ROUPHAIL, N. M., SACKS, J.: Assessment of stochastic signal optimization method using microsimulation. Transportation Research Record, Heft 1748, 2001, Seite 40-45
- PARSONSON, P. S.: Signal Timing Improvement Practices. NCHRP – Synthesis of Highway Practice, Heft 172, Washington, DC, USA, 1992
- PARSONSON, P. S., WALKER, D. J.: Issues in Flashing Operation for Malfunctioning Traffic Signals. Transportation Research Board, Washington, DC, 1992
- PFUNDT, K.: Grün ist nicht immer gut: Der grüne Blechpfeil. Straßenverkehrstechnik, Heft 3, 1994, Seite 130-131
- PGV – Planungsgemeinschaft Verkehr: Programm fahrradfreundliche Stadt Münster. Stadt Münster Beiträge zur Stadtforschung, Heft 2, Münster, 1996
- PITZINGER, P.: Drei Jahre Unfallforschung mit dem „gelben Blinkerpfeil“. Strasse und Verkehr, Heft 8, Zürich, Schweiz, 1990, Seite 470-475
- PITZINGER, P.: Phasentrennung bei Lichtsignalanlagen. Bundesamt für Straßenbau (Bern), Heft 360, Zurich, Schweiz, 1995
- PITZINGER, P.: Lichtsignalanlagen Abnahme. Betrieb, Wartung, Bundesamt für Straßenbau (Bern), Heft 398, Zürich, Schweiz, 1998
- PITZINGER, P.: Lichtsignalanlagen – Koordination in Strassenzügen. Zürich, Schweiz, 2001a
- PITZINGER, P.: Priorität des öffentlichen Verkehrs an Lichtsignalanlagen. Zurich, Schweiz, 2001b
- PITZINGER, P., SPACEK, P.: Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen in der Schweiz. Strasse und Verkehr, Heft 2, 2001, Seite 46-54
- POLANIS, S. F.: Right-Angle Crashes and Late-Night/Early-Morning Flashing Operation: 19 Case Studies. ITE Journal, Heft 4, 2002, Seite 26-28
- POORAN, F., TARNOFF, P. J., CLARK, J.: A Suite of Strategies for Signal Control. Traffic Technology International, Heft 6/7, 1997, Seite 30
- RAHMAT, R. A., JUMARI, K., BASRI, H.: Optimising traffic control for a congested intersection. Traffic Engineering and Control, Heft 10, 2002, Seite 357-362
- RETTING, R. A., van HOUTEN, R.: Safety Benefits of Advance Stop Lines at Signalized Intersections: Results of a Field Evaluation. ITE Journal, Heft 9, 2000, Seite 47-54
- RICHTER, T.: Vorher-Nachher-Untersuchung an nachträglich signalisierten Knotenpunkten nach der Grundform IV. Straßenverkehrstechnik, Heft 5, 1994, Seite 295-308
- ROSSBANDER, E.: Zusatzeinrichtungen für Sehbehinderte an Lichtsignalanlagen. Straßenverkehrstechnik, Heft 5, 1999, Seite 281-283
- RUHNKE, D.: Konzept für die busbeeinflusste Lichtsignalsteuerung in Hamburg. Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1993, Seite 5-10

