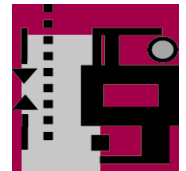
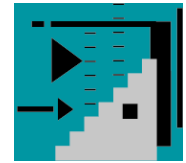


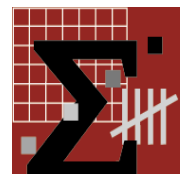
Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen



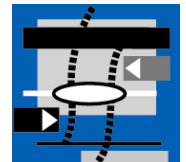
Kapitel 4.5 aus:



Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung



Dr.-Ing. Dietmar Bosserhoff



Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen

Wilhelmstraße 10

65185 Wiesbaden

E-mail: Dietmar.Bosserhoff@hsvv.hessen.de



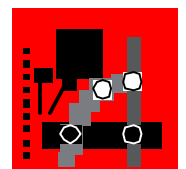
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Follmann

Hochschule Darmstadt

Haardtring 100

64295 Darmstadt

E-mail: follmann@fbb.h-da.de





Inhalt	Seite	Seite
4.5 Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage	4.5 - 1	
4.5.1 Allgemeines	4.5 - 1	
4.5.2 Kriterien für den Einsatz von Lichtsignalanlagen	4.5 - 6	
4.5.3 Gesetzmäßigkeiten des Verkehrsablaufs	4.5 - 7	
4.5.3.1 Kraftfahrzeugverkehr	4.5 - 7	
4.5.3.2 Radverkehr	4.5 - 14	
4.5.3.3 Fußgängerverkehr	4.5 - 14	
4.5.4 Struktur und Elemente von Signalprogrammen	4.5 - 16	
4.5.4.1 Grundsätzliche Vorgehensweise	4.5 - 16	
4.5.4.2 Bemessungsverkehrsstärke	4.5 - 17	
4.5.4.3 Voruntersuchung nach dem AKF-Verfahren	4.5 - 19	
4.5.4.4 Zwischenzeiten	4.5 - 25	
4.5.4.5 Phasenfolge	4.5 - 32	
4.5.4.6 Umlaufzeit und Freigabezeiten	4.5 - 32	
4.5.4.7 Signalprogramm	4.5 - 36	
4.5.5 Steuerungsverfahren	4.5 - 37	
4.5.5.1 Überblick	4.5 - 37	
4.5.5.2 Verkehrsabhängige Steuerungsverfahren	4.5 - 40	
4.5.5.3 Freigabezeitmodifikation	4.5 - 44	
4.5.5.4 Bedarfsphasen-anforderung	4.5 - 55	
4.5.5.5 Signalprogrammbildung	4.5 - 57	
4.5.5.6 Vorteile und Einsatz-bereiche der verkehrs-abhängigen Steuerung	4.5 - 59	
4.5.5.7 Weiterentwicklung der Steuerungsverfahren	4.5 - 60	
4.5.5.8 Prüfung der Logik verkehrsabhängiger Steuerungen	4.5 - 62	
4.5.6 Signalgruppenorientierte und phasenorientierte Steuerung	4.5 - 63	
4.5.7 Erfassungseinrichtungen	4.5 - 66	
4.5.8 Beurteilung der Lichtsignalsteuerung	4.5 - 75	
4.5.8.1 Qualität des Verkehrsablaufs	4.5 - 75	
4.5.8.2 Festzeitsteuerung	4.5 - 76	
4.5.8.3 Verkehrsabhän-gige Steuerung	4.5 - 79	
4.5.9 Berücksichtigung verschiedener Verkehrs-teilnehmergruppen	4.5 - 80	
4.5.9.1 Radverkehr	4.5 - 81	
4.5.9.2 Fußgänger	4.5 - 93	
4.5.9.3 ÖPNV	4.5 -106	
4.5.9.4 Einsatzfahrzeuge	4.5 -113	
4.5.10 Rechtsabbiegen mit Grünpfeil-Schild	4.5 -114	
4.5.11 Nachtabschaltung von Lichtsignalanlagen	4.5 -117	
4.5.12 Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen	4.5 -118	
4.5.13 Hilfsmittel	4.5 -120	
4.5.14 Literatur	4.5 -121	

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE



4.5.1 ALLGEMEINES

Grundlage für die Planung sind die **Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)** der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen aus 1992 (FGSV 1992). Diese Richtlinien enthalten wichtige verkehrstechnische Bestimmungen und Empfehlungen für die Einrichtung und für den Betrieb von Lichtsignalanlagen. Das Grundlagenwissen zu Lichtsignalanlagen wurde für die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV) im Heft 37 der HSVV-Schriftenreihe (FOLLMANN/NOVOTNY/SCHENK 1994) zusammengestellt.

Seither sind jedoch Änderungen der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) und der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) eingetreten und es gab für die Praxis bedeutsame Weiterentwicklungen des Regelwerkes. So wurden die RiLSA (FGSV 1992) durch die „**Teilfortschreibung 2003**“ aktualisiert (FGSV 2003) und es erschienen „**Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs (HSRa)**“ (FGSV 2005). Zudem wurden die verkehrstechnischen Berechnungsverfahren für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage nach den RiLSA teilweise durch Verfahren nach dem „**Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen**“ (HBS: FGSV 2001/2005) ersetzt. Weiter sind in Teilen relevant die **Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen** (EFA: FGSV 2002) und das im Abschnitt 4.5.9.3 genannte **ÖPNV-Regelwerk**.

Neben dem Regelwerk sind an Verordnungen, Bestimmungen und Richtlinien u.a. zu beachten:

- Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) und Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO),
- VDE-Bestimmung für Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA),: DIN VDE 0832
- Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) sowie
- Richtlinien über Abhängigkeiten zwischen der technischen Sicherung von Bahnübergängen und der Verkehrsregelung an benachbarten Straßenkreuzungen und -einmündungen (BÜSTRA).

Autoren:

Dr.-Ing. Dietmar Bosserhoff
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Follmann



In **Hessen** sind weiter zu berücksichtigen:

- Erlasse des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie sowie
- Verfügungen des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen.

Eine Übersicht über Verordnungen, DIN-Normen, Richtlinien, Empfehlungen und Merkblätter gibt die RiLSA-Teilfortschreibung 2003 (FGSV 2003).

Eine Übersicht über alle für Hessen relevanten Grundlagen enthält das Kapitel 2 im **ArbeitsHandBuch – LichtSignalAnlagen** (AHB-LSA) der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV 2007).

Die Regelwerke enthalten zu einer Reihe von Fragen Empfehlungen und Vorschläge. Da jedoch nicht alle in der Praxis auftretenden Fragen durch Richtlinien vollständig erfasst werden können und im Einzelfall häufig besondere örtliche Gegebenheiten zu berücksichtigen sind, kann bei entsprechender Sachkenntnis und Erfahrung von den fixierten Grundlagen und Grundsätzen abgewichen werden (vgl. Abschnitt 4.1.3.3).

Das vorliegende Kapitel versteht sich als Ergänzung zu den Regelwerken. Es wird davon ausgegangen, dass die RiLSA 1992 einschließlich der Teilfortschreibung 2003 und das HBS (FGSV 2001/2005) vorliegen. Auf eine Wiedergabe von Textpassagen aus diesen Regelwerken wird weitgehend verzichtet. Vielmehr wurden die in Heft 37 der HSVV-Schriftenreihe (FOLLMANN/ NOVOTNY/SCHENK 1994) zusammengestellten theoretischen Hintergründe entsprechend dem aktuellem Regelwerk aufgearbeitet.

RiLSA-Teilfortschreibung 2003

Eine vollständige Neufassung der RiLSA ist für 2008 geplant. Wegen der langen Dauer seit der letzten Komplettausgabe in 1992 wurden bereits überarbeitete und eine Reihe ergänzender Abschnitte vorab in einer „Teilfortschreibung 2003“ der RiLSA (FGSV 2003) veröffentlicht:

- Im Abschnitt 7 „Besondere Berücksichtigung der **Fußgänger**“ entsprechen die im Abschnitt 7.3.7 „Überquerung besonderer Bahnkörper“ der RiLSA gegebenen Empfehlungen zu signalgesteuerten Überquerungsstellen an besonderen Bahnkörpern zum Teil nicht mehr der gängigen Praxis. Beim Abschnitt 7.5 „Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte“ der RiLSA haben der 1994 geänderte Absatz zur Signalsicherung, die inzwischen erfolgte Abstimmung mit der DIN 32981 und die ausnahmsweise Anwendung nur taktiver Signale in der Praxis zur Neufassung des gesamten Abschnittes geführt.
- Im Abschnitt 8 „Besondere Berücksichtigung der **Radfahrer**“ wurde der Abschnitt 8.2 „Grundformen der Radfahrersignalisierung“ in Hinblick auf die „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen“ (ERA: FGSV 1995) sowie die zahlreichen Neuerungen in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO, 1997) neu gefasst.
- Im Abschnitt 10 „Abnahme, Betrieb, Instandhaltung“ wurden im Abschnitt 10.3.2 „**Signal-sicherung**“ die verkehrstechnischen Aspekte der Signalsicherung nicht vollständig behandelt und widersprechen sich in einigen Punkten. In einem gemeinsamen Arbeitskreis der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) und des Arbeitsausschusses „Verkehrsbeeinflussung innerorts“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) wurde dieser Abschnitt neu gefasst und vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen am 5. Mai 1999 (Az.: S28/38.60.90/26 F 98) eingeführt (Verkehrsblatt 1999, S. 409-412). Diese Regelungen ersetzen auch die bisherigen der DIN VDE 0832: Künftig enthalten nur die RiLSA die Festlegungen, bei welchen fehlerhaften Signalisierungszuständen Sicherungsmaßnahmen unerlässlich, bedingt erlässlich oder erlässlich sind.



- Im Anhang K „Vorschriften und Technische **Regelwerke**“ wurden veraltete Angaben entfernt, berichtigt oder ersetzt. Neue Vorschriften und Regelwerke wurden ergänzt.
- Hinzugefügt wurde der Anhang D.3 „Weiterentwicklung der **Steuerungsverfahren**“, da die in den RiLSA enthaltene Einteilung der Steuerungsverfahren vor dem Hintergrund der technischen Entwicklung nicht mehr vollständig ist. Bestrebungen zur Standardisierung und die Einführung adaptiver Verfahren zur Netzsteuerung haben das Spektrum in der verkehrstechnischen Steuerung deutlich erweitert. Mit leistungsfähigen Werkzeugen für Verkehrsingenieure wurden neue Standards bei der Erarbeitung, der Dokumentation und dem Test verkehrstechnischer Steuerungen erzielt, die mehr Qualität und Sicherheit bei Planung und Betrieb von Lichtsignalanlagen bieten.
- Aus der RiLSA (FGSV 1992) werden Anhang B „Dimensionierungsbelastung und Auslastungsgrad für den Kraftfahrzeugverkehr“ und Anhang C „Ermittlung der Umlaufzeit und der Freigabezeiten“ durch die Berechnungsverfahren des **HBS** (FGSV 2001/2005) ersetzt.
- Als Anhänge E.5 und E.6 „Linienkoordinierung“ und „Netzkoordinierung“ sind die Abschnitte 6.5.2 und 6.5.3 des **HBS** (FGSV 2001/2005) zu verwenden.
- Ergänzt wurde der Anhang L „Rechtsabbiegen bei Rot mit **Grünpfeil-Schild**“. Das Rechtsabbiegen bei Rot mit Grünpfeil-Schild (Grünpfeil-Regelung) wurde am 01.03.1994 in die Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) aufgenommen.
- Als Anhang M wurden „Hinweise zur **Qualitätssicherung** der Steuerung bei vorhandenen Lichtsignalanlagen“ ergänzt. Hierunter sind die (sichere) Verkehrsführung nach den verkehrstechnischen Vorgaben und die Einhaltung der angestrebten, gegebenenfalls tageszeitlich unterschiedlichen Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes zu verstehen. Nicht Gegen-

stand dieses Abschnittes ist die Betriebssicherheit. Die Notwendigkeit für einen verkehrstechnischen Katalog zur Qualitätssicherung ergab sich daraus, weil bei einer Überarbeitung von Lichtsignalanlagen häufig zwar die Hardware und gegebenenfalls die Software erneuert wurde, neue Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit und die aktuelle Verkehrssituation aber nicht immer berücksichtigt wurden.

Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS, FGSV 2001/05)

Wesentliche Änderungen im HBS (HLSV 2002a) zu Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage sind in (SCHNABEL 2002) zusammengestellt:

- Die **Bemessungsverkehrsstärke** wird nicht in Pkw-Einheiten umgerechnet, sondern es wird grundsätzlich mit den tatsächlich gezählten oder prognostizierten Verkehrsstärkewerten gearbeitet. Die Angabe des Schwerverkehrs-Anteils ist unbedingt erforderlich.
- Die verkehrstechnische Berechnung erfolgt in der Regel für den **Untersuchungszeitraum von einer Stunde**. Eine Hochrechnung von Verkehrsstärken wird nicht vorgenommen. Eine differenzierte Betrachtung von kritischen Zeitintervallen ist aber möglich (siehe dazu im HBS Anhang B „Bestimmung der mittleren Wartezeit von Kraftfahrzeugen“).
- Das Berechnungsinstrumentarium im HBS bezieht sich weitgehend auf **Festzeitsteuerungen**, da nur für diese Steuerungsart analytische Berechnungsmodelle vorliegen.
- Bei Standardbedingungen kann von einer **Sättigungsverkehrsstärke** von 2.000 Fz/h ausgegangen werden (Schwerverkehrs-Anteil < 2%, Freigabezeit > 10 s). Bei der Bestimmung der tatsächlichen Sättigungsverkehrsstärke sollten höchstens zwei maßgebende Angleichungsfaktoren berücksichtigt werden.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- Durch den **Sättigungsgrad** g wird allgemein die Belastung des Knotenpunktes bzw. einzelner Teilelemente (Zufahrt, Fahrstreifen) beschrieben. Der Sättigungsgrad kann bei Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen > 1 sein, dann liegt Übersättigung vor.
- Zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten stellt die **Wartezeit** von Verkehrsteilnehmern die wichtigste Kenngröße dar. Für die Bestimmung der mittleren Wartezeit der einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen werden differenzierte Berechnungsformeln angegeben. Bei der Wartezeitberechnung des Kfz-Verkehrs muss in einem gesonderten Berechnungsschritt die Größe des Fahrzeugstaus bei Grünende (Reststau N_{GE}) ermittelt werden. Mit den Wartezeitformeln für den Kfz-Verkehr können auch übersättigte Verkehrszustände untersucht werden.
- Obwohl die **Umlaufzeit** wegen der Koordination von Lichtsignalanlagen (Linien- und Netzkoordinierungen) für einzelne Bereiche und bestimmte Verkehrszeiten meist einheitlich festgelegt wird, sollte bei der Einrichtung auf eine individuelle Umlaufzeitermittlung nicht verzichtet werden. Als Orientierungswert kann für vorgegebene Verkehrsverhältnisse die Wartezeit-optimale Umlaufzeit berechnet werden. Für Koordinierungen muss die Umlaufzeit auf der Basis des Sättigungsgrades bestimmt werden. Die endgültige Festlegung der Umlaufzeit sollte mit einer gründlichen Wartezeitanalyse für die einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen einhergehen. Ungeeignet für praktische Einsatzzwecke ist im Allgemeinen die sogenannte Mindestumlaufzeit, weil der Sättigungsgrad für die maßgebenden Kraftfahrzeugströme dann $g = 1$ beträgt.
- Die sechsstufige **Qualitätsbewertung** erfolgt für die einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen auf Basis der nachgewiesenen mittleren Wartezeit. Die Qualität des Kfz-Verkehrs ist außer von den Signalparametern (Umlauf-, Freigabezeit) v.a. von den Verkehrsstärkeverhältnissen abhängig. Bei den übrigen Verkehrsarten (ÖPNV, Fußgänger- und Radverkehr) sind die Verkehrsstärken nachrangig.
- Berechnungsprozeduren sind genannt für:
 - bedingt verträgliches Rechtsabbiegen,
 - Rechtsabbiegen bei Rot (Grünpeilschild),
 - Linksabbiegen mit Durchsetzen,
 - Sättigungsverkehrsstärken auf Mischfahrstreifen,
 - die Kapazität für kurze Aufstellstreifen,
 - die Verkehrsaufteilung auf Fahrstreifen in Signalzufahrten,
 - die Stauraumbemessung,
 - die Knotenpunktkapazität und
 - die Dimensionierung von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (Anzahl der erforderlichen Fahrstreifen).
- Die **Koordinierung von Lichtsignalanlagen** stellt verkehrstechnisch eine wirksame Maßnahme dar, durchgehende Verkehrsströme in Straßenzügen flüssig abzuwickeln. Existieren auf Grund ungünstiger Knotenpunktabstände Behinderungszeiten im Koordinierungssystem, so ist in jedem Fall die stärker belegte Verkehrsrichtung durchgehend zu koordinieren. Die Funktionsfähigkeit einer Grünen Welle und des betreffenden Koordinierungsprogramms im praktischen Betrieb kann nur durch eine ausreichende Anzahl von Messfahrten (≥ 5) bei nicht übersättigten Verkehrsverhältnissen auf dem zu bewertenden Straßenzug festgestellt werden. Die Qualitätsbewertung von Grünen Wellen erfolgt über das sogenannte Koordinierungsmaß, das den Prozentsatz der Durchfahrten in den Knotenpunktzufahrten angibt. Die verkehrstechnische Berechnung von Koordinierungsprogrammen wird im HBS nicht behandelt. Hinweise zur LSA-Koordinierung enthält das Kapitel 5.1 dieses Handbuchs.
- Für die praktische Arbeit der Signalprogramm-berechnung und -bewertung stehen **Formblätter** zur Verfügung. Die Berechnungsmethodik wird anhand von zwei Berechnungsbeispielen ausführlich dargestellt und erläutert.



Neufassung der RiLSA (Entwurf 2007)

Voraussichtlich 2008 erscheint eine komplette Neufassung der RiLSA. Nachfolgend wird auf einige neue Inhalte bzw. Änderungen gemäß der vorliegenden Entwurfsfassung aus 2007 (FGSV 2007) eingegangen (vgl. BOLTZE/FRIEDRICH 2007).

In der Komplettfassung werden die Inhalte der bisher sektoral geprägten Kapitel zur besonderen Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs, der Fußgänger und der Radfahrer nun in den Abschnitten aufgeführt, die den jeweiligen Planungs- bzw. Projektierungsschritt behandeln. **Übersicht 1** zeigt die Gliederung der Neufassung. Weiter sind die Inhalte der neuen RiLSA und des derzeit auch in Überarbeitung befindlichen HBS (FGSV 2001/2005) besser aufeinander abgestimmt. Die verkehrstechnischen Aspekte sind in den RiLSA nun wieder vollständig dargestellt, Qualitätsbetrachtungen enthält nur das HBS. Die Neufassung berücksichtigt insbesondere neue Forschungserkenntnisse (BOLTZE/FRIEDRICH ET AL. 2007) und Stellungnahmen hierzu von zuständigen Fachverwaltungen, Anlagenherstellern sowie Ingenieurbüros. Auch die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung war beteiligt (BOSSERHOFF 2005).

Wesentliche inhaltliche Änderungen sind u.a.:

- Erstmals sind verkehrsabhängige Zwischenzeiten Thema in den RiLSA. Sie werden jedoch nur als Möglichkeit bei der Engstellensignalisierung beschrieben.
- Das Rechtsabbiegen auf Grünpfeil-Schild darf an Knotenpunkten, die häufig von Blinden, Sehbehinderten oder Mobilitätsbehinderten überquert werden, nicht angewandt werden.
- Bei der Fußgängersignalisierung an besonderen Bahnkörpern sind Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte notwendig.
- Bei Hauptradrouten sollten die Furten an den Knotenpunkten nicht abgesetzt werden.
- Haltlinien für Radfahrer sollten um ca. 3 m vor die des Kfz-Verkehrs vorgezogen werden.
- Messwertbasierte Steuerungsverfahren werden künftig als regelbasiert bezeichnet.

Übersicht 1: Gliederung der neuen RiLSA (FGSV 2007)

- Bei den Übergangszeiten ist aus Sicherheitsgründen für eine zulässige Geschwindigkeit von 70 km/h auch eine Gelbzeit von 4 s zulässig, bei dynamischen Haltestelleninseln sind 3 s der Sollwert.
- Bei Grünen Wellen werden nun auch Belange des ÖPNV und nicht-motorisierten Verkehrs behandelt. Die Übersicht zu den Steuerungsverfahren wurde weiterentwickelt.
- Bei der Steuerung wird die Einbeziehung von Kenngrößen zur Umweltsituation thematisiert.
- Signaltechnische Aspekte der Rampen-Zuflusssteuerung wurden aufgenommen.

1.	Grundsätze
1.1	Allgemeines
1.2	Kriterien für den Einsatz von Lichtsignalanlagen und erzielbare Wirkungen
1.3	Lichtsignale und Signalfolgen
2.	Entwurf des Signalprogramms
2.1	Begriffe
2.2	Unterlagen und Voruntersuchungen
2.3	Signalprogrammstruktur
2.4	Übergangszeiten
2.5	Zwischenzeiten
2.6	Umlaufzeit
2.7	Freigabezeiten und Sperrzeiten
1.1	Signalzeitenplan
3.	Wechselwirkungen zwischen Lichtsignalsteuerung und dem Entwurf von Straßenverkehrsanlagen
3.1	Grundlagen
3.2	Fahrstreifen
3.3	Führung des Radverkehrs
3.4	Mittelstreifen und Fahrbahnteiler
3.5	Überquerungsstellen an Bahnkörpern
1.	Furten
2.	Haltestellen
3.	Ausstattungs-elemente
4.	Steuerungsverfahren
4.1	Übersicht über die Steuerungsverfahren
4.2	Kenngrößen zur Steuerung
4.3	Einsatzhinweise zu den Steuerungsverfahren
4.4	Koordinierung
4.5	Projektierung der Steuerung
5.	Sonderformen der Signalisierung
5.1	Nicht vollständige Signalisierung
5.2	Engstellensignalisierung
5.3	Fahrstreifensignalisierung
5.4	Zuflussregelung
6.	Technische Ausführung
6.1	Steuergerät
6.2	Signalleuchten
6.3	Erfassungseinrichtungen
6.4	Anzahl und Anordnung der Signalgeber
6.5	Bauausführung
7.	Technische Abnahme und Betrieb
7.1	Abnahme
7.2	Betrieb
7.3	Ersatzmaßnahmen bei Betriebsunterbrechung
8.	Qualitätsmanagement
8.1	Begriff
8.2	Ziele des Qualitätsmanagements
8.3	Voraussetzungen
8.4	Qualitätsmanagement bei der verkehrstechnischen Projektierung
8.5	Qualitätsmanagement bei der Implementierung
8.6	Qualitätsmanagement im laufenden Betrieb
9.	Vorschriften und Technische Regelwerke



4.5.2 KRITERIEN FÜR DEN EINSATZ VON LICHTSIGNALANLAGEN

„Der Entwurf einer Lichtsignalanlage umfasst die Wahl des Steuerungsverfahrens, die Berechnung der Signalprogramme sowie den straßenverkehrstechnischen Entwurf des Knotenpunkts, eines Straßenzugs oder eines Netzteils einschließlich der zugehörigen verkehrslenkenden Maßnahmen.

Die einzelnen Komponenten wie die Ausbildung des Knotenpunkts, die Einteilung der Zufahrten in Fahrstreifen, die Führung der Fußgänger und Radfahrer und die Signalisierung der einzelnen Verkehrsströme sind so aufeinander abzustimmen, dass bei allen vorkommenden Belastungen und Betriebsbedingungen die Voraussetzungen für einen sicheren Verkehrsablauf gegeben sind. Die Gestaltung des Verkehrsraums, die Verkehrsführung und die Signalisierung sollen eine Einheit bilden“ (FGSV 1992).

Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten haben – vereinfacht gesagt – die Aufgabe, unterschiedliche Verkehrsströme zeitlich begrenzt durch Schalten der entsprechenden Signalbilder zu sperren bzw. freizugeben. Hierdurch wird je nach baulichen Gegebenheiten und Art der Signalsteuerung eine teilweise oder vollständige Entflechtung der Konflikte zwischen den verschiedenen Verkehrsströmen erreicht.

Lichtsignalanlagen werden in der Regel zur Erhöhung der **Verkehrssicherheit** sowie zur Verbesserung der **Kapazität** und der **Qualität des Verkehrsablaufs** eingerichtet. Als weitere wichtige Aufgaben der Lichtsignalsteuerung nennen die RiLSA:

- die Verkehrsabwicklung für öffentliche Verkehrsmittel,
- den Schutz und die Erhöhung der Verkehrsqualität für Fußgänger und Radfahrer,
- die Führung des Kraftfahrzeugverkehrs im Straßennetz und

- den Schutz von Teilen des Straßennetzes vor Überlastungen.

„Die Ziele der Lichtsignalsteuerung werden in erster Linie durch die Bedürfnisse, Interessen und Forderungen der einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen und der betroffenen Anlieger bestimmt. Da sowohl die Fußgänger, die Radfahrer, die Betreiber und die Fahrgäste öffentlicher Verkehrsmittel als auch die Kraftfahrer jeweils für sich fordern, dass durch die Lichtsignalanlage ein sicherer, zügiger und angenehmer Verkehrsablauf gewährleistet wird, kommt es häufig zu Zielkonflikten, weil die für sich berechtigten Vorstellungen der einzelnen Gruppen in der Regel nicht gleichzeitig erfüllt werden können. Auch zwischen den angestrebten Wirkungen im Hinblick auf eine hohe Verkehrssicherheit, eine gute Qualität des Verkehrsablaufs, niedrigen Kraftstoffverbrauch und möglichst geringe Umweltbeeinträchtigung durch Abgas- und Lärmemissionen kann es zu Konflikten kommen“ (FGSV 1992).

Von der Art und vom Ausstattungsstandard der Lichtsignalanlage hängen zudem die mit der Errichtung verbundenen Kosten ab, wobei die kostengünstigste Variante aber nicht zwingend die preiswerteste sein muss.

Wie bei allen Planungsmaßnahmen ist deshalb auch beim Entwurf der Lichtsignalsteuerung die Entscheidung zwischen verschiedenen Varianten unter Berücksichtigung der vier Grundkriterien **Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Kapazität und Umweltverträglichkeit** zu treffen. Dabei sind **alle Verkehrsteilnehmergruppen** und die betroffenen **Anlieger** zu berücksichtigen.

Die hieraus entstehenden Zielkonflikte zwischen den Kriterien machen ein gegenseitiges Abwägen erforderlich. Allgemeingültige Empfehlungen für den Abwägungsprozess lassen sich jedoch aufgrund der Vielzahl möglicher Fälle und möglicher Lösungen sowie der Verschiedenheit der Ausgangsvoraussetzungen nicht geben.



In diesem Kapitel sollen allerdings Entscheidungshilfen bei der Beurteilung der oben genannten Kriterien gegeben werden. Zu der Interpretation und dem Stellenwert der einzelnen Kriterien seien hier noch einige abschließende Anmerkungen gemacht.

Nachdem die Lichtsignaltechnik in der Vergangenheit zeitweise - speziell in den sechziger und siebziger Jahren - sehr einseitig auf die Belange des Kraftfahrzeugverkehrs und hier vor allem auf den Individualverkehr ausgerichtet war, hat in den achtziger und neunziger Jahren ein Umdenkungsprozess stattgefunden. Im Gegensatz zur sogenannten „nachfrageorientierten Planung“ früherer Jahre, durch welche Verkehrsanlagen auf die künftig zu erwartende Verkehrsentwicklung hin dimensioniert wurden, wird die Aufgabe der Verkehrsplanung heute verstärkt darin gesehen, steuernd auf die künftige Verkehrsentwicklung einzuwirken, d.h. gewünschte Entwicklungen zu unterstützen und gegebenenfalls auch unerwünschten Entwicklungen entgegenzuwirken.

Dies führt konkret zu einer stärkeren Gewichtung der **Belange des öffentlichen Nahverkehrs und der nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmergruppen**, zu einer Abnahme der Bedeutung des Kriteriums Kapazität – sofern es allein auf den Kraftfahrzeugverkehr bezogen ist – und zu einer Zunahme des Kriteriums Umweltverträglichkeit. Hierbei hat sich die Bedeutung des Begriffs „**Umweltverträglichkeit**“ mehr und mehr in Richtung des weitreichenderen Begriffs „**Umfeldverträglichkeit**“ verschoben, der neben Umweltauswirkungen wie Flächenverbrauch, Lärm- und Abgasemissionen auch die Auswirkungen auf das soziale und städtebauliche Umfeld umfasst; dies schließt u.a. Aspekte wie die Verkehrsqualität für nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmergruppen und den öffentlichen Verkehr mit ein.

4.5.3 GESETZMÄSSIGKEITEN DES VERKEHRSABLAUFS

Um den Knotenpunktentwurf und die Lichtsignalsteuerung möglichst gut auf den Verkehrsablauf abstimmen zu können, ist es hilfreich, dessen Gesetzmäßigkeiten zu kennen. Dem Stellenwert nicht-motorisierter Verkehrsteilnehmer entsprechend werden im folgenden nicht nur die Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens von Kraftfahrzeugen an Lichtsignalanlagen beschrieben, sondern auch einige wichtige Verhaltensmerkmale von Radfahrern und Fußgängern; weitere relevante Themen enthält Abschnitt 4.5.9. Während bei Kraftfahrzeugen der Schwerpunkt auf der Beschreibung von **Zufluss und Abfluss** liegt, wird bei Radfahrern und Fußgängern besonders auf Aspekte der **Wegwahl** im Knotenpunktsbereich sowie der **Akzeptanz** von Lichtsignalsteuerung und vorgeschriebener Verkehrsführung eingegangen.

4.5.3.1 Kraftfahrzeugverkehr

Der Verkehrsablauf an einem lichtsignalgeregelten Knotenpunkt kann beschrieben werden durch:

- das Zuflussgesetz der ankommenden Fahrzeuge,
- das Abflussgesetz der Fahrzeuge aus der Knotenpunktszufahrt und
- das Verhalten der Verkehrsteilnehmer beim Phasenwechsel.

Zufluss von Kraftfahrzeugen

Für Kraftfahrzeuge unterscheidet man beim Zufluss zwischen **freiem Verkehr** bei uneingeschränkter Überholmöglichkeit (z.B. im Fall von mehrstreifigen Zufahrten) und **teilgebundenem Verkehr** bei eingeschränkter Überholmöglichkeit.

Die Theorie geht bei **freiem Verkehr** von der Unabhängigkeit der Fahrzeugankünfte aus und beschreibt ihn durch die sogenannte **POISSON-**



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Verteilung (Gleichung 1) für die Fahrzeughäufigkeit innerhalb eines bestimmten Zeitraums und durch die negative **Exponential-Verteilung** (Gleichung 2) für die Zeitlücken zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen. Unter der Zeitlücke wird hier stets die Bruttozeitlücke oder auch „Frontzeitlücke“ verstanden, also die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen der Fahrzeugvorderkanten zweier aufeinanderfolgender Fahrzeuge an einem festen Ort. Im Gegensatz hierzu steht die Nettozeitlücke, die von Hinterkante des ersten bis Vorderkante des zweiten Fahrzeugs gemessen wird und somit die Durchfahrzeit des ersten Fahrzeugs nicht enthält.

Die POISSON-Verteilung gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit $p(x)$ eine bestimmte Anzahl x von Fahrzeugen innerhalb der Zeitdauer t eintrifft:

$$p(x) = \frac{\mu^x}{x!} \cdot e^{-\mu} \quad (1)$$

Hierbei ist μ der Erwartungswert (Durchschnittswert) der Variablen x in der Zeitdauer t . Um ihn zu berechnen, muss die stündliche Verkehrsstärke q bekannt sein:

$$\mu = q \cdot \frac{\Delta t}{3600}$$

Berechnungsbeispiel zu Gleichung (1)

Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Parkhausausfahrt innerhalb der Sperrzeit nicht vom Rückstau vor der Lichtsignalanlage zugestellt wird? Als Randbedingungen sind einzuhalten:

- die Sperrzeit beträgt 40 s,
- die Ausfahrt ist 20 m von der Haltlinie entfernt,
- die Verkehrsstärke des Geradeausstroms beträgt 450 Kfz/ h und
- als mittlere Aufstelllänge pro Fahrzeug werden 6 m angenommen.

Die Ausfahrt wird immer dann zugestaut, wenn in der Sperrzeit mindestens 4 Fahrzeuge ($4 \cdot 6 \text{ m} = 24 \text{ m}$) eintreffen. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Ausfahrt nicht zugestellt wird, ist also gleich der Summe der Wahrscheinlichkeiten, dass 0, 1, 2 oder 3 Fahrzeuge eintreffen.

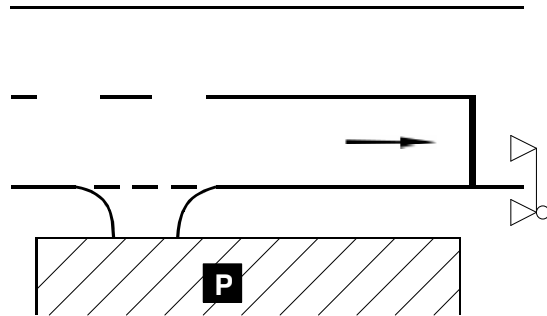


Bild 1: Skizze zum Berechnungsbeispiel

Mit $t = 40 \text{ s}$ und $q = 450 \text{ Kfz/h}$ ergeben sich durchschnittlich 5 Kfz, die während der Sperrzeit eintreffen ($\mu = 450 \cdot 40/3600 = 5$).

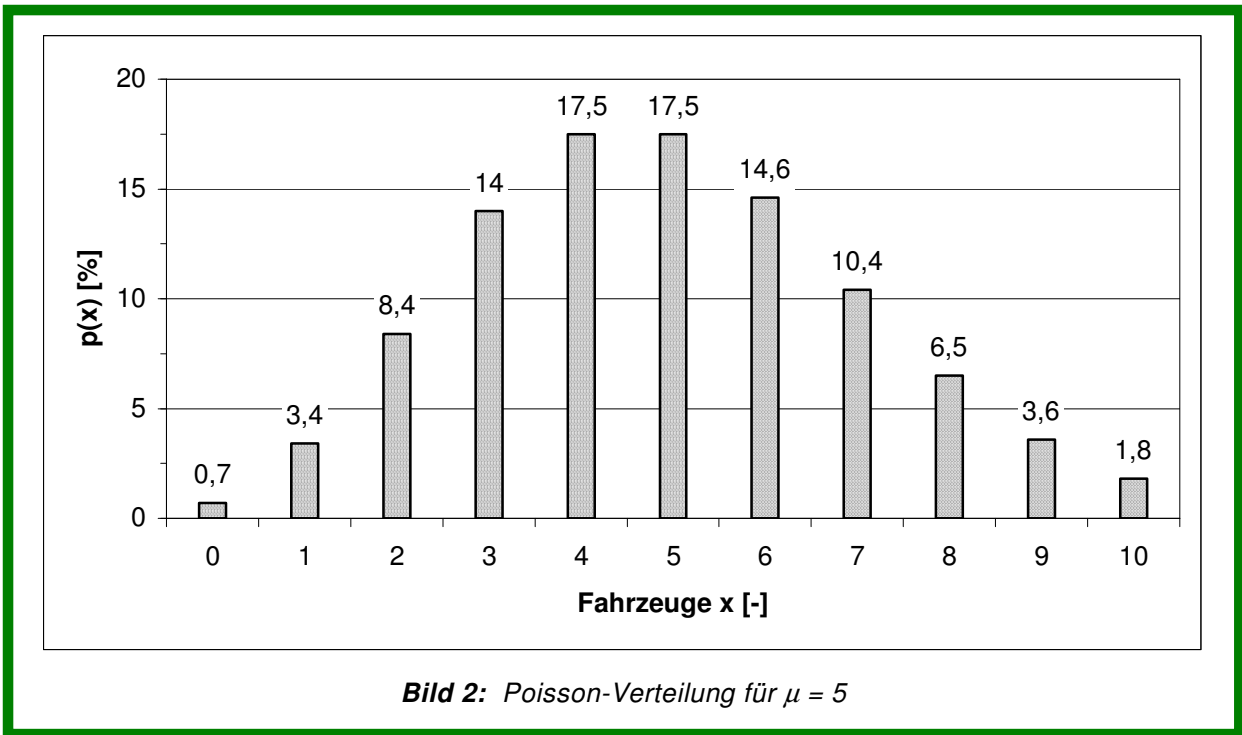
Daraus berechnet sich nach Gleichung (1) beispielsweise die Wahrscheinlichkeit, dass genau $x = 3$ Fahrzeuge eintreffen:

$$p(3) = \frac{5^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot e^{-5} = 0,140 = 14\%$$

Ebenso ergeben sich die Werte $p(0) = 0,7\%$ (beachte: $0!$ ist definitionsgemäß $= 1$), $p(1) = 3,4\%$ und $p(2) = 8,4\%$. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Ausfahrt nicht zugestellt wird: $p(0) + p(1) + p(2) + p(3) = 26,5\%$ (vgl. **Bild 2**)

Wegen $p(x \leq 3) + p(x \geq 4) = 100 \%$ bedeutet das gleichzeitig, dass in 73,5% aller Fälle der Rückstau über die Ausfahrt hinausreicht.

Die innerhalb eines Zeitraums beobachtete Anzahl eintreffender Fahrzeuge unterliegt zufälligen Schwankungen. Dies ist der Grund für Kapazitätserhöhungen durch eine verkehrabhängige Steuerung, weil hier nur die tatsächlich benötigte Freigabezeit geschaltet wird (vgl. Abschnitt 4.5.5).



Die negative Exponentialverteilung beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass die Zeitlücke ZL zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugen größer oder gleich einer Zeitdauer t ist:

$$p(ZL \geq t) = e^{-(t \cdot q / 3600)} \quad (2)$$

Berechnungsbeispiel zu Gleichung (2)

Die Wahrscheinlichkeit, dass nach dem Eintreffen eines Fahrzeuges mindestens 10 s bis zum Eintreffen des nächsten Fahrzeugs vergehen, beträgt bei einer Verkehrsstärke von $q = 900$ Kfz/h:

$$p(ZL \geq 10 \text{ s}) = e^{-(10 \cdot 900 / 3600)} = 8,2\%$$

Entsprechend ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das nächste Fahrzeug früher eintrifft:

$$p(ZL < 10 \text{ s}) = 100\% - p(ZL \geq 10 \text{ s}) = 91,8\%.$$

Im Gegensatz zum freien Verkehr – der als mathematisch idealisierte, aber in der Praxis untypische Form des Verkehrsablaufs anzusehen ist – wird der **teilgebundene Verkehr** als aus Fahr-

zeugpuls (gebundener Anteil) und frei fahrenden Fahrzeugen zusammengesetzt angenommen. Zu seiner Beschreibung existieren in der Theorie verschiedene Ansätze, auf die hier aber nicht im Detail eingegangen werden soll.

Für die Praxis von Bedeutung – etwa bei der Koordinierung von Lichtsignalanlagen oder bei der Wahl des Zeitlückenschwellenwerts für den Freigabezeitabbruch bei verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren – sind vor allem die **Gesetzmäßigkeiten innerhalb von Fahrzeugkolonnen**. Einige wesentliche Fakten sind:

- Der Anteil der Fahrzeuge, die innerhalb eines Pulks fahren, steigt mit zunehmender Verkehrsstärke.
- Die Bruttozeitlücken zwischen den Fahrzeugen eines Pulks liegen für gute Bedingungen (hell und trocken) bei einem Mittelwert von etwa 2 s und streuen in einem Bereich zwischen etwa 0,8 s und 4 s (HERKT/STEIERWALD/SCHÖNHARTING 1986).
- Die Zeitlückenverteilung innerhalb eines Fahrzeugpuls verschiebt sich mit zunehmendem Lkw-Anteil und bei ungünstigeren Witterungs- bzw. Straßenverhältnissen in Richtung höherer Werte.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Von großer Bedeutung für die Lichtsignalsteuerung ist der zeitliche Verlauf der Verkehrsbelastung über einen Tag. Eine Tagesganglinie zeigt beispielhaft **Bild 3**.

Die **Tagesganglinie** kann in ihrem Verlauf von Knotenpunkt zu Knotenpunkt, aber auch für die einzelnen Verkehrsströme an einem Knotenpunkt unterschiedlich ausgeprägt sein. Sie wird von speziellen örtlichen Gegebenheiten beeinflusst, verläuft an Sonn- und Feiertagen anders als an Arbeitstagen und kann auch von Großereignissen wie Sportveranstaltungen, Messen zeitweilig entscheidend verändert werden (s. Kapitel 2.1 dieses Handbuchs). Für die Arbeitstage lässt sich in den letzten Jahren – vermutlich bedingt durch gestiegenes Verkehrsaufkommen und flexiblere Arbeitszeiten – die Entwicklung feststellen, dass es sich vielerorts beim morgendlichen und abendlichen Berufsverkehr nicht mehr um eng begrenzte Spitzenzeiten handelt, sondern um Zeiträume von 2 bis 3 Stunden, während derer gesättigter Verkehr (d.h. kein freier oder teilgebundener Verkehr) herrscht.

Abfluss von Kraftfahrzeugen

Entscheidend für die Kapazität lichtsignal geregelter Knotenpunkte und somit auch für die Bemessung der erforderlichen Freigabezeiten in Signalprogrammen ist die Zeit, die rückgestaute Kraft-

fahrzeuge innerhalb eines Fahrstreifens benötigen, um abzufließen; man spricht hier auch von **Zeitbedarfswerten**.

Als Faustregel kann näherungsweise ein Zeitbedarfswert von 1,8 bis 2 s/Fz verwandt werden. Der Zeitbedarfswert eines Fahrzeugs ist insbesondere abhängig von:

- Fahrzeugart,
- Position innerhalb des Rückstaus,
- Fahrstreifenbreite,
- Kurvenradius bei Abbiegern,
- Neigungsverhältnissen,
- Fahrbahnbeschaffenheit sowie
- Witterungs- und Lichteinflüssen
- Beschleunigungsvermögen des Fahrzeugs
- Reaktionsvermögen des Fahrers.

Bild 4 gibt die mittleren Zeitbedarfswerte für die Fahrzeuge eines ebenen, nur aus Pkw bestehenden Geradeausstroms in Abhängigkeit von der Fahrzeugposition vor der Haltlinie wieder. Dabei wird der Zeitbedarfswert des ersten Fahrzeugs als Zeitdifferenz zwischen Freigabezeitbeginn und Eintreffen der Fahrzeugvorderkante an der Haltlinie definiert. Alle übrigen Zeitbedarfswerte entsprechen Bruttozeitlücken zwischen jeweils aufeinanderfolgenden Fahrzeugen an der Haltlinie. Die angegebenen Werte beschreiben das durchschnittliche Verhalten von Fahrzeugen. Im Einzelfall hängen die Zeitbedarfswerte natürlich stark

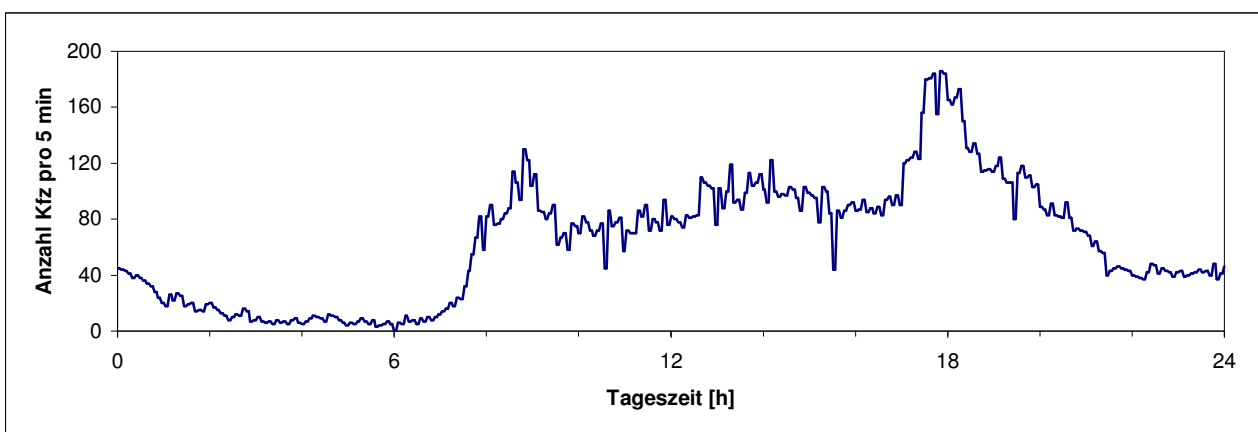


Bild 3: Tagesganglinie der Kfz-Verkehrsbelastung (nach: LAPIERRE/STEIERWALD)

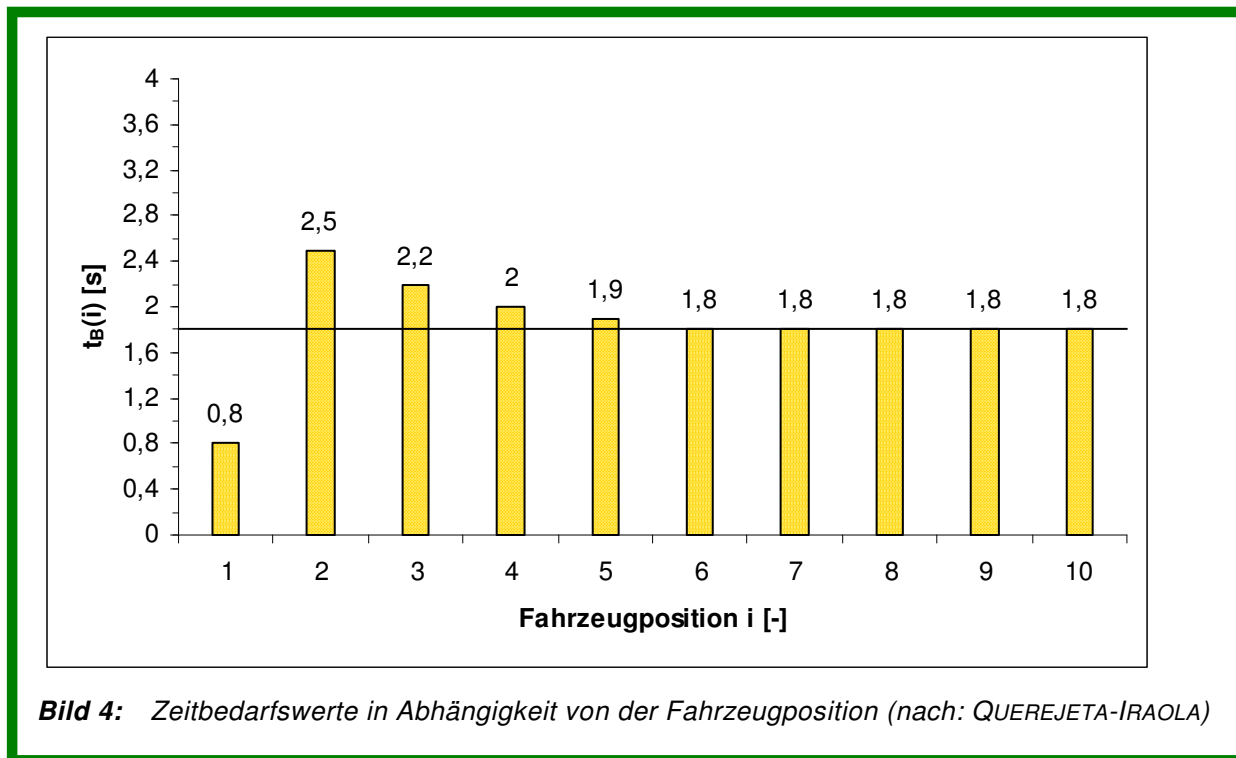


Bild 4: Zeitbedarfswerte in Abhängigkeit von der Fahrzeugposition (nach: QUEREJETA-IRAOLA)

vom Beschleunigungsvermögen der Fahrzeuge und dem Reaktionsvermögen der Fahrer ab.

Aus allen bisherigen Untersuchungen geht hervor, dass sich die Zeitbedarfswerte ab einer bestimmten Fahrzeugposition i (in obigem Beispiel ab dem 6. Fahrzeug) auf einen konstanten Wert stabilisieren, den sogenannten **Zeitbedarfsgrenzwert** t_B . Stärkere Abweichungen vom Zeitbedarfsgrenzwert, wie sie beispielsweise an Steigungs- und Gefällestrecken auftreten können, werden durch den **Zeitmehrbedarf** t_{MB} berücksichtigt.

Der Zeitmehrbedarf entspricht der Summe aller Unterschiede zwischen den einzelnen Zeitbedarfswerten und dem Zeitbedarfsgrenzwert und kann auch negative Werte annehmen.

Vor allem aufgrund der starken Motorisierung der heutigen Kfz hat der Zeitmehrbedarf an Bedeutung verloren und kann in der Regel vernachlässigt werden. In den RiLSA 92 (FGSV 1992) wird der Zeitmehrbedarf nicht mehr berücksichtigt, im HBS (FGSV 2001/2005) dagegen schon.

Die Anzahl der Fahrzeuge n , die aus einem Fahrstreifen einer Signalzufahrt während der Freigabezeit t_F abfließen können, lässt sich entsprechend dem HBS vereinfacht bestimmen zu:

$$n = \frac{t_F}{t_B}$$

mit: n = Anzahl der abfließenden Fahrzeuge [Fz]
 t_F = geschaltete Freigabezeit [s]
 t_B = Zeitbedarfswert [s/Fz]

Ausgehend von dem Zeitbedarfswert t_B kann die Sättigungsverkehrsstärke q_s [Fz/h] ermittelt werden, die angibt, wie viel Fahrzeuge theoretisch in einer Grünstunde aus einer Signalzufahrt abfließen könnten:

$$q_s = \frac{3600}{t_B}$$

mit: q_s = geschaltete Freigabezeit [Fz/h]
 t_B = Zeitbedarfswert [s/Fz]



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Wenn dem Kraftfahrzeugverkehr Freigabezeiten > 10 s zur Verfügung gestellt werden können, kann für den Pkw-Verkehr von einem Zeitbedarfswert $t_B = 1,8$ s ausgegangen werden. Dies entspricht einer maximal möglichen Verkehrsstärke $q_S = 2000$ Pkw/h (**Sättigungsverkehrsstärke**). Bei kurzen Freigabezeiten (≤ 10 s) und hoher Auslastung ergeben sich wesentlich größere Sättigungsverkehrsstärken, weil bei solchen Verkehrsverhältnissen in verstärktem Maße noch während der Gelbzeit in den Knotenpunkt eingefahren wird. In **Bild 5a** sind die Sättigungsverkehrsstärken in Abhängigkeit von der zu erwartenden Freigabezeit angegeben, von denen bei den verkehrstechnischen Berechnungen ausgegangen werden kann. Nach Aufstellung des Signalprogramms sind die angesetzten Sättigungsverkehrsstärken hinsichtlich des Zusammenhangs mit kurzen Freigabezeiten zu überprüfen.

zu erwartende Freigabezeit t_f	Sättigungsverkehrsstärke q_s	Zeitbedarfswert t_B
> 10	2000	1,8
10	2400	1,5
6	3000	1,2
* bei Zwischenwerten interpolieren		
** q_s [Pkw/h] oder [Fz/h] bei SV-Anteil $< 2\%$		

Bild 5a: Ausgangswerte für Sättigungsverkehrsstärken in Abhängigkeit von der zu erwartenden Freigabezeit (nach HBS: FGSV 2001/2005)

Starken Einfluss auf die Sättigungsverkehrsstärke hat der Anteil von **Schwerlastfahrzeugen** (SV-Anteil). Die Sättigungsverkehrsstärke sinkt mit zunehmendem SV-Anteil. Stehen einer Fahrtrichtung mehrere Fahrstreifen zur Verfügung, so können sich durch die unterschiedliche Nutzung der Fahrstreifen durch SV-Fahrzeuge unterschiedliche Sättigungsverkehrsstärken einstellen.