- SAITO, M., WALKER, J., ZUNDEL, A.: Use of Image Analysis to Estimate Average Stopped Delays per Vehicle at Signalized Intersections. *Transportation Research Record*, Heft 1776, 2001, Seite 106-113
- SAMPSON, J. D.: Queue-Based Traffic Signal Warrants: The 4Q/6Q-Warrant. *ITE Journal*, Heft 4, 1999, Seite 30-36
- SCHIRMACHER, G.: Einsatz von Detektoren für Fußgänger an Lichtsignalanlagen. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 1, 2001, Seite 19-25
- SCHIRMACHER, G.: Das Verhalten von Fußgängern an bedarfsabhängigen Lichtsignalanlagen. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 7, 2002, Seite 357-360
- SCHLABBACH, K., KÖSTER, J.: Betriebszeiten und Qualität von Lichtsignalanlagen. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 9, 2004, Seite 465-469
- SCHLABBACH, K., ROTHE, K.: Abschalten von Signalanlagen zur Nachtzeit. *Der Städtetag*, Heft 11, Köln, 2003, Seite 19-21
- SCHMUTZHARD, L., SNIZEK, S.: Pfortneranlage Steinach am Brenner. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 4, 1995, Seite 169-173
- SCHNABEL, W.: Die Effizienz von koordinierten Lichtsignalprogrammen für Straßenzüge. *Die Strasse*, Heft 12, Berlin 1990, Seite 353-354
- SCHNABEL, W., ARNOLD, T., FLEMMING, E., LÄTZSCH, L., MUALLAH, L., RINGEL, R.: Verkehrstechnische Analyse der Fahrstreifensignalisierungsanlage Wommener Brücke. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 698, Bonn, 1994
- SCHNÜLL, R.: Vorfahrtgeregelte Kreuzungen und Kreisverkehrsplätze um jeden Preis oder ehrliche Lichtsignalanlagen? *Straßenverkehrstechnik*, Heft 11, 2003, Seite 565-575
- SCHNÜLL, R., GOLTERMANN, S.: Einsatzkriterien für große Kreisverkehrsplätze mit und ohne Lichtsignalanlage an klassifizierten Straßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 788, Bonn, 2000
- SCHULT, R., FROESE, W.-R.: Modernisierung von Lichtsignalanlagen zur Umweltverbesserung. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 3, 1995, Seite 112-114
- SCHUSTER, G.: Grüne Wellen mit niedriger Progressionsgeschwindigkeit. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 2, 1997, Seite 70-77
- SCHWEIG, K.-H., HORSTMANN, T.: DiVA – Digitale Verkehrs-Analyse. *Strasse und Verkehr*, Heft 11, 1992, Seite 731-735
- SECO, A. J. M., PIRES da COSTA, A. H., CARSTEN, O. M. J., SHERBORNE, D. J., TILLIS, T.: New Strategies for Traffic Signal Control of Pedestrian Crossing: The Advantages of Pedestrian Real Time Automatic Detection. *World Transport Research*, Heft 2, 1998, Seite 265-278
- SEIFERT, V., PETLICKI, J., DARTSCHT, M., RIEGER, W.: Messestadt München-Riem – Dynamische Fahrstreifenzuweisung im signalisierten Knotenpunkt (DYFASIK). *Straßenverkehrstechnik*, Heft 9, 2002, Seite 455-462
- SHAWALY, E. A. A., LI, C. W. W., ASHWORTH, R.: Effects of entry signals on the capacity of roundabout entries. *Traffic Engineering and Control*, Heft 6 (Volume 3/2), 1991, Seite 297-301
- SIMMONITE, B. F., CHICK, M.: The Displaced Right Turn function – putting theory into practice. *Traffic Engineering and Control*, Heft 7/8, 2003, Seite 237-241
- SIMMONITE, B. F., MOORE, P.: Modelling flares at traffic signal-controlled junctions. *Traffic Engineering and Control*, Heft 4, 1997, Seite 196-199
- SKABARDONIS, A., GALLAGHER, B. R., PATEL, K. P.: Determining Capacity Benefits of Real-Time Signal Control at an Intersection. *Transportation Research Record*, Heft 99-0850, 1999, Seite 78-83
- SMITH, B. L., HAUSER, T. A., SCHERER, W. T.: Prototype Classification Tool for Supporting Maintenance of Traffic Signal Timing Plans. *Transportation Research Record*, Heft 1804, 2002, Seite 162-167
- STEWART, J. A., LEPIK, K., van AERDE, M.: Benefit Sensitivities of Adaptive Traffic Control Strategies at Isolated Traffic Signals. *Transportation Research Record*, Heft 1692, 1998, Seite 173-182
- STÖCKER, K., TRUPAT, S.: Der Einfluss einer Zuflussregelung an Anschlussstellen auf die Ver-