Außerdem haben entsprechend dem HBS auf die Sättigungsverkehrsstärke (oder die Größe des Zeitbedarfswertes) Einfluss:

- Fahrstreifenbreite:
Abweichungen von der Normalfahrstreifenbreite (3,00 bis 3,50 m) führen zu einer Verringerung der Sättigungsverkehrsstärke.
- Fahrtrichtung:
Für abbiegende Fahrzeuge ist in Abhängigkeit vom Abbiegeradius mit einer geringeren Sättigungsverkehrsstärke als für Geradeausverkehr zu rechnen.
- Neigungsverhältnisse:
Bei Steigungen reduziert sich und bei durchgehendem Gefälle erhöht sich die Sättigungsverkehrsstärke.
- Fußgängerverkehr:
Bei bedingt verträglichen Abbiegeströmen sinkt die Sättigungsverkehrsstärke wegen der Wartepflicht vor bevorrechtigten Fußgängern.
- Witterungsverhältnisse
Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen (Regen, insbesondere winterliche Verhältnisse) können sich gegenüber normalen Bedingungen wesentlich niedrigere Sättigungsverkehrsstärken einstellen. Dieser Effekt wird im Allgemeinen bei Signalprogrammrechnungen nicht berücksichtigt.
- Örtliche Besonderheiten:
Die Sättigungsverkehrsstärken können örtlich verschieden sein. Üblicherweise werden in Kernstadtbereichen größere Sättigungsverkehrsstärken als in Außerortsbereichen zu erwarten sein.

In **Bild 5b** sind Richtwerte für Angleichungsfaktoren der Sättigungsverkehrsstärke bei unterschiedlichen Bedingungen und Einflüssen in Signalzufahrten angegeben.

Zur Anpassung der Sättigungsverkehrsstärke an die tatsächlichen Verhältnisse sollten höchstens zwei Angleichungsfaktoren miteinander verknüpft werden, selbst wenn formal in der betreffenden



Zufahrt (oder Zufahrtsstreifen) mehrere Einflussgrößen auszumachen sind. Damit gilt:

$$q_s = f_1 \cdot f_2 \cdot q_{s,st}$$

- mit: q_s = Sättigungsverkehrsstärke für die konkreten Bedingungen [Fz/h]
- f_1, f_2 = Angleichungsfaktoren (höchstens zwei ansetzen) [-]
- $q_{s,st}$ = Sättigungsverkehrsstärke unter Standardbedingungen nach **Bild 5b** [Pkw/h]

Einflussgröße		Angleichungsfaktor
Anteil Schwerverkehr (SV)	< 2%	$f_{SV} = 1,00$
	2 bis 15%	$f_{SV} = 1 - 0,0083 \cdot e^{0,21 \cdot SV}$
	> 15%	$f_{SV} = 1/(1+0,015 \cdot SV)$
Fahrstreifenbreite	2,60 m	$f_b = 0,85$
	2,75 m	$f_b = 0,90$
	≥ 3,00 m	$f_b = 1,00$
Abbiegeradius (R)	< 10 m	$f_R = 0,85$
	< 15 m	$f_R = 0,90$
	> 15 m	$f_R = 1,00$
Fahrbahnlängsneigung	Steigung +5%	$f_s = 0,85$
	+3%	$f_s = 0,90$
	Ebene 0%	$f_s = 1,00$
	Gefälle -3%	$f_s = 1,10$
	-5%	$f_s = 1,15$
Fußgängerverkehr	stark	$f_F = 0,80$
	mittel	$f_F = 0,90$
	schwach	$f_F = 1,00$

Bild 5b: Angleichungsfaktoren für den Fahrzeugabfluss aus lichtsignalgesteuerten Zufahrten (nach HBS: FGSV 2001)

Um die Abflussverhältnisse aus Signalzufahrten richtig zu erfassen und / oder örtliche Besonderheiten besser zu berücksichtigen, sollten gegebene

nenfalls Messungen vor Ort durchgeführt werden. Die Methodik und Auswertung solcher Zeitbedarfsmessungen zur Ermittlung der Sättigungsverkehrsstärke werden im Anhang A des HBS (FGSV 2001/2005) beschrieben.

Soll für eine bestimmte Anzahl von Fahrzeugen die Freigabezeit t_F ermittelt werden, gilt:

$$t_F = n \cdot \frac{3600}{q_s} = n \cdot t_B$$

- mit: t_F = Freigabezeit [s]
- n = Fahrzeuganzahl [Fz]
- q_s = Sättigungsverkehrsstärke [Fz/h]
- t_B = Zeitbedarfswert [s/Fz]

Zu prüfen ist zudem, ob nicht die Mindestfreigabezeit nach den RiLSA (FGSV 1992) maßgebend ist. Die erforderliche Freigabezeit, bei der nur die Kapazität gewährleistet wird, ergibt sich dann ausgehend von der mittleren Eintreffenzahl pro Umlauf m zu

$$t_{F,erf} = m \cdot \frac{3600}{q_s} = m \cdot t_B$$

- mit: $t_{F,erf}$ = Freigabezeit [s]
- m = mittlere Eintreffenzahl [Fz]
- = $q \cdot t_B / 3600$

Die Kapazität C eines Fahrstreifens einer Signalzufahrt, aus dem die Fahrzeuge unbehindert abfließen können, ist wie folgt zu bestimmen:

$$C = f \cdot q_s$$

- mit: C = Fahrstreifenkapazität [Fz/h]
- f = Freigabezeitanteil [-]
- = t_F / t_U

Diese Kapazitätsformeln gelten nur für Festzeitsteuerungen.



4.5.3.2 Radverkehr

Anders als für Kraftfahrzeuge gibt es für Radfahrer keine Theorien zur Erklärung des Zuflusses. Theoretisch müsste wegen im allgemeinen nahezu uneingeschränkter Überholmöglichkeiten bei Radfahrern von freiem Verkehr und somit zufälligen Ankünften ausgegangen werden. In der Praxis beobachtet man aus sehr plausiblen Gründen (z.B. gemeinsame An- und Abfahrt von Schülern vor bzw. nach dem Unterricht) oft ein gruppenweises Auftreten.

Analog dem Kfz-Verkehr weist auch das Radfahreraufkommen eine Tagesganglinie auf. Messungen der Verkehrsstärken von Radfahrerströmen werden in der Praxis allerdings sehr selten durchgeführt.

Neben Kriterien wie möglichst kurze Wege und geringe Steigungen sind für die Wegewahl und das Verkehrsverhalten von Radfahrern die verfügbaren Verkehrsflächen, die zu erwartenden **Wartezeiten** und das subjektive **Sicherheitsempfinden** in Knotenpunktsbereichen von Bedeutung. Eine gute Zusammenstellung aller Bestandteile des Systems für den Radverkehr unter Berücksichtigung des aktuellen Regelwerks enthält die Publikation „FahrRad“ (NRW 2002a).

Von zentraler Bedeutung sind eine sichere und komfortable Radverkehrsführung sowie an signalgesteuerten Knotenpunkte eine **fahrradfreundliche Lichtsignalsteuerung**, die insbesondere kurze Wartezeiten und sicheres Fahren ermöglicht. Nähere Ausführungen enthält der Abschnitt 4.5.9.1.

Entsprechend der RiLSA-Teilfortschreibung (FGSV 2003) und den „Hinweisen zur Signalisierung des Radverkehrs (HSRa)“ (FGSV 2005) werden drei **Grundformen der Signalisierung** des Radverkehrs unterschieden:

- gemeinsame Signalisierung mit dem Kraftfahrzeugverkehr,

- gemeinsame Signalisierung mit dem Fußgängerverkehr und
- gesonderte Signalisierung der Radfahrer.

Zur **Rotlichtakzeptanz bei Radfahrern** liegen im wesentlichen folgende Erkenntnisse von STEINHART (1985) vor:

- Bei signaltechnisch gemeinsamer Führung mit dem Kraftfahrzeugverkehr sind Rotlichtmissachtungen selten.
- Bei Vorhandensein eines Radfahrstreifens oder Radweges und signaltechnischer Führung gemeinsam mit dem Fußgängerverkehr liegt der Anteil an Rotlichtmissachtungen bei ca. 20 %, wenn der parallel geführte Kfz-Verkehr noch freigegeben ist, während dessen Sperrzeit dagegen bei nur ca. 10 %.

Hieraus zeigt sich ein Zusammenhang zwischen baulicher bzw. signaltechnischer Führung und dem Anteil an Rotlichtmissachtungen, der beachtet werden sollte.

4.5.3.3 Fußgängerverkehr

Ebenso wie bei Kraftfahrzeugen und Radfahrern ist auch das Verkehrsaufkommen von Fußgängern über den Tag unterschiedlich. Hierbei kann es aber neben zufälligen Ankünften einzelner Fußgänger oder Fußgängergruppen aufgrund spezieller örtlicher Gegebenheiten – wie Haltestellen öffentlicher Verkehrsmittel im Knotenpunktsbereich – zu regelmäßigem, zeitlich befristeten Anschwellen bestimmter Fußgängerströme kommen. Solche Randbedingungen sind gegebenenfalls bei der Planung der Lichtsignalsteuerung zu berücksichtigen.

Die maximale **Aufsteldichte** von Fußgängern vor einer Furt während der Sperrzeit beträgt ca. 2 Fußgänger/m² (KIRSCH). Die beim Aufstellen und beim Queren einer Furt effektiv genutzte Furtbreite überschreitet im Fall entsprechend hohen Fußgängeraufkommens die durch Markierungen abgegrenzte Furtbreite deutlich.



Die Fußgänger erreichen innerhalb eines zu Freigabezeitbeginn anlaufenden Pulks eine Geschwindigkeit von durchschnittlich ca. 5 km/h (1,4 m/s) erst nach etwa 4 Sekunden. Deshalb entsteht für weiter hinten aufgestellte Fußgänger ein zusätzlicher Zeitbedarf bis zum Betreten der Furt von ca. 1 s pro Fußgängerreihe, die sich vor ihnen befindet; dieser **Zeitbedarf** findet bisher **im Regelwerk keinen Eingang**. Entsprechendes gilt für die Tatsache, dass Fußgänger in der Regel nicht direkt an der Bordsteinkante warten und dadurch **Einlaufwege** zu berücksichtigen wären.

Bei Fußgängern an Knotenpunkten ist zu unterscheiden zwischen Verkehrsbeziehungen, die nur einen Überweg beinhalten und sogenannten Übereck-Beziehungen, bei denen Quelle und Ziel einander diagonal gegenüberliegen und bei denen mehrere Überwege nacheinander zu queren sind. Vor allem Fußgänger mit Übereck-Gehwunsch neigen häufig zu freiem Queren der Fahrbahn außerhalb des Knotenpunktsbereiches, insbesondere wenn am Knotenpunkt lange Wartezeiten zu erwarten sind. (FIEDLER 1971).

Bei **Rotlichtmissachtungen durch Fußgänger** ist zu unterscheiden zwischen einem Missverständnis der Signalschaltung, bewusstem Fehlverhalten und Mitschleppeffekten.

Missverständnisse entstehen insbesondere an hintereinanderliegenden Furten, bei denen die Signalmaste nicht in einer Flucht angeordnet sind. Erhält die zweite Furt Grün, während die erste Furt noch Rot hat (**Bild 6**), wird häufig versehentlich auch schon die erste Furt gequert (sogenannter „**Rüberzieheffekt**“).



Auch bei hintereinanderliegenden Furten, an denen die zweite Furt Rot zeigt, entstehen wegen Grün für die erste Furt versehentliche Querungen.

- Gründe für andere Rotlichtmissachtungen sind
- Wartezeiten, die subjektiv als unakzeptabel lang empfunden werden
 - schwach ausgelastete Freigabezeiten feindlicher Fahrzeugströme.

Missachtungen werden zum Teil vorgenommen aufgrund bewusster, situationsbedingter Entscheidungen, zum Teil aber auch – insbesondere bei Kindern und älteren Verkehrsteilnehmern – aufgrund des sogenannten „**Mitschleppeffekts**“ durch vorauseilende Rotläufer und häufig ohne Berücksichtigung der Verkehrssituation. Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zeigen, dass vermutlich weit über die Hälfte aller Fußgänger unter entsprechend ungünstigen Bedingungen eine Rotlichtmissachtung begehen würde. Die Bereitschaft dieser potentiellen Rotläufer, Zeitlücken im bevorrechtigten Fahrzeugstrom anzunehmen, steigt hierbei von rund 15 % bei einer Zeitlücke von 4 s zwischen zwei Fahrzeugen auf etwa 85 % bei einer Zeitlücke von 12 s (MAIER).

Rotläufer sind je nach dem Zeitpunkt der Missachtung nach HÄCKELMANN (1976) in Kategorien verschiedener Gefährdungsgrade einteilbar:

- **Vorläufer**, die nach dem Freigabezeitende feindlicher Fahrzeugströme, aber noch vor Beginn ihrer eigenen Freigabezeit die Furt betreten (geringster Gefährdungsgrad);
- **Nachläufer**, die noch nach dem Ende ihrer eigenen Freigabezeit, aber vor Beginn der Freigabezeit feindlicher Fahrzeugströme die Furt betreten und
- **Wagnisläufer**, die während der Freigabezeit feindlicher Fahrzeugströme Zeitlücken zwischen Fahrzeugen für eine Querung der Furt nutzen (höchster Gefährdungsgrad).

Auch bei Fußgängern besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen einer für sie ungünstigen baulichen Führung bzw. Signalisierung und dem Anteil an Rotlichtmissachtungen.

Bild 6: Rüberzieheffekt bei nicht in Flucht angeordneten Fußgänger-Signalgebern



4.5.4 STRUKTUR UND ELEMENTE VON SIGNALPROGRAMMEN

4.5.4.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Im allgemeinen werden Knotenpunktentwurf und Lichtsignalsteuerung in einem schrittweisen Prozess wechselseitig aufeinander abgestimmt. Im folgenden wird zur Erläuterung der wichtigsten Elemente eines Signalprogramms bewusst ein möglichst einfacher Fall betrachtet:

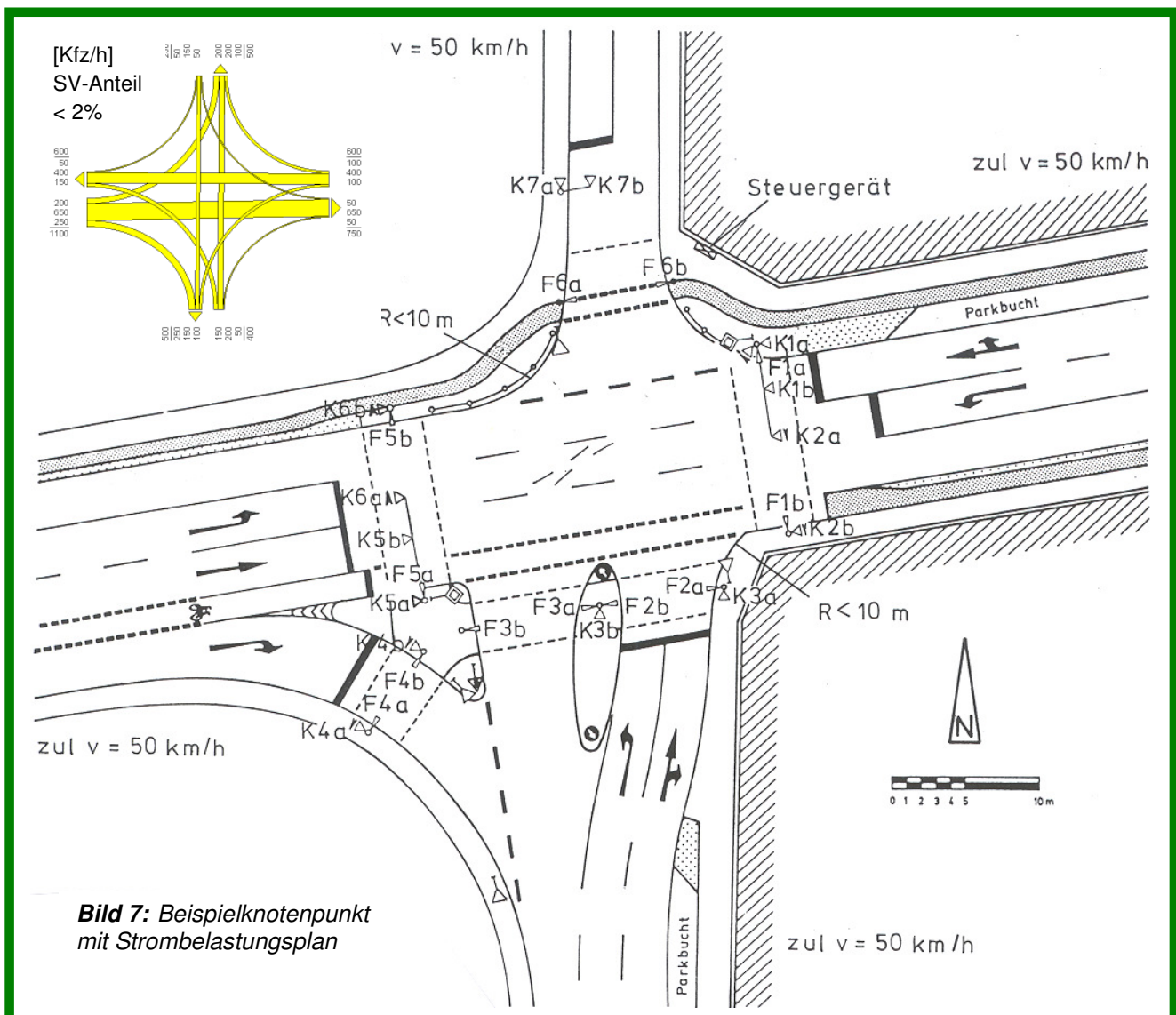
- Die Knotenpunktgestaltung einschließlich der Fahrstreifenaufteilung sowie die Zuordnung der Verkehrsströme zu Signalgruppen steht bereits fest.

Die Signalprogrammberechnung orientiert sich hier in erster Linie an den Belangen des motorisierten Individualverkehrs.

- Besonderheiten zur Berücksichtigung von Fußgängern, Radfahrern und dem ÖPNV sind nicht vorgesehen.

Es muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass im Unterschied hierzu bei einer tatsächlichen Planung zu prüfen ist, ob die Belange des ÖPNV und nicht-motorisierten Verkehrs nicht besonders zu berücksichtigen sind.

Um den Bezug zu den RiLSA 92 (FGSV 1992) herzustellen, wurde die Knotenpunktgestaltung des hier an mehreren Stellen verwandten Beispiels als Grundlage gewählt (**Bild 7**).





Die Vorgehensweise bei der Signalprogrammbe-
rechnung wird dabei anhand einer Festzeitsteue-
rung erläutert. Die Vorgehensweise bei der Ver-
wendung verkehrsabhängiger Verfahren weist
hierzu einige Unterschiede auf, die in späteren
Abschnitten näher dargestellt werden.

Der Arbeitsablauf bei der Erstellung eines Fest-
zeitsignalprogramms unterteilt sich in **Vorunter-
suchung** und die eigentliche **Signalprogramm-
berechnung**.

Im Rahmen der Voruntersuchung wird abge-
schätzt:

- für welche Verkehrsbelastung (Σ maßg. q) die
Signalsteuerung zu dimensionieren ist,
- welche Phasenanzahl zu wählen ist und
- wie die verschiedenen Verkehrsströme sinn-
voll in den einzelnen Phasen zusammenzufas-
sen sind.

Nach dieser Voruntersuchung kann die eigentli-
che Signalprogrammbe-
rechnung erfolgen. Die
Zwischenzeiten für alle Paare von Strömen, die
zueinander unverträglich sind, werden exakt be-
rechnet. Die im Rahmen der Voruntersuchung
geschätzten Zwischenzeiten und die daraus resul-
tierende erforderliche Umlaufzeit sind nun nicht
mehr relevant. Anschließend wird die günstigste
Phasenfolge ermittelt. Unter der günstigsten Pha-
senfolge soll in diesem Beispiel diejenige ver-
standen werden, bei welcher die Summe der Zwi-
schenzeiten zwischen den jeweils maßgebenden
Strömen aufeinanderfolgender Phasen **minimal**
wird. Weitere Kriterien, die für die Festlegung der
Phasenfolge von Bedeutung sein können, nennt
die RiLSA (FGSV 1992) in Kapitel 2.3.3.

Aus der Zwischenzeitensumme der günstigsten
Phasenfolge, der Summe der maßgebenden Ver-
kehrsstärken Σ maßg. q und der Sättigungsver-
kehrsstärke q_s wird dann die erforderliche Um-
laufzeit erf. t_U errechnet. Daraufhin wählt man –
meist durch Aufrunden in 5 s-Schritten – die tat-
sächlich zu verwendende Umlaufzeit, im allge-
meinen mit gew. t_U bezeichnet.

Der vorletzte Arbeitsschritt besteht im Berechnen
der **erforderlichen Freigabezeiten** für jede Sig-
nalgruppe, aufgerundet auf ganze Sekunden.

Entsprechend der RiLSA-Teilfortschreibung
(FGSV 2003) wurden aus den RiLSA (FGSV
1992) folgende Anhänge durch die Berechnungs-
verfahren des HBS (FGSV 2001/2005) ersetzt:

- Anhang B:
Dimensionierungsbelastung und Auslastungs-
grad für den Kraftfahrzeugverkehr sowie
- Anhang C:
Ermittlung der Umlaufzeit und der Freigabezei-
ten.

Zum Schluss wird der Signalzeitenplan zusam-
mengestellt, der für jede Signalgruppe den zeitli-
chen Beginn und das Ende der aufgeschalteten
Signalbilder innerhalb der Umlaufzeit enthält.
Hierbei sind vor allem die erforderlichen Freiga-
bezeiten bzw. die vorgeschriebenen Mindestfrei-
gabezeiten und die Zwischenzeiten zu beachten.
Die **Querung der hintereinanderliegenden Fur-
te** (Signale F2 und F3) **in einem Zug** sollte mög-
lich sein. Meist gelingt das Aufstellen des Signal-
zeitenplans nicht gleich auf Anhieb, sondern es
bedarf mehrerer Anläufe, bis „alles passt“ (Iterati-
on).

4.5.4.2 Bemessungsverkehrsstärke

Die Bemessung von Anlagen des Straßenver-
kehrs erfordert Kenntnisse über die Verkehrs-
nachfrage, die derzeit an den jeweiligen Ver-
kehrsanlagen auftritt oder in Zukunft zu bewälti-
gen sein wird. Die für die Bemessung maßgeben-
de Verkehrsnachfrage - angegeben als Verkehrsstärke - wird als **Bemessungsverkehrsstärke q_B**
bezeichnet.

Der Bemessung liegt die Vorstellung zu Grunde,
dass eine Verkehrsanlage aus wirtschaftlichen
Gründen nicht für die höchste jemals auftretende
Spitzenbelastung ausgelegt werden kann. Viel-
mehr wird eine gewisse Überlastungshäufigkeit



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

akzeptiert. Aus diesem Grund wird allgemein bei Anlagen für den motorisierten Straßenverkehr als Bemessungsverkehrsstärke die Verkehrsstärke der n-ten Stunde definiert (Quantile einer Häufigkeitsverteilung der stündlichen Verkehrsstärke). Diese erhält man, indem die stündlichen Verkehrsstärken aller 8760 Stunden eines Jahres absteigend sortiert werden (Dauerlinie) und der n-te Wert als maßgebende stündliche Verkehrsstärke ausgewählt wird. Hierbei wird in Kauf genommen, dass die gewünschte Qualität des Verkehrsablaufs während der (n-1) höchstbelasteten Stunden eines Jahres nicht erreicht wird. Bei der während der übrigen Stunden auftretenden geringeren Verkehrsnachfrage hingegen funktioniert die Verkehrsanlage mindestens mit dem gewünschten Qualitätsniveau. Zurzeit stehen nur Verfahren zur Ermittlung der Bemessungsverkehrsstärke für die 30. Stunde zur Verfügung.

Auch am Knotenpunkt wird als Bemessungsverkehrsstärke der Wert einer als maßgebend erachteten Spitzenstunde angesetzt. Für den in **Bild 7** dargestellten Knotenpunkt ist die Verkehrsbelastung in [Kfz/h] für die morgendliche Spitzenstunde als Strombelastungsplan gegeben.

Bei den angegebenen Belastungen der einzelnen Verkehrsströme handelt es sich um die auf der Basis von Zählungen ermittelten tatsächlich zu erwartenden Verkehrsstärken. Damit aber zufällige, kurzfristige Belastungsschwankungen nicht zu unerwünschtem Rückstau führen, wird innerhalb des Signalprogramms im allgemeinen eine Kapazitätsreserve vorgesehen.

Bei der Erarbeitung von Signalprogrammen für bereits bestehende Knotenpunkte müssen gemäß HBS (FGSV 2001/2005) für typische, in bestimmten Zeiträumen auftretende Verkehrssituationen die Kraftfahrzeugverkehrsstärken vorliegen. Dazu sind für die maßgebenden Zeitbereiche die Knotenpunktströme zu erheben (unterteilt nach 15-Minuten- sowie Stunden-Intervallen). Darüber hinaus ist es zweckmäßig, Ganglinien über einen längeren Zeitraum (z.B. 16 Stunden) für die Hauptrichtungen zu erfassen. Signalprogramme

sind dann für **charakteristische Verkehrszeiten** zu erstellen. In der Regel sind das:

- Hauptverkehrszeit morgens,
- Normalverkehrszeit (zwischen Hauptverkehrszeit morgens und nachmittags),
- Hauptverkehrszeit nachmittags sowie
- Schwachverkehrszeit.

Aus den Erhebungsdaten ist ersichtlich, ob gegebenenfalls für bestimmte Verkehrszeiten weitere Programme notwendig sind. Außerdem sind Programme für den Wochenendverkehr und eventuell für besondere Ereignisse (Veranstaltungen) bereitzustellen.

Da in den Verkehrsspitzenzeiten meist ein relativ gleichmäßig hohes Verkehrsstärkeniveau vorhanden ist, ist eine besondere Hochrechnung von Verkehrsstärkewerten nicht erforderlich. Nur bei erheblichen Verkehrsschwankungen in der Spitzenstunde sollten die Untersuchungen auf der Basis von Viertelstundenintervallen geführt werden. Die Berechnungsverfahren sind so ausgelegt, dass eine fortlaufende Abarbeitung der Viertelstundenintervalle erfolgen kann.

Bei der Bemessung von Stauräumen und der Anzahl der Fahrstreifen ist von den maßgebenden Verkehrsstärken der Spitzenstunden auszugehen.

Zu bestimmen sind mit der Bemessungsverkehrsstärke des Kfz-Verkehrs auch der zugehörige **Schwerverkehrsanteil**. Als Schwerverkehr (SV) gelten nach HBS (FGSV 2001/2005) Lastkraftwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t sowie Omnibusse und Lastzüge. Der Anteil des Schwerverkehrs an der Gesamtverkehrsstärke, nachfolgend durch den Begriff SV-Anteil beschrieben, ist anzugeben. Ebenso sind **Radfahrer** gesondert zu erfassen. **Eine Umrechnung in Pkw-Einheiten erfolgt nicht.**

Angaben über die Verkehrsstärken **öffentlicher Verkehrsmittel** erhält man direkt aus Zählungen oder aus den aktuellen Fahrplänen. Darüber hinaus sind Kenntnisse über Haltestellenaufenthalts-



zeiten wichtig. Dies gilt vor allem, wenn Haltestellen in den Knotenpunktzufahrten liegen.

Starke **Fußgängerströme** sind richtungsbezogen zu erfassen, ansonsten genügen im Allgemeinen überschlägige Querschnittswerte (siehe hierzu auch Angaben im Kapitel 11 des HBS).

Für eine einheitliche und transparente Vorgehensweise wird hier zusätzlich folgender Vorschlag gemacht: Die Dimensionierungsverkehrsstärken maßg. q sind so zu bemessen, dass während der gleitenden Spitzenstunde eine Kapazitätsreserve von 10 % gewährleistet ist: maßg. $q = 1,1 \cdot q_B$. Ersatzweise kann maßg. q auch durch Hochrechnen des maximalen Viertelstundenwertes auf eine Stunde ermittelt werden: maßg. $q = 4 \cdot q_{15}$. Die hieraus resultierende Kapazitätsreserve liegt im allgemeinen ebenfalls bei ca. 10 % bis 20 %.

Nachfolgend wird maßg. $q = 1,1 \cdot q_B$ gewählt. Daraus ergeben sich für den Knotenpunkt die in **Bild 8** angegebenen Dimensionierungsverkehrsstärken für die einzelnen Ströme.

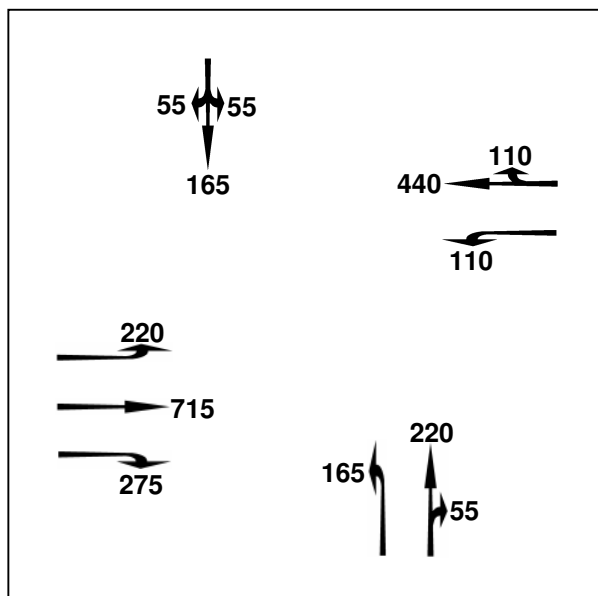


Bild 8: Dimensionierungsverkehrsstärken des Beispielknotenpunktes in [Kfz/h]

4.5.4.3 Voruntersuchung nach dem AKF-Verfahren

Der nächste Arbeitsschritt besteht in der Festlegung einer geeigneten Phaseneinteilung. In einer **Phase** werden Signalgruppen zusammengefasst, die gemeinsam freigegeben werden sollen. Dabei müssen Freigabezeitbeginn bzw. Freigabezeitende der einzelnen Signalgruppen nicht unbedingt übereinstimmen. In einer **Signalgruppe** werden Signalgeber zusammengefasst, die zu jedem Zeitpunkt das gleiche Signalbild zeigen (z.B. Signalgeber F1a und F1b zu beiden Seiten der östlichen Fußgängerfurt). **Bild 9** zeigt beispielhaft die Zusammenfassung von Signalgruppen zu einer Phase.

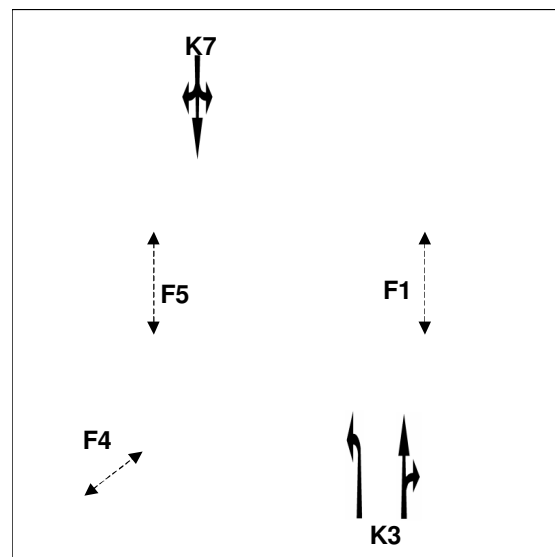


Bild 9: Beispiel für eine Phase, in der die Signalgruppen K3, K7, F1, F4 und F5 zusammengefasst sind

Welche Phaseneinteilungen möglich sind, hängt stark mit der gewählten Phasenanzahl zusammen: Aus Gründen der Verkehrssicherheit sind möglichst viele, aus Gründen der Kapazität möglichst wenige Phasen erwünscht. Zur Festlegung von Phasenanzahl und Phaseneinteilung ist es deshalb sinnvoll, vorab überschlägig die Kapazität des Knotenpunkts z.B. mit Hilfe des AKF-Verfahrens (**A**ddition **k**ritischer **F**ahrzeugstrombelastungen) zu überprüfen (GLEUE 1972).



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Das Verfahren ermittelt die **maximale Summe der Verkehrsstärken** (Σ maßg. q) aus allen Kombinationen von Fahrzeugströmen, die **zueinander unverträglich** sind; das Verfahren kann jedoch spezielle für Fußgänger oder den ÖPNV notwendige Phasen nicht berücksichtigen. Aus Σ maßg. q lässt sich dann der zum Abwickeln dieser Verkehrsmenge **notwendige Freigabezeitanteil** an der Umlaufzeit bestimmen. Letztlich kann so für verschiedene Phasenanzahlen berechnet werden, wie groß die **erforderliche Umlaufzeit** (erf. t_U) sein muss, um den für Σ maßg. q notwendigen Freigabezeitanteil bereitzustellen.

Beim AKF-Verfahren wird vereinfachend unterstellt, dass die zueinander unverträglichen Ströme nacheinander blockweise die gemeinsame Konfliktfläche überfahren. Die Konfliktströme werden entsprechend der in **Bild 10** gezeigten Systematik gruppenweise zusammengefasst.

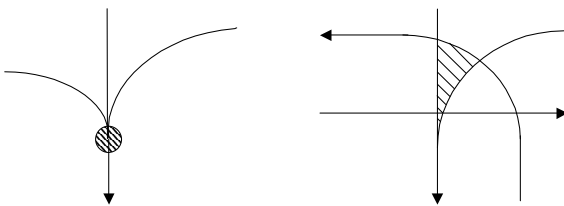


Bild 10: Zusammengefasste Konfliktströme

Es empfiehlt sich dabei, die Kfz-Ströme entsprechend dem in **Bild 11** gezeigten Schema zu nummerieren, die Verkehrsstärken in die dafür vorgesehene Tabelle einzutragen und anschließend spaltenweise zu summieren. Hierbei repräsentieren die vier linken Spalten alle Gruppen von Strömen, die in die gleiche Knotenpunktsausfahrt

einfahren und die vier anschließenden Spalten die Gruppen, welche aus zwei sich kreuzenden Geradeausströmen mit den entgegenkommenden Linksabbiegern gebildet werden.

Beim Eintragen der Verkehrsstärken sind folgende Besonderheiten zu beachten:

- Treten einzelne Ströme nicht auf (z.B. im Fall von Einmündungen) oder können Ströme frei abfließen (z.B. bei unsignalisierten Rechtsabiegern mit ausreichend langen Ausfahrkeilen), so ist für die Verkehrsstärke der Wert 0 einzutragen.
- Für Ströme, die auf kombiniert genutzten Fahrstreifen geführt werden, ist die gesamte Fahrstreifenbelastung einzutragen.
- Stehen für eine Fahrtrichtung mehrere Fahrstreifen zur Verfügung, so ist die höchste Fahrstreifenbelastung maßgebend.
- Kann ein Strom nur zusammen mit anderen Strömen freigegeben werden, so ist die höchste Belastung derjenigen Fahrstreifen maßgebend, auf denen diese Ströme geführt werden.

Führt man das AKF-Verfahren am gewählten Beispielknotenpunkt durch, so ergeben sich nach Nummerierung der Ströme unter Beachtung der genannten Besonderheiten die für die Signalprogramm-berechnung maßgeblichen Verkehrsstärken als maximale Spaltensumme (Σ maßg. q). Dies ist gleichzeitig die Verkehrsmenge, auf die das Signalprogramm ausgelegt werden muss. Mit Hilfe dieser Information soll zunächst untersucht werden, wie groß die erforderliche Umlaufzeit t_U bei zwei, drei oder vier Phasen sein muss, um daraufhin über die Phasenanzahl zu entscheiden.

Additionsschema				2	2	1	1
1	2	3	4	5	4	4	5
5	6	7	8	7	7	8	8
9	10	11	12	10	11	11	10

Bild 11: Additionsschema für das AKF-Verfahren



Additionsschema				715	715	220	220
220	715	275	275	275	275	275	275
275	275	110	550	110	110	550	550
550	275	275	275	275	275	275	275
1045	1265	660	1100	1375	1375	1320	1320

Bild 12: Additionsschema für den Beispielknotenpunkt

Das Ergebnis des AKF-Verfahrens für den gewählten Beispielknotenpunkt zeigt das in **Bild 12** dargestellte Additionsschema. Folgende Erläuterungen sollen das Verständnis erleichtern:

- Für die Ströme 10, 11, und 12 ist anstelle ihrer Verkehrsstärken (55, 165, 55 Kfz/h) jeweils die Gesamtbelastung des kombiniert genutzten Fahrstreifens (275 Kfz/h) maßgebend. Gleiches gilt für die Ströme 8 und 9 bzw. 5 und 6.
- Für den Strom 4 ist anstelle seiner Verkehrsstärke (165 Kfz/h) die Belastung des von den Strömen 5 und 6 kombiniert genutzten Fahrstreifens maßgebend (220 + 55 = 275 Kfz/h), weil er mit diesen Strömen in einer gemeinsamen Signalgruppe (K3) freigegeben wird.
- Als maximale Spaltensumme ergeben sich 1375 Kfz/h. Dies ist gleichzeitig die Verkehrsmenge $\Sigma \text{maßg. } q$, auf die das Signalprogramm ausgelegt werden muss. Mit Hilfe dieser Information soll zunächst untersucht werden, wie groß die erforderliche Umlaufzeit bei 2, 3 oder 4 Phasen sein muss, um daraufhin über die Phasenanzahl zu entscheiden.

Die **Formel zur Berechnung von t_U** wird im folgenden hergeleitet. Dabei werden eine Reihe weiterer für die Signalprogrammberechnung wesentliche Begriffe und Zusammenhänge angesprochen.

Die **Sättigungsverkehrsstärke q_s** entspricht der Verkehrsmenge, die in Abhängigkeit vom **Zeitbedarfsgrenzwert t_B** innerhalb einer Stunde einen Fahrstreifenquerschnitt passieren kann ($q_s = 3600 / t_B$). Bei einem Zeitbedarfsgrenzwert, von **1,8 s/Kfz** (siehe Kapitel 4.5.3.1) beträgt die Sättigungsverkehrsstärke 2000 Kfz/h. Tatsächlich muss aber nur eine geringere Verkehrsmenge von $\Sigma \text{maßg. } q = 1375$ Kfz/h abgewickelt werden, so dass der **Freigabezeitanteil $\Sigma t_{Gr} / t_U$** mindestens $1375 / 2000$ (69%) beträgt. Allgemein gilt:

$$\frac{\Sigma t_{Gr}}{t_U} \geq \frac{\Sigma \text{maßg. } q}{q_s} \quad (3)$$

Die Umlaufzeit t_U setzt sich – vereinfacht dargestellt – zusammen aus der Summe der Freigabezeiten Σt_{Gr} und der Summe sogenannter **Verlustzeiten Σt_V** , die nicht für den Abfluss von Kfz-Strömen zur Verfügung stehen. Zu den Verlustzeiten gehören:

- Summe der Zwischenzeiten Σt_z
- Phasen, während derer kein Kfz-Strom freigegeben ist (z.B. reine Fußgängerphasen oder ÖPNV-Sonderphasen),
- Mindestfreigabezeiten $\min. t_{Gr}$ von Strömen, die nicht in $\Sigma \text{maßg. } q$ enthalten sind, sowie
- Anfahrzeitverluste Σt_{MB} die in der Praxis meist unberücksichtigt bleiben.

Mit $t_U = \Sigma t_{Gr} + \Sigma t_V$ oder $\Sigma t_{Gr} = t_U - \Sigma t_V$ kann Gleichung (3) nun umgeschrieben und nach t_U aufgelöst werden:



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

$$\frac{t_U - \sum t_V}{t_U} \geq \frac{\sum \text{maßg. } q}{q_s}$$

$$\Leftrightarrow t_U \geq \frac{\sum t_V}{1 - \sum \text{maßg. } q / q_s}$$

Für die kleinstmögliche **Umlaufzeit**, die in den RiLSA (FGSV 1992) als erforderliche Freigabezeit bezeichnet ist, gilt also:

$$t_U = \frac{\sum t_V}{1 - \sum \text{maßg. } q / q_s} \quad (4)$$

Das in **Bild 13** wiedergegebene Diagramm ermöglicht eine überschlägige Überprüfung der Kapazität eines Knotenpunktes. Die Kurven stellen eine grafische Umsetzung von Gleichung (4) dar. Es wurde eine Sättigungsverkehrsstärke von $q_s = 2.000$ Kfz/h zugrundegelegt. Sind für zwei der drei Größen (t_U , $\sum \text{maßg. } q$ und $\sum t_V$) Werte gegeben, so kann der dritte Wert durch Ablesen ermittelt werden.

Auch entsprechend dem HBS (FGSV 2001/2005) sollte die Umlaufzeit für einen bestimmten Verkehrsstärkezustand bei einem Einzelknotenpunkt zunächst als Orientierungswert so bestimmt werden, dass die Wartezeiten für den Kraftfahrzeugverkehr minimal werden. Die für den Kraftfahrzeugverkehr wartezeitoptimale Umlaufzeit ergibt sich nach dem HBS zu:

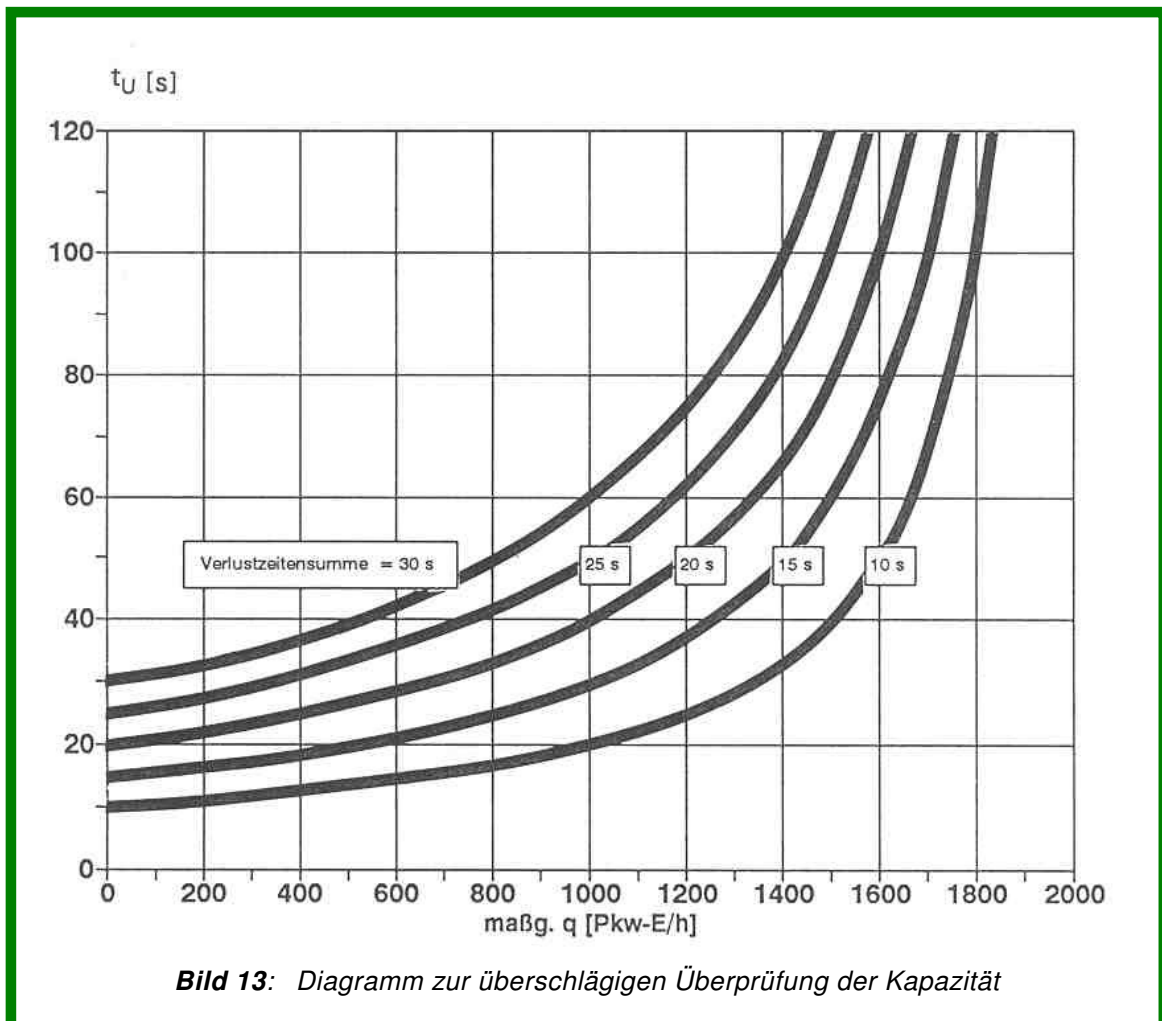


Bild 13: Diagramm zur überschlägigen Überprüfung der Kapazität



$$t_U = \frac{1,5 \cdot \sum t_v + 5}{1 - \sum_{i=1}^p q_{\text{maßg.,i}} / q_{S,i}} \quad (5)$$

mit:

- t_U = wartezeitoptimale Umlaufzeit [s]
- p = Anzahl der Phasen [-]
- $q_{\text{maßg.,i}}$ = maßgebende Fahrstreifenverkehrsstärke der Phase i [Fz/h]
- $q_{S,i}$ = Sättigungsverkehrsstärke für den maßgebenden Fahrstreifen der Phase i [Fz/h]
- t_v = Summe der maßgebenden Verlustzeiten, (zumeist maßgebende Zwischenzeiten) [s]
- $= \sum_{i=1}^p t_{z,i}$ [s]
- $t_{z,i}$ = maßgebende Zwischenzeit für einen Phasenwechsel [s]

Der im Zähler unterschiedliche Ansatz zwischen den RiLSA (FGSV 1992) und dem HBS (FGSV 2001/2005) resultiert daraus, dass die wartezeitoptimale Umlaufzeit das k-fache der verkehrlichen Mindestumlaufzeit beträgt, wie sie die RiLSA als Basis enthält. Die Faktoren der wartezeitoptimalen Umlaufzeit basieren auf einer Regressionsanalyse und wurden bereits von WEBSTER (1958) ermittelt. Sie gilt streng genommen nur für poissonverteilten Zufluss.

Der Quotient $q_{\text{maßg.,i}}/q_{S,i}$ stellt das Verkehrsflussverhältnis von Zu- und Abfluss dar:

$$b_{\text{maßg.,i}} = q_{\text{maßg.,i}} / q_{S,i}$$

Für das gesamte Flussverhältnis B über alle Phasen p ergibt sich dann

$$B = \sum_{i=1}^p b_{\text{maßg.,i}}$$

Gleichung (5) lässt sich damit umschreiben:

$$t_U = \frac{1,5 \cdot \sum t_v + 5}{1 - B} \quad (5a)$$

mit:

- B = Summe der Verkehrsflussverhältnisse für die maßgebenden Phasen wartezeitoptimale Umlaufzeit

Ein zu starkes Abweichen von der wartezeitoptimalen Umlaufzeit (mehr als $\pm 15\%$) hat ein Anwachsen der Wartezeiten für den Kraftfahrzeugverkehr zur Folge. Dabei sind generell kleinere Umlaufzeiten bezüglich der Wartezeiten ungünstiger als größere. Weiterhin ist zu beachten, dass die schwächeren maßgebenden Verkehrsströme stets zu Gunsten der stärkeren Verkehrsströme länger warten müssen, da ihnen, um ein Gesamt optimum zu erreichen, nur kleine Freigabezeiten zugeteilt werden können.

Für eine durch das AKF-Verfahren ermittelte Σ maßg. q von 1 600 Kfz/h können bei gegebener Verlustzeitensumme $\Sigma t_v = 15$ s für die erforderliche Umlaufzeit erf. t_U rund 75 s abgelesen werden. Oder es kann bei einer vorgegebenen Verlustzeitensumme $\Sigma t_v = 25$ s und einer angestrebten Umlaufzeit t_U von 90 s für die Σ maßg. q ein Wert von rund 1.450 Pkw-E/h abgelesen werden, der nicht überschritten werden darf.

Da das AKF-Verfahren stark auf vereinfachenden Annahmen und geschätzten Werten beruht, sind obige Ergebnisse für t_U **nur als Näherung** zu verstehen.

Beispiel

Die Werte für Σ maßg. q und q_S sind für das Berechnungsbeispiel bekannt. Die Summe der Zwischenzeiten Σt_z kann im Rahmen des AKF-Verfahrens – und nur dort! – mit Hilfe einer Faustformel abgeschätzt werden: Für kleinräumige Knotenpunkte wird eine Zwischenzeit von $t_z = 5$ s/Phasenwechsel, für großräumige Knotenpunkte



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

$t_z = 7$ s/Phasenwechsel angenommen. Für das gewählte Beispiel ergeben sich, wenn man sicherheitshalber eine Zwischenzeit $t_z = 7$ s/Phasenwechsel wählt:

- für **2 Phasen:**

$$\Sigma t_z = 2 \cdot 7 \text{ s} = 14 \text{ s}$$

$$t_U = \frac{14}{1 - 1375/2000}$$

$$t_U = 44,8 \text{ s}$$

- für **3 Phasen**

$$\Sigma t_z = 3 \cdot 7 \text{ s} = 21 \text{ s}$$

$$t_U = \frac{21}{1 - 1375/2000}$$

$$t_U = 67,2 \text{ s}$$

- für **4 Phasen**

$$\Sigma t_z = 4 \cdot 7 \text{ s} = 28 \text{ s}$$

$$t_U = \frac{28}{1 - 1375/2000}$$

$$t_U = 89,6 \text{ s}$$

Wegen der beim AKF-Verfahren vereinfachenden Annahmen und geschätzten Werten sind die genannten Ergebnisse für t_U nur eine Näherung.

Für die weitere Signalprogrammberechnung wird nun die Entscheidung zugunsten einer 3-phasigen Steuerung getroffen und wie folgt kurz begründet: Eine 2-phasige Steuerung scheidet aus Gründen der Verkehrssicherheit aus, eine 4-phasige Steuerung aufgrund der großen Umlaufzeit und der damit verbundenen langen Wartezeiten. Der Prozess der Entscheidungsfindung ist in der Praxis weitaus komplexer, da meist eine Vielzahl spezieller örtlicher Randbedingungen zu beachten sind. Es wird nun die in **Bild 13** dargestellte Phaseinteilung gewählt.

Für diese Phaseinteilung ergibt sich entsprechend dem HBS (FGSV 2001/2005) eine **wartezeitoptimale Umlaufzeit** von:

$$t_U = \frac{1,5 \cdot 21 + 5}{1 - 1375/2000}$$

$$t_U = 116,8 \text{ s}$$

Diese Umlaufzeit wäre bei weitem zu hoch und wenig praxisgerecht. Die Angabe der mindestens erforderlichen Umlaufzeit gemäß den RiLSA (FGSV 1992) entspricht der Realität wesentlich besser.