- besserung des Verkehrsflusses auf Autobahnen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 802, Bonn, 2001
- STÖVEKEN, P.: Verfahren zur Steuerung des Verkehrsablaufs auf Stadtautobahnen mittels Geschwindigkeits- und Zuflussregelung. Straßenverkehrstechnik, Heft 6, 1992, Seite 332-339
- Straßenverkehrsordnung – StVO vom 16. November 1970, BGBl I 1970, 1565 BGBl I 1971, 38, zuletzt geändert durch Art. 1 v. 22.12.2005
- SUNKARI, S. R.: The Benefit of Retiming Traffic Signals. ITE Journal, Heft 4, 2004, Seite 26-28
- SUNKARI, S. R., BEASLEY, P. S., URBANIK II, T.: Model to evaluate the impacts of bus priority on signalized intersections. Transportation Research Part A, Paper No 950490, Seite 117-123, Elsevier, Kidlington, UK, 1995
- TARAWNEH, M. S., McCOY, P. T.: Effect of Offset Between Opposing Left-Turn Lanes on Driver Performance. Transportation Research Record, Heft 1523, 1996, Seite 61-72
- TARAWNEH, M. S., McCOY, P. T.: Guidelines for Offsetting Opposing Left-Turn Lanes on Divided Roadways. Transportation Research Record, Heft 1579, 1997, Seite 43-52
- THOMAS, G. B.: Traffic Signal Inventory Project. Iowa, 2001
- TODD, K.: Trade-offs in Progressive Signal Systems. ITE Journal, Heft 3, 1995, Seite 46-49
- Transportation Research Board: Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 1994
- TRUPAT, S.: Prinzip und Wirksamkeit von Zuflussregelungsanlagen an hochbelasteten Autobahnzufahrten. Straßenverkehrstechnik, Heft 9, 2001, Seite 421-426
- TVEIT, R.: Common Cycle Time: A Strength or a Barrier Traffic Light Signaling. Traffic Engineering and Control, Heft 1, 2003, Seite 19-21
- URBANIK, T. II., SUNKARI, S. R., BARNES, K., MEADORS, A. C.: Adaptive Left Turn Phasing. ITE 2000 Annual Meeting and Exhibit, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, USA, 2000
- U.S. Department of Transportation (US DOT): Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – MUTCD Washington, DC, USA, 2003
- Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE): DIN VDE 0832-100 – Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA). Berlin, 2002
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 832: Lichtsignalanlagen; Kopfnorm. Winterthur, Schweiz, 1992a
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 837: Lichtsignalanlagen – Übergangszeiten und Mindestzeiten. Winterthur, Schweiz, 1992b
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 838: Lichtsignalanlagen – Zwischenzeiten. Winterthur, Schweiz, 1992c
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 833: Lichtsignalanlagen – Nutzen. Winterthur, Schweiz, 1994a
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 836: Gestaltung der Signalgeber. Winterthur, Schweiz, 1994b
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 834: Lichtsignalanlagen – Phasentrennung. Winterthur, Schweiz, 1996
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 835: Lichtsignalanlagen – Abschätzen der Leistungsfähigkeit. Winterthur, Schweiz, 1997
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 842: Lichtsignalanlagen – Abnahme. Betrieb, Wartung. Winterthur, Schweiz, 1998
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 023: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit. Winterthur, Schweiz, 1999
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 800: Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostraßen – Kopfnorm. Winterthur, Schweiz, 2000a
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 802: Verkehrsbeeinflussung Fahrstreifen-Lichtsignal-System (FLS). Winterthur, Schweiz, 2000b
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 807: Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostraßen – Rampenbewirtschaftung. Grundlagen. Winterthur, Schweiz, 2000c

- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 836-1: Lichtsignalanlagen – Signale für Sehbehinderte. Winterthur, Schweiz, 2000d
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 885c: Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostraßen, Winterthur, Schweiz 2000e
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 886: Temporäre Signalisation auf Haupt- und Nebenstraßen. Winterthur, Schweiz, 2002
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 839: Lichtsignalanlagen – Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs an Lichtsignalanlagen, Winterthur, Schweiz, 2003a
- Vereinigung Schweizer Straßenfachleute (VSS): SN 640 840: Lichtsignalanlagen – Koordination in Straßenzügen mit der Methode der Teilpunktreserven. Winterthur, Schweiz, 2003b
- VIRKLER, M. R., ELAYADATH, S., SARANATHAN, G.: High-Volume Pedestrian Crosswalk Time Requirements. Transportation Research Record, Heft 1495, 1995, Seite 41-48
- VIRKLER, M. R., KUMAR, N. R.: System to identify turning movements at signalized intersections. Journal of Transportation Engineering, Heft 6, 1998, Seite 607-609
- VOSS, H.: Zur Verkehrssicherheit innerörtlicher Knotenpunkte. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 2, 1994, Seite 68-72
- VwV-StVO : Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung. Bundesanzeiger, Köln, 2004
- WALL, G.: Road markings to improve pedestrian safety. Traffic Engineering and Control, Heft 4, 2000, Seite 136-140
- WEBER, R.: Der gelbe Blinkerpfahl. Straße und Verkehr, Heft 8, 1992, Seite 533-535
- WHEELER, A. H., LEICESTER, M. A. A., UNDERWOOD, G.: Advanced stop-lines for cyclists. Traffic Engineering and Control, Heft 2, 1993, Seite 54-60
- WRIGHT, C. R., UPCHURCH, J.: Before and After Comparison of Leading Exclusive and Permissive/Exclusive Lagging Left Turn Phasing. Transportation Research Record, Heft 1368, 1992, Seite 31
- WU, J., HOUNSELL, N.: Bus Priority using Pre-Signals. Transportation Research, Part A, Heft 8, 1998, Seite 563-583
- WULFFIUS, H., BORMET, J.: Projektierung verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerungen. Verkehr und Technik, Heft 2, 1994, Seite 49-53
- WUNDER, R.: Verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung – Steuerungssoftware und Anwendererfahrung. Straßenverkehrstechnik, Heft 10, 1998, Seite 533-537
- ZIBUSCHKA, F.: Signalgeregelte Schutzwege mit unvollständiger Signalfolge. Strasse und Verkehr, Heft 12, 1992, Seite 766-770
- ZIEGLER, H.: Staumanagement durch Pfortneranlagen. Straßenverkehrstechnik, Heft 10, 1999, Seite 503-506
- Verfasser der Rückmeldungen zum ersten Synopsenentwurf**
- Bernhard Blöchl,  
Stadt Nürnberg – Tiefbauamt
- Dr.-Ing. Dietmar Bosserhoff,  
Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden
- Thomas Dittmer,  
Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB)
- Rainer Förster,  
Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, Dresden
- Wolfgang Gerber,  
Landesbetrieb für Straßenbau des Saarlandes, Neunkirchen
- Helmut Grätz,  
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)
- Wilhelm Hörmann,  
Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (Bundesverband) e. V., Bremen
- Jörg Lange,  
Landeshauptstadt Düsseldorf – Amt für Verkehrsmanagement
- Rolf Lemke,  
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)
- Bernard E. Nickel,  
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln

Walter Pätsch,  
Stadt Leipzig – Amt für Verkehrsplanung

Ralf Redde,  
IGEVA – Ingenieurgesellschaft für Verkehrsanlagen, Gera

Bernd Reich,  
PTV AG München

Hans-Heinrich Rose,  
Stadt Neuss – Amt für Stadtplanung

Erich Sailer,  
Landratsamt Neu-Ulm – Fachbereich Verkehr

Rolf-Roland Scholze,  
Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH

Hans-Werner Schütte,  
Stadt Bielefeld – Amt für Verkehr

Markus Sonnenschein,  
Stadt Dortmund – Tiefbauamt

Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB)

### **Workshopteilnehmer**

#### **Workshop „Neue Erkenntnisse zur Fortschreibung der Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)“, 30. September 2005 im Hessischen Staatsarchiv, Darmstadt**