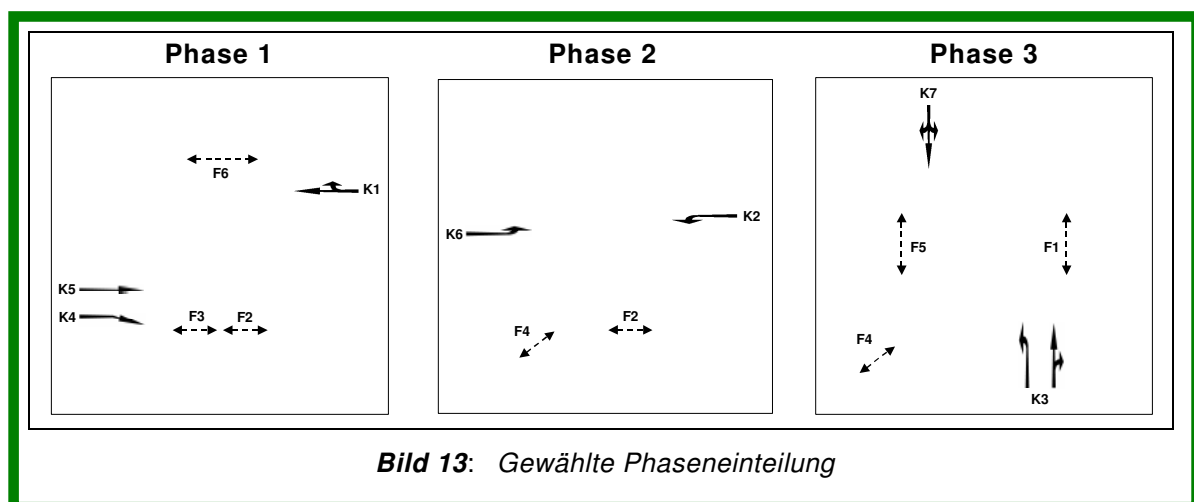


Bild 13: Gewählte Phaseinteilung



4.5.4.4 Zwischenzeiten

Die RiLSA (FGSV 1992) definieren die Zwischenzeit als „Zeitdauer zwischen dem Ende der Freigabezeit eines Verkehrsstroms und dem Beginn der Freigabezeit eines anschließend kreuzenden oder einmündenden Verkehrsstroms“. Diese Zeitdauer ist abhängig von der notwendigen Räumzeit und beinhaltet die Gelbzeit sowie die Rotgelbzeit. Gelbzeit und Rotgelbzeit werden auch als „Übergangszeiten“ bezeichnet, weil sie die Übergänge zwischen Freigabezeit und Sperrzeit darstellen.

Gelbzeit

Die Gelbzeit soll so bemessen sein, dass ein Fahrzeug:

- entweder mit unverminderter Geschwindigkeit noch vor Sperrzeitbeginn die Haltlinie passieren kann, wenn es sich bei Freigabezeitende nahe genug an der Lichtsignalanlage befindet,
- oder mit bequemer Verzögerung ($a = 3,5 \text{ m/s}^2$) noch vor der Haltlinie zum Stehen kommen kann, wenn es zum Freigabezeitende weiter von der Lichtsignalanlage entfernt ist.

Die **erforderliche Gelbzeit** berechnet sich beispielsweise für $v_{zul} = 50 \text{ km/h}$ ($\approx 13,9 \text{ m/s}$) wie folgt:

- Der Anhalteweg x_a beträgt unter der Annahme einer Reaktionszeit von $t_{reakt} = 1 \text{ s}$ und einer Verzögerung von $a = 3,5 \text{ m/s}^2$:

$$\begin{aligned} x_a &= v_{zul} \cdot t_{reakt} + \frac{v_{zul}^2}{2 \cdot a} \\ &= \left[13,9 \cdot 1 + \frac{13,9^2}{2 \cdot 3,5} \right] \\ &= 41,5 \text{ m} \end{aligned}$$

- Für Fahrzeuge, die sich zu Beginn der Gelbzeit näher an der Haltlinie befinden als $x_a = 41,5 \text{ m}$, muss die Gelbzeit t_G also ausreichend sein, um mit unverminderter Geschwindigkeit von 50 km/h noch vor Sperrzeitbeginn die Haltlinie zu passieren:

$$\begin{aligned} t_G &\geq \frac{x_a}{v_{zul}} \\ &= \frac{41,5}{13,9} = 2,98 \text{ s} \end{aligned}$$

Von den RiLSA wird daher für $v_{zul} = 50 \text{ km/h}$ ein Wert von $t_G = 3 \text{ s}$ vorgeschrieben.

Als allgemeine Gleichung für die erforderliche Gelbzeit ergibt sich:

$$\begin{aligned} t_G &\geq \left\{ v_{zul} \cdot t_{reakt} + \frac{v_{zul}^2}{2 \cdot a} \right\} / v_{zul} \\ \Leftrightarrow t_G &\geq 1 \text{ s} + \frac{v_{zul}}{7 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

Wie das Zeichen " \geq " bereits andeutet, ist aus Gründen der Sicherheit ein höherer Wert als der Mindestwert vorgeschrieben. Für die zulässigen Geschwindigkeiten von $50, 60$ und 70 km/h sind die vorgeschriebenen Gelbzeiten in **Bild 14** dargestellt.

v_{zul} [km/h]	erforderlicher Wert t_G [s]	vorgeschriebener Wert t_G [s]
50	2,98	3
60	3,38	4
70	3,78	5

Bild 14: Gelbzeiten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Weitere Informationen zu Gelbzeiten für andere Verkehrsmittel bzw. in Sonderfällen enthält Kap. 2.4 der RiLSA (FGSV 1992).



Rotgelb-Zeit

Die Übergangszeit zwischen Sperrzeit und Freigabezeit von Fahrzeugströmen bildet die Rotgelbzeit (t_{RG}). Zwar sind Rotgelbzeiten von 1 oder 2 s erlaubt, jedoch ist eigentlich **nur $t_{RG} = 1$ s** ein sinnvoller Wert, da er relativ genau dem menschlichen Reaktionsvermögen entspricht. Längere Rotgelbzeiten führen erfahrungsgemäß dazu, dass ein Teil der Fahrer verfrüht noch vor Ablauf der Zwischenzeit in den Knotenpunktsbereich einfährt.

Zwischenzeitberechnung

In **Bild 15** wird am Fall zweier sich kreuzender Kfz-Ströme veranschaulicht, wie die Zwischenzeitberechnung durchgeführt wird: Die Zwischenzeit t_z soll so gewählt werden, dass das erste einfahrende Fahrzeug (Strom j) die Konfliktfläche frühestens dann erreicht, wenn das letzte räumende Fahrzeug (Strom i) diese gerade verlassen hat.

Für das letzte räumende Fahrzeug wird angenommen, dass es noch nach Freigabezeitende während der Gelbzeit die Haltlinie passiert; die entsprechende Zeitspanne wird als **Überfahrzeit $t_{\bar{u}}$** bezeichnet. Anschließend benötigt es noch die sogenannte **Räumzeit t_r** , um die Konfliktfläche zu verlassen; der entsprechende **Räumweg s_r** besteht aus der **Fahrtstrecke s_0** von der Haltlinie bis zur Konfliktfläche zuzüglich der **Fahrzeuglänge l_{Fz}** . Für das erste einfahrende Fahrzeug wird angenommen, dass es nach dem Freigabezeitbeginn noch eine als **Einfahrzeit t_e** bezeichnete Zeitspanne benötigt, um den **Einfahrweg s_e** von der Haltlinie bis zur Konfliktfläche zurückzulegen.

Die erforderliche Zwischenzeit t_z kann also um die Einfahrzeit t_e gegenüber der Summe aus Überfahrzeit und Räumzeit $t_{\bar{u}} + t_r$ verkürzt werden.

$$t_z = t_{\bar{u}} + t_r - t_e \quad (6)$$

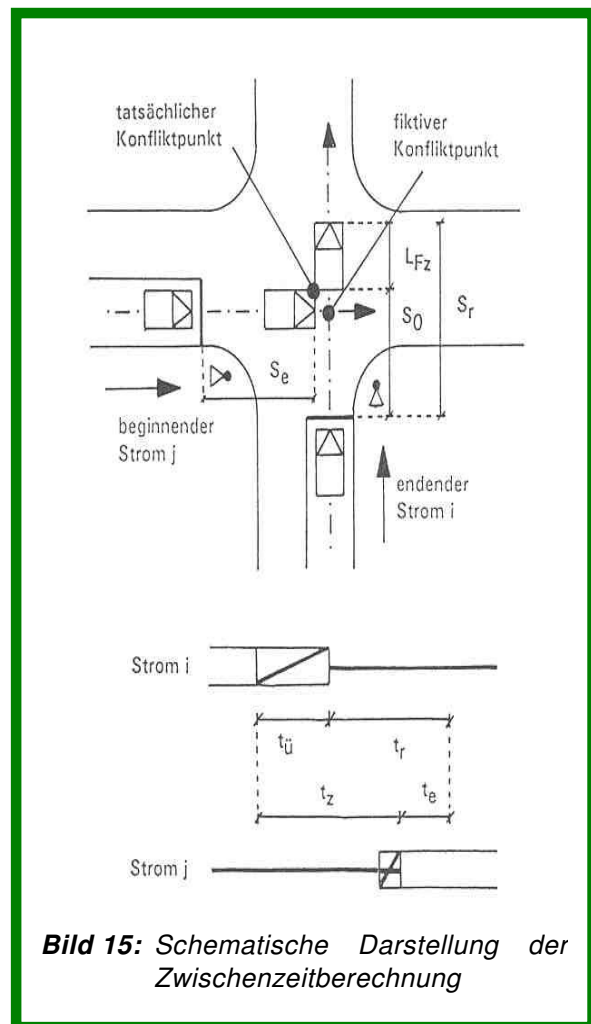


Bild 15: Schematische Darstellung der Zwischenzeitberechnung

Die Zwischenzeit ist stets auf ganze Sekunden aufzurunden.

Anstelle einer Konfliktfläche gehen die RiLSA der einfacheren Handhabung wegen von einem fiktiven Konfliktpunkt als Schnittpunkt der gedachten Fahrstreifenmitten (bzw. Fahrlinien) aus. Lediglich im Fall von Konfliktströmen, die in die gleiche Knotenpunktsausfahrt einmünden, ist der Konfliktpunkt als sogenannter „schleifender Schnitt“ der Begrenzungslinien zu bilden. Der so definierte Konfliktpunkt dient auch als Bezugspunkt zur Festlegung des Einfahrweges s_e und des Grundräumweges (ohne die Fahrzeuglänge) s_0 .

Die Zwischenzeiten müssen für alle nichtverträglichen Ströme bestimmt werden und werden dann in der Zwischenzeitmatrix abgelegt. Für Berech-



Zwischenzeit erf. tZ [s]	einfahrende Verkehrsströme															
	kleine Knotenpunkte bis 2 Fahrstreifen je Zufahrt							große Knotenpunkte bis 5 Fahrstreifen je Zufahrt								
räumende Verkehrsströme	Kfz, geradeaus und rechts	Kfz, links	Radfahrer	Fußgänger (Zufahrt)	Fußgänger (Ausfahrt)	ÖV-Fahrzeug, ohne Haltestelle	ÖV-Fahrzeug, mit Haltestelle	Kfz, geradeaus und rechts	Kfz, links	Radfahrer	Fußgänger (Zufahrt)	Fußgänger (Ausfahrt)	ÖV-Fahrzeug, ohne Haltestelle	ÖV-Fahrzeug, mit Haltestelle		
	Kfz, geradeaus und rechts	6	5	5	5	7	6	3	8	4	6	5	9	7	4	
Kfz, links	7	6	5	5	8	6	3	9	7	9	5	10	10	7		
Radfahrer	8	7					7	4	13	10					12	9
Fußgänger (Zufahrt)	7	7					7	7	12	12					12	12
Fußgänger (Ausfahrt)	7	7					7	7	4	4					4	1
ÖV-Fahrzeug, ohne Haltestelle	8	7	6	6	9	7	4	9	6	7	6	10	8	5		
ÖV-Fahrzeug, mit Haltestelle	9	8	7	7	10	8	5	11	8	9	7	12	10	7		

Bild 16: Orientierungswerte für Zwischenzeiten zur Vordimensionierung nach HBS (FGSV, 2001)

nungen von Signalprogrammen können die im HBS (FGSV 2001/2005) abgedruckten **Orientierungswerte** für Zwischenzeiten nach **Bild 16** verwendet werden. Zur Aufstellung des Signalzeitenplans sind jedoch stets die exakt berechneten Zwischenzeiten erforderlich.

Weitere Einzelheiten zur Bestimmung der Überfahrzeiten, der Räumzeiten und Einfahrzeiten für alle relevanten Möglichkeiten endender bzw. beginnender Ströme finden sich im Kap. 2.5 der RiLSA (FGSV 1992), auf die hiermit verwiesen wird.

An dieser Stelle wird als Arbeitshilfe lediglich das in **Bild 17** gezeigte Diagramm zur **Ermittlung der Summe $t_r + t_{ü}$** wiedergegeben. Dieses wurde gegenüber dem Diagramm der RiLSA (1992) ergänzt um die Kennlinien des räumenden Kraft-

fahrzeuges mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s („Langsamst-Räumer“) und des räumenden Fußgängers mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s.

Aus diesem Diagramm lässt sich für sämtliche Konfliktfälle bei gegebenem Grundräumweg s_0 die Summe $t_{ü} + t_r$ ablesen. Nach Ermittlung der Einfahrzeit t_e kann dann mit Hilfe der Gleichung (6) die Zwischenzeit t_z errechnet werden. Unterschieden wurden folgende Fälle für das Überfahren und Räumen:

- **Gradeausfahrende Kraftfahrzeuge räumen.**

Die Überfahrzeit wird für gradeausfahrende Kraftfahrzeuge unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf $t_{ü} = 3$ s festgesetzt. Es ist mit einer Räumgeschwindigkeit $v_r = 10$ m/s zu rechnen.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- **Abbiegende Kraftfahrzeuge räumen.**
Für abbiegende Kraftfahrzeugströme wird die Überfahrzeit auf $t_{\bar{u}} = 2 \text{ s}$ festgesetzt. Die Räumgeschwindigkeit ist dann mit $v_r = 7 \text{ m/s}$ anzusetzen. Bei einem Radius des Fahrstreifeninnenrands von $R < 10 \text{ m}$ ist diese Räumgeschwindigkeit auf $v_r = 5 \text{ m/s}$ zu ermäßigen.
- **Radfahrer räumen.**
Als Überfahrzeit für Radfahrer ist auch bei fehlendem Übergangssignal (Radfahrersignalisierung durch Fußgängersignale) $t_{\bar{u}} = 1 \text{ s}$ anzusetzen. Als Räumgeschwindigkeit für Radfahrer ist mit $v_r = 4 \text{ m/s}$ zu rechnen. Wenn die Radfahrer vor oder hinter der Radfahrerfurt sehr enge Bögen durchfahren müssen, ist die Räumgeschwindigkeit zu ermäßigen.

- **Fußgänger räumen.**
Bei Fußgängern wird $t_{\bar{u}} = 0$ angesetzt, da rechnerisch vorausgesetzt wird, dass sie die Furt nicht noch nach dem Ende der Freigabezeit betreten. Für Fußgänger soll mit einer Räumgeschwindigkeit von $v_r = 1,2 \text{ m/s}$ bis höchstens $v_r = 1,5 \text{ m/s}$ gerechnet werden. An Geschäftsstraßen, in Erholungsgebieten, an Schulen und dergleichen ist der untere Wert zu wählen. Wo Furten überwiegend zum Schutz für Behinderte oder für ältere Menschen eingerichtet werden, sollte ein niedrigerer Wert gewählt werden. Eine rechnerische Räumgeschwindigkeit von $v_r = 1,0 \text{ m/s}$ sollte aber nicht unterschritten werden, weil dies zu Räumzeiten führt, die von den übrigen Verkehrsteilnehmern deutlich als zu lang empfunden werden.

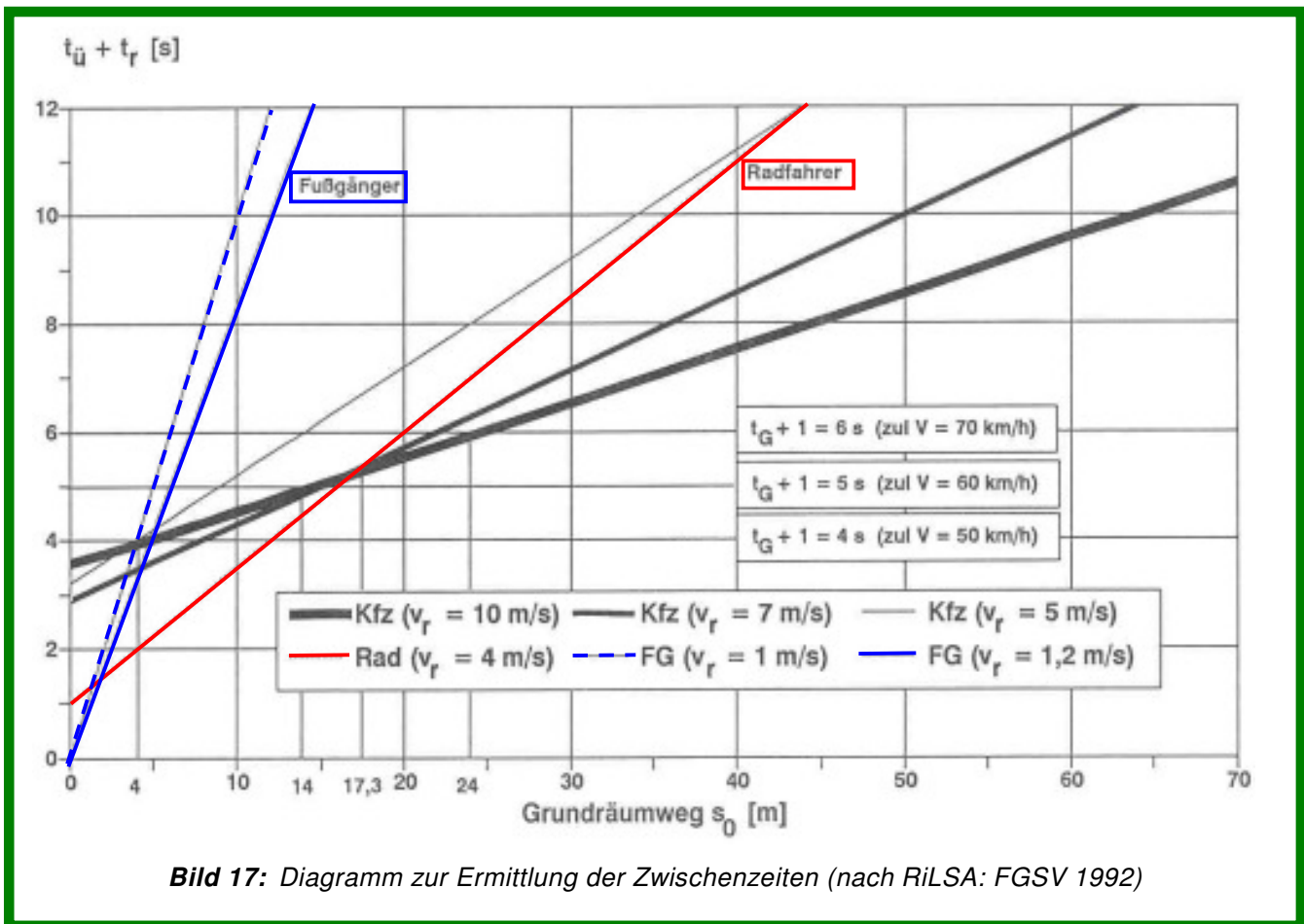


Bild 17: Diagramm zur Ermittlung der Zwischenzeiten (nach RiLSA: FGSV 1992)



Kommentar zu Bild 17:

- Auf den ersten Blick mag verwundern, dass die Kurven der verschiedenen Fälle „Kraftfahrzeug räumt“ für $s_0 = 0$ nicht auch bei $t_{\bar{u}} + t_r = 0$ beginnen. Dies erklärt sich daraus, dass in den Anfangswert bereits die Überfahrzeit $t_{\bar{u}}$ sowie die Berücksichtigung der Fahrzeuglänge l_{Fz} eingearbeitet sind.
- Als wichtige Bedingung ist bei räumenden Kfz zu beachten, dass der Wert $t_{\bar{u}} + t_r$ stets größer als $t_G + 1 \text{ s}$ sein muss. Deshalb wurden in **Bild 17** die entsprechenden Linien $t_G + 1 \text{ s}$ für verschiedene Werte v_{zul} eingearbeitet. Die Grundräumwege, bis zu denen der Wert $t_G + 1 \text{ s}$ gegenüber dem Fall „Kfz räumt mit 10 m/s“ maßgebend sind, wurden auf der Wegachse abgetragen (4 m, 14 m, 24 m).
- Werden Radfahrer und Kraftfahrzeuge gemeinsam signalisiert, so ist der **höhere Wert** $t_{\bar{u}} + t_r$ entscheidend. Für den jeweiligen Kfz-Räumfall ist dann zu prüfen, ob nicht der räumende Radfahrer maßgebend wird (**Bild 18**).

Kfz-Räumfall [m/s]	10	7	5
Radfahrer maßgebend ab Grundräumweg s_0 [m]	17,3	17,3	44,0

Bild 18: Maßgebende Grundräumwege bei der Berücksichtigung von Radfahrern

- **Bild 17** enthält nicht die Kurven 3 und 4 des entsprechenden Diagramms der RiLSA (Bus oder Straßenbahn ohne bzw. mit Halt). Hierzu ist anzumerken, dass diese Kurven jeweils nur einen Spezialfall der entsprechenden Räumfälle 3 und 4 darstellen. Liegen Randbedingungen vor, die von den speziellen Vorgaben (max. $v = 50 \text{ km/h}$ bzw. $a = 0,7 \text{ m/s}^2$) abweichen, so können die Kurven 3 und 4 nicht verwendet werden. Stattdessen sind $t_{\bar{u}}$ und t_r dann auf die von den RiLSA vorgeschriebene Weise zu bestimmen.

Die **Zeitdauer** für das **Einfahren** kann **Bild 18** entnommen werden. Bei **Kraftfahrzeugen** wird davon ausgegangen, dass das erste Fahrzeug die Haltlinie bei Beginn der Freigabezeit unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der Fahrtrichtung mit einer Einfahrtsgeschwindigkeit von $V_e = 40 \text{ km/h}$ überfährt. Die Einfahrzeit ergibt sich dann zu:

$$t_e = 3,6 \cdot \frac{s_e}{40}$$

Bei **öffentlichen Verkehrsmitteln**, die nicht regelmäßig von einer Haltestelle aus in den Knotenpunkt einfahren, muss mit einem Überfahren der Haltlinie bei Freigabezeitbeginn und einer Einfahrtsgeschwindigkeit von $V_e = 20 \text{ km/h}$ mit anschließender Beschleunigung (nach RiLSA, Abschnitt 2.5.3) bis zum Erreichen der betrieblich zugelassenen Streckenhöchstgeschwindigkeit gerechnet werden. Örtlich höhere Einfahrtsgeschwindigkeiten sind zu berücksichtigen.

Wenn **Straßenbahnen und Linienbusse** regelmäßig von einer Haltestelle aus in den Knotenpunkt einfahren, wird bei Freigabezeitbeginn eine Beschleunigung aus dem Stand von der Haltlinie aus angenommen (siehe RiLSA, Abschnitt 2.5.4).

Radfahrer sind, solange sie mit den Kraftfahrzeugen durch gemeinsame Signale gesteuert werden, aufgrund ihrer geringen Anfahrbeschleunigung und Fahrgeschwindigkeit beim Einfahrtvorgang nicht maßgebend. Werden Radfahrer auf besonderen Radwegen oder Radfahrstreifen geführt und durch Radfahrersignale gesteuert, so ist von einem Überfahren der Haltlinie bei Freigabezeitbeginn mit $v_r = 5 \text{ m/s}$ auszugehen.

Beginnt für **Fußgänger** die Konfliktfläche mit dem Fahrzeugverkehr unmittelbar am Fahrbahnrand, so erübrigt sich die Berücksichtigung eines „Einfahrtvorgangs“. Andernfalls ist für Fußgänger mit einer „Einfahrtsgeschwindigkeit“ von $v_r = 1,5 \text{ m/s}$ zu rechnen. Dieser Fall tritt nur auf, wenn der räumende Verkehr den am Fahrbahnrand liegenden Fahrstreifen nicht benutzen darf.

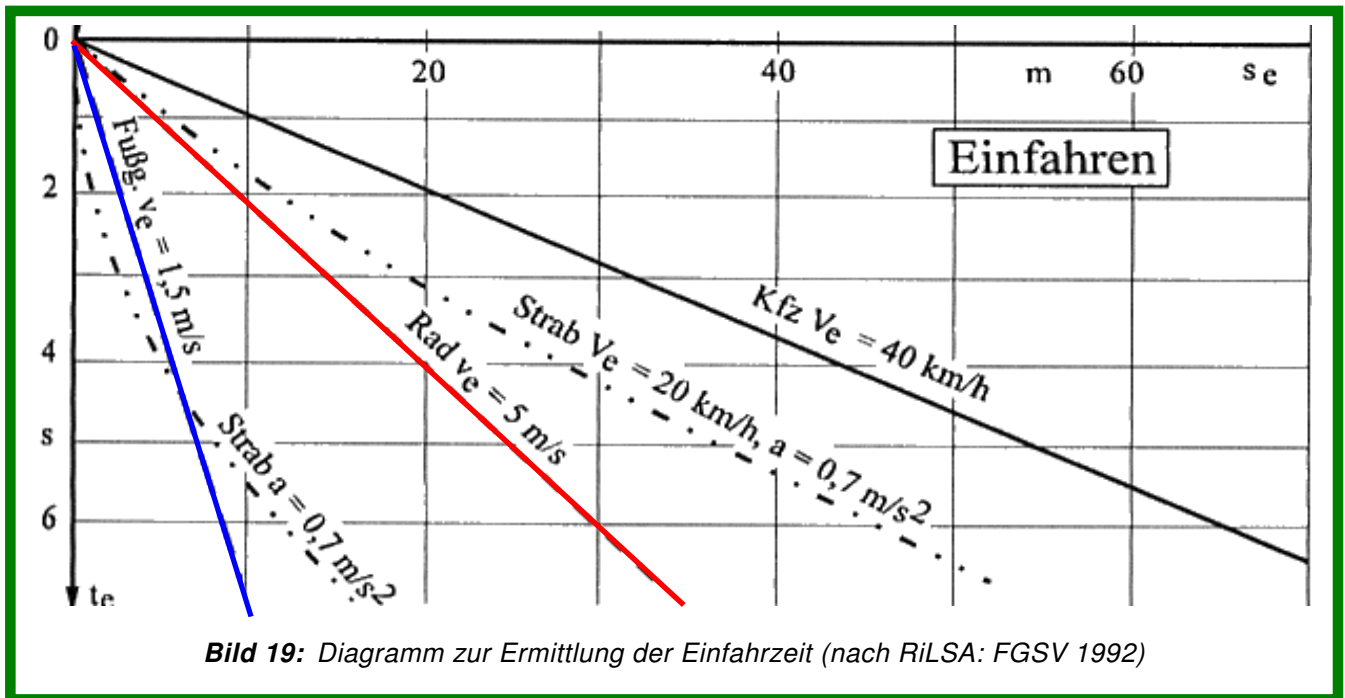


Bild 19: Diagramm zur Ermittlung der Einfahrzeit (nach RiLSA: FGSV 1992)

Beispiel für eine Zwischenzeitberechnung

Als Beispiel für eine Zwischenzeitberechnung soll der in **Bild 20** dargestellte Fall „K7 endet, K1 beginnt“ betrachtet werden.

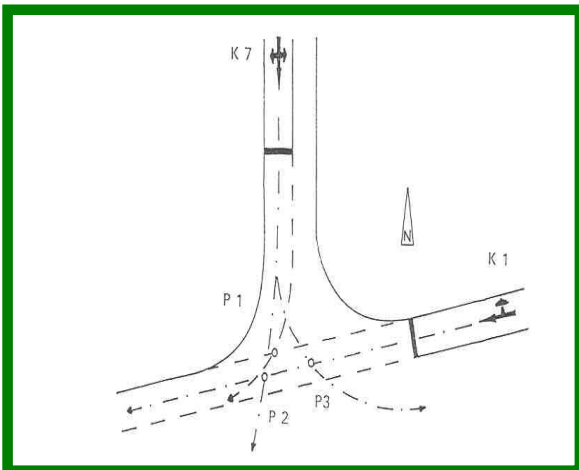


Bild 20: Konfliktpunkte zwischen Strömen der beginnenden Signalgruppe K1 und der endenden Signalgruppe K7

Durch K7 wird ein von Geradeausfahrern, Rechts- und Linksabbiegern (im folgenden $K7_g$, $K7_r$ und $K7_l$ genannt) kombiniert genutzter Fahrstreifen, durch K1 ein von Geradeausfahrern ($K1_g$) und Rechtsabbiegern ($K1_r$) kombiniert genutzter Fahrstreifen signalisiert. Bei der Zwischenzeitberechnung sind alle Konfliktfälle zwischen räumenden und einfahrenden Strömen zu berücksichtigen. **Maßgebend ist derjenige Konfliktfall, der zur höchsten Zwischenzeit führt.** Alle Konfliktpunkte sind in **Bild 19** dargestellt.

Man erkennt, dass der Strom $K1_r$ mit keinem Strom der Signalgruppe K7 einen Konflikt hat; dafür hat Strom $K1_g$ Konflikte mit $K7_r$, $K7_g$ und $K7_l$. Die entsprechenden Konfliktpunkte, die zur Bemessung von Grundräumweg s_0 , und Einfahrweg s_e dienen, sind mit P1, P2 und P3 gekennzeichnet. Da die Fahrlinien der Ströme $K7_r$ und $K1_g$ in derselben Ausfahrt münden und daher einen schleifenden Schnitt bilden, wird der entsprechende Konfliktpunkt durch den Schnitt der gedachten Begrenzungslinien konstruiert.



Für die angesprochenen Konfliktfälle ergeben sich folgende Zwischenzeiten:

Konfliktströme	s_0 [m]	Räumfall (Diagramm)	$t_{\bar{u}} + t_r$ [s]	s_e [m]	t_e [s]	t_z [s]
K7 _r / K1 _g	17,0	Kfz (5 m/s)	6,6	16,0	1,4	5,2
K7 _g / K1 _g	19,0	Radfahrer	5,8	17,5	1,6	4,2
K7 _l / K1 _g	19,5	Radfahrer	5,9	12,0	1,1	4,8

Bild 21: Zwischenzeiten im Fallbeispiel

Wie **Bild 21** zu entnehmen, ist der Konfliktfall „Strom K7_r räumt, Strom K1_g fährt ein“ maßgebend für die Zwischenzeitberechnung des Falles „Signalgruppe K7 endet, Signalgruppe K1 beginnt“. Die Summe $t_{\bar{u}} + t_r - t_e = 5,2$ s ergibt aufgerundet eine Zwischenzeit von $t_z = 6$ s. In analoger Weise werden alle übrigen Zwischenzeiten zwischen endenden und beginnenden Signalgruppen ermittelt. Sie sind nachfolgend in **Bild 22** in Form einer Zwischenzeitenmatrix dargestellt.

Keine Eintragung findet sich in der Zwischenzeitenmatrix für Paare von Signalgruppen,

- die in der gleichen Phase geführt werden (z.B. K3 und K7) oder
- die in verschiedenen Phasen geführt werden, aber nicht zueinander in Konflikt stehen (z.B. K2 und F5).

Die Ermittlung der Zwischenzeiten hat außerordentlich sorgfältig zu erfolgen. Unmittelbar nach Inbetriebnahme der Lichtsignalanlage ist durch Verkehrsbeobachtungen während unterschiedlicher Verkehrszeiten die Gewährleistung der Sicherheit beim Phasenwechsel zu prüfen.

einfahren räumen	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	F1	F2	F3	F4	F5	F6
K1			4			4	4	4				7	
K2			5	8	6		4	4		8			
K3	6	4			3	4			4				6
K4		2					2				4		
K5		3	6				4	6				4	
K6	6		5				5					4	7
K7	6	6		12	7	4				7			6
F1	10	7			6								
F2			6										
F3		4					3						
F4				5									
F5	8				10	7							
F6			3			4	6						

Bild 22: Zwischenzeitenmatrix für das dargestellte Beispiel



4.5.4.5 Phasenfolge

Bei einer 3-phasigen Steuerung gibt es zwei mögliche Phasenfolgen: 1 - 2 - 3 - 1 oder 1 - 3 - 2 - 1. Als Zwischenzeitensumme Σt_z zwischen den maßgebenden Strömen der einzelnen Phasen ergibt sich für das oben aufgeführte Beispiel:

- für die Phasenfolge 1 - 2 - 3 - 1:

$$\begin{aligned}\Sigma t_z &= t_z(K1/K6) + t_z(K6/K7) + t_z(K7/K5) \\ &= 4 \text{ s} + 5 \text{ s} + 7 \text{ s} \\ &= 16 \text{ s}\end{aligned}$$

- für die Phasenfolge 1 - 3 - 2 - 1:

$$\begin{aligned}\Sigma t_z &= t_z(K5/K3) + t_z(K7/K2) + t_z(K2/K5) \\ &= 6 \text{ s} + 6 \text{ s} + 6 \text{ s} \\ &= 18 \text{ s}\end{aligned}$$

Kommentar zur Berechnung von Σt_z

Aufgrund der Möglichkeit, dass die Freigabezeiten der einzelnen Signalgruppen einer Phase zu verschiedenen Zeiten beginnen bzw. enden können, werden zunächst nur die höchstbelasteten Fahrzeugströme einer Phase betrachtet. Man geht davon aus, dass schwächer belastete Ströme wie K4 oder Fußgängerströme trotz gegebenenfalls höherer Zwischenzeiten problemlos in ein Signalprogramm eingepasst werden können, welches auf die Belastungen der maßgebenden Ströme ausgelegt ist. **Diese Annahme muss bei tatsächlichen Planungen überprüft werden.**

Wie ein Vergleich der beiden möglichen Phasenfolgen zeigt, führt die Phasenfolge 1 - 2 - 3 - 1 zu einer geringeren Zwischenzeitensumme Σt_z . Wäre die Entscheidung zugunsten einer bestimmten Phasenfolge nur mit Hilfe des Kriteriums „minimale Zwischenzeitensumme“ nicht möglich, so könnte die Kenntnis spezieller örtlicher Randbedingungen (stärkste Fußgänger-Relationen, Unfall-diagramme etc.) weitere Aufschlüsse liefern.

Für die weitere Berechnung soll hier die Entscheidung zugunsten der **Phasenfolge 1 - 2 - 3 - 1** getroffen werden.

4.5.4.6 Umlaufzeit und Freigabezeiten

Die übliche Vorgehensweise besteht nun darin, aus Σ maßg. q, Σt_z und Sättigungsverkehrsstärke q_s die Umlaufzeit t_U festzulegen. Durch Aufrunden erhält man dann die gewählte Umlaufzeit gew. t_U . Diese ist mit dem Ansatz zur Berechnung einer wartezeitoptimalen Umlaufzeit entsprechend dem HBS (FGSV 2001/2005) abzugleichen.

Doch tatsächlich ist die Vorgehensweise zumeist komplizierter. Die Festlegung von Σ maßg. q ist oftmals durchaus nicht eindeutig. Die Problem- punkte bestehen vor allem in:

Auffinden der maßgebenden Ströme für Σ maßg. q

Analog dem AKF-Verfahren betrachtet man die Summen der Verkehrsstärken zueinander kritischer Ströme in aufeinanderfolgenden Phasen. Diejenige Kombination, die zur höchsten Summe führt, enthält die maßgebenden Ströme. Man kann sich auch einfach daran orientieren, welche Ströme beim AKF-Verfahren zur maximalen Spaltensumme geführt haben.

Berücksichtigung von Mindestfreigabezeiten

Eine einfache Möglichkeit zur Berücksichtigung von Mindestfreigabezeiten besteht darin, die Verkehrsstärke sehr gering belasteter Ströme durch eine fiktive Verkehrsstärke zu ersetzen, die dem Freigabezeitanteil entspricht:

$$q_{fiktiv} = q_s \cdot \frac{\min. t_{Gr}}{t_U}$$



In **Bild 23** sind unter der Annahme einer Sättigungsverkehrsstärke $q_s = 2.000$ Kfz/h die fiktiven Verkehrsstärken q_{fiktiv} [Kfz/h] für verschiedene Umlaufzeiten t_U und verschiedene Mindestfreigabezeiten $min. t_{Gr}$ angegeben.

t_U [s]	min. t_{Gr} [s]		
	5	10	15
30	333	667	1000
40	250	500	750
50	200	400	600
60	167	333	500
70	143	286	429
80	125	250	375
90	111	222	333
100	100	200	300
110	91	182	273
120	83	167	250

Bild 23: Fiktive Verkehrsstärken [Kfz/h] in Abhängigkeit von der Umlaufzeit und der Mindestfreigabezeit

Die Werte q_{fiktiv} sind dann anzusetzen, wenn die tatsächliche Verkehrsstärke geringer ist. Da die Umlaufzeit t_U mit Hilfe von Σ maßg. q berechnet werden soll, muss zur Bestimmung von q_{fiktiv} zunächst ein geschätzter Wert für t_U angenommen werden. Hierfür eignet sich beispielsweise der Wert von t_U , der sich bei der Voruntersuchung mittels AKF-Verfahren ergab.

Eine weitere Möglichkeit, Mindestfreigabezeiten schwach belasteter Ströme zu berücksichtigen, besteht darin, bei der Berechnung der Umlaufzeit $min. t_{Gr}$ zur Summe der Verlustzeiten Σt_v hinzuzurechnen, dafür aber die Verkehrsstärke des entsprechenden Stroms bei der Berechnung von Σ maßg. q außer acht zu lassen.

Es wird insbesondere bei verkehrsabhängigen Steuerungen empfohlen, sich grundsätzlich an einer **Mindestfreigabezeit von 5 s** zu orientieren.

Mindestfreigabezeiten für Fahrzeugströme von 10 bzw. 15 s sollten möglichst vermieden werden. Zu lange, nicht ausgelastete Freigabezeiten

- wirken als Verlustzeiten, in denen kein Verkehr abgewickelt werden kann,
- führen zu einer unnötigen Aufblähung der Umlaufzeit und in deren Folge auch der Wartezeiten,
- mindern die Akzeptanz der Lichtsignalsteuerung vor allem durch nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmer und können so die Verkehrssicherheit gefährden.

Falls **parallel freigegebene Fußgängerfurten** vorhanden sind, bestimmt sich die Länge der Mindestfreigabezeiten in der Regel aus der (Mindest-) Fußgängerfreigabezeit.

Entflechten tatsächlich nicht vorhandener Konfliktfälle.

Für die Entflechtung tatsächlich nicht vorhandener Konflikte kann keine allgemeine Vorgehensweise empfohlen werden. Sie sollte nur von Fall zu Fall durchgeführt werden, wenn ihre Zulässigkeit aus der Knotenpunktgeometrie klar ersichtlich ist und andernfalls erheblich zu hohe maßgebende Verkehrsstärken und damit zu lange Freigabezeiten entstünden.

Freigabezeiten der einzelnen Signalgruppen

Für die erforderlichen Freigabezeiten der einzelnen **Fahrzeug-Signalgruppen** gilt:

$$erf. t_{Gr} = t_U \cdot \frac{maßg. q}{q_s} \quad (6)$$

Für **Fußgänger-Signalgruppen** ist zu beachten, dass räumende Fußgänger während der Freigabezeit mindestens die **halbe Fahrbahnbreite** (im Fall von Fahrbahnteilern und simultaner Signalisierung die Strecke bis zur Hälfte der letzten Richtungsfahrbahn) zurücklegen können:



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

$$erf. t_{Gr, Fußgänger} = \frac{b/2}{v_{Fg}} \quad (7)$$

Dabei wird v_{Fg} im allgemeinen mit **1,2 m/s** angesetzt und b ist die Fahrbahnbreite in [m]. In jedem Fall ist aber eine **Mindestfreigabezeit von 5 s** einzuhalten.

Beispiel

Für das Beispiel ist in **Bild 24** die endgültige Phaseneinteilung und die Ermittlung der maßgebenden Verkehrsstärken dargestellt. Die übliche Vorgehensweise besteht nun darin, aus Σ maßg. q , Σt_z und Sättigungsverkehrsstärke q_S die Umlaufzeit t_U festzulegen. Es ergibt sich mit:

$$\Sigma \text{maßg. } q = \text{maßg. } q_1 + \text{maßg. } q_2 + \text{maßg. } q_3$$

$$= 1485 \text{ Kfz/h,}$$

$$\Sigma t_z = 16 \text{ s}$$

$$q_S = 2000 \text{ Kfz/h}$$

$$t_U = \frac{16}{1 - 1485/2000} = 62,1 \text{ s}$$

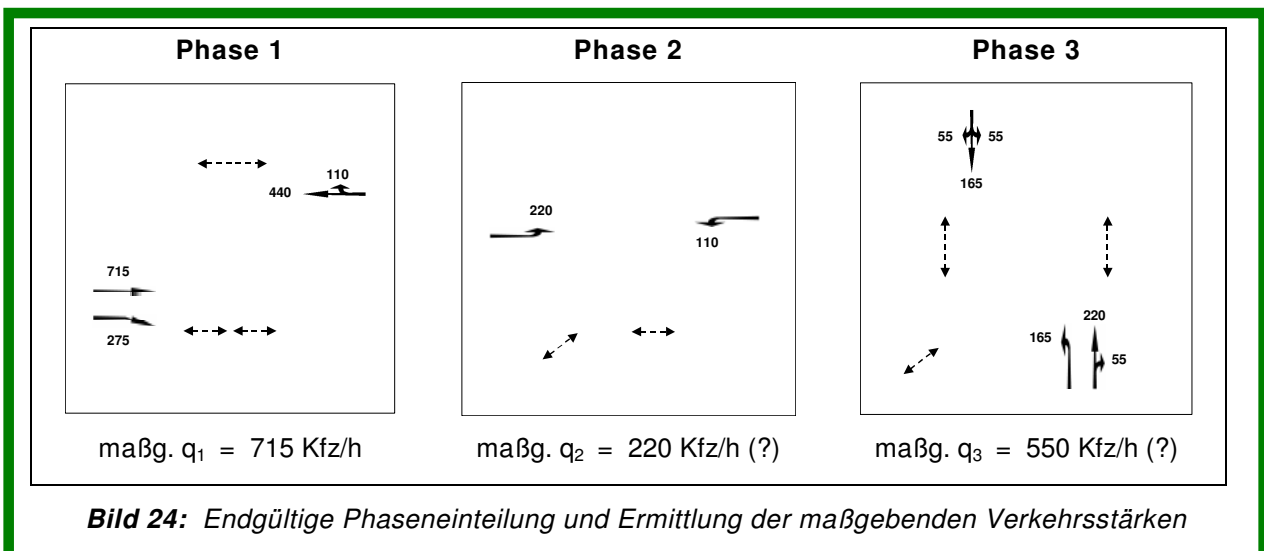
Durch Aufrunden erhält man dann gew. $t_U = 65 \text{ s}$.

Die Fragezeichen hinter maßg. q_2 und maßg. q_3 deuten auf Probleme bezüglich der richtigen Festlegung dieser Werte:

- K6 ($q = 220 \text{ Kfz/h}$) kann bereits während K5 ($q = 715 \text{ Kfz/h}$) freigegeben werden, sofern K1 ($q = 440 + 110 = 550 \text{ Kfz/h}$) entsprechend früher abgebrochen wird. K2 ($q = 110 \text{ Kfz/h}$) ist eigentlich die maßgebende Signalgruppe der Phase 2, weil sie erst nach K5 freigegeben werden kann.

- K2 kann aber nicht mit maßg. $q = 110 \text{ Kfz/h}$ in die Berechnung der Umlaufzeit eingehen, da bestimmte Mindestfreigabezeiten (min. t_{Gr}) zu berücksichtigen sind.

- Der Wert maßg. q_3 basiert auf der Annahme, dass die Ströme der Signalgruppe K7 mit denen der Signalgruppe K3 in Konflikt stehen und daher nacheinander abfließen müssen. Tatsächlich ist aber bei $t_U = 65 \text{ s}$ nur etwa ein Fahrzeug des Linksabbiegestroms $K7_1$ ($q = 55 \text{ Kfz/h}$) pro Umlauf zu erwarten. Dieses könnte sich problemlos im Knotenpunktsbereich aufstellen, ohne die nachfolgenden Geradeausfahrer und Rechtsabbieger zu behindern. Dadurch entfällt im Prinzip der Konflikt, der für die Addition der in Fall a) des **Bildes 25** dargestellten Verkehrsstärken verantwortlich war. Die tatsächlich verbleibenden Konfliktgruppen sind in den Fällen b) und c) dargestellt. Fall b) ist mit der höheren Summe maßgebend: $\Sigma \text{maßg. } q_3 = 55 + 165 + 165 = 385 \text{ Kfz/h}$.



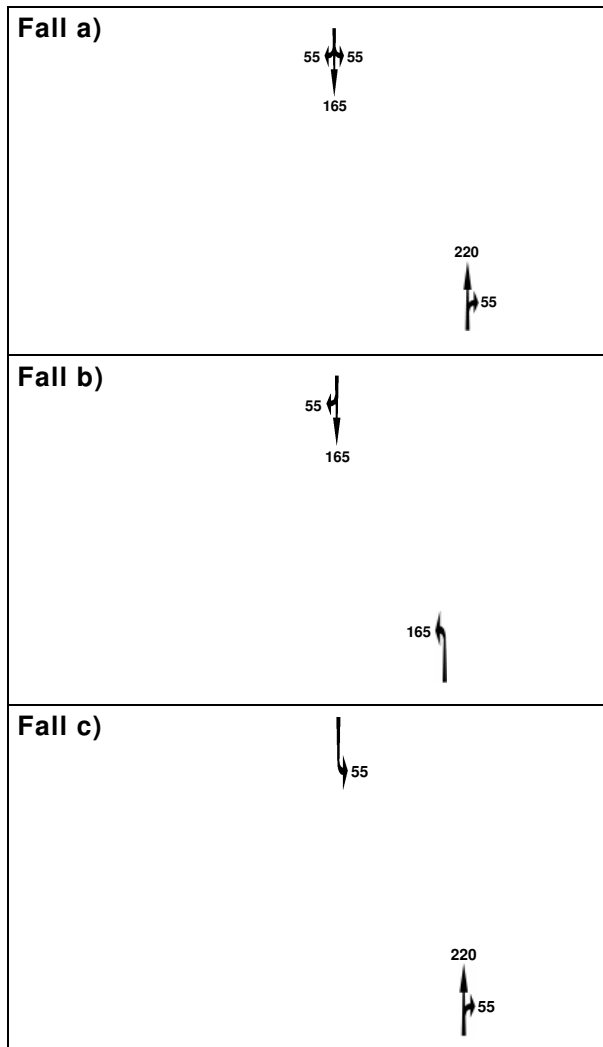


Bild 25: Konfliktgruppen in Phase 3

Es werden nun folgende Werte für die maßgebende Verkehrsstärke Σ maßg. q der drei Phasen festgelegt:

- maßg. $q_1 = 715$ Kfz/h,
- maßg. $q_2 = 143$ Kfz/h
(fiktive Verkehrsstärke des Linksabbiegers K2 für min. $t_{Gr} = 5$ s und $t_U = 70$ s) und
- maßg. $q_3 = 550$ Kfz/h
(Es lässt sich nicht eindeutig beurteilen, wie stark die Behinderung des Geradeausverkehrs durch den Linksabbieger K7₁ ist.)

Die erforderliche Umlaufzeit folgt mit Σ maßg. $q = 715 + 143 + 550 = 1408$ Kfz/h:

$$t_U = \frac{16}{1 - 1408/2000} = 54,1 \text{ s}$$

Um die erforderlichen Freigabezeiten auf ganze Sekunden aufrunden zu können und genügend Spielraum zum Einpassen der Fußgängerfreigabezeiten zu haben, wird die Umlaufzeit zu gew. $t_U = 60$ s festgelegt.

In **Bild 26** sind für das Beispiel die erforderlichen Freigabezeiten für die Fahrzeug- und Fußgänger-signalgruppen dargestellt.

Signalgruppe	Σ maßg. q [Kfz/h]	erf. t_{Gr} [s]	aufgerundete Werte/ Mindestfreigabezeit [s]
K1	550	16,5	17
K2	110	3,3	5
K3	550	16,5	17
K4	275	8,3	9
K5	715	21,5	22
K6	220	6,6	7
K7	550	16,5	17
Signalgruppe	Furtlänge b [m]	erf. t_{Gr} [s]	aufgerundete Werte / Mindestfreigabezeit [s]
F1	11,5	4,8	5
F2	6,5	2,7	5
F3	7,0	2,9	5
F4	5,0	2,1	5
F5	11,5	4,8	5
F6	6,5	2,7	5

Bild 26: Erforderliche Freigabezeiten für die Signalgruppen



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

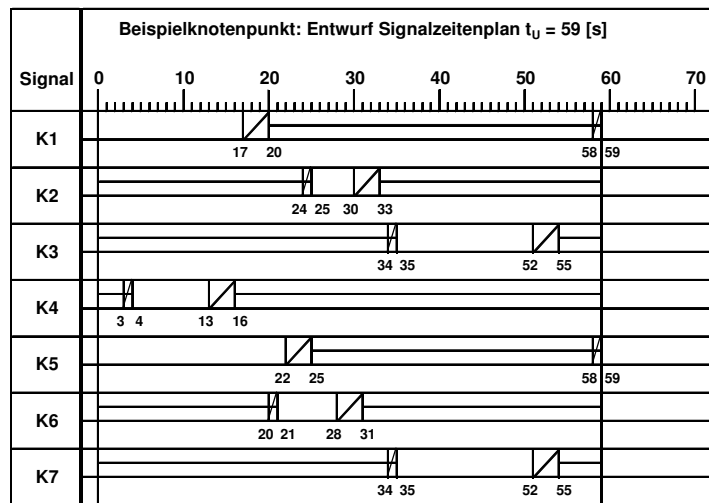
4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

4.5.4.7 Signalprogramm

Die **Konstruktion des Signalprogramms** vollzieht sich im wesentlichen in zwei Schritten: Im **ersten Schritt** wird unter Beachtung der einzuhaltenden Zwischenzeiten das **Grobgerüst des Signalprogramms**, bestehend aus den erforderlichen Kfz-Freigabezeiten, gebildet. Man beginnt hierbei mit den maßgebenden Signalgruppen der einzelnen Phasen und passt anschließend die Freigabezeiten der übrigen Signalgruppen in den Signalzeitenplan ein, indem man sie zum frühestmöglichen Zeitpunkt beginnen lässt (**Bild 27**).

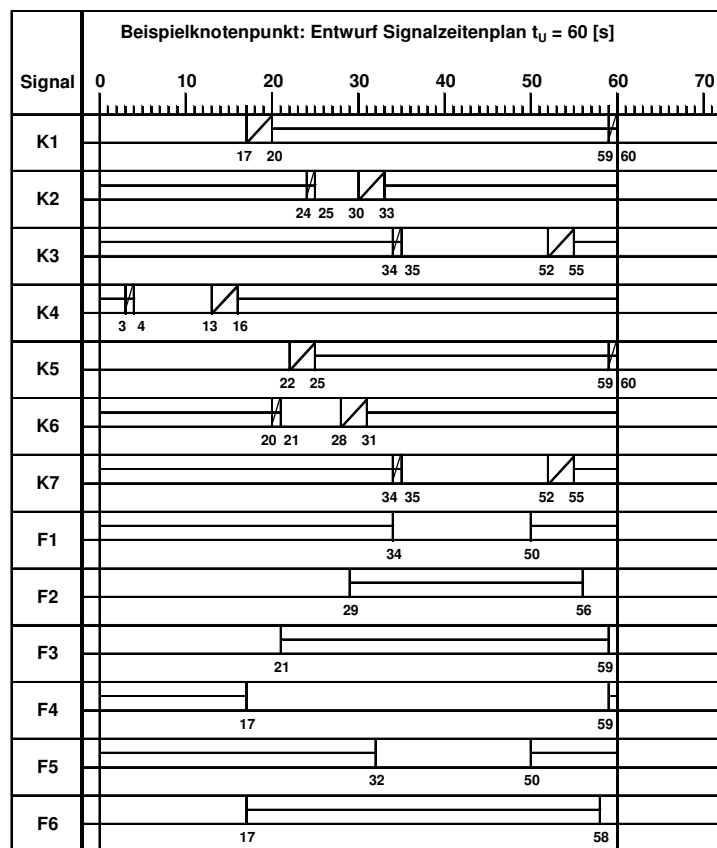
Der **zweite Schritt** umfasst die **Einpassung der Fußgängerfreigabezeiten** und die **Feinabstimmung** des Signalzeitenplans (**Bild 28**). Zu beachten sind dabei vor allem:

- Wenn Linksabbieger mit den Geradeausfahrern gemeinsam signalisiert werden, müssen die Freigabezeiten von Richtung und Gegenrichtung gleichzeitig beginnen.
- Die Freigabezeit einer Fußgänger-signalgruppe darf aus Sicherheitsgründen nicht nach dem Freigabezeitbeginn parallel geführter, bedingt verträglicher Kfz-Ströme beginnen; der Beginn sollte möglichst vor diesem Zeitpunkt liegen.
- Die Fußgängersignale werden unter Beachtung der Zwischenzeiten mit maximal möglichen Dauer freigegeben; ggf. gelten Sonderbedingungen (z.B. bei Mehrfachfurten, vgl. 4.5.9).
- Fußgängerfreigabezeiten sollten i.d.R. früher enden als die Freigabezeiten starker parallel geführter bedingt verträglicher Kfz-Ströme.
- Die Freigabezeiten einzelner Kfz-Signalgruppen werden unter Beachtung der Zwischenzeiten über die erforderliche Freigabezeit hinaus verlängert, sofern hiervon



Legende: rot grün rotgelb gelb

Bild 27: Signalzeitenplan nur mit Kfz-Signalgruppen



Legende: rot grün rotgelb gelb

Bild 28: Signalzeitenplan mit eingepassten Fußgängern

die Freigabezeiten anderer Signalgruppen unberührt bleiben.



In der Praxis können die speziellen örtlichen Randbedingungen entscheidenden Einfluss darauf haben, wie der Signalzeitenplan erstellt wird. So könnte es im Fall starker Abbiegeströme und sehr geringem Fußgängeraufkommen sinnvoll sein, Fußgängern lediglich die Mindestfreigabezeiten zuzuteilen. Weiter kann das beschriebene „Einpassen“ der Fußgängerfreigabezeiten zu einer nicht akzeptablen Steuerung führen (z.B. wenn dadurch das Queren von Mehrfachfurten in einem Zug nicht möglich ist); deshalb sind die **Fußgänger von Anfang an** bei der Konstruktion des Signalprogramms zu **berücksichtigen**.

- Die Auflistung der Steuerungsverfahren enthält auch die Verfahren der Signalprogrammauswahl, die eher als **Aktivierungsverfahren** zu bezeichnen und mit den eigentlichen Steuerungsverfahren gar nicht zu vergleichen sind.

Daher soll an dieser Stelle eine **auf die eigentlichen Steuerungsverfahren reduzierte Übersicht** gegeben werden (**Bild 29**). Anschließend erst wird auf die so zu bezeichnenden **Aktivierungsverfahren** eingegangen und ihr Zusammenhang mit den Steuerungsverfahren erläutert.

Die in **Bild 29** dargestellten Steuerungsverfahren lassen sich von ihrer Funktionsweise her in **drei Kategorien** unterteilen:

- **Festzeitsteuerung:**
Bei dieser sind alle Signalprogrammelemente (Umlaufzeit, Anzahl und Reihenfolge der Phasen, Freigabezeitdauer) unveränderlich.
- **Teil-verkehrsabhängige Steuerungsverfahren:**
Diese Steuerungsverfahren sind in **Bild 29** unter dem Oberbegriff „**Signalprogramm-anpassung**“ zusammengefasst. Bei ihnen sind innerhalb eines Rahmenprogramms (feste Umlaufzeit) einzelne Signalprogrammelemente (Phasenanzahl, Phasenfolge oder Freigabezeitdauer) verkehrsabhängig veränderlich.

4.5.5 STEUERUNGSVERFAHREN

4.5.5.1 Überblick

Die in den RiLSA (FGSV 1992) enthaltene Übersicht über die verschiedenen Arten von Steuerungsverfahren ist relativ abstrakt und wird aus mehreren Gründen oft falsch interpretiert:

- In ihr werden Begriffe in einer anderen als der sonst üblichen Bedeutung verwendet ("mikroskopisch", "makroskopisch").

Bild 29: Vereinfachte Übersicht der Steuerungsverfahren

Steuerungsverfahren		veränderbare Elemente des Signalprogramms							
Oberbegriff	Hauptmerkmal der Veränderbarkeit des Signalprogramms	Umlaufzeit festgelegt		Phasenfolge festgelegt		Phasenanzahl festgelegt		Freigabezeiten festgelegt	
		ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein
Festzeitsignalprogramm	keine Veränderbarkeit	X		X		X		X	
Signalprogramm-anpassung (teil-verkehrsabhängig)	Freigabezeit-anpassung	X		X		X			X
	Phasentausch	X			X	X		X	
	Bedarfsphasen-anforderung	X		X			X		X
Signalprogramm-bildung (voll-verkehrsabhängig)	freie Veränderbarkeit		X		X		X		X



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- Voll-verkehrsabhängige Steuerungsverfahren: Solche Steuerungsverfahren sind in **Bild 29** mit dem Oberbegriff „Signalprogrammabbildung“ bezeichnet. Alle Signalprogrammelemente (Phasenanzahl, Phasenfolge und Freigabezeiten) sind verkehrsabhängig veränderbar. Ein Rahmenprogramm mit fester Umlaufzeit wie bei den teilverkehrsabhängigen Steuerungsverfahren existiert hier nicht. Charakteristikum der vollverkehrsabhängigen Steuerungsverfahren ist der sogenannte Signalisierungsgrundzustand, der immer dann aufgeschaltet wird, wenn keine Freigabezeitanforderung vorliegt.

Die drei verschiedenen Kategorien von Steuerungsverfahren lassen sich gut anhand der sogenannten „Grünerlaubnisbereiche“ veranschaulichen. Der Grünerlaubnisbereich einer Phase bzw. Signalgruppe überdeckt den gesamten Zeitbereich, innerhalb dessen die tatsächlich aufgeschaltete Freigabezeit liegen kann.

Bei der Festzeitsteuerung sind die Grünerlaubnisbereiche identisch mit den tatsächlich aufgeschalteten Freigabezeiten (**Bild 30**).

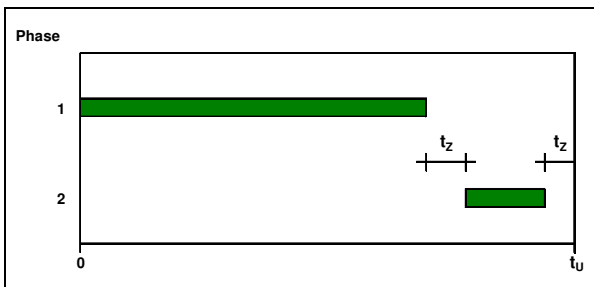


Bild 30: Grünerlaubnisbereiche bei der Festzeitsteuerung

Bei der Signalprogrammabbildung (hier: Freigabezeitmodifikation) bestehen die Grünerlaubnisbereiche (**Bild 31**) jeweils aus:

- einer in jedem Fall geschalteten **Kernzeit** und
- zwei **Dehnungsbereichen**, die unter bestimmten Verkehrsbedingungen einen früheren Beginn bzw. eine Verlängerung der Freigabezeit erlauben.

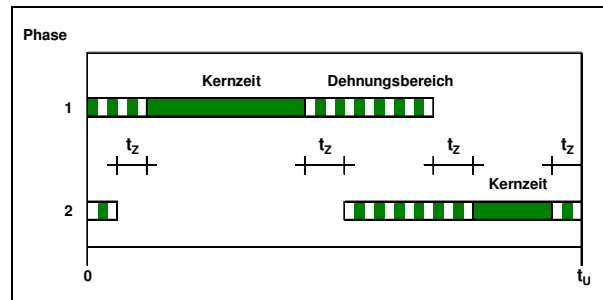


Bild 31: Grünerlaubnisbereiche bei der Signalprogrammabbildung

Natürlich können sich aber die tatsächlich aufgeschalteten Freigabezeiten nicht überlappen. Zwischen den Signalgruppen der endenden Phase und denen der beginnenden Phase müssen immer die entsprechenden Zwischenzeiten ablaufen.

Bei der Signalprogrammabbildung erstrecken sich die Grünerlaubnisbereiche (**Bild 32**) über die gesamte Zeit, während der das Steuerungsverfahren aktiviert ist. Das bedeutet, dass jede Phase zu jeder beliebigen Zeit freigegeben werden kann, wenn sich dies aus dem Verkehrsablauf ergibt. Kennzeichen der Signalprogrammabbildung sind **Grünerlaubnisbereiche, die sich vollständig überlappen**. Aber auch hier können wie bei der Signalprogrammabbildung feindliche Phasen natürlich nicht gleichzeitig aufgeschaltet werden.

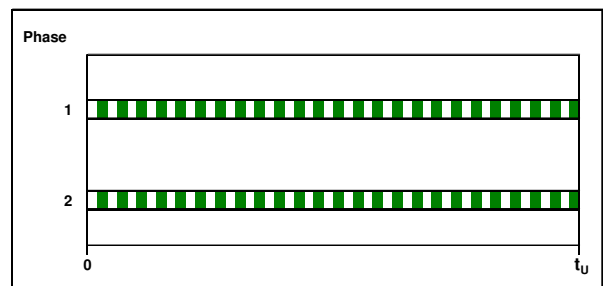


Bild 32: Grünerlaubnisbereiche bei der Signalprogrammabbildung



Aktivierungsverfahren

Es ist im allgemeinen nicht sinnvoll, den Verkehrsablauf an einem Knotenpunkt während eines ganzen Tages mit nur einem Signalprogramm zu steuern, da die Tagesganglinie des Verkehrsaufkommens ausgeprägten systematischen Schwankungen unterliegt. Die Aufgabe eines Aktivierungsverfahrens – in den RiLSA als **Signalprogramm** bezeichnet – besteht einzig und allein darin, aus einer **Bibliothek von Signalprogrammen** das jeweils geeignete aufzurufen. Dies kann **zeitplanabhängig** oder **verkehrsabhängig** geschehen.

Bei der **zeitplanabhängigen Signalprogramm**auswahl wird der Tag in feste Zeitbereiche unterteilt, während derer jeweils ein bestimmtes Signalprogramm aufgeschaltet wird.

In **Bild 33** ist der Tag in 6 Zeitbereiche unterteilt, während derer insgesamt 4 verschiedene Signalprogramme zum Einsatz kommen:

- Programm S1 für die Morgenspitze,
- Programm S2 für die Abendspitze
- Programm S3 für Normalverkehrszeiten und
- Programm S4 für verkehrsschwache Zeiten.

Die zur Verfügung stehenden Signalprogramme müssen dabei nicht unbedingt in der **Art des Steuerungsverfahrens** übereinstimmen.

Die Festlegung der einzusetzenden Steuerungsverfahren könnte beispielsweise bei Berücksichtigung einer Koordinierung wie folgt geschehen (vgl. Abschnitt 5.1.5 des Handbuchs):

- Signalprogrammanpassung mit relativ großer Umlaufzeit (z.B. $t_U = 90$ s) während der Spitzenzeiten (Programme S1, S2) mit Grüner Welle,
- Signalprogrammanpassung mit mittlerer Umlaufzeit (z.B. $t_U = 50$ s) zu den Normalverkehrszeiten (Programm S3) mit Grüner Welle
- Signalprogrammbildung in der Schwachverkehrszeit (Programm S4) mit dem Ziel einer schnellstmöglichen Realisierung von Freigabezeitenanforderungen (ohne Grüne Welle).

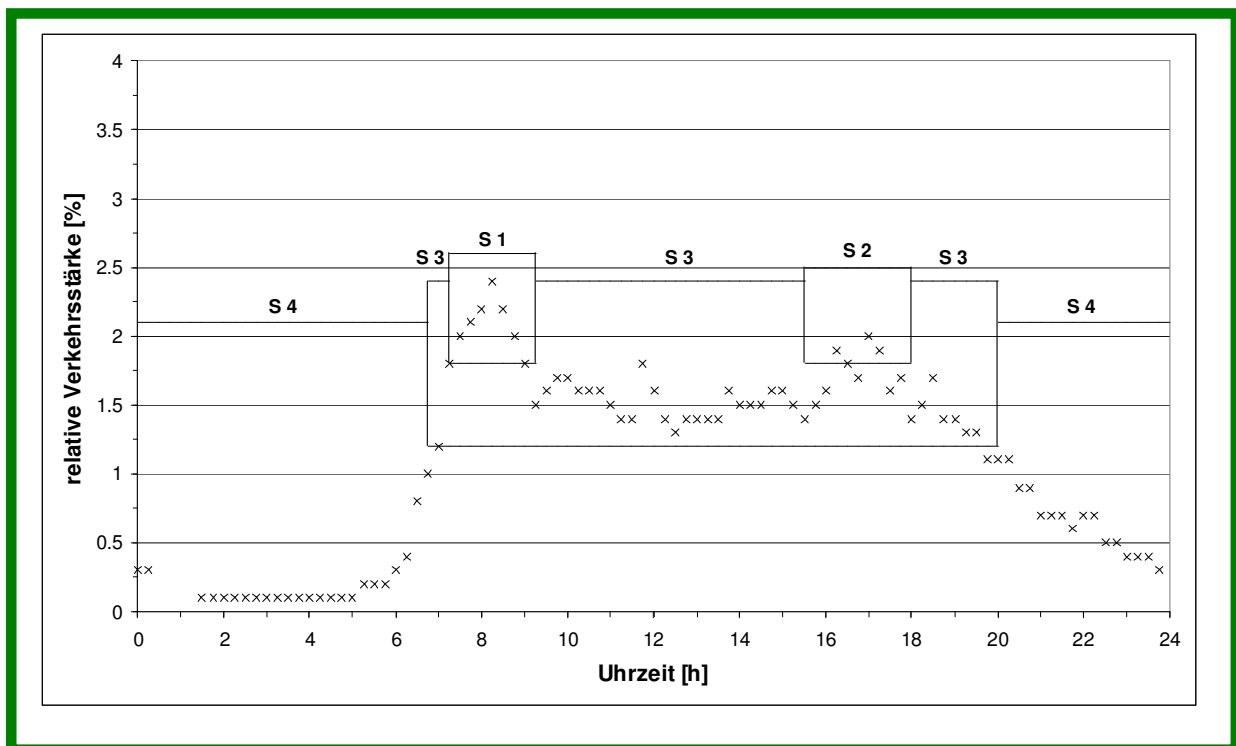


Bild 33: Signalprogramme in Abhängigkeit der Verkehrsstärke (nach: LAPIERRE/STEIERWALD)



Die **verkehrsabhängige Signalprogrammauswahl** arbeitet keinen festen Zeitplan ab, sondern reagiert auf Änderungen der Verkehrsstärke. Hierbei sind die zur Verfügung stehenden Signalprogramme auf bestimmte Verkehrsstärkebereiche zugeschnitten. Werden bestimmte **Schwellenwerte** des Gesamtverkehrsaufkommens oder auch des Verkehrsaufkommens in einzelnen Zufahrten über- bzw. unterschritten, so wird vom Aktivierungsverfahren ein anderes – geeigneteres – Signalprogramm aufgerufen.

Diese Art der Signalprogrammauswahl setzt natürlich das **Vorhandensein von Detektoren** zur Erhebung des aktuellen Verkehrsaufkommens voraus. Um zu häufige Wechsel zwischen den einzelnen Programmen zu vermeiden, werden die Verkehrsstärken über **längere Zeitabschnitte** ermittelt. Hierbei hat sich allgemein eine **Erhebungsdauer von 5 - 15 min** durchgesetzt. Kürzere Messintervalle unterliegen noch zu starken Zufallsschwankungen und längere Messintervalle machen das Aktivierungsverfahren zu unflexibel.

4.5.5.2 Verkehrsabhängige Steuerungsverfahren

Die Vorgehensweise bei der Erstellung einer verkehrsabhängigen Steuerung unterscheidet sich grundsätzlich von derjenigen bei der Erstellung eines Festzeitsignalprogramms. Sie umfasst im wesentlichen:

- Festlegung der Phaseneinteilung,
- Darstellung als Phasenfolgeplan, zwischen welchen Phasen Übergänge erlaubt sind,
- Konstruktion zugehöriger Phasenübergänge,
- gegebenenfalls Festlegung der Prioritäten bei gleichzeitiger Anforderung von Phasen,
- Festlegung von Art und Lage der Detektoren
- Erstellung der Steuerungslogik mit Definition der Bedingungen, die zum Abbruch einer Phase und zum Beginn einer anderen Phase führen
- Festlegung des Vorgehen bei Detektorstörung.

Verkehrsabhängige Steuerungsverfahren lassen sich – anders als die Festzeitsteuerung – nicht mehr in Form eines Signalzeitenplans darstellen. Wie bereits anhand der Grünerlaubnisbereiche veranschaulicht, sind Beginn, Ende und Dauer der Freigabezeiten nicht mehr eindeutig festgelegt. Hinzu kommt, dass Phasenfolge und Phasenanzahl bei den Verfahren der Signalprogrammbildung und teilweise auch bei den Verfahren der Signalprogrammanpassung variabel sein können. Feste Abläufe ergeben sich nur bei Daueranforderung oder keiner Anforderung.

Die **wichtigsten Elemente zur Darstellung verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren** sind **Phasenfolgeplan** und **Phasenübergang**.

Phasenfolgeplan

Der Phasenfolgeplan enthält die Phaseneinteilung und zeigt die erlaubten Phasenübergänge an, d.h. er gibt an, von welcher Phase in welche Phase gewechselt werden kann. Für eine **Festzeitsteuerung** gibt der Phasenfolgeplan in **Bild 34** keine



zusätzliche Informationen zur Phaseneinteilung, da die Phasenfolge feststeht.

Bei **verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren** ist ein Phasenfolgeplan dagegen sinnvoll und daher in zentraler Inhalt der Signalprogrammunterlagen. So sind z.B. bei einer „Alles-Rot-/Sofort-Grün“-Schaltung als Verfahren der Signalprogrammbildung sämtliche Phasenübergänge erlaubt (**Bild 35**).

Phasenübergang

Als Phasenübergänge sind alle diejenigen Ausschnitte aus einem Signalzeitenplan aufzufassen, in denen ein Wechsel von einer Phase in eine andere vollzogen wird. Ein Phasenübergang enthält alle Zwischenzeiten, die bei einem Phasenwechsel abzuarbeiten sind. Daher erstreckt sich der Zeitblock, mit welchem der Phasenübergang "PÜ_{i,j}" dargestellt wird, vom Freigabezeitende der ersten endenden Signalgruppe der Phase i bis zum Freigabezeitbeginn der letzten beginnenden Signalgruppe der Phase j; i.d.R. beinhaltet er auch die Mindestfreigabezeiten.

In **Bild 36** wird am Beispiel einer Festzeitsteuerung demonstriert, wie die drei möglichen Phasenübergänge festgelegt werden:

- Der PÜ 1.2 dauert 12 s und wird begrenzt vom Freigabezeitende der Signalgruppe K4 und dem Freigabezeitbeginn der Signalgruppe K2.

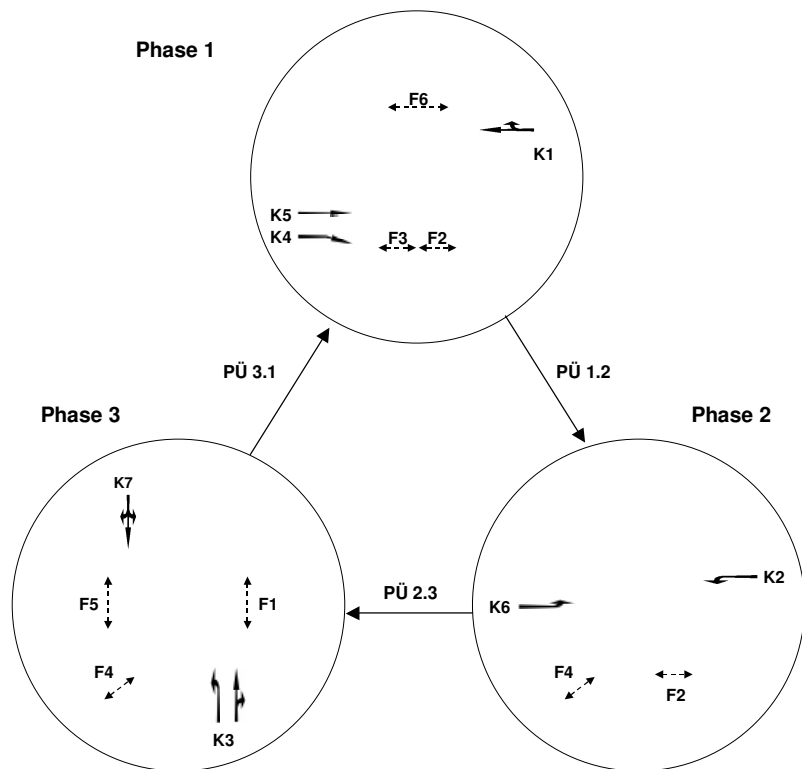


Bild 34: Phasenfolgeplan einer Festzeitsteuerung

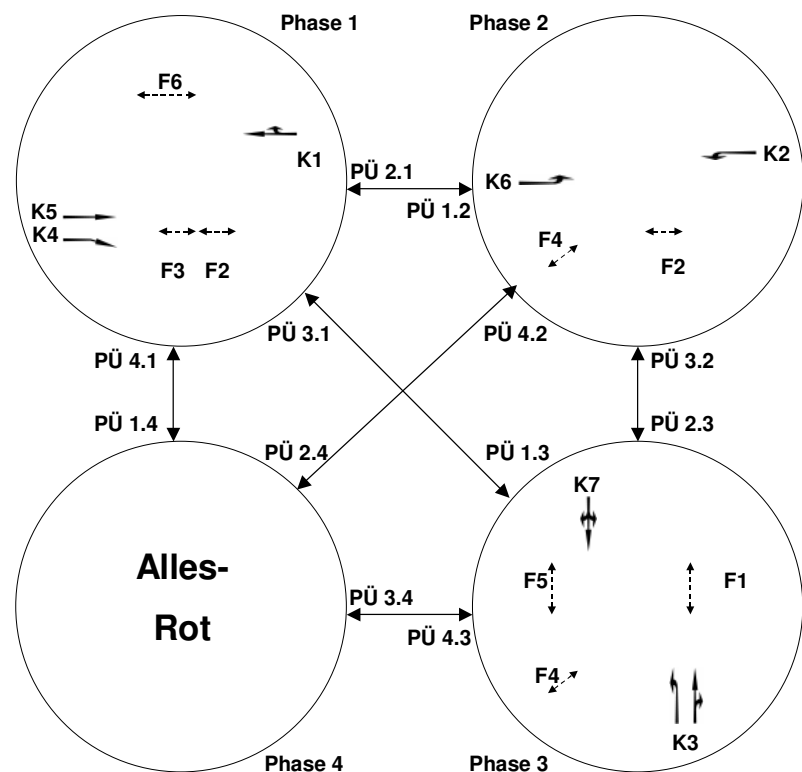


Bild 35: Phasenfolgeplan für eine „Alles-Rot-/Sofort-Grün“-Schaltung als Verfahren der Signalprogrammbildung



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

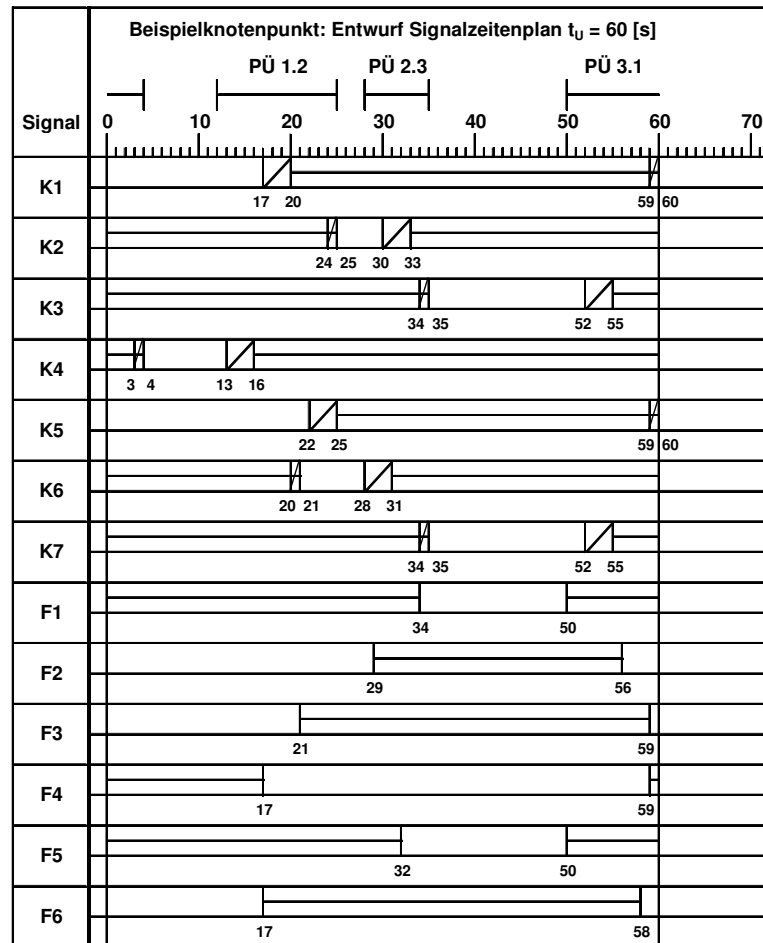
- Der PÜ 2.3 dauert 7 s und wird begrenzt vom Freigabezeitende der Signalgruppe K6 und dem Freigabezeitbeginn der Signalgruppen K3 und K7.
- Der PÜ 3.1 dauert 14 s und wird begrenzt vom Freigabezeitende der Signalgruppen F1 und F5 und dem Freigabezeitbeginn der Signalgruppe K4.

Im Fall einer Festzeitsteuerung liefern die Phasenübergänge keine zusätzlichen Informationen zum Signalzeitenplan.

Bei verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren ist dagegen die Unterscheidung zwischen Phasen und Phasenübergängen von großer Bedeutung. Die Phasen – d.h. die Zeiträume, während derer die Signalbilder aller Signalgruppen unverändert bleiben – sind in ihrem zeitlichen Beginn und Ende sowie gegebenenfalls auch in ihrer Reihenfolge variabel. Wenn von der Steuerungslogik die Entscheidung getroffen wird, die laufende Phase abzubrechen und eine andere Phase einzuleiten, wird der entsprechende Phasenübergang aufgerufen, der dann als **fester Zeitblock** abgearbeitet wird. Anschließend wird dann die neue Phase eingeschaltet.

Für das Beispiel der „Alles-Rot-/Sofort-Grün“-Schaltung (siehe **Bild 35**) müssten zusätzlich zu den drei Phasenübergängen, die bei der Festzeitsteuerung existieren, weitere neun Phasenübergänge definiert werden, wenn von jeder einzelnen der vier möglichen Phasen zu jeder der drei anderen Phasen gesprungen werden soll (insgesamt 12 Phasenübergänge). Hinweise zu dieser Steuerungsart enthält (FOLLMANN/SCHUSTER 1992).

Bevor relativ detailliert darauf eingegangen wird, welche Besonderheiten die Verfahren der Signal-



Legende: rot grün rotgelb gelb

Bild 36: Darstellung von Phasenübergängen

programmanpassung und der Signalprogramm-bildung aufweisen, erscheint es sinnvoll, deren Einsatzbereiche zumindest grob abzugrenzen.

Nach der oben aufgeführten Übersicht könnte sich die Frage ergeben, wieso hier **alle** Steuerungsverfahren erläutert werden, wenn doch einzig die Verfahren der Signalprogramm-bildung ein Maximum an Flexibilität aufweisen. Es ist jedoch zu beachten, dass die größte Flexibilität nicht in jedem Fall die meisten Vorteile mit sich bringt.

Die **Festzeitsteuerung** besitzt zwar keine Flexibilität gegenüber Belastungsschwankungen, jedoch bietet sie verglichen mit den verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren zwei wesentliche Vorteile:



- Durch den Verzicht auf eine Detektorausstattung und die für eine verkehrsabhängige Steuerung aufwändigere Programmierung ist sie **deutlich kostengünstiger**.
- Eine **Koordinierung** der Lichtsignalsteuerung eines Knotenpunkts mit Nachbarknotenpunkten ist wegen der konstanten Versatzzeiten sehr **einfach realisierbar**.

Durch die **Signalprogrammanpassung** ist mit einem im Vergleich zur Signalprogrammgebung **geringeren finanziellen Aufwand** bereits eine – wenn auch begrenzte – Berücksichtigung von Belastungsschwankungen bzw. von Anforderungen des ÖPNV möglich. Zudem ist auch hier eine **Koordinierung** mit Nachbarknotenpunkten problemlos **möglich**, da die Kernfreigabezeiten zeitlich fest sind (vgl. Kapitel 5.1 dieses Handbuchs). Wegen der variablen Grünbandbreite (siehe **Bild 37**) spricht man hier auch von „pulsating green waves“ (pulsierende Grüne Wellen).

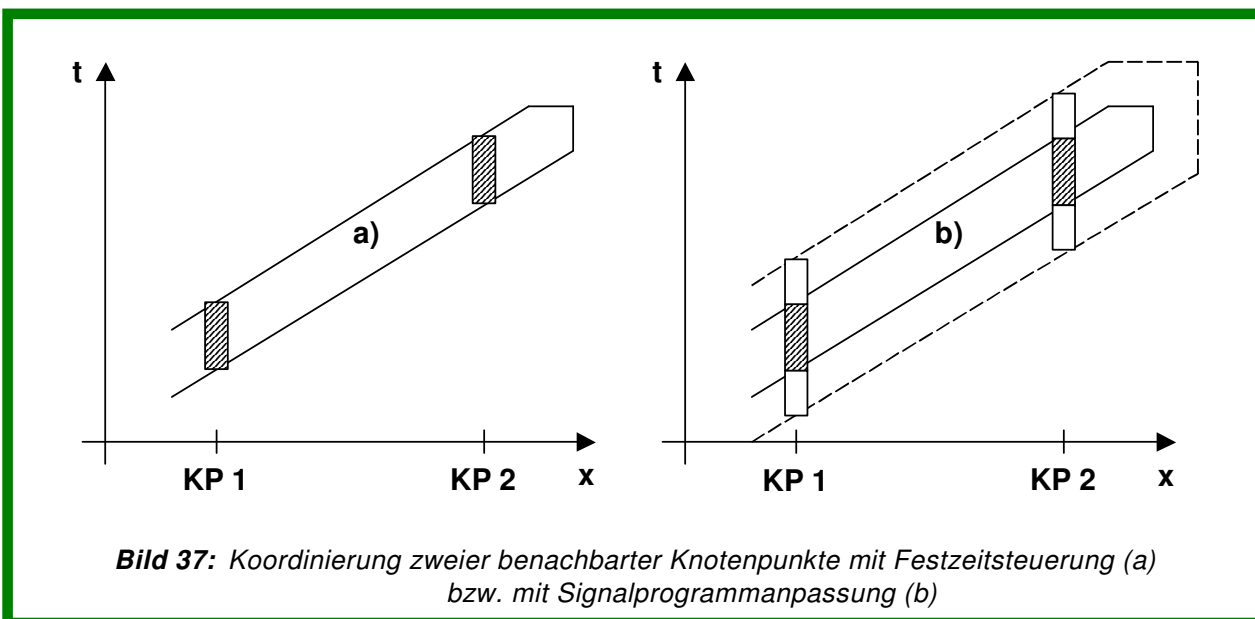
Bei den Verfahren der **Signalprogrammgebung** ist eine **Koordinierung** mit Nachbarknotenpunkten **nicht möglich**. Sie bieten aber erhebliche Vorteile gegenüber den anderen Steuerungsverfahren

- an „echten“ Einzelknotenpunkten ohne Netzzusammenhang und
- in Straßennetzen zu Schwachverkehrszeiten, wenn eine Koordinierung nicht sinnvoll ist.

Nicht vergessen werden sollten auch die Sicherheitsvorteile voll-verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren gegenüber der u.a. gemäß RiLSA abzulehnenden Abschaltung von Lichtsignalanlagen zu verkehrsschwachen Zeiten (vgl. Abschnitt 4.5.11), aber auch gegenüber der Festzeitsteuerung. Bei letzterer können als grundlos empfundene Wartezeiten zu gefährlichen Rotlichtmissachtungen führen. Zudem kann durch die Alles-Rot-/Sofort-Grün-Schaltung eine **Geschwindigkeitsdämpfung** erzielt werden.

Wichtigste Verfahren der Kategorie „Signalprogrammanpassung“ sind die **Freigabezeitmodifikation** und die **Bedarfsphasenanforderung**. Sie sind in ihrem Aufbau sehr ähnlich, besitzen aber unterschiedliche Einsatzbereiche. Beide können als „echte“ verkehrsabhängige Steuerungsverfahren bezeichnet werden, da sie – wenn auch in den Grenzen eines Rahmenprogramms – flexibel auf Schwankungen der Verkehrsbelastung reagieren können.

Für das ebenfalls unter der Kategorie Signalprogrammanpassung aufgeführte Verfahren **Phasentausch** gilt dies auch, sofern dabei auch variable Freigabezeiten möglich sind (d.h. Koppelung mit Freigabezeitmodifikation). Wenn es mit festen Freigabezeiten arbeitet, kann es sich Belastungsschwankungen nicht anpassen.





VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Während beim Verfahren **Phasentausch** die Bemessungsverkehrsstärken wie bei der Festzeitsteuerung mit **maßg. $q = 1,1$ bis $1,2 \cdot q_{60}$** festgelegt werden sollten, erscheint für die Verfahren **Freigabezeitmodifikation** und **Bedarfsphasen-anforderung** eine **geringere Kapazitätsreserve** ausreichend. Da bei ihnen die Freigabezeit zwischen den einzelnen Phasen flexibel umverteilt werden kann und es unwahrscheinlich ist, dass kurzfristige Belastungsspitzen in allen Phasen gleichzeitig auftreten, erscheinen Bemessungsverkehrsstärken im Bereich von **maßg. $q = 1,0$ bis $1,1 \cdot q_{60}$** angemessen.

Im folgenden wird zunächst die **Freigabezeitmodifikation** und anschließend die **Bedarfsphasensteuerung** ausführlich erläutert. Diese Reihenfolge ist deshalb sinnvoll, weil das zweite Verfahren auf dem ersten aufbaut. Auf das Verfahren Phasentausch wird nicht weiter eingegangen; hier genügt ein Hinweis auf die in den RiLSA (FGSV 1992) enthaltenen Informationen.

4.5.5.3 Freigabezeitmodifikation

Fest vorzugeben sind ebenso wie bei der Festzeitsteuerung **Umlaufzeit, Anzahl und Reihenfolge der Phasen. Variabel** sind lediglich **Beginn und Ende der Freigabezeiten**; sie entfallen somit als feste Signalprogrammelemente. Allerdings sind sie nicht frei veränderbar, sondern **nur innerhalb gewisser Grenzen**.

Charakteristische Signalprogrammelemente sind der **früheste** und der **späteste Phaseneinsatzpunkt** einer jeden Phase. Durch sie werden die Grenzen festgelegt, innerhalb derer die Freigabezeiten variieren können.

Der Phaseneinsatzpunkt PE_j bezeichnet den Beginn eines Phasenübergangs $PÜ_{i,j}$ zwi-

schen einer endenden Phase i und der darauffolgenden Phase j . Wie **Bild 38** veranschaulicht, ist der früheste Phaseneinsatzpunkt ($\min. PE_2$) gleichbedeutend mit dem **Ende der Kernfreigabezeit** der auslaufenden Phase 1 und der späteste Phaseneinsatzpunkt ($\max. PE_2$) gleichbedeutend mit dem **Ende des Dehnungsbereiches** dieser Phase. Wegen der festen Dauer des Phasenübergangs ($PÜ 1.2$) sind damit auch gleichzeitig der frühest- und spätestmögliche Beginn der darauf folgenden Phase 2 – d.h. der Beginn des Dehnungsbereiches und der Beginn der Kernfreigabezeit – festgelegt.

Ab dem frühesten Phaseneinsatzpunkt ($\min. PE$) überprüft die Steuerungslogik im allgemeinen sekundlich, ob die Bedingungen für einen Abbruch der laufenden Phase und damit dem Beginn des entsprechenden Phasenübergangs erfüllt sind. Bei Erreichen des spätesten Phaseneinsatzpunktes ($\max. PE$) wird in jedem Fall der Phasenwechsel eingeleitet.

Für den vorzeitigen Abbruch einer Phase vor $\max. PE$ gilt:

- Die laufende Phase muss nicht mehr ausgelastet sein (d.h. es sind keine weiteren Kfz mehr vorhanden).
- Eine zweite Bedingung kann lauten, dass eine Anforderung für die nachfolgende Phase vorliegt.

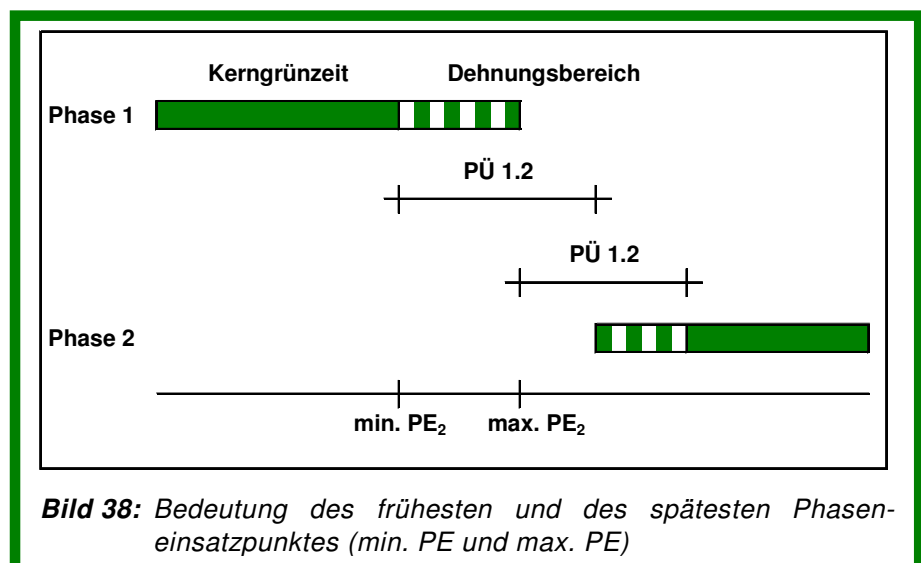


Bild 38: Bedeutung des frühesten und des spätesten Phaseneinsatzpunktes ($\min. PE$ und $\max. PE$)



Um diese Bedingungen überprüfen zu können, sind eine geeignete **Detektoranordnung** sowie geeignete **Detektormessgrößen** erforderlich. Im Abschnitt 4.5.7 „Detektoren“ finden sich detaillierte Informationen über Detektorarten, wichtige Kenngrößen des Verkehrsablaufs und die entsprechenden Detektormessgrößen. Nachfolgend werden stellvertretend für andere Detektorarten bei sämtlichen Beispielen und Darstellungen **Induktivschleifendetektoren** verwendet. Da Aufbau der Steuerung, Anordnung der Detektoren und Festlegung der als Steuerungsparameter zu verwendenden Detektormessgrößen und Schwellenwerte stark voneinander abhängen, werden sie hier im Zusammenhang behandelt.

Unter der Voraussetzung, dass die Detektoranordnung bereits feststeht und die Matrix der Zwischenzeiten vorliegt, erfolgt der **Aufbau einer Freigabezeitmodifikation** vereinfacht in den nachfolgend erläuterten Arbeitsschritten. Um die Abstimmung der einzelnen Arbeitsschritte untereinander darzustellen und mögliche Problemfelder bei einzelnen Schritten aufzuzeigen, soll dieser Ablauf nun am Beispiel demonstriert werden. Der Signalprogrammabrechnung werden die in **Bild 39** angegebenen Prognoseverkehrsstärken zugrunde gelegt:

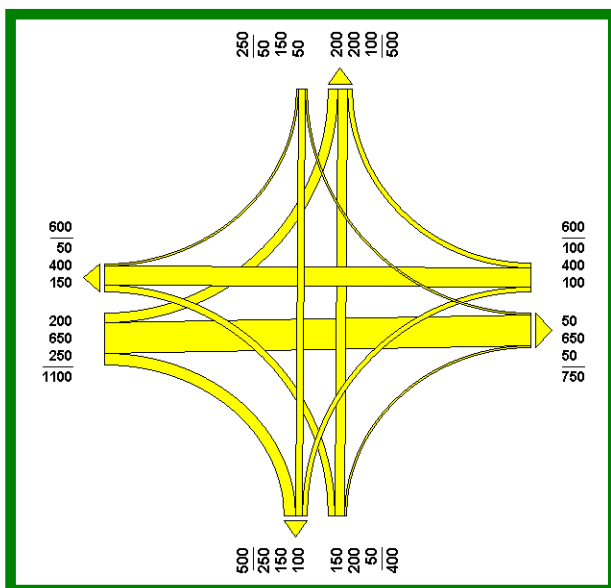


Bild 39: Prognoseverkehrsstärken in [Kfz/h]

Phaseneinteilung

Auch bei der Freigabezeitmodifikation ist es wichtig, möglichst ungefähr gleichstarke Verkehrsströme in einer Phase zusammenzufassen. Die logischen Bedingungen für einen Phasenwechsel sind im allgemeinen so formuliert, dass die Freigabezeiten aller Signalgruppen einer endenden Phase gleichzeitig abgebrochen werden. Große Differenzen der Verkehrsstärke würden zu sehr unterschiedlich stark ausgelasteten Freigabezeiten der entsprechenden Signalgruppen führen.

Unter der Vorgabe der 3-Phasigkeit erscheint keine andere Phaseneinteilung und Phasenfolge sinnvoll als die bereits für die Festzeitsteuerung gewählte (**Bild 34**).

Ein Problem hinsichtlich der Vorgabe, möglichst gleichstarke Verkehrsströme in einer Phase zusammenzufassen, stellt hier besonders Phase 1 dar: Die Verkehrsstärke (250 Kfz/h) der Signalgruppe K4 ist im Vergleich zur Verkehrsstärke der Signalgruppen K5 (650 Kfz/h) und K1 (500 Kfz/h) erheblich geringer. Würde man K4 die gleiche Freigabezeit zugestehen wie K5 und K1, so wäre diese nur zu rund 40 % ausgelastet. Dies stellt im Fall einer starken Fußgängerbeziehung F4 eine latente Gefahr für Rotlichtmissachtungen dar. Eine mögliche Lösung dieses Problems könnte beispielsweise bei der Festlegung logischer Bedingungen so realisiert werden, dass die Freigabezeit von K4 unabhängig von K5 und K1 schon vorzeitig zu einem festen Zeitpunkt abgebrochen wird.

Konstruktion der Phasenübergänge

Bei der Festzeitsteuerung resultierten die Phasenübergänge als abstrakte Zeitblöcke im Nacheinander aus dem fertigen Signalzeitenplan. Bei verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren sind sie dagegen vor der eigentlichen Signalprogrammabrechnung zu erstellen.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Aufgrund der Zwischenzeitenmatrix aus **Bild 22** ergeben sich hier die in **Bild 40** dargestellten Phasenübergänge.

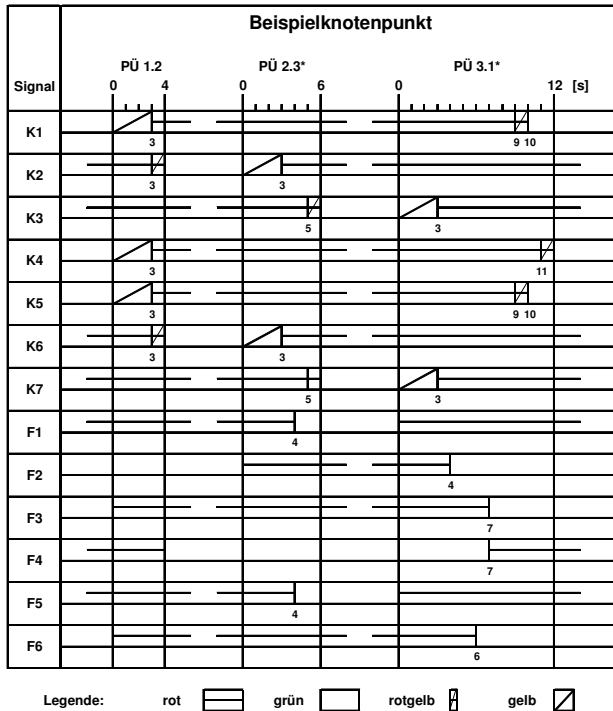


Bild 40: Phasenübergänge

Ein Problem stellt dabei der Phasenübergang PÜ 3.1 dar: Der späte Beginn der Kfz-Signalgruppen K1 und K5 ergibt sich aufgrund der einzuhaltenen Zwischenzeiten von jeweils 10 s zu den endenden Fußgänger-Signalgruppen F1 bzw. F5, zu den endenden Kfz-Signalgruppen K3 und K7 wären nur 7 s bzw. 6 s Zwischenzeit einzuhalten. In seiner obigen Form würde der Phasenübergang PÜ 3.1* daher zu einer unnötigen Erhöhung der Verlustzeiten und damit auch zu einem Verlust an Kapazität führen. Dies wäre mit einer Verringerung der Phasenzahl oder einer Erhöhung der Umlaufzeit zu kompensieren, womit mögliche Vorteile der verkehrsabhängigen Steuerung hinsichtlich Sicherheit und Wartezeit entfielen.

Eine weitere Möglichkeit zur Lösung des beschriebenen Problems besteht darin, die Fußgänger-Signalgruppen F1 und F5 unabhängig von den anderen Signalgruppen der gleichen Phase vorzeitig zu einem festen Zeitpunkt enden zu las-

sen. Dies ist beispielsweise – nur bei schwachem Fußgängeraufkommen sinnvoll – dadurch zu realisieren, dass die Mindestfreigabezeiten von F1 und F5 in den Phasenübergang PÜ 2.3 integriert werden und die beiden Fußgängersignalgruppen in der darauf folgenden Phase 3 gesperrt werden. Innerhalb des Phasenübergangs PÜ 3.1 müssen nun für die beginnenden Signalgruppen K1 und K5 nur noch die erforderlichen Zwischenzeiten zu den endenden Kfz-Signalgruppen K3 und K7 berücksichtigt werden. Aus diesen Überlegungen ergeben sich die Phasenübergänge PÜ 2.3 und PÜ 3.1 in ihrer endgültigen Form gemäß **Bild 42**.

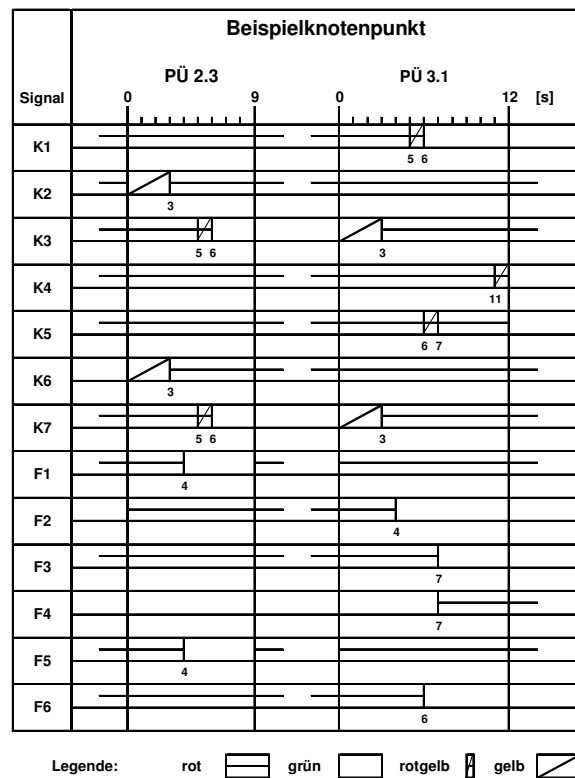
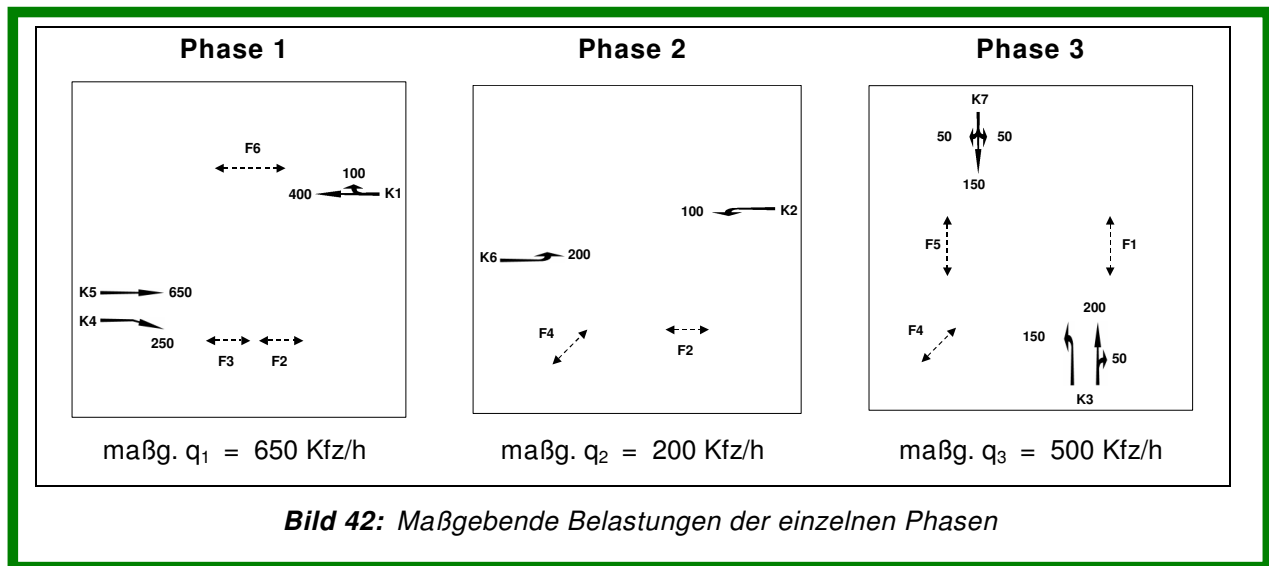


Bild 41: Angepasste Phasenübergänge PÜ 2.3 und PÜ 3.1

Berechnung der Umlaufzeit

Wegen maßg. $q = q_{60}$ ergeben sich die in **Bild 42** genannten maßgebenden Belastungen der einzelnen Phasen. Bei verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren werden anders als bei der Festzeitsteuerung die Freigabezeiten der Kfz-Signalgruppen einer Phase gemeinsam abgebrochen.



Daher ist der Umlaufzeitberechnung nicht die maximale Belastungssumme zueinander kritischer Verkehrsströme (siehe AKF-Verfahren) zugrunde zu legen, sondern die Summe der maßgebenden Belastungen einer jeden Phase:

$$\Sigma \text{maßg. } q = 650 + 200 + 500 = 1350 \text{ Kfz/h}$$

Die Summe der Verlustzeiten ergibt sich hier aus der Summe der maßgebenden Zwischenzeiten. Sie lassen sich aus den jeweiligen Phasenübergängen entnehmen als die Zeitpunkte, zu denen die maßgebenden Ströme einer jeden Phase freigegeben werden:

- PÜ 1.2: $t_z(K1/K6) = 4 \text{ s}$
- PÜ 2.3: $t_z(F2/K3) = 6 \text{ s}$
- PÜ 3.1: $t_z(K5/K7) = 7 \text{ s}$

Hiermit ergibt sich $\Sigma t_z = 4 \text{ s} + 6 \text{ s} + 7 \text{ s} = 17 \text{ s}$.