Harald Baro,  
gevas humberg & partner Ingenieurgesellschaft für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik mbH, Achern

Uta Behrenbeck,  
PVT Essen GmbH

Frank Benz,  
Stadt Mannheim – FB Straßenbetrieb und Grünflächen

Bernhard Blöchl,  
Stadt Nürnberg – Tiefbauamt

Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze,  
Technische Universität Darmstadt – FG Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Dr.-Ing. Dietmar Bosserhoff,  
Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden

Uwe Braun,  
Stadt Köln – Amt für Straßen und Verkehrstechnik

Jürgen Carls,  
PTV AG Planung Transport Verkehr, Düsseldorf

Eberhard Clauss,  
Stadt Köln – Amt für Straßen und Verkehrstechnik

Manfred Eckel,  
Stadt Bonn – Tiefbauamt

Christian Eilers,  
Stadt Krefeld – Fachbereich Tiefbau

Peter Fick,  
Signalbau Huber GmbH

Bernd Fischer,  
Dr. Brenner Ingenieurgesellschaft mbH, Aalen

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Friedrich,  
Universität Hannover – Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau

Udo Garsztecki,  
Landesbetrieb Straßenbau NRW, Gelsenkirchen

Jürgen Geiger,  
Ingenieurbüro Geiger & Hamburgier GmbH, Essen

Diethard Groß,  
Landesbetrieb Straßenbau NRW, Gelsenkirchen

Dr.-Ing. Jürgen Harders,  
IGS Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, Beratende Ingenieure für Verkehrsplanung, Kaarst

Stefan Hartmann,  
Stadt Darmstadt – Straßenverkehrsamt

Dr.-Ing. Birgit Hartz,  
Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Reinhold Heinz,  
Stadt Wiesbaden – Tiefbauamt

Frank Helbing,  
PTV Planung Transport + Verkehr AG, Erfurt

Wolfgang Höger,  
Schlothauer & Wauer Ingenieurgesellschaft für Straßenverkehr mbH & Co. KG, Berlin

Heiko Jentsch,  
Technische Universität Darmstadt – FG Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Hamid Kianersi,  
Stadt Mannheim – FB Straßenbetrieb und Grünflächen

Reiner Kirschke,  
Stührenberg GmbH, Detmold

Detlef Kobbeloer,  
Universität Kassel – Fachgebiet Verkehrssysteme  
und Verkehrsplanung, Kassel

Dr.-Ing. Matthias Kölle,  
SSP Consult, München

Ralph König,  
Ruhr-Universität Bochum – Lehrstuhl für Verkehrs-  
wesen

Werner Köppel,  
GDV – Verkehrstechnisches Institut der Deutschen  
Versicherer, Berlin

Stephan Korbmacher,  
Stadt Bielefeld – Amt für Verkehr

Ingo Kowald,  
VSC Halle Verkehrs-System Consult GmbH, Halle

Christof Kreis,  
Planungsbüro für Verkehrswesen, Saarbrücken

Matthias Kremer,  
Stadt Frankfurt am Main – Straßenverkehrsbehör-  
de

Martin Krieg,  
Stadt Dortmund – Tiefbauamt

Gerd Laage,  
Stadt Erfurt – Amt für Verkehrswesen

Dr.-Ing. Nicola Lehnhoff,  
Universität Hannover – Institut für Verkehrswirt-  
schaft, Straßenwesen und Städtebau

Franz Mitterreiter-Naore,  
Landeshauptstadt München – Kreisverwaltungsre-  
ferat

Thomas Niksch,  
Thüringer Landesamt für Straßenbau, Erfurt

Ralf Redde,  
IGEVA – Ingenieurgesellschaft für Verkehrsanla-  
gen, Gera

Klaus Reinhardt,  
PTV AG Planung Transport Verkehr, Dresden

Dr.-Ing. Achim Reußwig,  
ZIV – Zentrum für integrierte Verkehrssysteme  
GmbH, Darmstadt

Christian Ruppel,  
Stadtraum GmbH Berlin Gesellschaft für Raum-  
planung, Städtebau & Verkehrstechnik

Dr.-Ing. Michael Schenk,  
T+T Verkehrsmanagement GmbH, Dreieich

Rolf-Roland Scholze,  
Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH

Holm Schulze-Clewing,  
Heinz + Feier GmbH, Wiesbaden

Dr.-Ing. Rainer Schwarzmann,  
PTV AG Planung Transport Verkehr, Karlsruhe

Ulrich von Staszewski,  
Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (Bundesver-  
band) e. V., Bremen

Gunter Thiele,  
TU Dresden – Professur Verkehrs- und Infrastruk-  
turplanung

Olaf Weinrich,  
TU München – Lehrstuhl für Verkehrstechnik

Dr.-Ing. Ning Wu,  
Ruhr-Universität Bochum – Lehrstuhl für Verkehrs-  
wesen

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2001

- V 79: Bedarf für Fahrradabstellplätze bei unterschiedlichen Grundstücksnutzungen**  
Alrutz, Bohle, Borstelmann, Krawczyk, Mader, Müller, Vohl € 15,50
- V 80: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 1998**  
Lensing € 13,50
- V 81: Emissionen beim Erhitzen von Fahrbahnmarkierungsmaterialien**  
Michalski, Spyra € 11,50
- V 82: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1999 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 19,50
- V 83: Verkehrssicherheit in Einbahnstraßen mit gegengerichtetem Radverkehr**  
Alrutz, Gündel, Stellmacher-Hein, Lerner, Mättig, Meyhöfer, Angenendt, Draeger, Falkenberg, Klöckner, Abu-Salah, Blase, Rühle, Wilken € 17,00
- V 84: Vereinfachtes Hochrechnungsverfahren für Außerorts-Straßenverkehrszählungen**  
Lensing, Mavridis, Täubner € 16,00
- V 85: Erstellung einer einheitlichen Logik für die Zielführung (Wegweisung) in Städten**  
Siegener, Träger € 14,50
- V 86: Neue Gütekriterien für die Beleuchtung von Straßen mit gemischtem Verkehr und hohem Fußgängeranteil**  
Carraro, Eckert, Jordanova, Kschischenk € 13,00
- V 87: Verkehrssicherheit von Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen**  
Brilon, Breßler € 18,50

## 2002

- V 88: Tägliches Fernpendeln und sekundär induzierter Verkehr**  
Vogt, Lenz, Kalter, Dobeschinsky, Breuer € 17,50
- V 89: Verkehrsqualität auf Busspuren bei Mitnutzung durch andere Verkehre**  
Baier, Kathmann, Schuckließ, Trapp, Baier, Schäfer € 13,50
- V 90: Anprallversuche mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen**  
Bürkle, Berg € 16,50
- V 91: Auswirkungen der Umnutzung von BAB-Standstreifen**  
Mattheis € 15,50
- V 92: Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs**  
Friedrich, Fischer € 14,00
- V 93: Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen**  
Brilon, Bäumer € 17,00
- V 94: Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen**  
Lemke, Moritz € 17,00

- V 95: Führung des ÖPNV in kleinen Kreisverkehren**  
Topp, Lagemann, Derstroff, Klink, Lentze, Lübke, Ohlschmid, Pires-Pinto, Thömmes € 14,00
- V 96: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnanhebung**  
Angenendt, Bräuer, Klöckner, Cossé, Roeterink, Sprung, Wilken € 16,00
- V 97: Linksparken in städtischen Straßen**  
Topp, Riel, Albert, Bugiel, Elgun, Roßmark, Stahl € 13,50
- V 98: Sicherheitsaudit für Straßen (SAS) in Deutschland**  
Baier, Bark, Brühning, Krumm, Meewes, Nikolaus, Räder-Großmann, Rohloff, Schweinhuber € 15,00
- V 99: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 21,00

## 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, Cossé, 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 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände**  
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher vergriffen
- 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 jagdbarerer 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 Außererststraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen  
Düring, Bössinger, 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
- V 133: 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, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glätteldealanlagen  
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, Schuechenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung  
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50

## 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

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.