Mit einem Zeitbedarfswert von t_B von 1,8 s/Kfz folgt:

$$\text{erf. } t_{Gr} = \frac{17 \text{ s}}{1 - 1350/2000} = 52,3 \text{ s}$$

Es soll nun versucht werden, mit einer Umlaufzeit von gew. $t_U = 60 \text{ s}$ zu arbeiten. Allerdings bleibt vorerst offen, ob dies unter Einhaltung aller Restriktionen tatsächlich möglich ist.

Berechnung der Mindestfreigabezeiten für Fahrzeugsignalgruppen und Fußgänger-signalgruppen

Für **Fußgänger** ergeben sich aufgrund der Länge der Furten die Mindestfreigabezeiten von **min. $t_{Gr} = 5 \text{ s}$** für jede Signalgruppe.

Für die **Kfz-Signalgruppen** ist das Problem der Mindestfreigabezeiten **schwieriger** zu behandeln. Anders als bei der Festzeitsteuerung, für die erforderliche Freigabezeiten zu berechnen waren, geht es hier darum, **Anhaltswerte** zu finden, auf die bei der Festlegung der frühesten und spätesten Phaseinsatzpunkte zurückgegriffen werden kann.

Als Mindestfreigabezeiten für die Kfz-Signalgruppen wären unabhängig von den Prognoseverkehrsstärken der einzelnen Ströme **lediglich 5 s** anzusetzen, da eine **Verlängerung** der Freigabezeit **in Abhängigkeit von der aktuellen Auslastung** möglich ist.

Allerdings sind zusätzlich die Zusammenhänge zwischen den Mindestfreigabezeiten und der **Detektoranordnung** zu beachten. Wird – wie in den meisten Fällen üblich – die Auslastung durch Zeitlückenmessung überprüft, so sollte entsprechend den RiLSA (FGSV 1992) gewährleistet sein, dass die während der Sperrzeit ankommenden Fahr-



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

zeuge zwischen der Haltlinie und dem Detektor zur Zeitlückenmessung während der Freigabezeit **vollständig abfließen** können (siehe **Bild 43**).

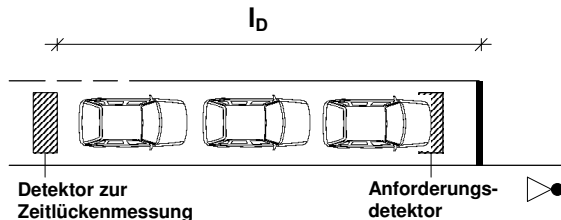


Bild 43: Lage des Detektors zur Zeitlückenmessung (Hinweis: Der Anforderungsdetektor kann entfallen, wenn die Freigabezeit auch ohne Anforderung schnellstmöglich geschaltet wird)

Nimmt man die durchschnittliche Aufstelllänge pro Fahrzeug mit $l_{Fz} = 6 \text{ m}$ an, so ergibt sich näherungsweise die Anzahl gestauter Fahrzeuge zwischen Haltlinie und Detektor zu:

$$n_{Fz} = \frac{l_D}{6 \text{ m}}$$

Setzt man den Zeitbedarfswert mit $t_B = 1,8 \text{ s/Kfz}$ an, so ergibt sich als **Mindestfreigabezeit aufgrund der Detektorlage**:

$$\min. t_{Gr}^* = n_{Fz} \cdot t_B = \frac{l_D}{6 \text{ m}} \cdot 1,8 \text{ s}$$

Bei $l_D = 40 \text{ m}$ (empfohlener Detektorabstand bei $v_{zul} = 50 \text{ km/h}$ und einem Zeitlückenkriterium ZS von 3 s) ergäbe sich die erforderliche Mindestfreigabezeit zu:

$$\min. t_{Gr}^* = \frac{40}{6} \cdot 1,8 \text{ s} = 12 \text{ s}$$

Es ist offensichtlich, dass ein verkehrsabhängiges Steuerungsverfahren unter Einhaltung solcher Restriktionen bei schwachen Strömen sehr unflexibel wird und mögliche Vorteile gegenüber einer Festzeitsteuerung einbüßt.

Die Überprüfung des Zeitlückenkriteriums an einer eventuell vorhandenen Anforderungsschleife als Alternative zu dieser Mindestfreigabezeit $\min. t_{Gr}^*$ ist in der Regel nicht sinnvoll, da hierdurch teilweise unausgelastete Freigabezeiten entstehen können, die sich kapazitätsmindernd auswirken.

Das Problem bei schwachen Verkehrsströmen kann dadurch gelöst werden, indem das Vorhandensein von Fahrzeugen zwischen Haltlinie und Zeitlückendetektor durch eine **Langschleife** zu überprüfen. Da es sich hier im Prinzip um die Erfassung von Weglücken handelt, wird an den Langschleifen mit sehr kleinen Zeitlückenschwellenwerten gearbeitet. Zwei mögliche Konfigurationen für die Anordnung von Induktivschleifen sind unter Angabe der abgefragten Zeitlückenkriterien in **Bild 44** aufgeführt.

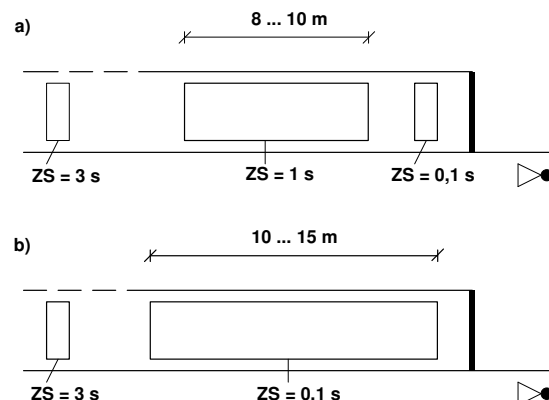


Bild 44: Stauraumüberwachung durch Langschleifen

Zwar sind noch andere Lösungsansätze denkbar, wie das Übergeben der Zeitlückenabfrage vom Haltlinien-Detektor an den Bemessungs-Detektor nach Ablauf von $\min. t_{Gr}^*$, jedoch kann der Einsatz von Langschleifen wohl als die effektivste – allerdings auch teure – Lösung angesehen werden.

Unter der Annahme, dass eine geeignete Detektoranordnung vorliegt, brauchen also bei der Festlegung der frühesten Phaseneinsatzpunkte nur Kfz-Mindestfreigabezeiten von 5 s berücksichtigt zu werden. Für die Festlegung der **spätesten**



Phaseneinsatzpunkte, durch die ja die maximale Freigabezeitverlängerung vorgegeben wird, ist es notwendig, die **erforderlichen Freigabezeiten** zu kennen, die den Prognoseverkehrsstärken entsprechen. Man muss bezüglich des Signalprogrammablaufs folgende Überlegung anstellen: Wären alle Verkehrsströme voll ausgelastet, so würde keine laufende Phase mehr vorzeitig abgebrochen und jeder Phasenübergang erst zum spätest möglichen Zeitpunkt eingeleitet. Der Ablauf würde dem einer Festzeitsteuerung entsprechen.

In diesem Fall müsste gewährleistet sein, dass die hieraus resultierenden Kfz-Freigabezeiten zumindest den erforderlichen Freigabezeiten entsprechen. Diese ergeben sich nach der Gleichung:

$$erf. t_{Gr} = t_U \cdot \frac{maßg. q}{q_S}$$

Mit $t_U = 60$ s und $q_S = 2\,000$ Kfz/h folgt für die einzelnen Signalgruppen:

Signalgruppe	maßg. q [Kfz/h]	erf. t_{Gr} [s]	aufgerundete Werte bzw. Mindestfreigabezeiten [s]
K1	500	15,0	15
K2	100	3,0	5
K3	500	15,0	15
K4	250	7,5	8
K5	650	19,5	20
K6	200	6,0	6
K7	500	15,0	15

Bild 45: Erforderliche Freigabezeiten für die Fahrzeug-Signalgruppen

Wie schon bei den Mindestfreigabezeiten handelt es sich auch bei den erforderlichen Freigabezeiten um Anhaltswerte, die in die nachfolgenden Arbeitsschritte eingehen.

Festlegung der frühesten und spätesten Phaseneinsatzpunkte (min. PE_j , max. PE_j)

Zu beachten sind folgende Randbedingungen:

- Einhaltung der Umlaufzeit von $t_U = 60$ s,
- Dauer der Phasenübergänge,
- Berücksichtigung der Mindestfreigabezeiten bei der Festlegung von min. PE_j ,
- Berücksichtigung der erforderlichen Freigabezeiten für volle Auslastung bei der Festlegung von max. PE_j sowie
- Berücksichtigung der Zwischenzeiten zwischen den endenden Fußgänger-Signalgruppen F1 und F5 und den beginnenden Fahrzeug-Signalgruppen K1 und K5, da diese in keinem Phasenübergang abgearbeitet werden.

Die weitere Vorgehensweise lässt sich vereinfacht wie folgt beschreiben:

- Festlegung eines Bezugszeitpunktes.

Festlegung:

Zum Zeitpunkt $t = 0$ beginnt die Kernfreigabezeit von Phase 1.

Konsequenz:

Damit liegt das spätest mögliche Ende der vorangehenden Phase 3 (max. PE_1) ebenfalls fest. Da $t_U = 60$ s und PÜ 3.1 hier 12 Sekunden dauert, ist max. $PE_1 = 48$ s.

- Vorläufige Festlegung aller min. PE_j und max. PE_j ab dem Bezugszeitpunkt in chronologischer Reihenfolge unter Beachtung obiger Vorgaben.

Das frühestmögliche Ende der Phase 1 kann ausgehend vom spätest möglichen Beginn der Phase 1 zum Zeitpunkt $t = 0$ unter Einhaltung der Mindestfreigabezeiten von Fußgänger- und Fahrzeug-Signalgruppen 5 Sekunden später erfolgen. Der früheste Phaseneinsatzpunkt für die nachfolgende Phase 2 wird daher auf **min. $PE_2 = 5$ s** gesetzt. Die größte erforderli-



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

che Freigabezeit einer Signalgruppe der Phase 1 beträgt 17 Sekunden (K5). Da diese Signalgruppe zudem bereits 5 Sekunden vor Ende des Phasenübergangs PÜ 3.1 die Freigabe erhält, wird der späteste Phaseneinsatzpunkt für Phase 2 auf **max. PE₂ = 15 s** (= 20 - 5) gesetzt.

Der Beginn der Kernfreigabezeit von Phase 2 liegt wegen der Dauer des Phasenübergangs PÜ 1.2 von 4 Sekunden bei t = 19 s. Da die Mindestfreigabezeit 5 s für alle Signalgruppen der Phase 2 und die größte erforderliche Freigabezeit 6 s (K6) beträgt, wird vorläufig der früheste Phaseneinsatzpunkt für Phase 3 auf **min. PE₃ = 24 s** und der späteste Phaseneinsatzpunkt auf **max. PE₃ = 25 s** gesetzt. Dieser Verzicht auf Flexibilität entspricht nicht den Grundsätzen der verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerung. Er kann gegebenenfalls dann korrigiert werden, wenn nach vorläufiger Festlegung aller Phaseneinsatzpunkte noch Spielraum vorhanden ist.

Die Dauer des Phasenübergangs PÜ 2.3 von 9 Sekunden legt den Beginn der Kernfreigabezeit von Phase 3 auf t = 34 s (= 25 + 9) fest. Da im Phasenübergang bereits 3 Sekunden Freigabezeit für die Kfz-Signalgruppen K3 und K7 enthalten sind, würde der früheste Phaseneinsatzpunkt unter Berücksichtigung der Mindestfreigabezeit normalerweise auf min. PE₁ = 36 s festgelegt. Da aber zusätzlich die Zwischenzeiten t_z(F1/K1) und t_z(F5/K5) von jeweils 10 Sekunden einzuhalten sind, kann der Phasenübergang PÜ 3.1 frühestens 4 Sekunden nach Ablauf des Phasenübergangs PÜ 2.3 eingeleitet werden. So ergibt sich **min. PE₁ = 38 s** (= 34 + 4).

Der späteste Phaseneinsatzpunkt **max. PE₁ = 48 s** wurde bereits am Anfang festgelegt. Zur Einhaltung von erf. t_{Gr,3} = 15 s würde es aber genügen, das Ende der Dehnzeit von Phase 3 auf **max. PE₁ = 46 s** (= 31 + 15) festzulegen.

- Kontrolle, ob die Umlaufzeit t_U nicht überschritten wird und anschließende Feinabstimmung bzw. Neubearbeitung

Diese Punkte können hier problemlos zusammengefasst werden. Wie sich bei der Festlegung von max. PE₁ zeigte, gewährleistet bereits eine Umlaufzeit von 58 s (= 46 + 12) die Berücksichtigung aller Restriktionen, so dass eine Neubearbeitung entfallen kann.

Der verbleibende Spielraum von 2 s wird zugunsten des Dehnungsbereiches von Phase 2 genutzt. Damit verschieben sich die Werte max. PE₃, min. PE₁ und max. PE₁ um jeweils 2 s gegenüber den anfangs festgelegten Werten. Aus den nunmehr endgültig festgelegten bzw. berechneten Werten min. PE_j und max. PE_j resultieren die in **Bild 46** dargestellten "Grünerlaubnisbereiche" (tatsächlich: mögliche Zeitbereiche, während derer die einzelnen Phasen aufgeschaltet werden können).

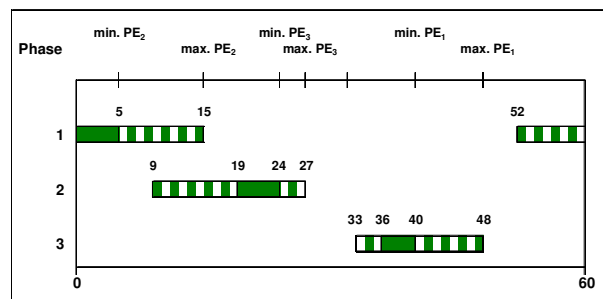


Bild 46: Aufschaltbereiche der einzelnen Phasen [s]



Festlegung der Bedingungen für einen Phasenwechsel

In diesem Schritt ist die Steuerlogik für das verkehrsabhängige Signalprogramm zu erstellen. Beim Ablauf der Logik sind folgende zwei Vorgaben zu beachten:

- während einer **Phase** ist zu prüfen, ob diese Phase beibehalten werden kann oder ob ein Phasenübergang einzuleiten ist
- ein **Phasenübergang** ist bis zum Ende abzuarbeiten.

Bei den zu prüfenden Bedingungen für einen Phasenwechsel unterscheidet man zwischen **zeitlichen** und **logischen Bedingungen**. Die **zeitlichen** Bedingungen werden **zuerst** geprüft. Sie stecken die Zeitbereiche ab, innerhalb derer Phasenwechsel überhaupt möglich sind. Nur innerhalb dieser Zeitbereiche werden **anschließend** die **logischen** Bedingungen für einen Phasenwechsel geprüft. Hierbei werden im allgemeinen Detektorwerte abgefragt, um Informationen über die Auslastung der laufenden Phase und Anforderungen für gesperrte Phasen zu erhalten.

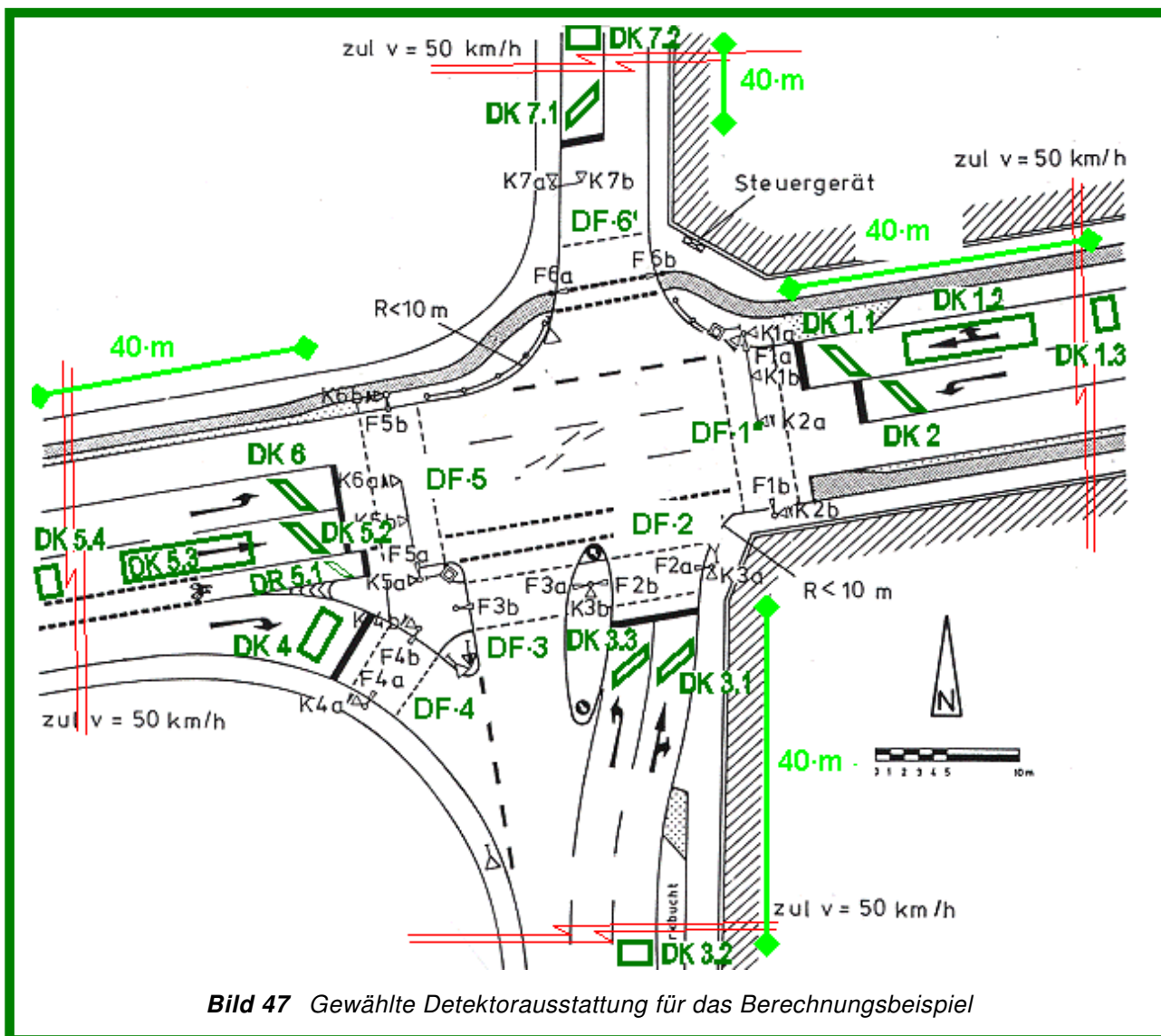


Bild 47 Gewählte Detektorausstattung für das Berechnungsbeispiel



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Wenn die **Mindestfreigabezeiten** nicht in den Phasenübergängen enthalten sind, muss vor einem Phasenabbruch zusätzlich geprüft werden, ob sie abgelaufen sind.

Im Fall der Freigabezeitmodifikation sind die zeitlichen Bedingungen vollständig durch die frühesten und spätesten Phaseneinsatzpunkte vorgegeben: Ab $\min. PE_j$ werden die logischen Bedingungen für einen Wechsel in Phase j geprüft. Zum Zeitpunkt $\max. PE_j$ wird definitiv der entsprechende Phasenübergang PÜ i,j eingeleitet. Zur Festlegung der logischen Bedingungen muss die Detektorkonfiguration bekannt sein.

Beispielhaft wird für die Fahrzeug-Signalgruppen die in **Bild 47** dargestellte Detektorausstattung gewählt. Zusätzlich sei jede Fußgänger-Signalgruppe mit Druckdetektoren zur Freigabezeitanforderung ausgestattet.

Die Überprüfung der Bedingungen für einen Phasenwechsel soll nun am Beispiel des in **Bild 48** gezeigten Wechsels von Phase 1 zu Phase 2 erläutert werden. Dieser Ausschnitt aus der Steuerungslogik enthält folgende Informationen:

- Ist der früheste Phaseneinsatzpunkt von Phase 2 ($\min. PE_2 = 5 \text{ s}$) noch nicht erreicht, so wird Phase 1 beibehalten.
- Ist der späteste Phaseneinsatzpunkt von Phase 2 ($\max. PE_2 = 15 \text{ s}$) erreicht, so wird **ohne Prüfung logischer Bedingungen** der Phasenübergang PÜ 1.2 zu Phase 2 eingeleitet.

- Im Zeitbereich zwischen frühestem und spätestem Phaseneinsatzpunkt von Phase 2 ($5 \text{ s} \leq t < 15 \text{ s}$) muss noch anhand näher zu bestimmender logischer Bedingungen – angedeutet durch den gestrichelten Kreis – entschieden werden, ob ein Phasenwechsel eingeleitet wird oder nicht.

Die logischen Bedingungen für einen Wechsel von Phase 1 zu Phase 2 lassen sich vereinfacht wie folgt festlegen: Ist **keine Fahrzeug-Signalgruppe** der Phase 1 **mehr ausgelastet** und **fordert mindestens eine Signalgruppe** der Phase 2 die Freigabezeit **an**, so wird der Phasenübergang PÜ 1.2 aufgerufen. Konkret bedeutet dies:

- An den zur Zeitlückenmessung vorgesehenen Detektoren (DK) der Fahrzeug-Signalgruppen (K1, K4 und K5) müssen die Schwellenwerte überschritten sein. Werden Zeitlückenschwellenwerte (ZS) für Langschleifen von 0,1 Sekunden und für Kurzschleifen von 3 Sekunden gewählt und wird berücksichtigt, dass es sich bei DR 5.1 um einen reinen Anforderungsdetektor für Radfahrer handelt, so müssen alle folgenden Bedingungen erfüllt sein (ZL = Zeitlücke):

- $ZL [DK 1.1] \geq 0,1 \text{ s}$
- $ZL [DK 1.2] \geq 3,0 \text{ s}$
- $ZL [DK 4] \geq 0,1 \text{ s}$
- $ZL [DK 5.2] \geq 0,1 \text{ s}$
- $ZL [DK 5.3] \geq 3,0 \text{ s}$

- Zudem sind die Anforderungsdetektoren der Signalgruppen K2, K6 und F4 abzufragen. Definiert man das Registrieren bzw. Nichtregistrieren einer Anforderung mit $A = 1$ bzw. $A = 0$, so muss eine der folgenden Bedingungen erfüllt sein:

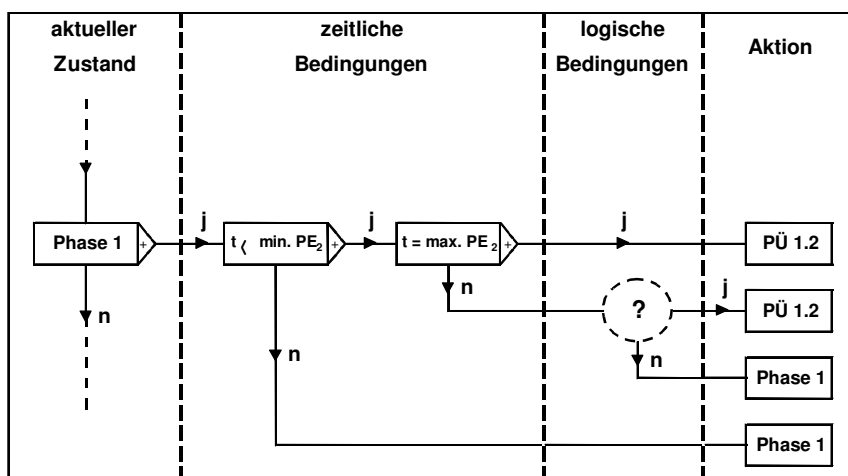


Bild 48: Bedingungen für einen Wechsel von Phase 1 zu Phase 2



- A [DK 2] = 1
- A [DF 4] = 1
- A [DK 6] = 1

Verwendet man die logischen Symbole:

- "&" ("und"), wenn mehrere Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein müssen bzw.
- "v" ("oder"), wenn nur eine von mehreren Bedingungen erfüllt sein muss,

so lassen sich die logischen Bedingungen für einen Wechsel von Phase 1 in Phase 2 wie folgt darstellen:

$$\begin{aligned} & \{(ZL [DK 1.1] \geq 0,1) \\ \wedge & (ZL [DK 1.2] \geq 3,0) \\ \wedge & (ZL [DK 4] \geq 0,1) \\ \wedge & (ZL [DK 5.2] \geq 0,1) \\ \wedge & (ZL [DK 5.3] \geq 3,0)\} \\ \wedge & \{(A [DK 2] = 1) \\ \vee & (A [DK 6] = 1) \\ \vee & (A [DF 4] = 1)\} \end{aligned}$$

Da die Aufzählung jeder einzelnen Bedingung bei Darstellung der Logik in Form eines Flussdiagramms schnell zu einem Verlust der Übersichtlichkeit führt, werden logische Bedingungen auch gern gruppenweise zusammengefasst. Im vorliegenden Beispiel könnte man etwa die Zeitlückenabfragen und die Überprüfung auf Freigabezeitanforderungen in jeweils einer Gruppe zusammenfassen und als "logische Bedingung 1 bzw. 2" bezeichnen (L1 bzw. L2):

$$\begin{aligned} L1: & = \{(ZL [DK 1.1] \geq 0,1) \wedge \dots \} \\ L2: & = \{(A [DK 2] = 1) \vee \dots \} \end{aligned}$$

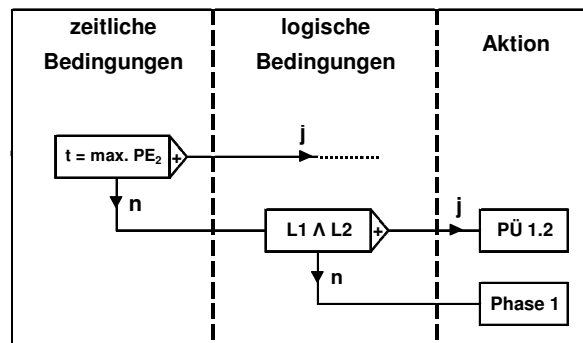


Bild 49: Ergänzung des Flussdiagramms um logische Bedingungen

Das Flussdiagramm aus **Bild 48** kann nun wie in **Bild 49** dargestellt ergänzt werden.

Definiert man als logische Bedingung für einen

- Phasenwechsel von Phase 2 zu Phase 3:

$$\begin{aligned} L3: & = \{(ZL [DK 2] \geq 0,1) \wedge (ZL [DK 6] \geq 0,1)\} \\ L4: & = \{(A [DF 1] = 1) \vee (A [DK 3.1] = 1) \\ & \vee (A [DK 3.3] = 1) \vee (A [DF 5] = 1) \\ & \vee (A [DK 7.1] = 1)\} \end{aligned}$$

- - Phasenwechsel von Phase 3 zu Phase 1:

$$\begin{aligned} L5: & = \{(ZL [DK 3.1] \geq 0,1) \wedge (ZL [DK 3.2] \geq 3,0) \\ & \wedge (ZL [DK 3.3] \geq 0,1) \wedge (ZL [DK 7.1] \geq 0,1) \\ & \wedge (ZL [DK 7.2] \geq 3,0)\} \\ L6: & = \{(A [DK 1.1] = 1) \vee (A [DF 2] = 1) \\ & \vee (A [DF 3] = 1) \vee (A [DK 4] = 1) \\ & \vee (A [DR 5.1] = 1) \vee (A [DK 5.2] = 1) \\ & \vee (A [DF 6] = 1)\} \end{aligned}$$

und berücksichtigt zusätzlich den vorzeitigen Freigabezeitabbruch der Fußgänger-Signalgruppen F1 und F5 zu $t = 36$ s, so lässt sich die gesamte Logik wie in **Bild 50** darstellen.

Diese Darstellung entspricht der Darstellungsart B der RiLSA (FGSV 1992). Aufbau und Symbolik bedürfen einiger kommentierender Anmerkungen:



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- Die Logik wird im Steuergerät sekundlich beginnend mit "Start" durchlaufen. Ausgehend vom aufgeschalteten Signalisierungszustand wird zunächst aufgrund der zeitlichen Bedingungen und gegebenenfalls anschließend aufgrund von Detektorinformationen über den Verkehrsablauf ("logische Bedingungen") darüber entschieden, ob der bisherige Zustand beibehalten oder geändert wird; letzteres ist gleichbedeutend mit dem Aufruf eines Phasenübergangs.
- Die Entscheidungselemente sind durch eine Spitze rechts gekennzeichnet, die eine positive Beantwortung der Abfrage symbolisiert. Bejahung von Abfragen führt dementsprechend zum weiteren Durchlaufen der Logik nach rechts, Verneinung zu einem weiteren Durchlaufen nach unten.
- Wird die laufende Phase beibehalten, so wird unter "Aktion" darauf verzichtet, diese Phase nochmals explizit zu nennen. Die aufgeführten Aktionen bedeuten stets eine Änderung des bestehenden Zustands.
- Hinter einer Aktion "PÜ i,j" wird in der Regel auch die Dauer des Phasenübergangs vermerkt. Während dieser Zeitspanne braucht die Logik nicht durchlaufen, sondern nur der dem Phasenübergang PÜ i,j entsprechende Zeitblock abgearbeitet zu werden.

Natürlich bilden die logischen Bedingungen, wie sie im Rahmen dieses Beispiels festgelegt wurden, nur eine Möglichkeit unter vielen: Es kann unter Umständen auch sinnvoll sein, einen Phasenwechsel unabhängig von eventuellen Freigabezeitenanforderungen bereits dann einzuleiten, wenn die laufende Phase nicht mehr ausgelastet ist, oder aber aufgrund einer Anforderung in jedem Fall die Phase zu wechseln.

Mit der Fertigstellung der Steuerungslogik ist das Beispiel zur Freigabezeitmodifikation im Prinzip abgeschlossen. Es sei deutlich darauf hingewiesen, dass hier bewusst kein geschöntes Beispiel verwendet wurde, um vorzutäuschen, dass es zu jeder Problemstellung genau eine richtige Lösung gibt. Anhand des Beispiels sollte im Gegenteil gezeigt werden, dass:

- es bei nahezu jedem Arbeitsschritt mehrere Entscheidungsmöglichkeiten mit jeweils unterschiedlichen Vorteilen bzw. Nachteilen,
- die verschiedenen Arbeitsschritte stark miteinander verknüpft sind und
- bei verkehrabhängigen Steuerungen oftmals "der Teufel im Detail steckt": Wenn Teilprobleme schlecht gelöst werden, können damit schnell mögliche Vorteile verkehrabhängiger Verfahren zunichte gemacht werden.

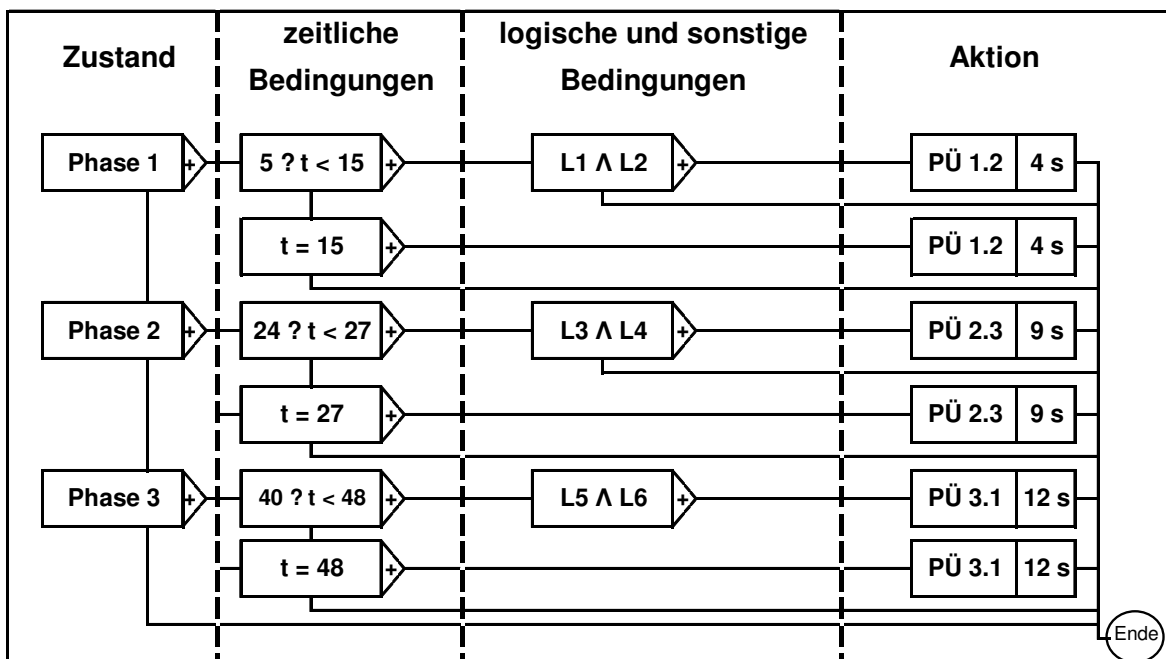


Bild 50: Steuerungslogik nach Darstellungsart B der RiLSA (FGSV 1992)



4.5.5.4 Bedarfsphasenanforderung

Grundlegender Unterschied zur Freigabezeitmodifikation ist, dass hier Phasen nur bei Bedarf geschaltet werden. Dieser wird erkannt durch Freigabezeitenanforderung durch die Verkehrsteilnehmer. Als Folge setzt diese Steuerungsart entsprechende Erfassungseinrichtungen voraus: Anforderungsschleifen für Kfz und Räder, i.d.R. Drucktaster für Fußgänger und Radfahrer.

Der einfachste Fall einer Bedarfsphasenanforderung ist derjenige, in welchem die Bedarfsphase an einer festen Stelle innerhalb der Phasenfolge eingefügt wird (**Bild 51**).

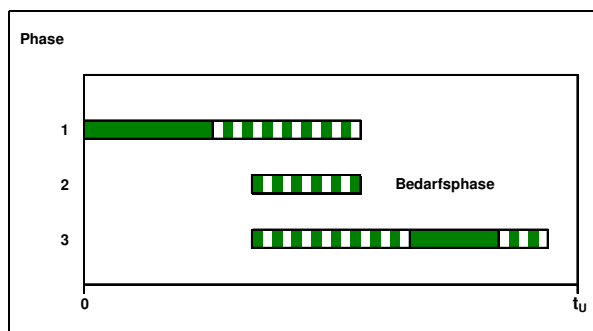


Bild 51: Aufschaltbereiche der einzelnen Phasen bei einer Bedarfsphasenanforderung (Prinzipiskizze)

Der Vorteil dieses Steuerungsverfahrens besteht darin, überflüssige **Verlustzeiten** durch Phasenwechsel zu **vermeiden**, wenn einzelne Phasen nicht immer erforderlich sind, weil sie nur sehr schwach ausgelastet sind.

Die Abfolge der Arbeitsschritte beim Aufbau einer Bedarfsphasenanforderung entspricht derjenigen bei der Freigabezeitmodifikation, nur dass beim Phasenfolgeplan die erlaubten Phasenübergänge gekennzeichnet werden müssen. Dieser Ablauf soll im folgenden am bekannten Beispielknotenpunkt abgearbeitet werden. Dabei werden alle Arbeitsschritte mit wesentlichen Unterschieden zur Freigabezeitmodifikation näher betrachtet.

Phaseneinteilung

Die Phaseneinteilung wird vom Beispiel Freigabezeitmodifikation übernommen. Die Kfz-Signalgruppen der Phase 2 (K2 und K6) seien sehr schwach ausgelastet, Phase 2 wird deshalb als Bedarfsphase definiert. Daraus ergibt sich der in **Bild 52** dargestellte Phasenfolgeplan.

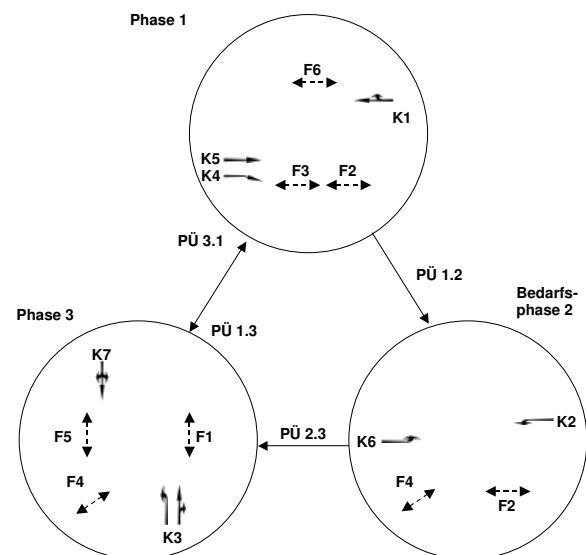


Bild 52: Phasenfolgeplan für das Beispiel Bedarfsphasenanforderung

Konstruktion der Phasenübergänge

Die Phasenübergänge PÜ 1.2, PÜ 2.3 und PÜ 3.1 können vom Beispiel Freigabezeitmodifikation übernommen werden. Neu hinzu kommt der Phasenübergang PÜ 1.3. Auch hier werden aus den gleichen Überlegungen wie bei der Freigabezeitmodifikation die Mindestfreigabezeiten für die Signalgruppen F1 und F5 integriert.



Berechnung der Umlaufzeit sowie Berechnung der Mindestfreigabezeiten für Fahrzeug-Signalgruppen und Fußgänger-Signalgruppen

Da bei diesem Beispiel zur Vermeidung unnötigen Rechenaufwandes keine Verkehrsstärken vorgegeben werden, kann auch die Umlaufzeit nicht explizit berechnet werden. Sie wird der Einfachheit halber auf 50 s festgesetzt. Ebenso wenig können erforderliche Freigabezeiten für die Kfz-Signalgruppen berechnet werden.

Es wird lediglich angenommen, dass Phase 1 und Phase 2 ungefähr gleich ausgelastet sind, so dass möglichst gleiche Freigabezeitanteile für beide Phasen anzustreben sind. Phase 2 soll auf Anforderung mit einer Mindestfreigabezeit von 5 Sekunden ohne Verlängerungsmöglichkeit eingeschoben werden.

Festlegung der frühesten und spätesten Phaseneinsatzpunkte

Bei der Festlegung der frühesten und spätesten Phaseneinsatzpunkte sind einige Besonderheiten der Bedarfsphasenanforderung zu beachten:

- Von Phase 1 aus sind zwei Phasenübergänge möglich, so dass hier sowohl für den Fall "Phase 2 folgt" als auch für den Fall "Phase 3 folgt" jeweils die Phaseneinsatzpunkte min. PE und max. PE festzulegen sind.
- Die Phaseneinsatzpunkte min. PE₂ und max. PE₂ sind nur für den Fall von Bedeutung, dass rechtzeitig eine Anforderung aus Phase 2 vorliegt. Das Erreichen von max. PE₂ bedeutet, anders als bei der Freigabezeitmodifikation, nicht automatisch, dass nun ein Wechsel zu Phase 2 folgt.
- Die Phase 3 kann von Phase 1 und von Phase 2 aus erreicht werden. Dennoch ist es nicht erforderlich, auch von Phase 2 aus die frühesten und spätesten Phaseneinsatzpunkte min. PE₃ und max. PE₃ zu definieren, da der Phasenübergang PÜ 2.3 automatisch nach Ablauf der Mindestfreigabezeit von Phase 2 einsetzt.

Eine mögliche Festlegung aller Phaseneinsatzpunkte und der daraus resultierenden Aufschaltbereiche gibt **Bild 53** wieder.

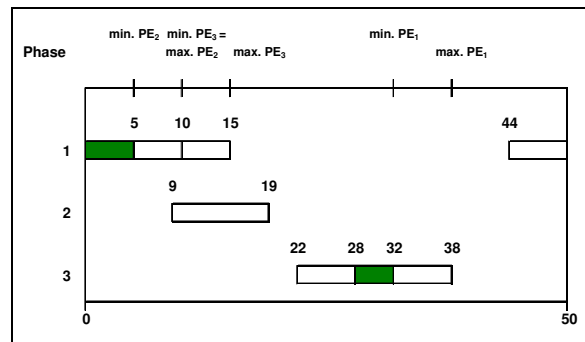


Bild 53: Aufschaltbereiche mit frühesten und spätesten Phaseneinsatzpunkten der einzelnen Phasen [s]

Kommentar

Zunächst wurde wieder der Beginn der Kernfreigabezeit von Phase 1 auf $t = 0$ s als Bezugszeitpunkt festgelegt. Der Phasenübergang PÜ 1.2 kann frühestens zum Zeitpunkt $t = 5$ s zur Bedarfsphase 2, spätestens aber bis $t = 10$ s eingeleitet werden. Entsprechend der Dauer von PÜ 1.2 (4 s) beginnt Phase 2 dann zwischen $t = 9$ s und $t = 14$ s und endet definitiv nach 5 s.

Daher wird der Phasenübergang PÜ 2.3 - falls Phase 2 zum Einsatz kommt - zwischen $t = 14$ s und $t = 19$ s eingeleitet, so dass wegen der Dauer von PÜ 2.3 (9 s) Phase 3 zwischen $t = 23$ s und $t = 28$ s (Beginn der Kernfreigabezeit) beginnt. Von Phase 1 aus kann der Phasenübergang zu Phase 3 zwischen $t = 10$ s und $t = 15$ s eingeleitet werden. Wegen der Dauer von PÜ 1.3 (12 s) beginnt Phase 3 dann zwischen $t = 22$ s und $t = 27$ s. Aufgrund der Zwischenzeiten t_z (F1/K1) und t_z (F5/K5) von jeweils 10 Sekunden kann der Phasenübergang PÜ 3.1 frühestens 4 Sekunden nach Ende des Phasenübergangs PÜ 2.3 eingeleitet werden. Hieraus ergibt sich der früheste Phaseneinsatzpunkt min. PE₁ zu 32 s



(= 28 s + 4 s). Der späteste Phaseneinsatzpunkt max. PE₁ ist wegen der Dauer von PÜ 3.1 (12 s) und des spätesten Beginns von Phase 1 zu t = 0 s ohnehin schon auf t = 38 s (= t_U - 12 s) festgelegt.

Für den Fall, dass Phase 2 nicht angefordert wird, resultieren die in **Bild 54** angegebenen Umschaltbereiche der Phasen 1 und 3.

Der Vorteil der Bedarfsphasenanforderung wird hier offensichtlich: Während im Fall der angeforderten Bedarfsphase der Freigabezeitanteil der Phasen 1 und 3 an der Umlaufzeit 58 % beträgt, steigt er im Fall der nicht angeforderten Bedarfsphase auf 74 %.

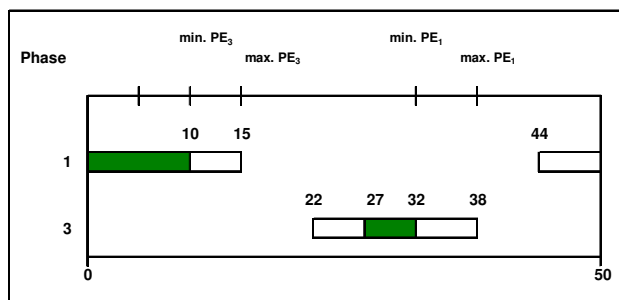


Bild 54: Umschaltbereiche der Phasen 1 und 3 bei nicht angeforderter Bedarfsphase [s]

4.5.5.5 Signalprogrammbildung

Verfahren der Signalprogrammbildung werden nach dem **Signalisierungsgrundzustand** benannt, der für sie charakteristisch ist. Als Signalisierungsgrundzustand bezeichnet man diejenige Signalisierung, die dann aufgeschaltet wird, wenn keinerlei Anforderung irgendeiner Fahrzeug- oder Fußgänger-Signalgruppe vorliegt. Wichtigste Verfahren der Signalprogrammbildung sind:

- Haupttrichtung-Dauergrün,
- Alles-Rot-/Sofort-Grün und
- Beibehaltung des letzten Signalisierungszustands.

Bei Verfahren der Signalprogrammbildung sind alle Signalprogrammelemente variabel. Es **entfallen** somit die Elemente **Umlaufzeit, Freigabezeitdauer, Phasenfolge und Phasenanzahl**. Zwar gibt es eine **feste Anzahl möglicher Phasen**, jedoch hängt es vollständig vom aktuellen Verkehrszustand ab, ob, in welcher Reihenfolge und wie lange sie aufgeschaltet werden.

Charakteristische Elemente der Verfahren der Signalprogrammbildung sind neben dem Signalisierungsgrundzustand:

- **minimale** und **maximale Freigabezeit** (gegebenenfalls maximale Sperrzeit) einer jeden Phase (mit Ausnahme der Alles-Rot-Phase)
- ggf. **maximale Wartezeiten** und
- **Prioritätenreihung** der Phasen.

Bei der Signalprogrammbildung müssen alle Verkehrsströme, die das Signalprogramm beeinflussen sollen, durch Detektoren erfasst werden. Der Abstand der Detektoren richtet sich nach dem verwandten Verfahren und sollte immer so festgelegt werden, dass eine schnelle Reaktion auf eine Anforderung möglich sein kann.

Die **minimale Freigabezeit** sollte aus Gründen der Wahrnehmbarkeit 5 Sekunden nicht unterschreiten.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Unter der **maximalen Freigabezeit** $\max. t_{Gr}$ ist diejenige Zeitdauer zu verstehen, nach der aufgrund einer Anforderung aus einer anderen Phase die laufende Phase spätestens abgebrochen wird, auch wenn sie noch voll ausgelastet ist. Ihre Bemessung ist unerheblich, sofern das Verfahren nur in Schwachverkehrszeiten eingesetzt wird, sollte aber nicht zu gering sein ($\max. t_{Gr} \geq 10$ s), um eine gewisse Flexibilität zu gewährleisten. Von erheblicher Bedeutung ist die Festlegung der maximalen Freigabezeit einer jeden Phase aber in Spitzenverkehrszeiten. Bei voller Auslastung läuft ein Verfahren der Signalprogrammabildung ab wie eine Festzeitsteuerung: Die einzelnen Phasen werden stets in der Reihenfolge ihrer Prioritäten aufgerufen (außer der Alles-Rot-Phase) und bis zu ihrer maximalen Dauer ($\max. t_{Gr}$) aufgeschaltet (**Bild 55**).

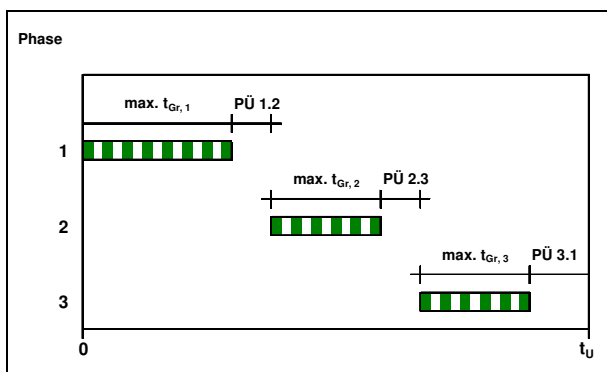


Bild 55: Signalprogrammablauf der Signalprogrammabildung bei voller Auslastung

In diesem Fall ist es wichtig, dass die aus diesem Programmablauf resultierende Umlaufzeit auf das Verkehrsaufkommen zugeschnitten ist, und dass die Freigabezeitaufteilung den maßgebenden Verkehrsstärken einer jeden Phase entspricht:

$$\frac{\max. t_{Gr} (Phase i)}{t_U} = \frac{\sum \text{maßg. } q (Phase i)}{q_s}$$

Verfahren der Signalprogrammabildung sind nicht nur für Schwachverkehrszeiten geeignet und können **in Spitzenverkehrszeiten durchaus Festzeitsignalprogramme in der Kapazität übertref-**

fen. Bei voller Auslastung wächst die Umlaufzeit entsprechend den vorgegebenen maximalen Freigabezeiten auf ihren größtmöglichen Wert an, um bei sinkender Auslastung wieder zurückzugehen. Dabei bezeichnet der Begriff Umlaufzeit hier keinen festen Wert, sondern die durchschnittliche Zeitspanne zwischen zwei Wiederholungen der gleichen Phase. Daher ist dieses Verfahren **für eine LSA mit Grüner Welle nicht geeignet.**

Anders als bei der Festzeitsteuerung und der Freigabezeitanpassung ist bei der Signalprogrammabildung eine Dimensionierung auf verschiedene Verkehrszustände (Spitzenzeiten, Normalverkehrszeiten, Schwachverkehrszeiten) nicht erforderlich. Das Verfahren nimmt diese **Dimensionierung selbstständig** vor durch Anpassung aller Signalprogrammelemente an den aktuellen Verkehrszustand. Lediglich die **Kapazitätsgrenze** wird durch Vorgabe der **maximalen Freigabezeiten** abgesteckt. Da sich die Anteile einzelner Ströme an der Gesamtbelastung in der Morgenspitze und in der Abendspitze oftmals deutlich unterscheiden, ist es zumeist sinnvoll, maximale Freigabezeiten der einzelnen Phasen für beide Zeitbereiche verschieden zu bemessen.

Die **Prioritätenreihung** der einzelnen Phasen ist dann von Bedeutung, wenn mehrere Phasen gleichzeitig die Freigabezeit angefordert haben. Die Anforderungen werden dann in der Reihenfolge der vorgegebenen Prioritäten abgearbeitet.

Beim Aufbau eines Verfahrens der Signalprogrammabildung ergibt sich folgender Arbeitsablauf:

- Festlegung des Signalisierungsgrundzustandes und der Detektoranordnung,
- Festlegung der Phaseneinteilung und Erstellung des Phasenfolgeplans,
- Konstruktion der Phasenübergänge,
- Bemessung der minimalen und maximalen Freigabezeiten,
- Festlegung der Prioritätenreihung sowie
- Festlegung der Bedingungen für einen Phasenwechsel und die Erstellung der Steuerungslogik.



4.5.5.6 Vorteile und Einsatzbereiche der verkehrsabhängiger Steuerung

Die verkehrabhängige Steuerung hat vor allem folgende **Einsatzbereiche**:

- Verkürzung von Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmergruppen
- Erhöhung der Kapazität im Kfz-Verkehr bei Einzelknotenpunkten
- Minderung von Mängeln einer Grünen Welle
- höhere Flexibilität von Verkehrsabläufen
- Umsetzung von Sonderabläufen
- Beschleunigung von Fahrzeugen des Öffentlichen Personennahverkehrs.

Hauptnutzen sind die **Kapazitätserhöhung und Verkürzung der Wartezeiten**; letztere führt auch zu einer größeren Verkehrssicherheit. Gemäß Abschnitt 4.5.3 sind i.d.R. nicht alle Zufahrten eines Knotenpunktes in allen Zeitbereichen voll ausgelastet. Da die Spitzenbelastungen der Tagesganglinie in den einzelnen Zufahrten selten zeitgleich auftreten, kann bei verkehrsabhängiger Steuerung aktuell in einer Zufahrt nicht benötigte Freigabezeit einer anderen Zufahrt mit aktuell höherem Freigabezeitbedarf zugeteilt werden. Dies führt bei nicht voll ausgelasteten Knotenpunkten zu einer Kapazitätserhöhung von 10% bis ca. 20%. Deshalb sollten neue LSA in der Regel verkehrsabhängig betrieben und bestehende LSA nach Möglichkeit im Rahmen der Qualitätssicherung auf Verkehrsabhängigkeit umgerüstet werden.

Bei Streckenzügen mit **Grüner Welle** sind an Knotenpunkten wegen örtlicher Einflüsse (z.B. ungünstige Teilpunktlage: vgl. Kapitel 5.1 dieses Handbuchs) Qualitätseinbußen und ein Auflaufen des Fahrzeugpulks am Beginn oder Ende möglich. In diesen Fällen kann durch eine verkehrsabhängige Steuerung bei geringerer Auslastung querender Ströme die Freigabezeit für die Zufahrten mit Grüner Welle früher beginnen oder später enden. Hierdurch werden Wartezeiten verkürzt und **Störungen** der Grüne Welle auf das zeitlich unvermeidbare Maß **beschränkt**.

Durch eine verkehrsabhängige Steuerung kann die **Flexibilität von Verkehrsabläufen** an Einzelknotenpunkten oder im Rahmen einer Grünen Welle erheblich gesteigert werden. An Einzelknotenpunkten kann dies bis zur Verwirklichung einer „Alles Rot-/Sofort-Grün“-Anlage führen. Diese Flexibilität hat auch **Sicherheitsvorteile**, weil z.B. voll-verkehrsabhängige LSA wie „Alles Rot-/Sofort-Grün“-Anlagen eine Alternative zur Nachtabschaltung von LSA darstellen. Für Streckenabschnitte ist eine verkehrsabhängige Fahrstreifen-signalisierung möglich (vgl. Kapitel 5.2.)

Weiter können nur mit einer verkehrsabhängigen Steuerung **Sonderabläufe** umgesetzt werden. Hierzu zählen insbesondere:

- **Veranstaltungsprogramme** (z.B. Messe, vgl. Kapitel 5.2 des Handbuchs)
- Fahrten von **Einsatzfahrzeugen** wie Krankenwagen und Feuerwehren an Einzelknoten (BOSSERHOFF/SWIDERSKI 1984) oder längs einer Grüne Welle (ZMECK 1983)
- **verkehrsabhängige** Begrenzung des Zuflusses aus einer Zufahrt (**Dosierung**, vgl. Kapitel 5.2 des Handbuchs)
- Zeitinseln an Haltestellen des **ÖPNV** ohne Fahrgastinsel für einen **sicheren Fahrgastwechsel**
- Sonstiges (z.B. Hochwasserprogramme).

Einen besonders wichtigen Einsatzbereich stellt die Beschleunigung des Öffentlichen Personennahverkehrs durch **Bevorrechtigung von Bussen oder Bahnen** an LSA dar. Dieses Thema wird ausführlich behandelt in Kapitel 6.1 des Handbuchs (Bevorrechtigung an LSA) bzw. in Kapitel 5.2 (Richtungswechselbetrieb von Streckenabschnitten). Die Bevorrechtigung an LSA kann unterschieden werden in das bevorrechtigte **Passieren von LSA oder** das bevorrechtigte Passieren von **Streckenabschnitten** ohne besonderen Bahnkörper, indem das ÖPNV-Fahrzeug als Pulkführer vor dem Kfz-Pulk verkehrt.



4.5.5.7 Weiterentwicklung der Steuerungsverfahren

Bei der verkehrsabhängigen Steuerung können grundsätzlich Verfahren mit frei programmierbarer Logik und standardisierte Verfahren unterschieden werden. Mischformen sind möglich. Einen Überblick zur Weiterentwicklung enthält die Teilfortschreibung der RiLSA (FGSV 2003). Hieraus wurden die nachfolgenden Aspekte entnommen.

Der gesamte Prozess von der Erstellung der verkehrstechnischen Unterlagen bis zur Speicherung der Daten in den Steuerungseinrichtungen erfolgt heute zumeist IT-gestützt und in vielen Bereichen weitgehend automatisiert. Um eine funktionsfähige und fehlerfreie Steuerung zu gewährleisten, sind vollständige Logiken und Parametrierungen erforderlich. Der Aufbau einer Logik und die Parameter unterscheiden sich dabei je nach Art der Steuerung. Logikauslegung und Parametrierung müssen neben den normalen auch außergewöhnlichen Betriebssituationen Rechnung tragen, wie bei Detektorstörung oder Abschaltung.

Der Daten- und Parametertransfer sollte über standardisierte Schnittstellen ablaufen. Um Steuerungen effektiv und transparent aufzubauen, wird die Verwendung ausgetesteter, gut dokumentierter Module empfohlen. Die Abläufe müssen vollständig und eindeutig dokumentiert werden, damit das Verhalten der Steuerung nachvollziehbar ist und eine exakte Umsetzung der verkehrstechnischen Anforderungen in die Versorgungssprache des jeweiligen Steuergerätes erfolgen kann.

Bei Steuerungsverfahren mit frei programmierbarer Logik wird der Ablauf für jede Steuerung individuell erarbeitet und als Logik beschrieben. Um wiederkehrende Abläufe und Steuerungsstrukturen nicht mehrfach formulieren zu müssen, sollten vorzugsweise mathematische Funktionen oder Unterprogramme benutzt werden, die als Module bei unterschiedlichen Knotenpunkten mit der gleichen verkehrstechnischen Wirkungsweise eingesetzt werden können. Das Verhalten dieser Module wird über Parameter gesteuert. Durch den Ein-

satz von Modulbibliotheken kann der Grad der Individualität eingeschränkt werden.

In standardisierten Verfahren sind die Steuerungsalgorithmen fest vorgegeben. Es wird empfohlen, nur solche zu verwenden, die vom Entwickler offen gelegt werden. Die Anpassung an die Anforderungen der jeweiligen Steuerung geschieht durch Parameter.

Bei Steuerungsverfahren wird eine weitere Unterscheidung nach messwertbasierten und modellbasierten Verfahren erforderlich:

- **Messwertbasierte Steuerungsverfahren** treffen Steuerungsentscheidungen schrittweise. Es wird eine Auswahl der verfügbaren Verkehrskenngrößen einbezogen, aus der die Logik ihre Entscheidung unmittelbar ableitet. Zu Beginn werden die logischen Bedingungen abgefragt. Trifft die logische Bedingung zu, werden die zugehörigen zeitlichen Bedingungen abgefragt. Liegt außerdem ein geeigneter Zustand vor, erfolgt eine Aktion in Form eines Schaltbefehls. Vergleichs- und Schwellenwerte wie Zeittücken, Belegungsgrad und Fahrzeit, aber auch Rahmenvorgaben wie Grünerlaubnisbereich, verzögerter Freigabezeitbeginn oder Priorität in der Steuerung werden über Parameter definiert. Gemäß Neufassung der RiLSA (FGSV 2007) werden messwertbasierte Steuerungsverfahren künftig als **regelbasierte Steuerungsverfahren** bezeichnet, um das Funktionsprinzip besser wiederzugeben.
- **Modellbasierte Steuerungsverfahren** treffen Steuerungsentscheidungen als Ganzes, indem alle verfügbaren Verkehrskenngrößen in ein Verkehrsmodell einbezogen und Entscheidungen nach einer Zielgrößenoptimierung getroffen werden. Diese Verfahren kommen vor allem bei der Netzsteuerung zum Einsatz (vgl. Abschnitt 5.2.4 dieses Handbuchs). Parameter wie Wartezeit oder Anzahl der Halte werden zur Kalibrierung der Modelle, zur Beschreibung der topographischen Gegebenheiten und zur Gewichtung der Zielgrößen verwendet.



Für die **Knotenpunktsteuerung** sind verkehrstechnische Basisobjekte zu definieren, die in erforderliche und optionale Objekte zu unterscheiden sind. Umfang und Art der optionalen Objekte hängen vom gewählten Steuerungsverfahren ab.

Erforderliche Knotenpunktobjekte sind:

- Signalgruppe,
- Zwischenzeit,
- Mindestfreigabezeit,
- Mindestsperrzeit,
- Signalfolge,
- Einschaltprogramm,
- Ausschaltprogramm und
- Umschaltprogramm.

Optionale Knotenpunktobjekte sind:

- Verkehrsstrom,
- Basissignalprogramm,
- Rahmenprogramm,
- situationsbezogene Zwischenzeit,
- situationsbezogene Mindestfreigabezeit,
- situationsbezogene Mindestsperrzeit,
- situationsbezogene Versatzzeit,
- Phase,
- Phasenfolge und
- Phasenübergang.

Je nach verwendetem Steuerungsverfahren können unterschiedliche Objekte zum Steuerungsablauf herangezogen werden. Im einfachsten Fall sind Signalgruppen und Zwischenzeiten als Basisversorgung sowie die Dokumentation des Ablaufes der Steuerung ausreichend.

Zur **Netzsteuerung** gehört eine Liste erforderlicher und optionaler Netzobjekte. Wesentliche Daten sind beispielsweise die Lage- und Grenzinformationen über das zu steuernde Netz. Diese Daten können aus digitalen Karten übernommen werden. Die Menge der Versorgungsdaten hängt vom gewählten Steuerungsmodell ab.

Erforderliche Netzobjekte sind:

- Netzkante,
- Netzknoten,

- Streckenabschnitt,
- Knotenpunkt,
- Haltlinie,
- Messstelle und
- Quelle-/Ziel-Beziehung.

Optionale Netzobjekte sind

- Teilnetz
- Teilstrecke und Haltestelle.

Bei Einsatz eines Netzsteuerungsverfahrens ist die Schnittstelle zur Knotenpunktsteuerung von Bedeutung. Über diese werden knotenpunktübergreifende Netzstrategien wie Priorität der Koordination (stadteinwärts, stadtauswärts), Stau- oder Störfallmanagement und Freiheitsgrad der lokalen Verkehrsabhängigkeit an die Knotenpunktsteuerung übermittelt. Auch die Priorität von ÖPNV-Eingriffen kann über diese Schnittstelle gesteuert werden. Zur Modellierung der Kenngrößen des Verkehrsablaufes gibt es derzeit noch keinen Standard.

Zur Dokumentation des Steuerungsablaufes gehören neben dem verkehrsplanerischen Konzept sowohl die Logik als auch die verwendeten Parameter. Werden Module aus Bibliotheken eingesetzt, so müssen deren Elemente präzise beschrieben sein. Die Ablaufdokumentation dient der Qualitätssicherung.

Die Steuerung wird über Ablaufdiagramme oder Struktogramme dargestellt. In diesen werden alle zeitlichen und logischen Abfolgen der Steuerung exakt festgehalten. Logische Bedingungen gelten für die Verknüpfungen der Kenngrößen des Verkehrsablaufes. Zeitliche Bedingungen geben den zeitlichen Rahmen der Programmabläufe vor, wie Zeitpunkte innerhalb der Koordination oder minimale und maximale Freigabezeiten einer Signalgruppe.

Alle Variablen mit zeitlicher Funktion, wie Zeitlückenwerte, Belegungszeiten etc., sollten in der Software so abgelegt werden, dass diese Parameter einfach geändert werden können, ohne alle Abfragen im Ablauf nachvollziehen zu müssen.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Bei den modellbasierten Verfahren ist eine umfassende Dokumentation der verkehrstechnischen Objekte, der Modell-Kalibrierung, der Zielgrößen und – bei Netzsteuerungen – der Schnittstelle zur Knotenpunktsteuerung notwendig.

Weitere Information zu modellbasierten Steuerungsverfahren und der Netzsteuerung enthält das Kapitel 5.2 dieses Handbuchs.

4.5.5.8 Prüfung der Logik verkehrsabhängiger Steuerungen

Fehler nach Inbetriebnahme der Lichtsignalanlage vor Ort zu suchen ist sehr aufwändig. In der Regel erfolgt daher bei einer verkehrsabhängigen Steuerung die **Abnahme** bei dem Signalanlagenhersteller in einer durch Software unterstützten Testumgebung, um Fehler in der Steuerungslogik weitgehend auszuschließen. Auch ist die Prüfung am Verkehrsingenieurarbeitsplatz über Testlogikprüfläufe möglich. Hierbei kommt z.B. das Verfahren **TRENDS/TRELAN** der Firma GEVAS Software zum Einsatz, bei dem der für die Direktversorgung erstellte TRENDS-Softwarekern von nahezu allen in Deutschland tätigen Signalanlagenherstellern verwendet werden kann.

Zur Abnahme der Steuerung werden Prüfvorschriften erstellt, die so viele Prüffälle je Signalprogramm enthalten, dass alle Verzweigungspunkte im Ablauf einmal getestet werden. Bei komplexen Abläufen führt das zu einer hohen Anzahl erforderlicher Prüffälle. Die Prüffälle sollten nicht allein anhand des geplanten Ablaufes aufgestellt werden, sondern anhand der verkehrstechnischen Zielvorgaben. Der Umfang der durchzuführenden Tests ist verfahrensabhängig und sollte vom Anlagenbetreiber bestimmt werden.

Für den Test modellbasierter Steuerungsverfahren sollten zusätzlich **Simulationsverfahren** angewandt werden. Hiermit ist es möglich, Verkehrsabläufe am Knotenpunkt und im Netz fahrzeugbezogen auf der Basis von Fahrzeugfolgenmodellen, Fahrstreifenwechselmodellen usw. abzubilden und über eine Schnittstelle mit unterschiedlichen Steuerungsverfahren zu koppeln. Aus dem simulierten Verkehrsablauf können die zur Beurteilung der Steuerungsqualität erforderlichen Verkehrskenngrößen abgeleitet werden.



4.5.6 SIGNALGRUPPENORIENTIERTE UND PHASENORIENTIERTE STEUERUNG

Dieses Kapitel behandelt einen **übergeordneten Aspekt** für den Aufbau von Steuerungsverfahren, der mit Rücksicht auf die bessere Verständlichkeit in den vorangegangenen Abschnitten außer Acht gelassen wurde. Es gibt zwei mögliche Grundprinzipien, nach denen eine Steuerungslogik aufgebaut werden kann:

- signalgruppenorientiert oder
- phasenorientiert.

Alle vorangegangenen Kapitel beziehen sich ausschließlich auf die phasenorientierte Steuerung.

Anstelle von abstrakten Definitionen werden im folgenden anhand eines Beispiels die Unterschiede beider Prinzipien verdeutlicht. Hierzu wird angenommen, dass der bereits bekannte Beispielknotenpunkt (**Bild 7**) mit einem Verfahren der Signalprogrammbildung (z.B. "Alles-Rot- / Sofort-Grün") nach dem Prinzip der **phasenorientierten Steuerung** betrieben wird (**Bild 56**). Dann bedeutet dies vom Ablauf her, dass eine Phase nur komplett – d.h. einschließlich aller ihrer Signalgruppen – abgebrochen oder aufgerufen werden kann, sofern die entsprechenden Bedingungen erfüllt sind.

Wäre beispielsweise die Phase 1 aufgeschaltet und es läge eine Anforderung der Signalgruppe K6 vor, so müssten bei der phasenorientierten Steuerung alle Fahrzeug-Signalgruppen der Phase 1 (K1, K4, K5) auf Auslastung hin überprüft werden. Erst wenn keine von ihnen mehr ausgelastet wäre, könnte ein Phasenwechsel

in Phase 2 eingeleitet werden, die dann aber nicht nur die Signalgruppe K6 umfasst, sondern zusätzlich auch K2, F4 und F2.

Bei der **signalgruppenorientierten Steuerung** wird nur nach zueinander verträglichen und zueinander unverträglichen Signalgruppen unterschieden. Der Signalprogrammablauf ist nicht an feste Phasen gebunden:

- Alle Kombinationen zueinander verträglicher Signalgruppen sind erlaubt.
- Das Freigabezeitende einer Signalgruppe ist nicht mit dem Freigabezeitende anderer Signalgruppen verknüpft.
- Der Freigabezeitbeginn einer angeforderten Signalgruppe hängt davon ab, ob die Abbruchbedingungen (Mindestfreigabezeiten, Zeitlückenschwellenwerte etc.) freigegebener nicht

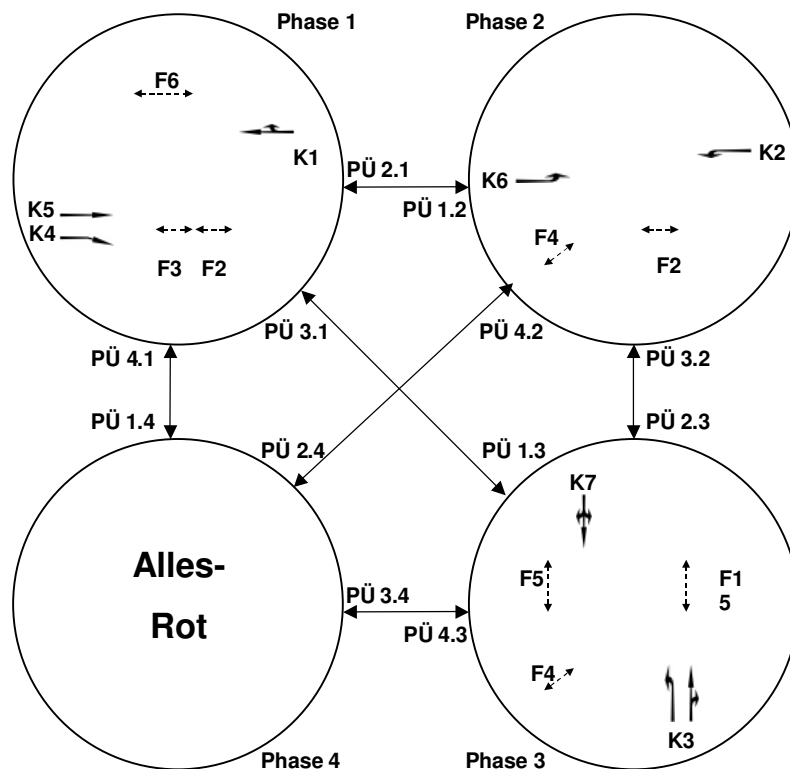


Bild 56: Phasenfolgeplan für die „Alles-Rot-/Sofort-Grün“-Schaltung als Verfahren der Signalprogrammbildung



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

verträglicher Signalgruppen erfüllt sind, und ob Anforderungen gesperrter nicht verträglicher Signalgruppen mit höherer Priorität vorliegen.

Bild 57 zeigt hierzu einen bei der signalgruppenorientierten Steuerung möglichen weiteren Zustand. Hier könnte die Anforderung von K6 bereits berücksichtigt werden, wenn die zu ihr unverträgliche Signalgruppe K1 nicht ausgelastet ist. In diesem Fall würde die Freigabezeit der Signalgruppen K1 und F6 (ebenfalls unverträglich) beendet und K6 könnte nach Ablauf der entsprechenden Zwischenzeiten freigegeben werden. Es wird deutlich, dass eine signalgruppenorientierte Steuerung **wesentlich flexibler** ist.

Würden nun alle Möglichkeiten der Kombination verträglicher Signalgruppen als Phasen betrachtet und die entsprechenden Phasenübergänge konstruiert, so entstünde in den meisten Fällen ein schier unüberschaubarer Planungsaufwand. Betrachtet man im gewählten Beispiel allein die möglichen Kombinationen für die Freigabe von Fahrzeugströmen, so kommt man bereits auf 17 verschiedene "Phasen" (siehe **Bild 58a**).

Sind bei einer voll-verkehrsabhängigen Steuerung alle Phasenübergänge erlaubt, so führt dies zu einer Anzahl von 272 Phasenübergängen, da aus jeder der 17 Phasen zu jeder der anderen 16 Phasen gewechselt werden kann ($= 17 \cdot 16$).

Bei zusätzlicher Berücksichtigung der Fußgänger-Signalgruppen, erhöht sich die Anzahl möglicher Kombinationen ("Phasen") nochmals beträchtlich und die Anzahl von Phasenübergängen potenziert sich gar.

Es wird offensichtlich, dass im Rahmen einer signalgruppenorientierten Steuerung unmöglich mit Phasen und Phasenübergängen gearbeitet werden kann, zumal Aspekte wie Prioritätenreihung, Enthaltensein einzelner Phasen in anderen Phasen etc. zusätzliche Probleme hinsichtlich eines sinnvollen Signalprogrammablaufes aufwerfen würden.

Beim Entscheidungsablauf innerhalb einer signalgruppenorientierten Steuerung werden im Fall der Signalprogrammbildung deshalb folgende Punkte abgearbeitet:

Für **jede freigegebene Signalgruppe** sind zu prüfen:

- Ablauf der minimalen Freigabezeit,
- Auslastung,
- Anforderung einer unverträglichen Signalgruppe,
- Erreichen der maximalen Freigabezeit und/oder
- Erreichen der maximalen Sperrzeit einer angeforderten unverträglichen Signalgruppe.

Für **jede gesperrte Signalgruppe** sind zu prüfen:

- Vorliegen der Anforderung für diese Signalgruppe,
- Freigabe unverträglicher Signalgruppen,
- Abbruchbedingungen der freigegebenen, unverträglichen Signalgruppen (Auslastung, min. t_{Gr} und max. t_{Gr} , ...),
- gleichzeitige Anforderungen von gesperrten unverträglichen Signalgruppen mit höherer Priorität sowie

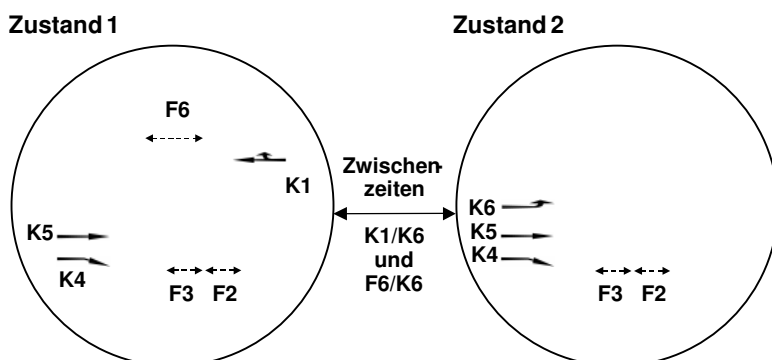


Bild 57: Berücksichtigung der angeforderten Signalgruppe K6 bei signalgruppenorientierter Steuerung

VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE



- Ablauf aller Zwischenzeiten zu unverträglichen Signalgruppen.

Fallweise können noch zusätzliche Restriktionen zu berücksichtigen sein. Eine sehr wichtige Restriktion besteht z.B. darin, dass bedingt verträgliche Ströme nur gleichzeitig freigegeben, aber nicht nachträglich einander zugeschaltet werden dürfen (**Bild 58b**).

Im Fall der Signalprogrammanpassung werden die oben aufgeführten Entscheidungskriterien nur innerhalb der Grünerlaubnisbereiche abgeprüft. Im Gegensatz zur Signalprogrammabildung ist hier die Umsetzung einer signalgruppenorientierten Steuerung relativ unkompliziert, weil keine vorgegebenen oder aktualisierten Prioritätenreihungen berücksichtigt werden müssen.

Eine **allgemeingültige Empfehlung**, ob eine Lichtsignalsteuerung signalgruppenorientiert oder phasenorientiert geplant werden sollte, kann nicht gegeben werden. Diese Entscheidung muss fallweise getroffen werden. Einer theoretisch größeren Flexibilität der signalgruppenorientierten Steuerung steht eine wesentlich größere Komplexität der zu berücksichtigenden logischen Bedingungen und damit auch ein gewisser Mangel an Transparenz gegenüber. Die Bemessung von Steuerungsparametern wie minimale und maximale Freigabezeiten bzw. maximale Sperrzeit ist weitaus schwieriger als bei einer phasenorientierten Steuerung. Zudem lässt sich eine geeignete Vorgehensweise für den Aufbau einer signalgruppenorientierten Steuerung nicht eindeutig festlegen.

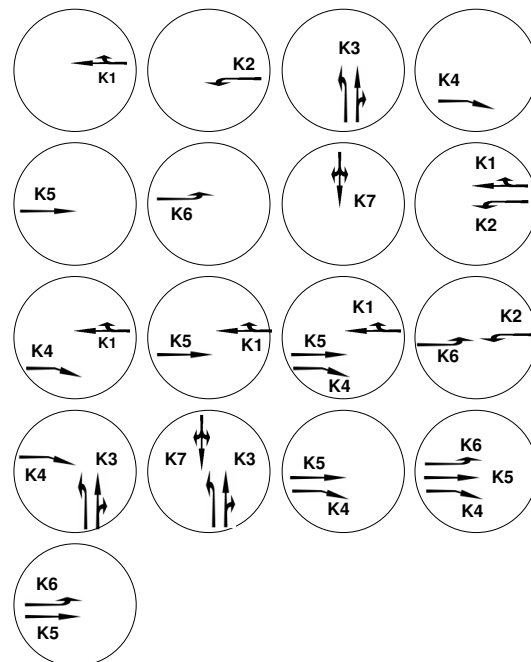


Bild 58a: Mögliche Signalisierungszustände für Fahrzeug-Signalgruppen bei signalgruppenorientierter Steuerung

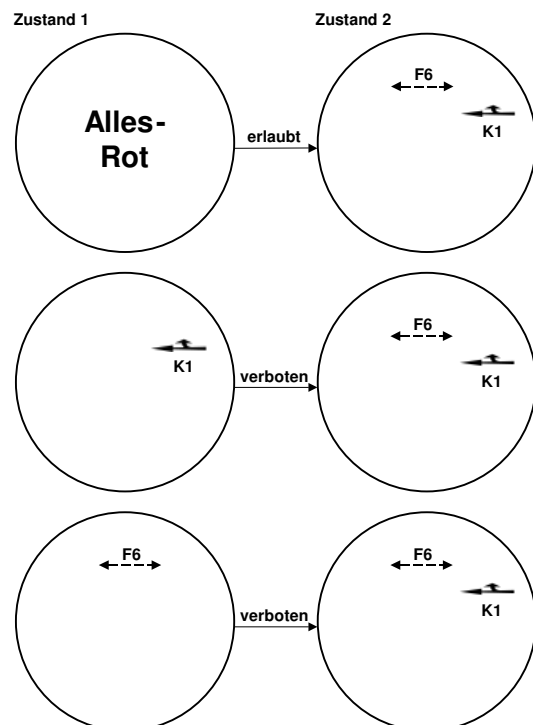


Bild 58b: Beispiele für erlaubte und verbotene Übergänge bei einer signalgruppenorientierten Steuerung



4.5.7 ERFASSUNGSEINRICHTUNGEN

Erfassungseinrichtungen sind für **verkehrsabhängige Steuerungsverfahren** Voraussetzung. Sie sollen diejenigen Aspekte des Verkehrsablaufs erfassen, aufgrund derer die verkehrsabhängige Steuerungslogik über den weiteren Signalprogrammablauf entscheidet. Zu erfassen sind insbesondere die **Anforderung von Freigabezeit** durch wartende Verkehrsteilnehmer, die **Verlängerung gerade geschalteter Freigabezeit** wegen noch vorhandener Verkehrsteilnehmer (bzw. der Abbruch wegen fehlender Auslastung) und der **Abbruch gerade geschalteter Freigabezeit** wegen Rückstau bei unverträglichen Strömen. Die Auslastung freigegebener Verkehrsströme sowie Freigabezeitanforderungen gesperrter Verkehrsströme werden praktisch von jedem verkehrsabhängigen Verfahren berücksichtigt. In manchen Fällen ist es auch sinnvoll, zu prüfen, ob der Rückstau eine höchstzulässige Länge überschreitet, um beispielsweise das Zustauen einzelner Fahrstreifen und das Überstauen zurückliegender Knotenpunkte zu vermeiden.

Man könnte nun eigentlich erwarten, dass die Erfassung der Kriterien „**Wartezeit**“ und „**Anzahl der Halte**“ ebenfalls eine bedeutende Rolle spielt, da es doch eines der Ziele jedes Steuerungsverfahrens sein sollte, diese Größen zu minimieren. In der Praxis werden diese Größen jedoch nur in seltenen Fällen berücksichtigt. Dies hat mehrere Gründe:

- Wartezeiten und Halte lassen sich nicht direkt erfassen, sondern nur indirekt und ungefähr aus Zufluss- und Abflussganglinien errechnen.
- Wartezeiten und Halte lassen sich nur im Nachhinein ermitteln. Es ist aber gerade bei verkehrsabhängigen Verfahren nicht möglich, für mehrere alternative Steuerungsentscheidungen die zu erwartenden Wartezeiten und Halte vorab zu prognostizieren.
- Wartezeiten und Halte lassen sich wesentlich einfacher über die Erfassung von Auslastung und Freigabezeitanforderungen minimieren.

Kfz-Verkehr

Für die Erfassung kommen vorrangig in Frage:

- Induktivschleifendetektoren (**Bilder 59a/b**)
- Infrarot-Detektoren (**Bild 59c**)
- Videotechnik (**Bild 60c**).

Informationen zu Detektoren enthalten das Merkblatt „Detektoren“ (FGSV 1991) und die „Hinweise zur Qualitätsanforderung und Qualitätssicherung Verkehrsdatenerfassung“ (FGSV 2006). Letztere enthalten in Anlage 5 **Checklisten für die Abnahme** der Erfassungseinrichtungen.

Die am weitesten verbreitete Art von Erfassungseinrichtungen für den Fahrzeugverkehr sind **Induktivschleifendetektoren**. Befährt ein Fahrzeug die Schleife, so wird eine Spannungsänderung hervorgerufen („induziert“), und der Detektor registriert eine Belegung.

Induktivschleifendetektoren können sich in der Breite über mehrere Fahrstreifen erstrecken (a). Je nach ihrer Funktion sind Detektorlängen in Fahrtrichtung zwischen 0,5 m und 15 m üblich (b) (**Bilder 59a/b**). Beispiele zeigen die **Bilder 60a/b**.

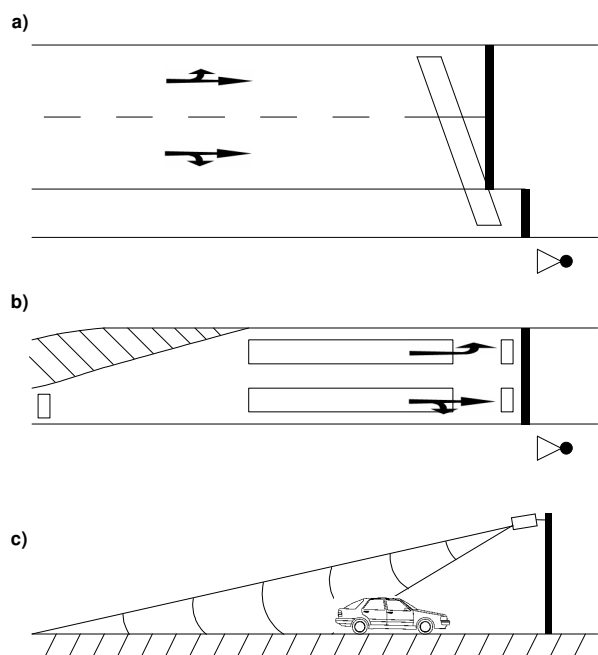


Bild 59: Detektoren für den Fahrzeugverkehr



Bild 60a: In der Fahrbahn verlegte Anforderungsschleife zur Erfassung von Kfz und Radfahrern (BOSSERHOFF 2006)

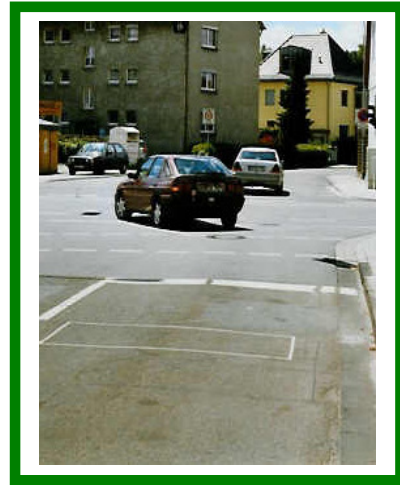


Bild 60b: In der Fahrbahn verlegte Anforderungsschleife zur Erfassung von Kfz (BOSSERHOFF 2006)

Induktionsschleifen sind sehr zuverlässig bei der Kfz-Erfassung, weisen jedoch Probleme auf bei der Erfassung von Motorrädern (viel Aluminium), landwirtschaftlichen Maschinen (große Reifen, großer Abstand zur Felge) und Radfahrern. Auch sind sie nicht immer einsetzbar (z.B. bei schlechtem Fahrbahnbelag oder auf Brücken). Zur Richtungserkennung sind Doppelschleifen erforderlich.

Eine kostengünstige, aber nicht unter allen örtlichen Randbedingungen einsetzbare Alternative zu Induktivschleifen bilden **Infrarot-Detektoren** (Bild 59c), die Wärmestrahlung registrieren.

Man unterscheidet **passive** und **aktive** Infrarot-Detektoren. Erstere können innerhalb ihres Abtastbereiches nur bewegte Objekte, letztere auch stehende Objekte wahrnehmen. Von Vorteil ist, dass sie auch in denjenigen Fällen einsetzbar sind, in denen Induktivschleifen nicht geeignet sind (schlechte Fahrbahnqualität oder zu erwartende Fahrbahndeckenerneuerung, Brücken). Ein Problem von Infrarotdetektoren ist die richtige Justierung des Abtastbereichs, um nur die gewünschten Ströme zu erfassen. Infrarotdetektoren werden insbesondere für die Nahdetektion eingesetzt. Beispiele zeigen die **Bilder 61a/b**.



Bild 61a: Infrarotdetektor am Ausleger zur Fahrzeug-erfassung (Nahdetektion) (Foto: D. HOFMANN)

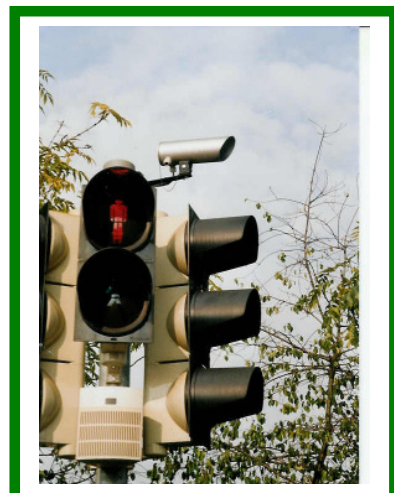


Bild 61b: Infrarotdetektor am Signalmast zur Fahrzeug-erfassung (Foto: D. BOSSERHOFF)



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE



Bild 62a: Videokamera am Ausleger zur Fahrzeug-erfassung (Fern-detektion) (BOSSERHOFF 2006)

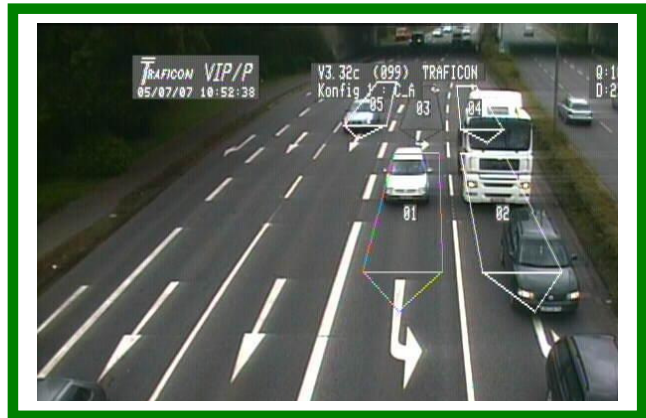


Bild 62b: Videobild zur Fahrzeug-erfassung an insgesamt 5 Querschnitten: 4 Schleifen (weißer Umriss) aktuell aktiv, 1 Schleife (schwarzer Umriss) aktuell inaktiv (Foto: D. HOFMANN)

Eine weitere kostengünstige Alternative stellt die **Videotechnik** dar, bei der die Fahrzeuge über Videokameras erfasst werden (**Bild 62a**). Diese Technik bietet erhebliche Vorteile, u.a. weil

- sie auch bei schlechter Fahrbahnqualität oder zu erwartender nachträglicher Fahrbahn-deckenerneuerung zum Einsatz kommen kann
- sie kostengünstig mehrere Erfassungsstellen ermöglicht: 1 Kamera ersetzt derzeit bis zu 8 Schleifen (**Bild 62b**)
- kostengünstig mit einer Kamera sowohl eine Richtung und gleichzeitig auch die Gegenrichtung erfasst werden kann.

Wegen dieser Vorteile setzt die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung vermehrt Videokameras zur Fahrzeug-erfassung ein. Früher beobachtete Nachteile (Fehldetektion z.B. bei Regen oder nicht erfasste Fahrzeuge) konnten durch Verwendung neuerer Technik in ausreichendem Umfang minimiert werden (BOSSERHOFF 2006). Hierbei werden Probleme durch Witterung oder Dunkelheit beseitigt, z.B. automatisch Schattenbilder herausgefiltert und Reflexionen von Scheinwerfern ausgeblendet.

Es empfiehlt sich, bei der ersten Anwendung von Videokameras in einer Kommune die Öffentlichkeit (z.B. durch Pressemitteilungen) über ihren Zweck zu informieren, um Missverständnisse auszuschließen.

Ein **Vergleich** der beschriebenen Erfassungssysteme (HOFMANN 2007) ergibt die geringsten Kosten für einen Infrarotdetektor (500 - 800 €), mittlere Kosten für eine Videokamera (1.500 - 4.000 €) und die höchsten Kosten für eine Schleife mit Einbau und längerer Zuleitung (Angaben gelten mit Preisstand 2007 und auf Basis einer Ausschreibung). Induktionsschleifen gewährleisten die sicherste Kfz-Erfassung, sind jedoch nicht überall einsetzbar (z.B. Brücken, Kopfsteinpflaster) und bei zu erwartender Fahrbahnerneuerung nicht sinnvoll. Infrarot- und Videotechnik sind schnell und mit geringer Störung des Verkehrsablaufs installierbar, die Lage der Erfassungsquerschnitte kann nachträglich leicht verändert bzw. optimiert werden; jedoch bestehen teilweise witterungs- und lichtbedingt Erfassungsprobleme. Die Videotechnik ist bei mehreren Erfassungsquerschnitten besonders kostengünstig. **Übersicht 2** stellt die wichtigsten Vorteile und Nachteile der genannten Erfassungssysteme zusammen.

VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE



Detektorart	Vorteile	Nachteile
Schleife	Erfassung von Kfz sehr zuverlässig	Kosten für Tiefbau und Verkabelung bei großen Entfernungen zum Steuergerät hoch
	i.d.R. keine Wartung erforderlich	Erfassung von Radfahrern/Motorrädern z.T. problematisch --> Nachjustierung erforderlich
		Einbau nur unter Störung des Verkehrsablaufs möglich
		bei erforderlichen Fahrbahnerneuerungen häufig Schäden und Ersatz erforderlich
		Einsatz bei zu erwartendem Straßenumbau nicht sinnvoll
		Defekte durch Fahrbahnverdrückungen
		Änderung des Messquerschnitts nachträglich nicht möglich
		Einsatz z.T. nicht möglich (z.B. bei Straßenschäden, Kopfsteinpflaster, Brücke)
Infrarotdetektor	Kosten sehr gering	Erfassung nicht immer zuverlässig: Fehlanforderungen möglich (z.B. Tiere, Äste, Sträucher...)
	Erfassung von Fußgängern, Radfahrern, Motorrädern, landwirtschaftlichen Maschinen für Nahdetektion (Haltlinie-Detektoren) günstiger als Videoerfassung	Erfassung witterungsempfindlich: Probleme bei Nebel, Regen, Wind, ...
	einfache und schnelle Installation	für Ferndetektion (Verlängerungs-Detektoren) ungünstiger als Videoerfassung
	Installation mit nur geringen Verkehrsstörungen möglich	maximaler Erfassungsbereich ca. 100m
	einsetzbar auch wenn Schleifen nicht möglich (z.B. Kopfsteinpflaster, Brücke)	optische Justierung erforderlich (z.B. keine Äste/Sträucher im Erfassungsbereich)
	einsetzbar auch wenn Schleifen nicht sinnvoll (z.B. zu erwartender Straßenumbau)	Fehlerfassungen möglich durch in den Erfassungsbereich ausweichende Fahrzeuge (z.B. Ein-/Ausparker, Radfahrer)
	temporärer Einsatz möglich	Fehlerfassungen möglich durch abfließende Kfz im Erfassungsbereich
	Änderung des Messquerschnitts nachträglich leicht möglich	keine Erfassung nach Richtung und Gegenrichtung möglich
Videokamera	hohe Lebensdauer	
	Kosten gering bei nur einer Erfassungsstelle; Kosten sehr gering, falls mit 1 Kamera mehrere Querschnitte erfasst werden	Erfassung witterungsempfindlich (v.a. bei älterer Technik): Probleme bei nasser Fahrbahn, Nebel, Wind, Schnee,...
	mit 1 Kamera mehrere Querschnitte und Erfassungspunkte auswertbar: bis zu 8 virtuelle Schleifen simulierbar	Erfassung z.T. problematisch bei dichtem Kfz-Verkehr wegen (partieller) Verdeckungen im hinteren Bildbereich
	Erfassung von Fußgängern, Radfahrern, Motorrädern, landwirtschaftlichen Maschinen	Erfassung lichtempfindlich (v.a. bei älterer Technik): Probleme bei Dunkelheit, tief stehender Sonne
	günstig für richtungsbezogene Erfassung (1 Kamera kann Richtung und Gegenrichtung erfassen)	optische Justierung erforderlich
	für Ferndetektion (Verlängerungs-Detektoren) günstiger als Infraroterfassung	für Nahdetektion (Haltlinie-Detektoren) ungünstiger als Infraroterfassung
	einfache und schnelle Installation	
	Installation mit nur geringen Verkehrsstörungen möglich	
	einsetzbar auch wenn Schleifen nicht möglich (z.B. Kopfsteinpflaster, Brücke)	
	einsetzbar auch wenn Schleifen nicht sinnvoll (z.B. zu erwartender Straßenumbau)	
	Verkehrsablauf reproduzierbar	
	Erfassung von Fahrzeugart, Geschwindigkeit ggf. Verfolgung und Wiedererkennung einzelner Fahrzeuge im Netz möglich	
temporärer Einsatz möglich		
Änderung des Messquerschnitts nachträglich leicht möglich		

Übersicht 2: Vorteile und Nachteile verschiedener Kfz-Erfassungssysteme (BOSSERHOFF/HOFMANN)



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Freigabezeitanforderungen von Kraftfahrzeugen lassen sich relativ einfach erfassen. Hierzu wird im Fall von Induktivschleifendetektoren im allgemeinen eine Schleife kurz vor der Haltlinie (2 m bis 4 m) auf Belegung überprüft (**Bild 63**). Alternativ hierzu können Freigabezeitanforderungen auch bereits an sogenannten Hauptanmeldungs-schleifen registriert werden, die sich je nach v_{zul} und den örtlichen Randbedingungen in einer größeren Entfernung (meist 30 m bis 100 m) vor der Haltlinie befinden.

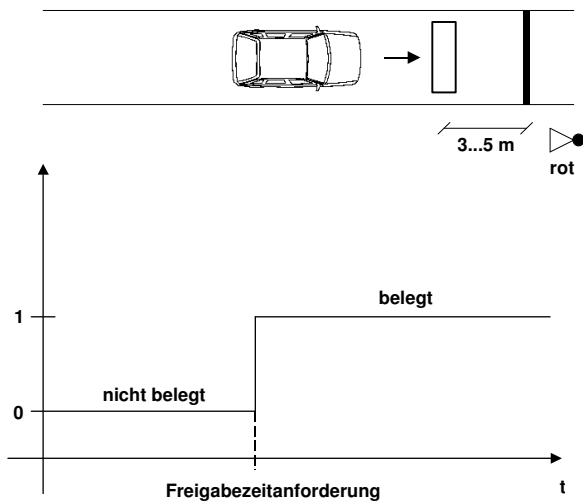


Bild 63: Freigabezeitanforderung über Belegung einer Induktivschleife

Im Fall von **Infrarot-Detektoren** wird eine Anforderung dann registriert, wenn ein Fahrzeug während der Sperrzeit in den Erfassungsbereich einfährt. Passive IR-Detektoren, die bewegte Objekte auf einem längeren Streckenabschnitt erfassen, haben hier die Funktion von Hauptanmeldungs-Detektoren, während aktive IR-Detektoren, die unbewegte Objekte im Bereich vor der Lichtsignalanlage registrieren, den Induktivschleifen vor der Haltlinie ansprechen (**Bild 64**).

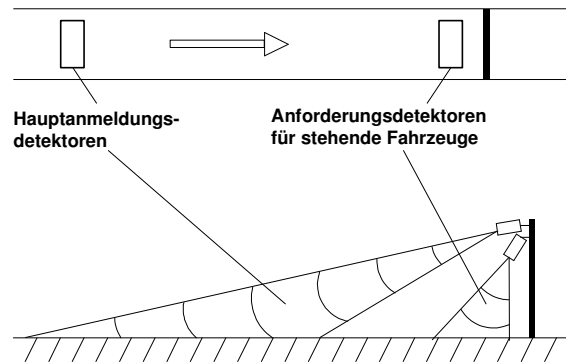


Bild 64: Anforderungs- und Hauptmeldungs-Detektoren

Als „ausgelastet“ betrachtet man Freigabezeiten von Fahrzeugströmen, solange geschlossene Fahrzeugpuls abfließen und noch keine zufälligen Einzelankünfte vorliegen. Die Auslastung von Freigabezeiten läßt sich durch nachfolgend genannte Messgrößen erfassen.

Zeitlücke

Da die Bruttozeitlücken (Vorderkante - Vorderkante) innerhalb abfließender Fahrzeugpuls überwiegend in der Größenordnung zwischen 1 s und 3 s liegen, kann man aus der Beobachtung größerer Zeitlücken mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf schließen, dass keine dichte Fahrzeugfolge mehr vorliegt und Fahrzeuge nur noch vereinzelt ankommen. Von Detektoren werden allerdings Nettozeitlücken (Heck des 1. Fahrzeugs bis Front des 2. Fahrzeugs) gemessen, da der Zeitzähler erst dann in Gang gesetzt wird, wenn der Detektor nicht mehr belegt ist und damit ein Fahrzeug mit seinem Heck den Detektor verlassen hat.

Die Entscheidung für einen Freigabezeitabbruch aufgrund fehlender Auslastung kann dann getroffen werden, wenn der Zeitzähler einen festgelegten Schwellenwert (ZS) überschreitet (**Bild 65**). Als Zeitlückenschwellenwerte für einen Freigabezeitabbruch werden im allgemeinen ganzzahlige Werte zwischen 2 s und 5 s verwandt. Der übliche Wert ZS beträgt 3 s, ein ZS von 2 s ist nur bei $v_{zul} < 50$ km/h empfehlenswert.

VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE



Eine für die Kapazität des Knotenpunktes entscheidende Frage ist, wo die Zeitlücke gemessen wird. Würde sie direkt an der Haltlinie gemessen (**Bild 66, Fall 1**), so wäre die gesamte Zeit, die bis zum Erreichen des Zeitlückenschwellenwertes (ZS) verstreicht, ungenutzte Freigabezeit.

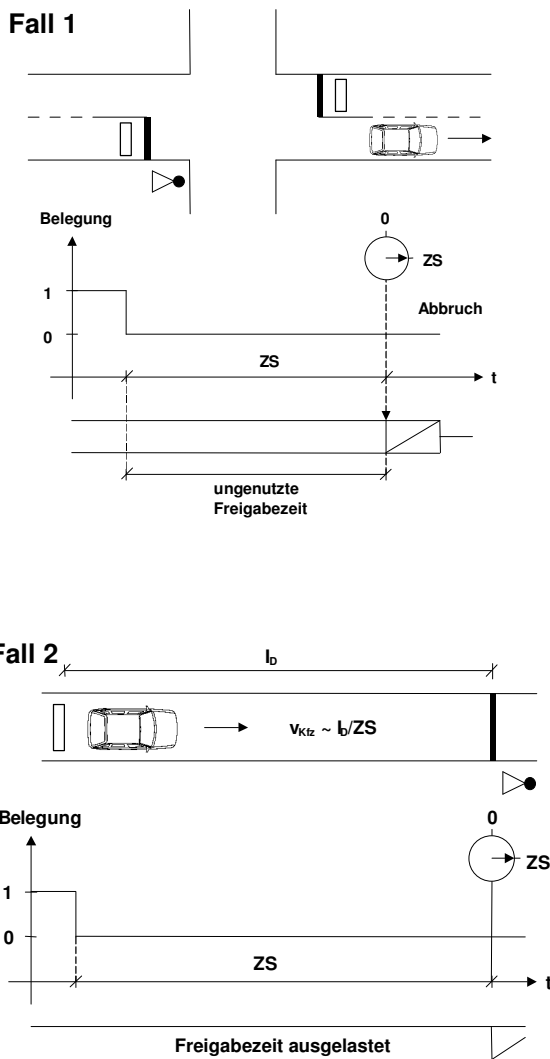


Bild 66: Auswirkung der Detektorlage auf die Auslastung der Freigabezeit

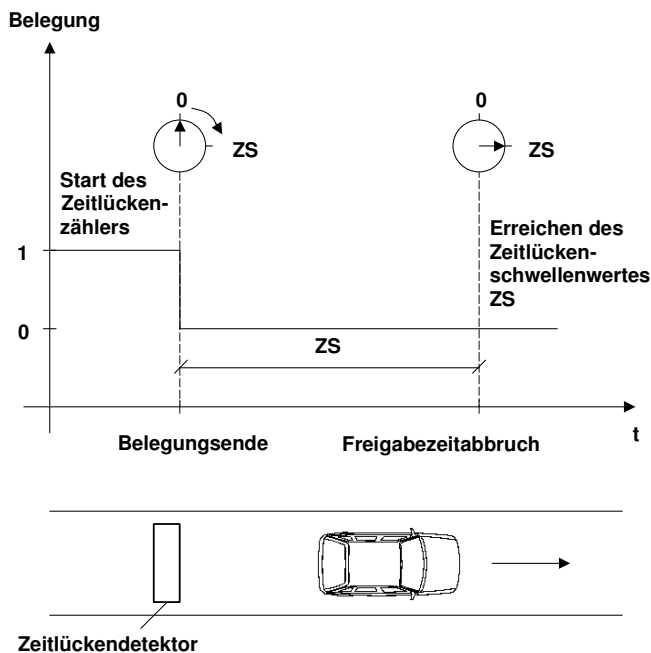


Bild 65: Überprüfung des Zeitlückenkriteriums

Dies vermeidet man, indem man den Detektor um etwa die Strecke l_D zurückversetzt, die ein Fahrzeug mit der Geschwindigkeit v_{zul} während der Zeit ZS durchfährt (**Bild 66, Fall 2**). Die Freigabezeit wird bei dieser Detektorlage ungefähr dann abgebrochen, wenn das letzte Fahrzeug gerade die Haltlinie passiert. In **Bild 67** sind die Detektorabstände für die relevanten Zeitlückenschwellenwerte zusammengestellt.

v_{zul} [km/h]	empfohlener Detektorabstand [m]		
	ZS = 2 s	ZS = 3 s	ZS = 4 s
30	15	25	30
40	20	35	45
50	30	40	55
60	35	50	65
70	40	60	80

Bild 67: Empfohlener Detektorabstand in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v_{zul} (nach RiLSA, FGSV 1992)



Weglücke

Anstelle der Überschreitung eines Zeitlückenschwellenwertes wird es hier als Hinweis auf fehlende Auslastung angesehen, wenn ein hinreichend langer Streckenabschnitt nicht belegt ist. Dies kann durch einen oder mehrere Detektoren überprüft werden, die den entsprechenden Streckenabschnitt abdecken (**Bild 68**).

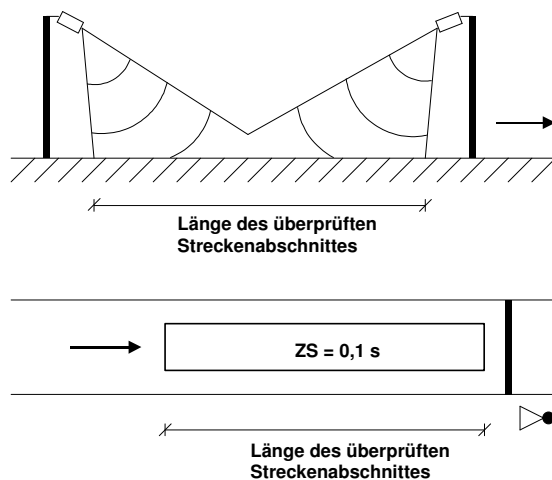


Bild 68: Überprüfung der Messgröße "Weglücke"

Bei Induktivschleifendetektoren wird das Vorhandensein einer Weglücke im allgemeinen durch einen sehr kleinen Zeitlückenschwellenwert (0,1 s bis 1 s) überprüft. War der Detektor beispielsweise länger als 0,1 s nicht belegt, so liegt im Moment der Abfrage eine Nettoweglücke vor, die mindestens der Detektorlänge entspricht.

Belegungsgrad

Der Belegungsgrad ist definiert als prozentualer Anteil an der Gesamtzeit, während der ein Detektor belegt ist.

$$B = \frac{t_{\text{belegt}}}{t_{\text{gesamt}}}$$

Da ein Detektor entweder zu 0 % oder zu 100 % belegt ist, besitzt eine Momentanbetrachtung wenig Aussagekraft. Der Belegungsgrad wird deshalb mit Hilfe eines Glättungsverfahrens über eine Reihe zurückliegender Sekundenschritte ermittelt. Hierbei gehen die Belegungswerte kürzer zurückliegender Zeitintervalle stärker ein als diejenigen weiter zurückliegender Zeitintervalle (**Bild 69**). Als Kriterium für den Freigabezeitabbruch wird das Unterschreiten eines Schwellenwertes (z.B. BS = 5 %) verwandt.

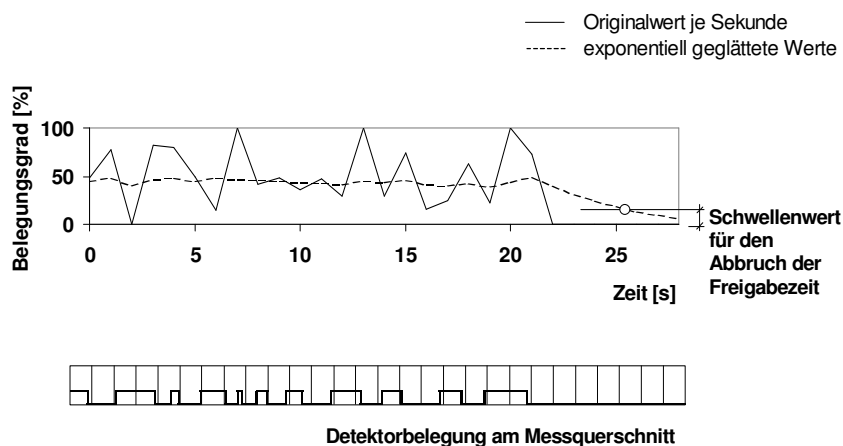


Bild 69: Geglätteter Belegungsgrad in Abhängigkeit der Belegung des Messquerschnitts

Beim Belegungsgrad handelt es sich im Vergleich zu Zeitlücke oder Weglücke um eine relativ träge Kenngröße zur Beurteilung des Auslastungsgrades. Deshalb ist er zur kurzfristigen Anpassung des Signalprogrammablaufs an das Verkehrsgeschehen meist wenig effektiv.



Als Hauptanwendungszweck der Kenngröße Belegungsgrad wird meist eine bessere Berücksichtigung des Schwerlastverkehrs genannt. Mit Hilfe des Belegungsgrades sei es möglich, einen vorzeitigen Abbruch der Freigabezeit infolge großer Zeitlücken wie beim Anfahrvorgang von Lkw zu vermeiden: Bedingt durch seine große Fahrzeuglänge und seine geringe Geschwindigkeit belegt ein Lkw einen Detektor sehr lange, was vorübergehend zu einem starken Anstieg des Belegungsgrades und damit zu einem späteren Unterschreiten des Schwellenwertes BS führt.

Allerdings lässt sich die Fehleinschätzung, die dieser plausibel klingenden Erklärung zugrunde liegt, durch ein einfaches Argument belegen: Große Zeitlücken bilden sich vor anfahrenden Lkw aus, nicht hinter ihnen.

Die Messgröße „Belegungsgrad“ kann also nicht verhindern, dass die Freigabezeit abgebrochen wird, bevor ein Lkw den Detektor erreicht (**Bild 70**). Sehr wohl kann diese Messgröße aber zu dem nachteiligen Effekt führen, dass nach der Belegung des Detektors durch einen Lkw die Freigabezeit noch künstlich verlängert wird, obwohl gar keine weiteren Fahrzeuge mehr folgen.

Es lässt sich folgern, dass die Verwendung des Belegungsgrades als Kriterium für den Freigabezeitabbruch mit Vorsicht zu genießen ist, und dass in aller Regel mit Hilfe des Zeitlückenkriteriums eine effektivere Anpassung an den Verkehrsablauf gelingt. Auch eine Kombination von Belegungsgrad und Zeitlücke erscheint nicht sinnvoll.

Rückstau

Die Erkennung eines Fahrzeugrückstaus, der eine kritische Länge überschreitet, ist durch Anordnung eines Induktivschleifendetektors im kritischen Bereich und Messung der Belegungsdauer möglich. In der Regel ist eine Schleife zum Erkennen von Rückstau anders als eine Anforderungs- oder Zeitlückenschleife auszubilden. Hierfür kommen insbesondere Langschleifen in Frage. Überschreitet die Belegungsdauer einen Schwellenwert (z.B. 8 s), so ist zu folgern, dass das auf dem Detektor befindliche Fahrzeug zum Stillstand gekommen ist. Anschließend können entsprechende Steuerungsmaßnahmen eingeleitet werden, um den entstandenen Rückstau wieder abzubauen.

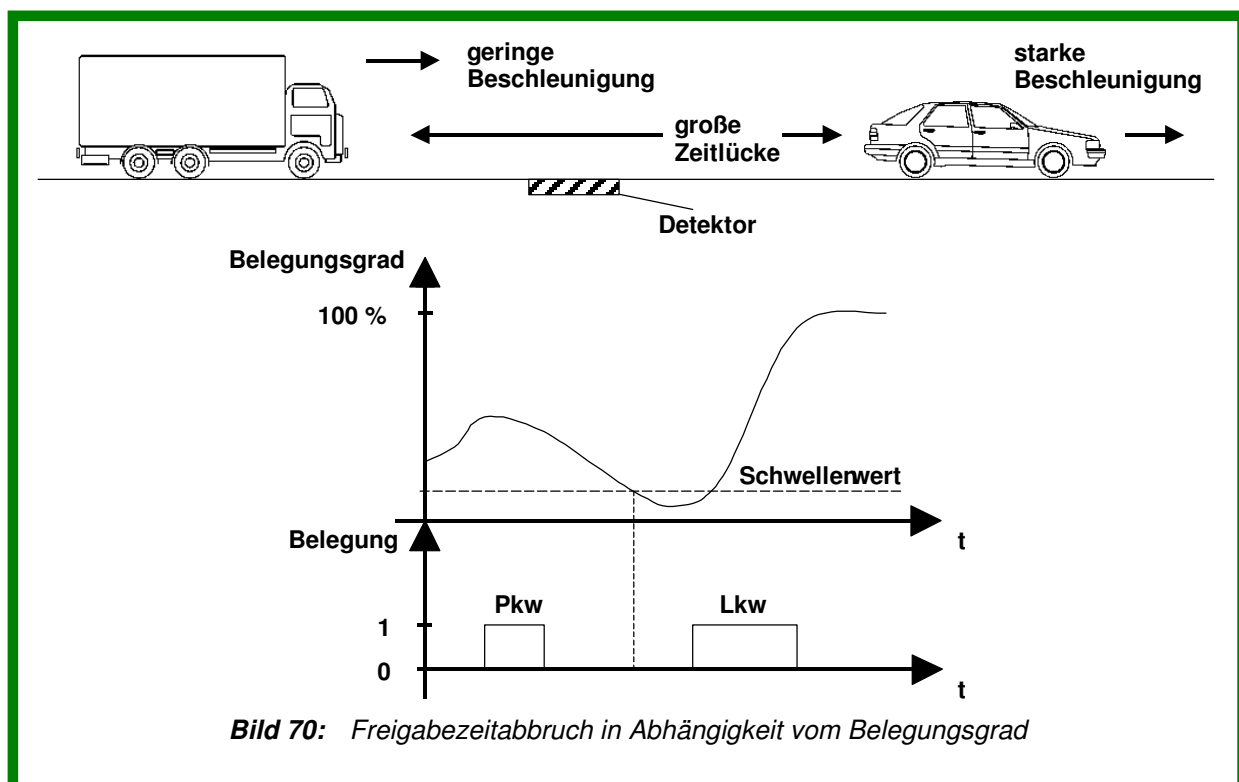


Bild 70: Freigabezeitabbruch in Abhängigkeit vom Belegungsgrad



Fußgänger

Zur Erfassung der Freigabezeitenanforderung von Fußgängern haben sich Drucktasten (Taster mit Druckplatte) oder Berührungssensoren durchgesetzt, die an den Signalgebermasten angebracht sind (**Bild 71**). Bei Sensoren gibt es im Winter zum Teil Beschwerden wegen Fehlfunktion (z.B. kein Reagieren bei Handschuhen). In geringem Umfang werden auch Infrarot-Detektoren verwendet.

An stark frequentierten Fußgängerfurten werden vereinzelt auch Infrarot-Detektoren zur Verlängerung der Fußgängerfreigabezeit eingesetzt. Dies gilt speziell für Fußgängerschutzanlagen im Zusammenhang mit der Schulwegsicherung.

Für Sehbehinderte und Blinde sind Zusatzrichtungen erforderlich, damit diese die taktilen oder akustischen Signale zur Verdeutlichung der Freigabezeit anfordern und die für die Querung erforderliche Furt erkennen (Pfeiltaster) können. Nähere Hinweise geben der Abschnitt 4.5.9.2, die DIN 32981 „Zusatzrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen – Anforderungen“, der Leitfaden „Unbehinderte Mobilität“ (KOHaupt/SCHULZ 2006) und eine Verfügung in Hessen (HLSV 2006a).



Bild 71: Drucktaster für die Anforderung von Fußgängerfreigabezeit und Zusatzeinrichtungen für Blinde/Sehbehinderte (BOSSERHOFF 2007)

Bild 72: Induktionsschleife im Radweg zur frühzeitigen Erfassung der Radfahrer (BOSSERHOFF/KOCH 2006)

Radfahrer

Radfahrer werden bei Führung mit dem Kfz-Verkehr auf **Mischspur** in der Regel über für sie und Kfz gemeinsame Induktivschleifendetektoren erfasst (**Bild 60a**). Um auch Radfahrer registrieren zu können, muss die Schleife zum einen korrekt verlegt sein, d.h. als Parallelogramm und möglichst nah zum Fahrbahnrand, damit auch Radfahrer erfasst werden. Zum anderen muss sie sehr geringe Spannungsänderungen wahrnehmen können, um auch Radfahrer zu erkennen. Sehr empfindliche Detektoren haben dabei wieder den Nachteil, dass eventuell auch Fahrzeuge auf der Gegenfahrbahn registriert werden, was ohne Verwendung von Doppelschleifen zu fehlerhaften Belegungsmeldungen führt. Es ist daher wichtig, die Anordnung der **Detektoren** sowie deren Ansprechschwellen gut auf den jeweiligen Einsatzort abzustimmen und ihre korrektes Funktionieren im Rahmen der Qualitätssicherung **regelmäßig zu überprüfen**.

Radfahrer müssen bei Führung auf **Radwegen** ihre Freigabezeit in der Regel über Drucktaster oder Berührungssensoren am Signalmast gemeinsam mit den Fußgängern anfordern. Da dies häufig Halte zur Folge hat, sollte bei regelmäßigem Radfahreraufkommen geprüft werden, ob nicht im Vorfeld des Knotenpunktes eine Induktivschleife angeordnet werden kann (**Bild 72**). Wenn diese in genügendem Abstand zum Knotenpunkt liegt, entfällt für die Radfahrer der Halt am Knotenpunkt oder wird zumindest deutlich kürzer (BOSSERHOFF 2007). Bei in beiden Richtungen befahrenem Radweg ist darauf zu achten, dass die Radschleife als Doppelschleife ausgeführt wird und nur richtungsabhängig anfordert.





ÖPNV und Einsatzfahrzeuge

Erfassungseinrichtungen zur Bevorrechtigung spezieller Fahrzeuge (vor allem des ÖPNV) werden in Kapitel 6.1 dieses Handbuchs behandelt.

4.5.8 BEURTEILUNG DER LICHTSIGNALSTEUERUNG

4.5.8.1 Qualität des Verkehrsablaufs

Als wichtiges Kriterium zur Bewertung des Verkehrsablaufs ist die Dauer eines Wartevorgangs (Wartezeit) anzusehen. Je nach Eintreffenszeit und Zeitpunkt der Abfertigung an der Lichtsignalanlage ist die Wartezeit für die einzelnen Verkehrsteilnehmer unterschiedlich lang. Die Wartezeit ist eine Zufallsgröße. Aus praktischen Gründen wird meist nur mit dem Mittelwert der Wartezeit gearbeitet.

Neben der Wartezeit können weitere Kenngrößen für die Qualitätsbewertung herangezogen werden, wie Anzahl der Fahrzeuge im Stau, Anzahl der Haltevorgänge oder der Durchfahrten, Sättigungsgrad und Anteil überlasteter Umläufe.

Wartezeiten und Halte von Kraftfahrzeugen stehen in engem Zusammenhang mit Energieverbrauch, Schadstoff- und Lärmemissionen. Die Kenngröße „Anzahl der Fahrzeuge im Stau“ dient meist zur Dimensionierung von Abbiegestreifen. Wartezeiten und Halte von Fußgängern und Radfahrern beschreiben in erster Linie die Verkehrsqualität für diese Verkehrsteilnehmergruppen.

Zur Einteilung der **Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) A bis F** gelten für die einzelnen Verkehrsarten und Verkehrsmittel die Grenzwerte der mittleren Wartezeit nach **Bild 73**. Die einzelnen Qualitätsstufen gemäß HBS (FGSV 2001/2005) bedeuten:

- **Stufe A:**
Die Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer kann ungehindert den Knotenpunkt passieren. Die Wartezeiten sind sehr kurz.
- **Stufe B:**
Alle während der Sperrzeit ankommenden Verkehrsteilnehmer können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren oder -gehen. Die Wartezeiten sind kurz.

QSV	zulässige mittlere Wartezeit w [s]				Durchfahrten ohne Halt [%]
	ÖPNV (Straße)	Radverkehr	Fußgänger- verkehr ¹⁾	Kfz-Verkehr (nicht koordinierte Zufahrten)	Kfz-Verkehr (koordinierte Zufahrten)
A	≤ 5	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≥ 95
B	≤ 15	≤ 25	≤ 20	≤ 35	≥ 85
C	≤ 25	≤ 35	≤ 25	≤ 50	≥ 75
D	≤ 40	≤ 45	≤ 30	≤ 70	≥ 65
E	≤ 60	≤ 60	≤ 35	≤ 100	≥ 50 ²⁾
F	> 60	> 60	> 35	> 100	< 50 ²⁾

¹⁾ Zuschlag von 5s bei Überquerung mehrerer Furten
²⁾ Koordinierung unwirksam

Bild 73: Grenzwerte für die Qualitätsstufen der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrsarten (nach HBS: FGSV 2001/2005)



- **Stufe C:**
Nahezu alle während der Sperrzeit ankommenden Verkehrsteilnehmer können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren oder weitergehen. Die Wartezeiten sind spürbar. Beim Kraftfahrzeugverkehr tritt im Mittel nur geringer Stau am Ende der Freigabezeit auf.
- **Stufe D:**
Im Kraftfahrzeugverkehr ist ständiger Reststau vorhanden. Die Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer sind beträchtlich. Der Verkehrszustand ist noch stabil.
- **Stufe E:**
Die Verkehrsteilnehmer stehen in erheblicher Konkurrenz zueinander. Im Kraftfahrzeugverkehr stellt sich ein allmählich wachsender Stau ein. Die Wartezeiten sind sehr lang. Die Kapazität wird erreicht.
- **Stufe F:**
Die Nachfrage ist größer als die Kapazität. Die Fahrzeuge müssen bis zu ihrer Abfertigung mehrfach vorrücken. Der Stau wächst stetig. Die Wartezeiten sind extrem lang. Die Anlage ist überlastet.

Für den **Kraftfahrzeugverkehr** wird die Qualität des Verkehrsablaufs in nicht koordinierten Zufahrten nach der Größe der mittleren Wartezeit beurteilt. In koordinierten Zufahrten sollte die Qualität nach dem Prozentsatz der erreichten Durchfahrten oder nach der Anzahl der Halte bewertet werden, letztlich meist der Zielstellung der Koordination (vgl. Kapitel 5.1. dieses Handbuchs).

Die Beurteilung der Wartevorgänge von **ÖV-Fahrzeugen** an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage ist vielfach auch im Zusammenhang mit der Betriebsabwicklung an Haltestellen zu sehen.

Beim **Fußgängerverkehr** kann zusätzlich die maximale Wartezeit für die Fußgänger angegeben werden, die genau der Dauer der Sperrzeit der Fußgängerfurt bei Festzeitsteuerung entspricht, wenn nur eine Furt zu begehen ist. Müssen Fußgänger mehrere Furten nacheinander nutzen, sollten die Signalzeiten der Furten so aufeinander abgestimmt werden, dass der Knotenpunktarm in

einem Zug passiert werden kann. Beim Überschreiten der Fahrbahn mit mehreren Furten kann die zulässige mittlere Wartezeit für die einzelnen Qualitätsstufen um 5 s angehoben werden.

4.5.8.2 Festzeitsteuerung

Sättigungsgrad

Der Sättigungsgrad kann für eine überschlägige Qualitätsbewertung herangezogen werden. Er gibt das Verhältnis von Zufluss zu Kapazität für einen Fahrstreifen bzw. eine Zufahrt und für die gesamte Verkehrsanlage an. Bei Übersättigung kann er bei Knotenpunkten > 1 werden. Der Sättigungsgrad wird wie folgt bestimmt:

$$g = \frac{q \cdot t_U}{q_S \cdot t_{Gr}} = \frac{q}{f \cdot q_S}$$

mit:

g	= Sättigungsgrad	[-]
q	= Verkehrsstärke	[Fz/h]
q_S	= Sättigungsverkehrsstärke	[Fz/h]
t_U	= Umlaufzeit	[s]
t_{Gr}	= Freigabezeit	[s]
f	= Freigabezeitanteil (t_{Gr} / t_U)	[-]

Folgende Zusammenhänge sind entsprechend dem HBS (FGSV 2001/2005) zu beachten:

- Stark unterschiedliche Sättigungsgrade für die maßgebenden Phasenströme weisen darauf hin, dass die Freigabezeitaufteilung ungünstig ist und verändert werden sollte.
- Aus einer Übersättigung ($g > 1,0$) ergeben sich extrem lange Wartezeiten für den Kraftfahrzeugverkehr. Sind alle Zufahrten übersättigt, was bei bestehenden hochbelasteten Anlagen in Spitzenzeiten häufig auftritt, muss auch bei der Aufteilung der Freigabezeiten darauf geachtet werden, dass für die maßgebenden Ströme etwa gleich große Sättigungsgrade erreicht werden.



- Nur bei etwa gleich großen Sättigungsgraden für die maßgebenden Phasenströme wird das Wartezeitminimum erreicht. Der zugehörige Sättigungsgrad liegt bei:

$$g = \frac{2 \cdot B}{1 + B}$$

mit:

g = Sättigungsgrad [-]

B = Summe der Verkehrsflussverhältnisse für die maßgebenden Phasenströme [-]

$$= \sum_{i=1}^p q_{\text{maßg.,i}} / q_{S,i}$$

- Treten generell sehr kleine Sättigungsgrade auf, kann eine zu große Umlaufzeit gewählt worden sein.

Wartezeit

Die Wartezeit stellt die wichtigste Bewertungsgröße für die Qualität des Verkehrsablaufs an lichtsignalgesteuerten Knotenpunktzufahrten dar. Im Kraftfahrzeugverkehr umfasst sie den gesamten Zeitverlust, den die Fahrzeuge gegenüber der behinderungsfreien Durchfahrt in Kauf nehmen müssen. Die Wartezeit setzt sich entsprechend dem HBS (FGSV 2001/2005) zusammen aus:

- Grundwartezeit:

Diese resultiert aus der Sperrung der Knotenpunktzufahrt durch die Lichtsignalanlage ohne Berücksichtigung des Reststaus.

- Reststauwartezeit:

Diese wird durch Fahrzeuge hervorgerufen, die während der Freigabezeit nicht abgefertigt werden konnten (Stau bei Grünende) und nachfolgende Fahrzeuge behindern.

Die mittlere Wartezeit eines Fahrzeugs berechnet sich bei der Festzeitsteuerung fahrstreifenbezogen nach der Beziehung:

$$w = \frac{t_U \cdot (1-f)^2}{2 \cdot (1-q/q_S)} + \frac{3600 \cdot N_{GE}}{f \cdot q_S}$$

Grundwartezeit Reststauwartezeit

mit:

w = mittlere Wartezeit eines Kfz [s]

t_U = Umlaufzeit [s]

f = Freigabezeitanteil (t_{Gr} / t_U)

q = Verkehrsstärke auf dem betreffenden Fahrstreifen [Fz/h]

q_S = zugehörige Sättigungsverkehrsstärke für den betreffenden Fahrstreifen [Fz/h]

N_{GE} = mittlerer Stau am Grünende im Untersuchungszeitraum (1h) [Fz]

Die Größe der Reststauwartezeit hängt wesentlich ab vom Stau, der am Ende der Freigabezeit zu verzeichnen ist. Bei zufälligen Verkehrsflussverhältnissen kann die Größe des mittleren Reststaus bis zu Sättigungsgraden von $g < 0,65$ vernachlässigt werden. Zwischen Sättigungsgraden $0,65 < g \leq 0,90$ pendelt sich der Reststau auf einen konstanten Wert ein.

Ab $g > 0,90$ wächst der Reststau zeitabhängig und es muss genau angegeben werden, welcher Zeitraum T untersucht wird oder wie viele Umläufe $U = T/t_U$ betrachtet werden sollen.

Die Gleichungen zur Berechnung des Reststaus für zufällige Verkehrsflussverhältnisse können dem HBS (FGSV 2001/2005) entnommen werden. Mit den Gleichungen ist es möglich, ab Sättigungsgraden $g > 0,90$ den mittleren Reststau über den gesamten Untersuchungszeitraum, aber auch für einen beliebigen Umlauf zu bestimmen.

Die Wartezeitgleichung kann nicht für koordinierte Lichtsignalzufahrten angewendet werden, solange diese nicht übersättigt sind.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Den grundlegenden Zusammenhang zwischen der Wartezeit des Kfz-Verkehrs und der Umlaufzeit ist in **Bild 74** dargestellt. Die Kurve verläuft sehr flach im Bereich der optimalen Umlaufzeit, bei der die Wartezeit am geringsten ist. Sie steigt aber im Bereich der verkehrlichen Mindestumlaufzeit stark an. Der flache Kurvenverlauf ist insofern günstig, dass Abweichungen von 10 bis 15 s von der optimalen Umlaufzeit kaum zu einer nennenswerten Wartezeiterhöhung führen.

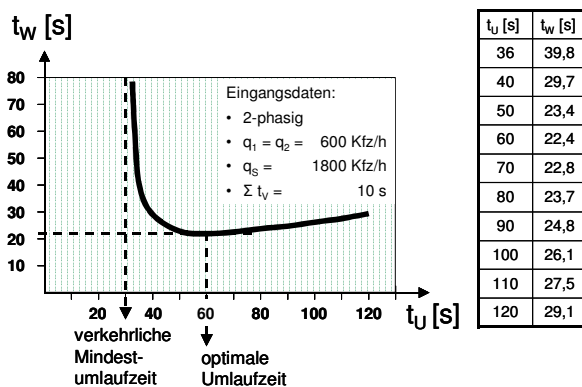


Bild 74: Zusammenhang zwischen Wartezeit und Umlaufzeit (SCHNABEL/LOHSE 1997)

Die Länge der Umlaufzeit sowie die Aufteilung der Freigabezeiten auf die einzelnen Phasen beeinflussen damit entscheidend die Qualität des Verkehrsablaufs. **Bild 75** gibt eine Übersichts zur Größenordnung der Umlaufzeiten.

	Umlaufzeit		
	minimal	normal	maximal
Zwei-Phasensystem	30 s	45 s bis 60 s	80 s
Mehrphasensystem	50 s	65 s bis 80 s	100 s (120 s)

Bild 75: Größenordnung der Umlaufzeit (SCHNABEL/LOHSE 1997)

Die Anzahl der im Mittel rückgestauten Fahrzeuge ergibt sich nach WEBSTER (1958) zu:

$$L_w = q/3600 \cdot t_w$$

Für die Dimensionierung von Abbiegefahrstreifen wird häufig die Rückstaulänge verwandt, die in 95 % aller Umläufe nicht überschritten wird. SCHNABEL enthält in tabellarischer Form die **95 %-Rückstaulängen $L_{w,95}$** nach WEBSTER (1958) in Abhängigkeit von Sättigungsgrad g , Freigabezeitanteil f und mittlerer Ankunfts Häufigkeit pro Umlauf $\mu = \lambda \cdot t_U$ (**Bild 76**). Die Werte L_w der Rückstaulängen entsprechen hier der Anzahl rückgestauter Fahrzeuge. Zur **Umrechnung in ein Längenmaß** der Einheit [m] ist dieser Wert noch mit der fiktiven Fahrzeuglänge l_{Fz} (im allgemeinen 6 m) zu multiplizieren.

Die genannten Ansätze zur Ermittlung von Wartezeiten, Halten und Rückstaulängen von Kraftfahrzeugen gelten unter der Annahme, dass die betrachteten Ströme **frei abfließen** können. Ansätze zur Ermittlung entsprechender Kenngrößen für **Abbiegeströme**, die bevorrechtigte Ströme zu beachten haben, sowie für Wartezeiten des **ÖPNV** und von **Radfahrern** enthält das HBS (FGSV 2001/2005).

Für **Fußgänger** beträgt die **Anhaltewahrscheinlichkeit** an Lichtsignalanlagen:

$$P_{Halt} = \frac{(t_U - t_{Gr})}{t_U}$$

Berücksichtigt man, dass die mittlere Wartezeit eines während der Sperrzeit eintreffenden Fußgängers $(t_U - t_{Gr})/2$ beträgt, so ergibt sich für die **mittlere Wartezeit aller Fußgänger**:

$$t_w = \frac{P_{Halt} \cdot (t_U - t_{Gr})}{2} = \frac{(t_U - t_{Gr})^2}{(2 \cdot t_U)}$$

Dieser Ansatz gilt für **Fußgänger, die nur einen Überweg queren**, nicht aber für eine Übereck-Beziehung bzw. bei mehreren Teilabschnitten.



Sättigungs- grad $g = q/(f \cdot q_s)$	Freigabe- zeitanteil $f = t_{Gr}/t_U$	mittlere Ankunftshäufigkeit pro Umlauf ($\mu = q/3600 \cdot t_U$)				
		2,5	5,0	10,0	20,0	40,0
0,3	0,4	5	7	12	20	34
	0,6	4	5	9	15	24
	0,8	3	4	6	9	15
0,5	0,2	6	7	15	26	47
	0,4	5	7	12	20	35
	0,6	4	5	9	15	24
	0,8	3	4	6	9	15
0,7	0,2	7	9	15	25	44
	0,4	6	8	12	20	34
	0,6	5	7	9	15	25
	0,8	5	5	7	9	15
0,8	0,2	9	12	16	25	46
	0,4	8	11	14	21	35
	0,6	8	9	11	16	25
	0,8	7	8	9	11	16
0,9	0,2	19	18	22	30	49
	0,4	19	17	20	23	39
	0,6	19	16	17	21	34
	0,8	18	15	15	18	22
0,95	0,2	36	28	33	40	55
	0,4	35	27	30	35	47
	0,6	34	26	25	34	39
	0,8	34	25	27	27	32
0,975	0,2	74	63	65	62	84
	0,4	74	57	65	59	75
	0,6	69	61	62	54	65
	0,8	65	56	61	51	64

Bild 76: 95 %-Rückstaulängen nach WEBSTER (1958)

4.5.8.3 Verkehrsabhängige Steuerung

Die Bestimmung der genannten Kenngrößen des Verkehrsablaufs für den Fall der verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerung stellt sich wesentlich schwieriger dar. Der Signalprogrammablauf bei verkehrsabhängigen Steuerungsverfahren wird ständig durch den aktuellen Verkehrszustand beeinflusst. Unter solchen Bedingungen lassen sich **keine allgemeingültigen Gleichungen** mehr für Kenngrößen des Verkehrsablaufs nennen.

Diese Größen können nur noch mit Hilfe einer **rechnergestützten Simulation des Verkehrsablaufs** gewonnen werden.

Beispielhaft für ein solches Simulationsmodell sei das mikroskopische, verhaltensbasierte und universell einsetzbare Programm VISSIM genannt (PTV 2005). Hinweise hierzu geben der Abschnitt 4.5.11 und das Kapitel 4.7 dieses Handbuchs.



4.5.9 BERÜCKSICHTIGUNG VERSCHIEDENER VERKEHRSTEILNEHMERGRUPPEN

Die Anforderungen verschiedener Verkehrsteilnehmergruppen an Verkehrsanlagen und deren Anwohner sind unterschiedlich. Eine sicherlich nicht umfassende Zusammenstellung nach verschiedenen Kriterien zeigt **Bild 77**.

Im folgenden werden die **Belange von Radfahrern, Fußgängern und ÖPNV** hinsichtlich der Knotenpunktgestaltung und Lichtsignalsteuerung detaillierter betrachtet. Hier wurden in den letzten Jahren einige **neue Regelwerke** veröffentlicht.

Die **Hinweise zur Beschilderung von Radverkehrsanlagen** nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (FGSV 1998) greifen alle Neuerungen im Gesamtzusammenhang auf. Um eine weitgehend einheitliche Auslegung und Anwendung der neuen Bestimmungen im Radverkehr zu fördern, sichern sie die inhaltliche Verzahnung zwischen StVO und den „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen **ERA**“ (FGSV 1995).

Die „Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs (**HSRa**)“ (FGSV 2005) und der **Leitfaden** „Signale für den Radverkehr“ (MÜNSTER 2007) enthalten die aus Radverkehrssicht wichtigen Aspekte bei Knotenpunkten mit LSA. Die Optimierung der Rahmenbedingungen für eine verstärkte Fahrradnutzung wird durch den ersten Nationalen Radverkehrsplan **FahrRad!** (BMVBW 2002) unterstützt. Vor diesem Hintergrund stellt die Veröffentlichung „FahrRad in NRW“ alle Bestandteile des „Systems Radverkehr“ (NRW 2002a) zusammen.

Die „Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (**EFA**)“ (FGSV 2002) gelten vorrangig für den Fußgängerverkehr innerhalb bebauter Gebiete. Für Fußgängerverkehrsanlagen außerhalb bebauter Gebiete wird auf Besonderheiten hingewiesen. Es werden die Grundanforderungen an Fußgängerverkehrsanlagen definiert und Hilfestellungen zur Auswahl spezifischer Anlagen für den Fußgängerverkehr gegeben. Aus den Erfahrungen eines Pilotprojekts zum Einsatz und zur Gestaltung von Fußgängerüberwegen im Land Nordrhein-Westfalen wurden im Jahr 2002 ergänzende Empfehlungen veröffentlicht (NRW 2002b).

Anforderung	motorisierter IV	Bus/ Straßenbahn	Radfahrer	Fußgänger	Anwohner
günstige Verkehrssicherheit	+	+	+	+	+
geringe Wartezeiten	+	+	+	+	
geringe Anzahl der Halte	+	+	+	+	+
günstige Reisegeschwindigkeiten	+	+	(+)	(+)	
hohe Pünktlichkeit		+			
geringer Kraftstoffbedarf	+	(+)			
geringe Abgasemissionen	+	(+)			+
geringe Lärmentwicklung	+	(+)			+

Bild 77: Forderungen der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen an die Verkehrsabwicklung



Das **Merkblatt zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs** mit Straßenbahnen und Bussen (FGSV 1999) enthält eine umfassende Darstellung der Möglichkeiten zur wirkungsvollen Beschleunigung des ÖPNV. Eine weitergehende und übersichtliche Darstellung aller für den öffentlichen Personenverkehr relevanten Planungsparameter enthalten zudem die 2003 neu erschienenen „Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ)“ (FGSV 2003b).

4.5.9.1 Radverkehr

Beim Entwurf der Radverkehrsführung und der zugehörigen Signalisierung an Knotenpunkten mit LSA ist auch die Radverkehrsführung auf den zu- und wegführenden Straßen zu berücksichtigen.

Radverkehrsführung im Zu-/Abflussbereich

Hinweise enthalten insbesondere die **ERA** (FGSV 1995), die **HRaS** (FGSV 2002) und die **„24. Verordnung zur Änderung straßenrechtlicher Vorschriften“**. In letzterer und der dazugehörigen Verwaltungsvorschrift sind nahezu alle Bestandteile von Radverkehrsnetzen an Strecken und Kreuzungen bzw. Einmündungen mit neuen Regelungen belegt worden. Insbesondere wurde auch die **Benutzungspflicht von Radverkehrsanlagen** detaillierter geregelt. Einzuhalten sind Anforderungen hinsichtlich der lichten Breite, der Beschaffenheit der Verkehrsfläche, der Linienführung sowie der Gestaltung an Knotenpunkten. Mindestwerte dürfen nur für kurze Teilstrecken angewendet werden, ansonsten sind die Werte der ERA (FGSV 1995) heranzuziehen.

Entscheidend ist die grundsätzliche Fragestellung, ob aus Verkehrssicherheitsgründen eine Benutzungspflicht der Radverkehrsanlage geboten erscheint. In der Regel besteht in Erschließungsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h kein Separationsbedarf für den Radverkehr. Dies bedeutet, dass vorhan-

dene Radwege nicht benutzungspflichtig sein müssen oder gesonderte straßenbegleitende Radverkehrsanlagen nicht anzulegen sind.

Benutzungspflichtige Radverkehrsanlagen müssen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift u.a. folgenden **Sicherheits- und Qualitätsansprüchen** genügen:

- Die Benutzung der Radverkehrsanlage muss nach der **Beschaffenheit** und dem **Zustand** zumutbar sowie die **Linienführung** eindeutig stetig und sicher sein.
- Die lichte **Breite** (befestigter Verkehrsraum mit Sicherheitsraum) soll die in **Bild 78** aufgeführten Angaben einhalten. Eine Orientierung an Mindestmaßen ist mit dem Ziel der Radverkehrsförderung nicht vereinbar. An einzelnen Engstellen können aber selbst Mindestmaße einmal unterschritten werden, wenn sonst keine sinnvolle und vertretbare Lösung möglich ist.

Radverkehrsanlage	Richtwert [m]	Mindestwert [m]
Radweg (Ein-Richtungsverkehr)	2,00	1,50
Radweg (Zweirichtungsverkehr)	2,40	2,00
Radfahrstreifen zzgl. Breitstrich von 0,25 m	1,60	1,25
Schutzstreifen zzgl. Breitstrich von 0,12 m	1,60	1,25
gemeinsamer Fuß- und Radweg außerorts	-	2,50
gemeinsamer Fuß- und Radweg innerorts	-	2,00

Bild 78: Lichte Breite von Radverkehrsanlagen gemäß den Hinweisen zur Beschilderung von Radverkehrsanlagen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur StVO (FGSV 1998)



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- Die Radverkehrsfläche muss entsprechend den allgemeinen **Regeln der Technik** und den **Belangen des Radverkehrs** gebaut und unterhalten werden. Dies beinhaltet u.a. geringen Rollwiderstand, abgesenkte Bordsteine (Null-Höhe) und das niveaugleiche Passieren von Grundstückszufahrten.
- Die **Linienführung** im Streckenverlauf und die Radverkehrsführung an Knotenpunkten müssen auch für Ortsfremde eindeutig erkennbar sein.
- Die **Radverkehrsführung** sollte stetig sein, d.h. die Wahl der Sicherungselemente (Radweg, Radfahrstreifen, Schutzstreifen etc.) sollte möglichst selten wechseln. Führungskontinuität verbessert die Orientierung für alle Verkehrsteilnehmer und erhöht damit die Verkehrssicherheit.
- Insbesondere Konfliktbereiche wie Knotenpunkte und verkehrsreiche Grundstückszufahrten sind durch Furten, Radfahrerschleusen, Abbiegestreifen etc. sicher zu gestalten. Zusätzlich muss auf die Wahrung einer ausreichenden **Sichtbeziehung** zwischen dem Kfz- und Radverkehr geachtet werden.

Entsprechen bauliche Radverkehrsanlagen nicht diesem Anforderungsprofil, werden sie zu sogenannten "**Anderen Radwegen**", indem die Zeichen 237 („Radfahrer“), 240 („gemeinsamer Fuß- und Radweg“) oder 241 („getrennter- Fuß und Radweg“) demontiert werden: Nach den VwV-StVO sind „Andere Radwege“ baulich angelegt und nach außen erkennbar für die Benutzung durch den Radverkehr bestimmt. Sie sind jedoch nicht benutzungspflichtig gekennzeichnet. Solche Radwege kann der Radverkehr in Fahrtrichtung rechts benutzen. Es kann aber nicht beanstandet werden, wenn sie der Radfahrer nicht benutzt. Oft handelt es sich bei "Anderen Radwegen" um Provisorien und Übergangslösungen. Sie sollten, wenn aus Verkehrssicherheitsgründen eine Radwegebenutzungspflicht erforderlich ist, möglichst bald baulich so hergestellt werden, dass sie die

Voraussetzungen für eine Kennzeichnung erfüllen. Ist dies auf absehbare Zeit nicht möglich, müssen Alternativen realisiert werden. Bei der Berechnung der Zwischenzeiten sind Radfahrer streng genommen nur auf „benutzungspflichtigen“ Radwegen zu berücksichtigen, wenn diese vorhanden sind; andernfalls sind Radfahrer auf „anderen“ Radwegen **und** der Kfz-Fahrbahn zu berücksichtigen.

Grundsätzlich wird unterschieden nach der Radverkehrsführung an Verkehrsstraßen und Erschließungsstraßen.

Auf **Verkehrsstraßen** kommen folgende Sicherungselemente in Betracht:

- Netzelemente, die dem Radverkehr eigene Verkehrsflächen im Straßenraum zuweisen (**baulicher Radweg, Radfahrstreifen**).
- Netzelemente, die den Radverkehr im Mischverkehr mit anderen Verkehrsarten führen, falls eine Sicherung des Radverkehrs durch die Einrichtung separater Radverkehrsflächen nicht möglich oder nicht sinnvoll ist (**Mischprinzip**: Schutzstreifen, Mitbenutzung von Busfahrstreifen etc.).

Welche Radverkehrsführung im Verlauf einer Verkehrsstraße angemessen und zweckmäßig ist, kann nicht pauschal beantwortet werden. In jedem Einzelfall muss die räumliche und verkehrliche Situation im Bereich der Fahrbahn und der Seitenräume berücksichtigt werden. Für die Abwägung geben die Allgemeinen Verwaltungsvorschriften der StVO und die Empfehlungen für Radverkehrsanlagen, ERA (FGSV 1995) hilfreiche Kriterien an:

- **Entscheidungskriterien:**
 - Stärke, Zusammensetzung und Geschwindigkeitsniveau des Kfz-Verkehrs.
 - Flächenverfügbarkeit unter Berücksichtigung aller Nutzungsansprüche.
- **Prüfkriterien:**
 - Art und Dichte der Knotenpunkte sowie stark befahrener Grundstückszufahrten.
 - Art und Intensität der Umfeldnutzung.



- **weitere Kriterien:**
 - Stärke und Zusammensetzung des Radverkehrs.
 - Streckenverlauf mit Problem-/Engstellen.
 - Längsneigung (Gefälle) der Straße.
 - Busfahrstreifen oder/und Straßenbahn im Fahrbahnquerschnitt.
 - Unfallgeschehen.

Das innerörtliche Netz der **Erschließungsstraßen** umfasst etwa zwei Drittel des städtischen Straßennetzes. Häufig ist das Erschließungsstraßennetz als ein Netz von Tempo 30-Zonen ausgewiesen und es konnten verträgliche Kfz-Geschwindigkeiten erreicht werden. Dann ist die sichere und komfortable Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf der Fahrbahn gewährleistet. Da das Netz der Erschließungsstraßen meist sehr dicht ist, können Radfahrer oft größere Distanzen abseits der Verkehrsstraßen sicher und attraktiv zurücklegen. In manchen Fällen kann es allerdings auch in Tempo 30-Zonen sinnvoll und notwendig sein, besondere Vorkehrungen für den Radverkehr zu schaffen, so z.B. durch die Ausweisung von **Fahrradstraßen** zur Bündelung des Radverkehrs auf sogenannten Radachsen.

Radverkehrsführung im Knotenpunkt

Hinweise zur Verbesserung der Radverkehrsführung geben insbesondere eine Untersuchung zur Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten (BAST 2005) und die Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs HSRa (FGSV 2005).

Knotenpunkte im Zuge von Verkehrsstraßen stellen besonders für den Radverkehr ein hohes Konfliktpotenzial dar. Wesentliche **Problempunkte** von Radverkehrsanlagen an Knotenpunkten sind:

- der **Übergang** zwischen der Radverkehrsführung auf freier Strecke und derjenigen im Knotenpunktbereich,
- die **Führung der Linksabbieger** und
- Konfliktbereiche geradeausfahrender Radfahrer mit **rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugen**.

Zur sicheren Führung von Radfahrern und Fußgängern ist eine kompakte Knotenpunktgestaltung vorteilhaft, da diese deren Wege minimiert und gleichzeitig helfen kann, Kfz-Geschwindigkeiten zu reduzieren.

Mischverkehr auf der Fahrbahn ist **in mehrstreifigen Knotenpunktzufahrten** aufgrund des ungeschützten Fahrens zwischen parallelen und häufig schnellen Kfz-Verkehrsströmen **problematisch**. Daher sind differenzierte Maßnahmen zur **Separation** bzw. Teilseparation **des Radverkehrs erforderlich**, die Konflikte geradeausfahrender Radfahrer mit rechtsabbiegenden Kfz und linksabbiegender Radfahrer mit geradeausfahrenden Kfz verhindern können. Das unnötige Kreuzen von Fahrlinien unterschiedlicher Verkehrsströme ist zu vermeiden. Notwendige Verflechtungsvorgänge zwischen Radfahrern und dem Kfz-Verkehr sollten bereits frühzeitig vor Beginn der Knotenpunktzufahrt vorgesehen werden.

Daraus resultieren hohe Sicherheitsanforderungen an die Radverkehrsführung in Knotenpunkten:

- Die Führung der Radfahrer muss für alle Verkehrsteilnehmer schon in den Knotenpunktzufahrten klar und eindeutig erkennbar sein. Linksabbiegende Fahrbeziehungen stellen hier besonders hohe Anforderungen, da für alle Verkehrsteilnehmer frühzeitig und eindeutig die direkte oder indirekte Führung des Radverkehrs verdeutlicht werden muss.
- Die Führung und Kennzeichnung der Radwege oder Radfahrstreifen muss den jeweiligen Vorfahrtverhältnissen entsprechend gestaltet sein.
- Auf optimale Sichtbeziehungen zwischen allen Verkehrsteilnehmern ist immer Wert zu legen.

Während an Einmündungen von Straßen die Führungsform für den Radverkehr in der Regel beibehalten wird, kann an Kreuzungen oft ein Wechsel der Führungsform des vorhergehenden Streckenabschnitts zweckmäßig sein. So kann es sinnvoll sein, von Radwegen auf Radfahrstreifen oder Schutzstreifen überzuleiten.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

In der Verwaltungsvorschrift zur StVO (VwV-StVO, § 9, Absatz 2) wird die Radverkehrsführung an Knotenpunkten wie folgt präzisiert:

- An Kreuzungen und Einmündungen dienen zur Radwegeführung vor allem Radfahrerfurten, Radfahrerschleusen, aufgeweitete Radaufstellstreifen und Abbiegestreifen.
- **Radfahrerfurten** sind stets im Zuge von gekennzeichneten Vorfahrtstraßen und an Lichtsignalanlagen zu markieren. Die Markierung besteht aus zwei unterbrochenen Quermarkierungen in Breitstrich (0,25 m), die in der Regel 2 m Abstand haben. Davon abweichend beträgt der Abstand bei der Freigabe linker Radwege für die Gegenrichtung in der Regel 3 m und bei gemeinsamen Fuß- und Radwegen mindestens dessen Breite.
- **Radfahrerschleusen** und **aufgeweitete Radaufstellstreifen** können zusätzlich an der Lichtsignalanlage markiert werden, wenn dem Radverkehr die Wahlmöglichkeit zwischen dem indirekten und direktem Abbiegen eröffnet werden soll.
- Bei **Radfahrerschleusen** wird das Einordnen zum Abbiegen durch vorgeschaltete Lichtzeichen ermöglicht. Voraussetzung ist, dass der Radweg mit Radwegebenutzungspflicht neben der Fahrbahn verläuft und die vorgeschalteten Lichtzeichen für den Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn und den Radverkehr auf dem Radweg mindestens 30 m vor dem Hauptlichtzeichen entfernt sind. Das Haltgebot für den Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn wird an dem vorgeschalteten Lichtzeichen und das Haltgebot für den gesamten Verkehr wird an dem Hauptlichtzeichen zusätzlich mit Zeichen 294 "Haltlinie" gekennzeichnet.
- Bei **aufgeweiteten Radaufstellstreifen** wird das Einordnen zum Abbiegen im Gegensatz zur Radfahrerschleuse nur mit dem Hauptlichtzeichen und durch zwei Zeichen 294 "Haltlinie" ermöglicht, wobei das Haltgebot für den Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn durch ein vorgeschaltetes Zeichen 294 mit räumlichem und vernehmlichem Bezug zur Lichtsignalanlage angeordnet wird. Radfahrerschleusen ist in der Regel der Vorzug vor aufgeweiteten Radaufstellstreifen zu geben.
- **Abbiegestreifen** können in besonders gelagerten Einzelfällen an Lichtsignalanlagen, aber auch an gekennzeichneten Vorfahrtstraßen, markiert werden, wenn eine Radwegeführung mit der Möglichkeit des direkten Abbiegens unabdingbar ist und die Anlage insbesondere von Radfahrerschleusen ausscheidet.
- Bei Abbiegestreifen werden auf der Fahrbahn neben den Abbiegefahrestreifen für den Kraftfahrzeugverkehr mit Zeichen 295 "Fahrestreifenbegrenzung" eigene Abbiegefahrestreifen für den Radverkehr markiert.
- Radfahrer müssen dazu den Radweg unter Beachtung der Kfz verlassen und auf die Fahrbahn einfahren. Bei Radwegen mit Radwegebenutzungspflicht ist die Möglichkeit zum Verlassen des Radweges mit Zeichen 297 "Pfeil links und Pfeil gerade" zu kennzeichnen und mit einem Zusatzschild deutlich zu machen. Bei Radfahrstreifen kann Zeichen 296 "einseitige Fahrestreifenbegrenzung" genügen.
- Das direkte Abbiegen darf mit einer Radwegeführung nur dann vorgegeben werden, wenn:
 - an Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignalanlage die Verkehrsbelastung an der (an allen) Knotenpunktzufahrt(en) bei höchstens 1200 Kfz/h liegt und nicht mehr als zwei Fahrestreifen zu überqueren sind;
 - an Kreuzungen und Einmündungen mit durch Verkehrszeichen bevorrechtigten Knotenpunktzufahrten die Verkehrsbelastung bei bis zu 800 Kfz/h liegt und nur ein Fahrestreifen je Richtung zu überqueren ist;
 - in wartepflichtigen und nicht mit Lichtzeichen signalisierten Knotenpunktzufahrten dann, wenn hierfür ein besonderes und unabweisbares Bedürfnis besteht.



- Die Verkehrsfläche innerhalb der Markierung kann rot eingefärbt sein. Davon soll nur in besonderen Konfliktbereichen im Zuge gekennzeichneten Vorfahrtstraßen Gebrauch gemacht werden. An Lichtsignalanlagen und Kreuzungen mit "Rechts vor Links-Regelung" ist von einer Rot-Einfärbung abzusehen.

Die geeignete Führung der Radfahrer hängt von der Knotenpunktart, der Kfz-Belastung, den jeweiligen Platzverhältnissen und davon ab, wie der Radverkehr

- vor und nach dem Knotenpunkt,
- in den kreuzenden bzw. einmündenden Straßen und
- zum Linksabbiegen

geführt werden kann und welche Hauptfahrbeziehungen für Radfahrer bestehen. Auf der Strecke vorhandene Radverkehrsanlagen sollten aus Gründen der Führungskontinuität in Knotenpunkten nicht enden.

Signalisierung der Radfahrer im Knotenpunkt

Eine fahrradfreundliche Signalisierung und Wegeführung kann einen wesentlichen Beitrag zur sicheren Führung des Radverkehrs in Verbindung mit einer Erhöhung des Fahrkomforts an Knotenpunkten leisten. Relevant sind neben den RiLSA vor allem die „Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs“ (FGSV 2005) und der Leitfaden „Signale für den Radverkehr“ (MÜNSTER 2007).

In der Regel kommt für im Fahrbahnbereich geführte Radfahrstreifen, Schutzstreifen sowie für Radwege die Einbeziehung des Radverkehrs in die allgemeine Signalisierung in Betracht. Sollen rechtsabbiegende Radfahrer aus der allgemeinen Signalisierung herausgenommen werden, um unnötige Wartezeiten zu vermeiden, ist für sie eine eigenständige Führung (Radfahrstreifen, Radweg) erforderlich, eine separate Signalisierung kann häufig entfallen. Radfahrer sollten nach Möglichkeit einen **zeitlichen Vorlauf zum Kfz-Verkehr** erhalten; hierfür sind Radfahrersignale und ggf. besonders ausgewiesene Aufstellbereiche erforderlich.

Die Einrichtung **besonderer Radfahrersignale** kommt vor allem in Frage bei:

- besonderen Regelungen für den Radverkehr wie Vorgabezeiten und Sonderphasen, längeren Freigabezeiten für rechtsabbiegende Radfahrer, Radfahrerschleusen,
- langen Räumwegen an großräumigen Knotenpunkten, die aus Gründen der Sicherheit und der Kapazität andere Freigabezeiten als für den Kfz-Verkehr erfordern und
- Koordinierung der Freigabezeiten an hintereinanderliegenden Furten in der Hauptfahrbeziehung, wenn eine gleichzeitige Freigabe nicht in Frage kommt.

Die **direkte Führung der Linksabbieger** mit Lichtsignalschutz zum Einordnen ist zu bevorzugen, wenn:

- die Einsatzgrenzen für direktes Linksabbiegen ohne Signalschutz überschritten sind und Linksabbiegesonderphasen bestehen,
- Radverkehrsanlagen in den Knotenpunktzufahrten aus Platzgründen enden müssen oder
- bei einem starken linksabbiegenden Radverkehr keine ausreichend großen Aufstellflächen für eine indirekte Führung geschaffen werden können.

Bei **indirektem Linksabbiegen** ist aufgrund der Örtlichkeit zu prüfen, ob sich die so abbiegenden Radfahrer nach den Fußgängersignalen richten können, oder ob für Radfahrer ein eigenes Signal eingerichtet werden muss. Für eine radfahrerfreundliche Verkehrssteuerung sollte Radfahrern bei dicht aufeinanderfolgenden signalisierten Knotenpunkten, insbesondere im Verlauf wichtiger Hauptverbindungen des Radverkehrsnetzes, eine **"Grüne Welle"** angeboten werden; Möglichkeiten hierfür beschreibt das Kapitel 5.1 dieses Handbuchs. Bei ebenem Streckenverlauf kann hierfür eine Geschwindigkeit von 18 bis 20 km/h zugrunde gelegt werden. Bei niedrigem Radverkehrsaufkommen kann mit Hilfe von Induktionsschleifen auch eine bedarfsgesteuerte grüne Welle ermöglicht werden (NRW 2002a).



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Entsprechend der RiLSA-Teilfortschreibung (FGSV 2003) und den „Hinweisen zur Signalisierung des Radverkehrs (HSRa)“ (FGSV 2005) werden drei **Grundformen der Signalisierung** des Radverkehrs unterschieden:

- gemeinsame Signalisierung mit dem Kraftfahrzeugverkehr,
- gemeinsame Signalisierung mit dem Fußgängerverkehr und
- gesonderte Signalisierung der Radfahrer.

Die jeweilige Grundform am Knotenpunkt definiert sich nach der Regelung für die Hauptfahrtrichtung (in der Regel geradeaus). Sonderregelungen für links oder rechts abbiegende Radfahrer werden diesen Grundformen jeweils zugeordnet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Radfahrer in einigen Fällen (Radweg ohne Benutzungspflicht, Gehweg mit zugelassenem Radverkehr) sowohl im Seitenraum als auch auf der Fahrbahn fahren können. Wird die **Benutzungspflicht** eines Radweges **aufgehoben**, ist die **Signalisierung** unter Beachtung geänderter Zwischenzeiten **anzupassen**.

Für gleichrangige Zufahrten an einem Knotenpunkt und im Zuge einer Hauptbeziehung über mehrere Knotenpunkte hinweg sollten gleiche Grundformen vorgesehen werden.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der besseren Begreifbarkeit ist eine möglichst einfache technische Ausstattung anzustreben. Die gesonderte Signalisierung für Radfahrer sollte gegenüber der gemeinsamen mit dem Kraftfahrzeug- oder dem Fußgängerverkehr deshalb nur dann eingesetzt werden, wenn die sich daraus ergebenden Vorteile für die Sicherheit, die Akzeptanz und die Verkehrsqualität den zusätzlichen Aufwand rechtfertigen.

Die Grundstruktur der Signalisierung soll die **Akzeptanz** durch die Radfahrer fördern. Deshalb sollten:

Bild 80: Großzügige Aufstellfläche für Radfahrer (Geradausfahrer und Linksabbieger)
(BOSSERHOFF 2007)

- Freigabezeiten nicht erheblich kürzer sein als für den parallel geführten Kraftfahrzeugverkehr
- Freigabezeiten so bemessen werden, dass die in einem Umlauf eintreffenden Radfahrer in der jeweils nächstfolgenden Freigabezeit abfließen können,
- Wartezeiten möglichst kurz sein,
- geteilte Fahrbahnen ohne Zwischenhalt überquert werden können,
- die Anzahl der Halte über mehrere Knotenpunkte hinweg möglichst klein sein.

Vorgezogene Haltlinien für Radfahrer durch Versatz zu der Haltlinie für parallel wartende Kfz – gemäß (FGSV 2005, FGSV 2007) um möglichst 3 m – (**Bild 79**), großzügige Aufstellbereiche vor den Kfz bei größerem Anteil Linksabbieger (**Bild 80**), Bordsteinabsenkungen auf Fahrbahnhöhe, keine oder geringe Abrückungen der Radfurt sowie breite Radfahrerfurten erhöhen die Sicherheit und beim Abfließen von Radfahrerpulks die Kapazität.



Bild 79: Vorgezogene Haltlinie für Radfahrer





Gemeinsame Signalisierung mit dem Kraftfahrzeugverkehr

Diese Grundform sollte bevorzugt gewählt werden, weil sie die **höchste Akzeptanz** bei Radfahrer findet. Sie ist einzusetzen bei:

- Mischverkehr auf der Fahrbahn (**Bild 81**), auch wenn in der Zufahrt ein nicht benutzungspflichtiger Radweg vorhanden oder der Gehweg durch Zusatzschild 1022-10 „Radfahrer frei“ zur Benutzung durch Radfahrer freigegeben ist,
- Schutzstreifen für Radfahrer am rechten Fahrbahnrand,
- Radfahrstreifen (**Bild 82**) und Radwegen (**Bild 83**) mit nicht abgesetzten Radfahrerfurten, wenn die gesonderte Signalisierung nicht zweckmäßig ist,
- der Führung auf Busfahrstreifen, wenn keine Sondersignale für Busse vorhanden sind sowie
- Radwegen mit abgesetzter Radfahrerfurt ohne angrenzende Fußgängerfurt, wenn der Fahrzeugsignalgeber dem Radweg eindeutig zugeordnet werden kann.

Der Signalgeber sollte rechts der Radverkehrsführung für geradeaus fahrende Radfahrer stehen. Bei Radfahrstreifen und Radwegen ist eine **Haltlinie** zu markieren, in der Regel unmittelbar vor der zu kreuzenden Fußgängerfurt. Die nicht abgesetzte Radfahrerfurt und die Fußgängerfurt müssen voneinander getrennt sein.

Die Markierung des Radfahrstreifens oder des Schutzstreifens wird im Bereich einer Fußgängerfurt unterbrochen. Soweit die Radwegführung nicht vom Material her als solche eindeutig zu erkennen ist, sollte ein Radfahrerpiktogramm in Höhe der Fußgängerfurt aufgebracht werden, damit Fußgänger den Radweg nicht als Wartefläche benutzen.

Bei der Berechnung der Zwischenzeiten ist auf die gegebenenfalls längeren Räumzeiten der Radfahrer gegenüber dem Kfz-Verkehr zu achten.



Bild 81: Radverkehr auf Mischspur
(BOSSERHOFF 2007)



Bild 82: Radverkehr auf Radfahrstreifen
(BOSSERHOFF 2007)



Bild 83: Radverkehr auf Radweg
(BOSSERHOFF 2007)



Gemeinsame Signalisierung mit dem Fußgängerverkehr

Diese Form der Signalisierung (**Bild 84**) findet bei Radfahrern **geringe Akzeptanz** und sollte deshalb nur nach sorgfältiger Prüfung zum Einsatz kommen. Sie ist aus Sicht der Radfahrer und Verkehrssicherheit nachteilig, weil sie für die Radfahrer vermeidbare Wartezeiten und bei fehlender Akzeptanz Rotlichtmissachtungen zur Folge hat. Nachteilig ist insbesondere, dass

- die Freigabezeit der Radfahrer bei langen Furten wegen der erheblich geringeren Räumgeschwindigkeit der Fußgänger im Vergleich zum in gleicher Richtung freigegebenen Kfz-Verkehr wesentlich früher endet
- bei hintereinanderliegenden Furten oft Halte auf Mittelinseln anfallen, weil die Radfahrer an der nachfolgenden Furt vor Freigabezeitbeginn ankommen oder wegen der Fußgänger dort keine Freigabezeit mehr möglich ist.

Die Signalisierung ist einzusetzen bei:

- gemeinsamen Geh- und Radwegen, Gehwegen mit zugelassenem Radverkehr (Zeichen 239 StVO mit Zusatzschild „Radfahrer frei“) und ggf. Radwegen ohne Benutzungspflicht,
- Radwegführung mit unmittelbar angrenzender Fußgängerfurt, wenn keine gesonderte Signalisierung vorgesehen ist,
- umlaufenden Zweirichtungsfurten in Verbindung mit Einrichtungsrädwegen in den Knotenpunktzufahrten sowie
- Zweirichtungsrädwegen nur für die Gegenrichtung, wenn die rechts fahrenden Radfahrer gemeinsam mit dem Kraftfahrzeugverkehr signalisiert werden und die Fußgängersignalgeber für die links fahrenden Radfahrer gut zu erkennen sind.

Da die Radfahrer bei langen Furten im Vergleich zum parallelen Kfz-Verkehr Freigabezeitverluste hinnehmen müssen, tendieren sie dazu, sich am Kfz-Verkehr zu orientieren. Zur Verdeutlichung der gemeinsamen Signalisierung ist es daher zweckmäßig, darauf durch kombinierte Sinnbilder für Fußgänger und Radfahrer in den Leucht-

feldern hinzuweisen. Zusätzliche Hinweise auf die Beachtung der Fußgängersignale sollten nur in Ausnahmefällen verwendet werden, z. B. wenn sich nur links fahrende Radfahrer nach den Fußgängersignalen richten sollen.

Bei gemeinsamen Geh- und Radwegen ist die Anlage getrennter Fußgänger- und Radfahrerfurten nicht zwingend erforderlich. Auf die Markierung einer Haltlinie wird in der Regel verzichtet. Bei einem zu kreuzenden nicht abgesetzten Radweg kann eine **Wartelinie** unmittelbar davor zweckmäßig sein, um Radfahrer davon abzuhalten, den kreuzenden Radweg zu blockieren.

Da Radfahrer bis an den Rand der zu überquerenden Straße vorfahren, ist die gemeinsame Signalisierung mit den Fußgängern bei einem starken zu kreuzenden Fußgänger- oder Radverkehr besonders ungünstig. Gegebenenfalls kann es sich empfehlen, den Radfahrern durch Markierung und Aufbringen eines Radfahrerpiktogramms eine begrenzte Fläche zuzuweisen.

Hintereinander liegende Furten sollten ohne Zwischenhalt überquert werden können. Dabei ist die Einfahrtgeschwindigkeit der Radfahrer zu beachten. Wenn ein Zwischenhalt auf einer Insel unumgänglich ist, muss die Aufstellfläche dafür ausreichend dimensioniert, das heißt mindestens 2 m tief sein; dies reicht nicht aus, wenn mit Radfahrern mit Fahrradanhängern (z.B. Kindertransport) zu rechnen ist.



Bild 84: Gemeinsame Signalisierung für Fußgänger und Radfahrer (Foto: R. HERZIG 2006)



Gesonderte Signalisierung der Radfahrer

Diese Grundform ist einzusetzen bei Radfahrstreifen und bei benutzungspflichtigen Radwegen mit nicht abgesetzten Furten, wenn Radfahrersignale anstelle der gemeinsamen Signalisierung mit dem Kraftfahrzeugverkehr aus folgenden Gründen zweckmäßig sind:

- Die Radfahrer können eine eigene Phase oder einen Zeitvorsprung erhalten,
 - um die Konfliktfläche vor abbiegendem Kraftfahrzeugverkehr zu erreichen,
 - um in den Mischverkehr übergeleitet zu werden, wenn eine Radverkehrsanlage am Knotenpunkt endet, oder
 - um vor dem nachfolgenden Kraftfahrzeugverkehr in eine Engstelle einzufahren, z. B. in eine Knotenpunktausfahrt mit eingeschränkter Breite.
- Die Freigabezeit für die Radfahrer kann länger gegeben werden als die des gleichgerichteten Kraftfahrzeugverkehrs (**Bild 85**); dies ist u.a. günstig, um Radfahrern einen Vorlauf vor rechtsabbiegenden Kfz zu ermöglichen oder pulkartigen Radverkehr in einer vom Kraftfahrzeugverkehr weniger stark belasteten Straße zu bewältigen.



- Die Wartezeit für Radfahrer kann gegebenenfalls durch zweimalige Freigabe im Umlauf (Doppelanwurf) verkürzt werden.
- Die Radfahrer können konfliktfrei in einer Phase mit Rundum-Grün geführt werden.
- Die Freigabezeit des Radverkehrs kann früher beendet werden als die des gleich gerichteten Kraftfahrzeugverkehrs, wenn es bei großflächigen Knotenpunkten zu sehr langen Räumzeiten der Radfahrer kommt.
- Der geradeaus fahrende Radverkehr lässt sich zeitlich von starkem rechts abbiegendem Kraftfahrzeugverkehr auf Rechtsabbiegestreifen trennen. Aus Akzeptanzgründen ist es jedoch nicht empfehlenswert, die Freigabezeit der Radfahrer gegenüber der des Kraftfahrzeugverkehrs erheblich zu verkürzen.

Diese Grundform wird außerdem eingesetzt bei Radwegen mit weit abgesetzten Furten, wenn die gemeinsame Signalisierung mit dem Fußgänger-verkehr vermieden werden soll. Gründe dafür können sein:

- lange Räumwege, durch die mögliche Freigabezeiten für die Radfahrer erheblich verkürzt würden,
- größerer Freigabezeitbedarf für die Radfahrer als für die Fußgänger,
- ein sonst erforderlicher Zwischenhalt auf einer Furtunterbrechung,
- starke, sich gegenseitig hindernde Fußgänger- und Radfahrerströme in kreuzender Richtung, insbesondere bei knapper Aufstellfläche oder
- eine abrupte Verschwenkung des Radweges, die z.B. durch Trennen von Radfahrer- und Fußgängerfurt vermieden werden kann.

Bild 85: Gesonderte Radfahrersignale ermöglichen Freigabezeitbeginn für die Radfahrer vor dem parallelen Kfz-Verkehr (BOSSERHOFF 2006)



Des Weiteren kann diese Grundform z. B. eingesetzt werden:

- bei nur für den Radverkehr zulässigen Fahrbeziehungen,
- bei Führung des Radverkehrs auf Busfahrstreifen mit Sondersignalen für Busse,
- bei Radfahrschleusen zur Schaltung einer Vorgabezeit vor der Freigabezeit des Kraftfahrzeugverkehrs,
- bei abgesetzten Radwegen, für die nur mit einem besonderen Radfahrersignal Eindeutigkeit und Begreifbarkeit der Signalisierung erreicht werden kann, z. B. weil die Fahrzeugsignalgeber dem Radweg nicht klar zugeordnet werden können oder schlecht zu sehen sind und angrenzende Fußgängerfurten nicht vorhanden sind, oder
- bei Zweirichtungsradwegen, wenn für die links fahrenden Radfahrer eine Signalisierung mit dem Fußgängerverkehr nicht in Frage kommt. Es sollte dann auch für die Gegenrichtung eine gesonderte Signalisierung vorgesehen werden.

Die gesonderte Signalisierung der Radfahrer kommt nicht in Frage bei Mischverkehr auf der Fahrbahn und bei einem Schutzstreifen am rechten Fahrbahnrand, wenn die Freigabezeit der Radfahrer früher endet als die des gleichgerichteten Kraftfahrzeugverkehrs, da auch Radfahrer auf der Fahrbahn diese Signalisierung befolgen müssen.

Es sind dreifeldige Signalgeber oder zweifeldige Richtungssignalgeber für rechts abbiegende Radfahrer einzusetzen. Vor dem zu sichernden Konfliktbereich ist eine **Haltlinie** zu markieren.

Bei Radfahrstreifen und nicht abgesetzten Radwegen sollte der Radfahrersignalgeber am Mast des Kraftfahrzeugsignalgebers angebracht und die Haltlinie unmittelbar vor der zu kreuzenden Fußgängerfurt aufgebracht werden. Die Fußgängerfurt wird über den Radfahrstreifen hinweg markiert. Die Markierung des Radfahrstreifens wird im Bereich der Fußgängerfurt unterbrochen.

Bei abgesetzten Radwegen sollte der Radfahrersignalgeber am Übergang des Radweges auf die Fahrbahn aufgestellt werden. Die Haltlinie liegt dann bei einem zu kreuzenden nicht abgesetzten Radweg vor diesem. Bei Führung der Radfahrer der kreuzenden Richtung auf der Fahrbahn oder auf einem weit abgesetzten Radweg liegt die Haltlinie direkt am Übergang auf die Fahrbahn.

Radfahrer- und Fußgängerfurt sollten voneinander getrennt sein. Die Radfahrerfurt ist vor Fahrbahnteilen entlang zu führen.

Geradeausfahrender Radverkehr und rechtsabbiegende Kfz

Radfahrstreifen auf Knotenpunktzufahrten sind im allgemeinen **sicherer** als Radwege. Die Radfahrer bewegen sich im Blickfeld des Kfz-Verkehrs, die bevorrechtigte Führung bei Rechtsabbiegefahrbahnen ist klar ablesbar und Verflechtungsvorgänge (z.B. das Einordnen von linksabbiegenden Radfahrern auf Linksabbiegestreifen) sind frühzeitig erkennbar. Daher ist es oft empfehlenswert, Radwege vor dem Knotenpunkt in Radfahrstreifen zu überführen. Dies kann, wie bei einem Radweg-Ende im Streckenabschnitt, durch baulichen Schutz oder Signalschutz (Radfahrschleuse) erfolgen. Das Überfahren des abmarkierten Radfahrstreifens wirkt auf rechtsabbiegende Kraftfahrer wie ein Fahrstreifenwechsel, weshalb der Vorrang geradeausfahrender Radfahrer intuitiv akzeptiert wird.

Werden Radfahrer bereits in den Knotenpunktzufahrten auf Schutzstreifen oder Radfahrstreifen geführt, sind für geradeausfahrende und rechtsabbiegende Radfahrer keine besonderen Maßnahmen notwendig.

Werden Radwege an den Knotenpunktzufahrten beibehalten, ist besondere Sorgfalt auf die Ausgestaltung und Lage der Furten zu legen. Für die geradeausfahrenden Radfahrer sollten nicht oder nur gering abgesetzte Radfahrerfurten vorgesehen werden, indem die Radwege bereits im ge-



samten Aufstellbereich (mindestens jedoch auf 10 m Länge vor dem Knotenpunkt) fahrbahnnah geführt werden. Diese Lösung hat den Vorteil des besseren Sichtkontaktes zu abbiegenden Fahrzeugen und der für alle Verkehrsteilnehmer klaren Verkehrsführung für geradeausfahrende Radfahrer.

Weit abgesetzte Furten können im Zuge von Radwegen an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten eingesetzt werden bei:

- ausreichenden Platzverhältnissen für Aufstellflächen und klarer Trennung von Radfahrern und Fußgängern,
- Radwegen in den kreuzenden Straßen und der Notwendigkeit geschützter Aufstellflächen im Seitenraum für indirekt linksabbiegende Radfahrer,
- Knotenpunkten an der Kapazitätsgrenze für den Kfz-Verkehr, insbesondere mit Mischfahrstreifen für geradeausfahrende und rechtsabbiegende Kfz,
- stark frequentierten Bushaltestellen in der Knotenpunktzufahrt und
- im Verlauf von Zweirichtungsradwegen (NRW 2002a).

Zur Verbesserung der Sicherheit für Radfahrer sollten in diesen Fällen **Schutzblinker** eingerichtet werden.

Weit abgesetzte Furten, bei denen die sich kreuzenden Radwege zu einer Radfahrerfurt zusammengefasst werden, sollten bei nicht signalisierten Rechtsabbiegefahrbahnen vermieden werden. Sie kommen allenfalls bei kurzen Rechtsabbiegefahrbahnen mit kleinen Dreiecksinseln, Zweirichtungsradwegen oder gemeinsamen Geh- und Radwegen in Frage.

Die Gestaltung einer Rechtsabbiegefahrbahn sollte in jedem Falle **niedrige Kfz-Geschwindigkeiten** erreichen (enge Radien, Mindestbreitenmaße). Da aus Sicherheitsgründen der Konfliktbereich zwischen Radverkehr und rechts abbiegenden Kraftfahrzeugen möglichst kurz sein sollte, ist

unter besonderer Beachtung der Belange des Radverkehrs der Verzicht auf eine Rechtsabbiegefahrbahn häufig die bessere Lösung.

Innerhalb bebauter Gebiete sollte dabei im allgemeinen eine **Vorfahrtregelung** durch Verkehrszeichen **zugunsten des Radverkehrs** eingerichtet werden. Bei Zwei-Richtungs-Radwegen sind die Kraftfahrer darauf hinzuweisen, dass sie mit Radfahrern aus beiden Richtungen zu rechnen haben.

Bei einer Vorfahrtregelung zugunsten des Kfz-Verkehrs muss dem Radverkehr die Wartepflicht angezeigt werden. Die Furt darf in einem solchen Fall nicht abmarkiert bzw. eingefärbt werden. Eine Lichtsignalregelung an abgesetzten Radfahrerfurten ist nur dann sinnvoll, wenn eine andere Vorfahrtregelung eine zu große Gefahr für den Radverkehr darstellt (z.B. hohe Kfz-Geschwindigkeiten, sehr starker Rechtsabbiegeverkehr oder mehrere Rechtsabbiegestreifen).

Linksabbiegender Radverkehr

Während die Sicherung rechtsabbiegender Radfahrer meist unproblematisch ist, bedürfen linksabbiegende Radfahrer einer **Sicherung**. Hierzu gibt es zwei Lösungen, die im weiteren entsprechend NRW, 2002 ausgeführt werden:

- **Direkte Führung:**
Radfahrer ordnen sich zum Linksabbiegen auf dem Linksabbiegestreifen für den Fahrzeugverkehr ein oder benutzen besondere, für sie markierte Linksabbiegestreifen bzw. vorgezogene Aufstellbereiche.
- **Indirekte Führung:**
Radfahrer überqueren den Knotenpunkt zunächst rechts neben dem geradeausfahrenden Kfz-Verkehr und überqueren anschließend im Zuge der Freigabephase der kreuzenden Straße die Straße, aus der sie nach links abbiegen wollen.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Die **direkte Führung** mit besonderen Linksabbiegestreifen entspricht Ansprüchen und Verhalten von Radfahrern am ehesten, weil sie Umwege und Wartezeiten vermeidet und der idealtypischen Fahrlinie der Radfahrer entspricht. Sie lässt sich in der Regel ohne weitere lichtsignaltechnische Maßnahmen praktizieren, wenn:

- ausreichende Zeitlücken zum Linkseinfädeln zur Verfügung stehen,
- das vorhandene Geschwindigkeitsniveau im Kfz-Verkehr 50 km/h nicht überschreitet und
- beim Einordnen höchstens ein oder zwei Kfz-Fahr- bzw. Abbiegestreifen überquert werden müssen.

Auch bei einstreifigen Knotenpunktzufahrten sollte der aufgeweitete Radaufstellbereich (**Bild 80**) Standard sein, der im Aufstell- bzw. Rückstaubereich über Radfahrstreifen/Schutzstreifen erreicht werden kann. Dieser ermöglicht den Radfahrern das Einordnen vor der Haltelinie des Kfz-Verkehrs, damit sich insbesondere linksabbiegende Radfahrer bei der Weiterfahrt im unmittelbaren Blickfeld vor den Kraftfahrzeugen einordnen und aufstellen können. Zusätzlich kann Radfahrern durch eigene Signalgeber Vorlauf zur allgemeinen Freigabephase der Lichtsignalanlage als "Sicherheitsvorsprung" eingeräumt werden.

Abbiegestreifen für den Radverkehr werden auf der Fahrbahn neben den Abbiegestreifen für den Kfz-Verkehr markiert. Diese sind, wie auch der separate Radfahr- bzw. Schutzstreifen für die Geradeausrichtung, ca. 1,00 m bis 3,00 m vor die Haltelinie des Kfz-Fahrstreifens vorzuziehen.

Bei Radfahrschleusen wird das Einordnen zum Abbiegen durch vorgeschaltete Lichtzeichen ermöglicht. Voraussetzung ist, dass der Radweg mit Radwegebenutzungspflicht neben der Fahrbahn verläuft und die Länge der Schleuse zum Einfädeln auf der Fahrbahn mindestens 30 m beträgt.

Eine den Radfahrschleusen ähnliche Wirkung kann bei kurzen Knotenpunktabständen (≤ 100 m) erzielt werden, indem Radfahrern am ersten Knotenpunkt eine **Vorlaufzeit** gegeben wird.

Direktes Linksabbiegen lässt sich am zweckmäßigsten aus Radfahrstreifen oder Schutzstreifen in der Knotenpunktzufahrt entwickeln. Radwege im Streckenabschnitt sind entweder vor der Knotenpunktzufahrt durch baulichen Schutz oder in der Knotenpunktzufahrt durch Signalschutz in Form einer „Radfahrschleuse“ auf die Fahrbahn überzuleiten. Ihr Einsatzbereich liegt insbesondere dort, wo eine direkte Überquerung von zwei stark befahrenen Fahrstreifen erfolgen muss. Besonders an großen Knotenpunkten kann es sich empfehlen, als Angebot für wenig geübte Radfahrer auch indirektes Linksabbiegen zu ermöglichen. Radfahrschleusen und aufgeweitete Radaufstellstreifen verbessern dann ebenfalls die Sicherheit.

Die **indirekte Führung** für linksabbiegende Radfahrer ist vorzusehen, wenn eine direkte Führung mit oder ohne Lichtsignalschutz zum Einordnen **ausnahmsweise** nicht in Frage kommt. Sie kann an komplexen Knoten als fakultative Ergänzung zur direkten Führung gelten, oder auch, wenn Radfahrer zum Einordnen auf den Linksabbiegestreifen mehr als einen Fahrstreifen ohne Lichtsignalschutz (Radfahrschleuse) kreuzen müssen.

Diese Radverkehrsführung im Knotenpunktbereich entspricht zwar dem Sicherheitsbedürfnis von ungeübten Radfahrern, wird aber von geübten Radfahrern aufgrund der sich ergebenden längeren Wartezeiten erfahrungsgemäß kaum angenommen. Es sei denn, es besteht ein generelles Linksabbiegeverbot, das auf diese Weise umgangen werden kann. Für das indirekte Linksabbiegen sollten in den unmittelbaren Einmündungsbereichen der Knotenpunktzufahrt besondere Aufstellflächen und Radfahrersignale vorgesehen werden. Entsprechende Hinweisschilder können die Radverkehrsführung unterstützen.



Radverkehr und Busse

Werden auf der Strecke Busse und Radfahrer gemeinsam geführt, kann dies im Knotenpunkt zu Konflikten führen. Daher ist hier eine Trennung in zwei separate Verkehrsflächen meist sinnvoll. Insbesondere ist darauf zu achten, dass sich die Fahrlinien von Bus- und Radverkehr in und hinter dem Knotenpunkt nicht kreuzen. Die Trennung ist erforderlich, wenn für die Busse eine ÖV-Priorisierung vorhanden ist.

Wird der Radverkehr mit den Bussen gemeinsam geführt, kann vor dem Knotenpunkt ein kurzer Radfahrstreifen neben dem Busfahrstreifen angelegt werden, damit die Busse durch vor ihnen stehende Radfahrer nicht behindert werden. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn der Bus seine Freigabezeit selbst anfordert und den Knotenpunkt ohne Zeitverlust passieren soll.

Liegen Bushaltestellen im Zuge von breiten Busfahrstreifen in der Knotenpunktzufahrt, können Buskaps ausgebildet werden. Diese verhindern, dass sich Radfahrer ungeordnet links neben haltenden Bussen aufstellen. Bei starkem Bus- und Radverkehr können die Radfahrer stattdessen auf Radwegen hinter der Wartefläche geführt werden. Der erforderliche Platz hierfür wird durch die Buskaps gewonnen.

4.5.9.2 Fußgänger

Für die Planung einer fußgängergerechten Lichtsignalsteuerung ist das Erreichen von geringen Wartezeiten eine der wesentlichen Zielgrößen, da die Höhe der Fußgängerwartezeiten sich unmittelbar auf deren Verkehrssicherheit auswirkt. Unnötige bzw. zu **große Fußgängerwartezeiten führen zu** einem Anstieg des Anteils gefährlicher **Rotlichtmissachtungen**. Hierbei sind weniger diejenigen Fußgänger gefährdet, die sich aufgrund der Beobachtung des Verkehrsablaufes bewusst für eine Rotlichtmissachtung entscheiden, als vielmehr diejenigen, die durch voraus-eilende Rotläufer „mitgeschleppt“ werden – vor allem ältere Menschen und Kinder.

Bei der Diskussion über eine geeignete Gestaltung und Signalisierung von Knotenpunkten sollten stets einige charakteristische Eigenschaften von Fußgängern beachtet werden:

- Fußgänger gehen nach „Wunschlinien“, die im allgemeinen der kürzesten Entfernung zum angestrebten Ziel entsprechen. Sie lehnen intuitiv das Ausgehen von Ecken bzw. Verschwenkungen ab.
- Da Fußgänger für Fehlverhalten nur selten zur Verantwortung gezogen werden können, werden Verkehrsregeln teilweise eher missachtet.

Die wesentlichen Daten zur Gestaltung von lichtsignalgeregelten Knotenpunkten im Zusammenhang mit Fußgängerverkehr enthalten die RiLSA (FGSV 1992). Ausgewählte Gesichtspunkte sind zudem in den **Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen** (EFA) (FGSV 2002) wieder gegeben. In der Teilfortschreibung der RiLSA (FGSV 2003) wurden die Kapitel zur Überquerung besonderer Bahnkörper sowie der Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte überarbeitet. Nachfolgend sind die aktuellen Neuerungen aus diesen Regelwerken zusammengestellt.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Wegen der **Wartezeitempfindlichkeit** von Fußgängern ist folgenden Aspekten besondere Aufmerksamkeit zu widmen:

- Bei bedarfsgesteuerten **Fußgänger-Lichtsignalanlagen** sollte möglichst **nach 7 Sekunden Freigabezeit** für den Fußgänger geschaltet werden.
- Bei einer Schaltung in einer „**Grünen Welle**“ für den Kraftfahrzeugverkehr sollte **längstens nach 30 Sekunden Freigabezeit** für den Fußgänger geschaltet werden.
- Da nach mehr als 40 Sekunden der Anteil der Fußgänger, welche die Sperrzeit missachten, deutlich zunimmt und damit auch die Unfallgefahr ansteigt, sollten längere Wartezeiten möglichst vermieden werden; nach HBS (FGSV 2001/2005) sind bei der einzuhaltenden Qualitätsstufe D maximal 30 Sekunden akzeptabel.
- Nicht ausgelastete Fahrzeugphasen sollten zugunsten der Fußgänger der nachfolgenden Phasen abgebrochen werden; dies gilt auch bei Streckenzügen mit „Grüner Welle“.
- Fußgänger-Lichtsignalanlagen sollten den während des Tagesverlaufs unterschiedlichen Verkehrszuständen angepasst werden.
- Sind Mittelinseln vorhanden, sollten Fußgänger aus Sicherheitsgründen und zur Vermeidung von Missverständnissen möglichst **ohne Halt auf der Mittelinsel** in einem Zuge die Fahrbahn queren können.
- An verkehrsabhängig gesteuerten Anlagen werden **parallel geführte Fußgänger- und Fahrzeugströme grundsätzlich gemeinsam freigegeben**, und zwar auch dann, wenn die Anforderung nur vom Fahrzeug oder nur vom Fußgänger ausgeht. Die Schaltung einer Fußgängerfreigabezeit auf Fußgängeranforderung kommt nur infrage, wenn äußerst selten Fußgänger queren.
- Generell muss eine **Fußgängeranforderung möglichst kurzfristig**, also spätestens vor der Freigabe des Querverkehrs, berücksichtigt werden. Fußgängeranforderungen dürfen aber keinesfalls innerhalb einer laufenden Grünphase für den parallelen Kraftfahrzeugverkehr zur Freigabe für Fußgänger führen.

Beim Entwurf eines Knotenpunktes, insbesondere bei der Wahl der Querschnittsaufteilung in den Zufahrten, der Anlage von Inseln, der Lage und Größe der Aufstellflächen sowie der Anordnung der Lichtsignalgeber für die Fußgänger, ist eine gradlinige Führung des Fußgängerverkehrs anzustreben (**Bild 86**). Dies geschieht dadurch, dass:

- grundsätzlich an jedem Knotenpunktarm eine Fußgängerfurt angelegt wird und
- die Furten möglichst in der Linie direkter Gehwegverbindungen liegen.

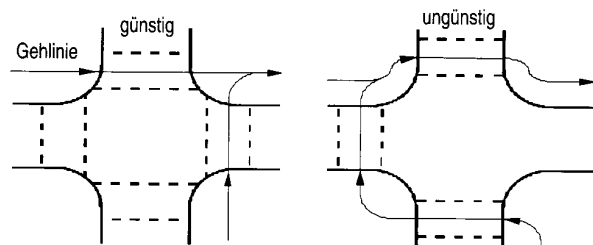


Bild 86: Günstige und ungünstige Lage der Furten an signalgeregelten Knoten (EFA:FGSV, 2002)

Details zur Lage und Ausbildung der Furten sowie zur Signalisierung enthalten die RiLSA (FGSV 1992).

Aufgeweitete Knotenpunkte führen zu langen Querungswegen, erfordern große Räumzeiten, hohe Umlaufzeiten und führen daher auch zu langen Wartezeiten für Fußgänger. Sofern Abbiegeradien mit großen Aufweitungen im Knotenpunkt notwendig werden, sollte jedoch das Abrücken der Fußgängerfurten von der direkten Gehwegverbindung geprüft werden.

Der Einsatz **konfliktfreier Signalschaltungen** (keine gleichzeitige Freigabe von abbiegenden Kraftfahrzeugen und Fußgängern) ist besonders an Fußgängerfurten mit hohem Anteil von Kindern, älteren und behinderten Menschen und an Zufahrten mit hohem Schwerverkehrsanteil (bei den Abbiegern) zu prüfen.



Beispielsweise vermeiden **Rundum-Grün**-Schaltungen Konflikte zwischen Fußgängern und Fahrzeugen. Solche Steuerungen führen aber zu einer zusätzlichen Phase, welche die Gesamtwarzeiten verlängern.

Auch der Einsatz einer zweiten Fußgängerphase innerhalb eines Umlaufs an einzelnen Fußgängerfurten (**Doppelanwurf**) ist zu prüfen.

Für den Schutz gleichzeitig freigegebener Fußgänger vor abbiegenden Fahrzeugen ist Folgendes zu beachten:

- Fußgängern ist an der Konflikfläche ein **Zeitvorsprung** von einer bis zwei Sekunden vor den Abbiegern zu geben.
- Die Rechtsabbieger sollten in möglichst **engen Abbiegeradien** geführt werden. Bei einem starkem Fußgängerstrom ist an einmündenden Straßen mit geringen Verkehrsstärken zu erwägen, die Gehwege im Niveau durchzuziehen.
- Bei weit abgerückten Furten sollte ein **Schutzblinker** eingerichtet werden.
- Das „**Grünpfeil**“-**Blechschild** (§ 37(2) StVO) sollte wegen oft negativer Erfahrungen **nicht eingesetzt** werden (vgl. Abschnitt 4.5.10); im Bereich der hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung wird es gemäß Erlass (HMVVTE 1994) nur in Ausnahmefällen angeordnet.
- In Straßen mit Gehwegen sollte auf **Dreiecksinseln** mit freiem Rechtsabbieger grundsätzlich **verzichtet** werden.

Wenn Verkehrssicherheitsprobleme aufgetreten sind, weil Abbieger den geradeausführenden Fußgängerstrom nicht beachtet haben, kann zur Warnung vor Gefahren ein gelbes Blinklicht oder eine Sonderphase für die Abbieger bei Sperrung des Fußgängerstroms (die aber die Wartezeiten insgesamt verlängern) helfen.

Anhand negativer und positiver Beispiele werden im folgenden wichtige Problembereiche bei der

Behandlung des Fußgängerverkehrs herausgearbeitet und Möglichkeiten zu deren Lösung vorgestellt werden. Da Knotenpunktsgestaltung und Lichtsignalsteuerung vielfach eng miteinander verknüpft sind, werden diese im Zusammenhang dargestellt.

Die **fußgängerfreundliche Gestaltung** eines Knotenpunktes zeichnet sich vor allem durch folgende Aspekte aus:

- Kleinräumigkeit und Überschaubarkeit,
- kurze Überwege und damit verbundene kurze Querungszeiten,
- Überwege nur geringfügig abgesetzt, weitgehend an die Fußgänger-Wunschlinien angepasst,
- relativ enge Kurvenradien für Rechtsabbieger und damit relativ geringe Abbiegegeschwindigkeiten,
- keine Fahrbahnteiler bzw. Querung eines Überweges in einem Zuge ohne Wartezeiten auf der Mittelinsel sowie
- keine Dreiecksinseln (keine zusätzlich zu querende Furt und keine Konflikte mit zügig geführten Rechtsabbiegern bei unsignalisierter Furt bzw. Wartezeiten bei signalisierter Furt).

Ebenso wie bei der Knotenpunktgestaltung gibt es auch bei der Lichtsignalsteuerung Zielkonflikte bezüglich der Verkehrssicherheit von Fußgängern. Werden mehr Phasen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bei Fußgängern eingerichtet, verlängert sich die Umlaufzeit. Hieraus resultieren wiederum Wartezeiten und durch das Erreichen der „Geduldsschwelle“ nimmt die Zahl der Rotläufer zu und die Gefährdung steigt.

Das Hauptrisiko für Fußgänger an lichtsignalregulierten Knotenpunkten besteht in den Konflikten mit gleichzeitig freigegebenen Abbiegeströmen. Schwerwiegender sind dabei im allgemeinen die Konflikte mit Linksabbiegern, da diese eine größere Anzahl von Konfliktpartnern zu beachten haben und oft mit höherer Geschwindigkeit an der Furt eintreffen als Rechtsabbieger.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Maßnahmen zur Vermeidung von Konflikten zwischen Fußgängern und größeren Linksabbiegerströmen sind die Sperrung der Fußgängerfurt während der Freigabe des Linksabbiegestromes oder die Unterteilung der Querung durch eine Mittelinsel und Sperrung des Teilabschnitts, welcher den Konfliktbereich mit dem Linksabbiegestrom enthält (**Bild 87**). Die erste Maßnahme (**Bild 87a**) ist als relativ unproblematisch anzusehen, wenn auch die Gesamtwarzeiten wegen der zusätzlich notwendigen Phase zunehmen. Die zweite Maßnahme (**Bild 87b**) sollte vermieden werden, weil dann die hintereinanderliegenden Furten nicht mehr in einem Zug gequert werden können und die Gefahr besteht, dass Fußgänger nach Querung der ersten Furte das Rotsignal der letzten Furte nicht beachten und mit am Konfliktpunkt bereits schnellen Linksabbiegern zusammentreffen können.

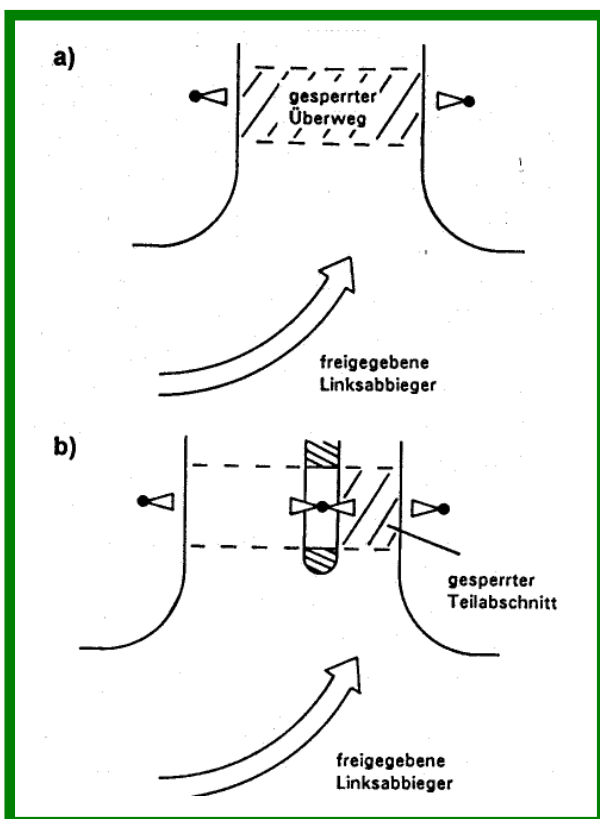


Bild 87: Signaltechnische Trennung von Linksabbiegern und Fußgängern

Als problematisch anzusehen ist ein Abbruch der Fußgängerfreigabezeiten nach der Mindestfreigabezeit, sofern die in gleicher Phase parallel geführten Fahrzeugströme wesentlich länger freigegeben sind. Eine solche Sperrzeit wird von Fußgängern ungenügend akzeptiert und führt zu vermehrten Rotlichtmissachtungen, mit denen abbiegende Fahrzeuge nicht rechnen.

Eine übliche Maßnahme zur Vermeidung von Konflikten zwischen Rechtsabbiegern und Fußgängern ist deren signaltechnisch getrennte Führung, meist in Verbindung mit einer Dreiecksinsel.

Dabei ist eine **signalisierte Dreiecksinsel** als **Benachteiligung des Fußgängerverkehrs** zu sehen, da hierdurch ein zusätzlicher Teilabschnitt und damit verbundene Wartezeiten entstehen. Allerdings ist auch anzumerken, dass der Einsatz von Zebrastreifen in Verbindung mit Dreiecksinseln an Stelle einer signalisierten Fußgängerfurt aus Gründen der Verkehrssicherheit ebenfalls kritisch zu sehen ist. Hier sind die Einsatzbedingungen der Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen R-FGÜ (enthalten in: FGSV 2002) zu beachten.

Die separate Führung von Rechtsabbiegern ohne Dreiecksinsel ist im allgemeinen unproblematisch, da deren Freigabezeit so kurz bemessen werden kann, dass der Fahrzeugstrom ausgelastet ist und somit keine nutzbaren Zeitlücken für Rotläufer entstehen.

Die Auswirkungen der **Art des Steuerungsverfahrens** auf den Fußgängerverkehr sind vergleichbar mit den Auswirkungen auf den Radverkehr und sollen daher hier nur kurz umrissen werden.

Bei der **Festzeitsteuerung** sind zur Verringerung der Wartezeiten von Fußgängern kleine Umlaufzeiten und lange Freigabezeiten anzustreben. Nachteilig auf die Verkehrssicherheit wirken sich gering ausgelastete Fahrzeugfreigabezeiten aus, da sie Rotlichtmissachtungen provozieren.



Verkehrsabhängige Steuerungsverfahren wirken sich bei Berücksichtigung der zuvor genannten Fußgängerbelange in der Regel positiv auch für Fußgänger aus. Durch die Möglichkeit, Freigabezeiten den aktuellen Verkehrsbelastungen anzupassen, ergeben sich kürzere Fußgänger-Wartezeiten und damit eine höhere Verkehrssicherheit. Durch einen verkehrsabhängigen Abbruch von Kfz-Freigabezeiten bei fehlender Auslastung lässt sich das Rotläufer-Potenzial erheblich verringern. Wichtig ist, dass die Fußgänger-Freigabezeit nicht lange vor derjenigen der parallelen Kfz endet (v.a. nicht nur Schaltung der Fußgänger-Mindestfreigabezeit). **Nachteilig** auf Wartezeiten und Verkehrssicherheit von Fußgängern wirken sich Steuerungsverfahren aus, bei denen **Fußgängerfreigabezeiten nur auf Anforderung** geschaltet werden. Dadurch, dass bedingt verträgliche Ströme nicht nachträglich zugeschaltet werden dürfen, entstehen häufig unnötige Wartezeiten bis in die Größenordnung einer Umlaufzeit. Daher ist unbedingt darauf zu achten, dass eine **Fußgänger-Freigabezeitanforderung bis zur letzten Rotgelb-Sekunde** des bedingt verträglichen Kfz-Stroms erfasst und ggf. noch umgesetzt wird. Andernfalls ist eine angemessene Berücksichtigung der Fußgänger nur erreichbar, wenn sie immer gemeinsam mit den bedingt verträglichen abbiegenden Kfz Freigabezeit erhalten. Weiter ist eine angeforderte Freigabezeit schnell zu schalten, damit Fußgänger sie anfordern und nicht bei Rotlicht queren (SCHIRMACHER 2002).

Für verkehrsschwache Zeiten ist die „**Alles-Rot-/Sofort-Grün**“-Schaltung wegen der sofortigen Freigabemöglichkeit und der geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung auf den Fahrzeugverkehr von besonderer Bedeutung. Um die geschwindigkeitsdämpfende Wirkung nicht zu beeinträchtigen, sollten nach einer Fußgängeranforderung aber nicht automatisch auch die verträglichen bzw. bedingt verträglichen Fahrzeug-Signalgruppen freigegeben werden. Die positive Beurteilung der „Alles-Rot-/Sofort-Grün“-Schaltung betrifft allerdings nur Knotenpunkte und gilt wegen Rotlichtmissachtungen durch Kfz nicht für Fußgänger-schutzanlagen (vgl. Seite 100).

Unabhängig von der Art des Steuerungsverfahrens sind zwei Sonderthemen der Fußgänger-Berücksichtigung an LSA: Fußgänger-Rundum-Grün und die Fußgänger-Signalisierung von hintereinanderliegenden Furten mit Mittelinsel.

Fußgänger-Rundum-Grün

Fußgänger-Rundum-Grün bedeutet, dass in jedem Umlauf eine separate Fußgängerphase geschaltet wird, während der alle Fußgänger-Signalgruppen freigegeben werden und alle Fahrzeug-Signalgruppen gesperrt werden. Damit sollen Konflikte zwischen Fußgängern und abbiegenden Fahrzeugen vermieden werden und starke Über-eckbeziehungen von Fußgängern durch die diagonale Querungsmöglichkeit erleichtert werden. Die Folgen für den Signalprogrammablauf und den Verkehrsablauf können sich oftmals, im Gegensatz zur eigentlich erwünschten Zielsetzung, auch nachteilig für Fußgänger auswirken:

- Die Fußgängerfreigabezeiten werden in der Regel auf die Mindestfreigabezeiten reduziert.
- Eventuelle Doppelanwürfe für Fußgänger sind nicht möglich.
- Durch die zusätzlichen Verlustzeiten erhöht sich die zum Abwickeln der Verkehrsbelastung erforderliche Umlaufzeit.
- Wegen der größeren Umlaufzeit und der kürzeren Freigabezeiten erhöhen sich die Wartezeiten für Fußgänger, die nur einen Knotenpunktsarm queren müssen, erheblich.
- Bedingt durch lange Wartezeiten und durch das Sperren der Fußgängerströme bei gleichzeitiger Freigabe der parallelen Fahrzeugströme ist mit einer starken Zunahme von Rotlichtmissachtungen zu rechnen.

Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit hängt stark von der Akzeptanz dieser Maßnahmen durch die Verkehrsteilnehmer ab. Da davon auszugehen ist, dass Fußgänger-Rundumgrün aufgrund der genannten Nachteile bei Fußgängern auf geringere Akzeptanz stößt, sollte der Einsatz dieser Signalisierungsform an Einzelknotenpunkten sehr sorgfältig geprüft werden.



Signalisierung hintereinander liegender Furten

Wenn Fußgänger eine Straße mit Mittelinsel(n) queren müssen, sollte dort ein Halt vermieden werden und der Weg über alle hintereinanderliegenden Furten in einem Zug möglich sein. Die Erfüllung dieser Forderung erfordert es in der Regel, dass die Fußgänger bereits von Anfang an bei der Planung des Signalprogramms berücksichtigt werden und ihre Freigabezeiten nicht – wie häufig noch üblich – erst nach Ausrichtung des Signalprogramms auf die Belange der Kfz-Verkehrs „eingepasst“ werden.

Bei Mittelinseln gibt es gemäß RiLSA zwei Hauptmöglichkeiten der Signalisierung für den Fußgängerverkehr:

- die **simultane Signalisierung**, bei welcher die beiden Teilabschnitte gleichzeitig freigegeben werden und
- die **versetzte Signalisierung**, bei der die Freigabezeiten der beiden Teilabschnitte zeitlich zueinander versetzt sind.

Die **simultane Signalisierung** ist als **günstiger** anzusehen, da sie bei ausreichend langen Freigabezeiten Fußgängern beider Gehrichtungen das Queren des Überweges in einem Zuge gestattet. Die versetzte Signalisierung resultiert meist aus Erfordernissen bezüglich der Abwicklung des Fahrzeugverkehrs. Während Fußgänger in einer Gehrichtung den Überweg in einem Zug queren können, müssen Fußgänger in der Gegenrichtung nach Querung des ersten Teilabschnittes auf der Mittelinsel warten.

Als eine weitere Möglichkeit wird von den RiLSA (FGSV 1992) die **progressive Signalisierung** aufgeführt. Diese Signalisierungsform – auch irreführend als „Grüne Welle für Fußgänger“ bezeichnet – soll verhindern, dass Fußgänger auf der Mittelinsel warten müssen. Ihre Besonderheit besteht darin, dass die beiden auf der Mittelinsel befindlichen Signalgeber eine kürzere Freigabezeit zeigen als die beiden äußeren Signalgeber. Die Freigabezeit der beiden mittleren Signalgeber ist so bemessen, dass alle Fußgänger, die bei

Grün den ersten Teilabschnitt betreten, die Mittelinsel zu einem Zeitpunkt erreichen, wenn der zweite Teilabschnitt noch freigegeben ist.

Dem Sicherheitsvorteil, den man sich von einer reduzierten Anzahl auf der Mittelinsel wartender Fußgängern verspricht, stehen allerdings mehrere Aspekte gegenüber, die eher eine Verschlechterung der Verkehrssicherheit befürchten lassen:

- Rechtsabbiegende Fahrzeuge, die nur den inneren Signalgeber einsehen können, erwarten beim Signalbild Rot keine Fußgänger, die von der Mittelinsel aus die Furt betreten.
- Linksabbiegende Fahrzeuge, die nur den äußeren Signalgeber einsehen können, erwarten beim Signalbild Grün, dass Fußgänger vom Fahrbahnrand aus die Furt noch betreten, auch wenn sie für diese Gehrichtung bereits gesperrt ist.
- Es ist für Fußgänger nicht nachvollziehbar, wenn eine Furt an beiden Seiten unterschiedlich signalisiert ist. Solange die Gegenrichtung noch freigegeben ist, werden Fußgänger eine Sperrzeit für ihre Gehrichtung kaum akzeptieren, da sie rückschließen können, dass während der Freigabezeit die Furt in beide Richtungen gesichert gequert werden kann. Sie werden praktisch zu Rotläufern erzogen.

Aufgrund der gefährlichen Missverständnisse, die bei dieser Signalisierung auftreten können und aufgrund der vermutlich fehlenden Akzeptanz bei den Fußgängern sollte die progressive Signalisierung von Fußgängerfurten **nur in Ausnahmefällen** angewandt werden.

Nachfolgend wird ergänzend zu den in den RiLSA dargestellten Signalisierungsformen als weitere Möglichkeit die **Signalisierung in München** vorgestellt (z.B. MÜNCHEN 2004), die auch andersorts eingesetzt ist und sicherstellt, dass die Fußgängerbelange möglichst weitgehend berücksichtigt sind. Sie gilt bei Fahrbahnteilern, welche schmaler als 5 m sind und gewährleistet, dass am Beginn der Freigabezeit auf beiden Seiten der Straße startende Fußgänger alle hintereinander-

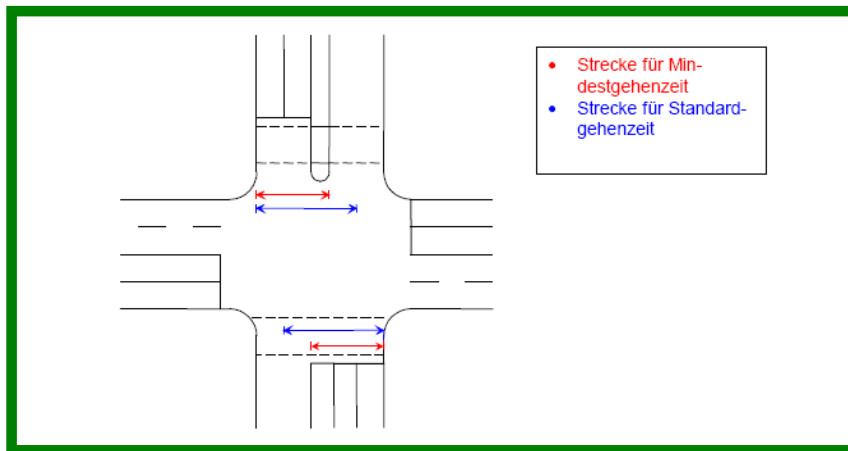


Bild 88: Standard- und Mindest-„Gehenzeiten“ (MÜNCHEN 2004)

liegenden Furten in einem Zug queren können, auf keiner Mittelinsel zum Halt kommen oder gar einen Umlauf warten müssen. Dies gilt sowohl für „langsame“ Fußgänger (Gehgeschwindigkeit 1,2 m/s) als auch für „schnelle“ Fußgänger (Gehgeschwindigkeit 1,5 m/s). Diese Signalisierung sollte daher nach Möglichkeit eingesetzt werden.

Im **Regelfall** sollen die **Furten gleichzeitig freigegeben** sein. Hierbei werden Mindest- und Standard-„Gehenzeiten“ für die Fußgänger unterschieden. Angestrebt werden die Standard-„Gehenzeiten“. Die Mindest-„Gehenzeiten“ sind in Ausnahmefällen möglich, z.B. bei Knotenpunkten mit Kapazitätsproblemen oder wenn am Knotenpunkt ein Signalprogrammeingriff zugunsten eines ÖV-Fahrzeugs erforderlich ist und deshalb möglichst schnell andere nicht verträgliche Phasen (z.B. die der querenden Fußgänger) abgebrochen werden müssen.

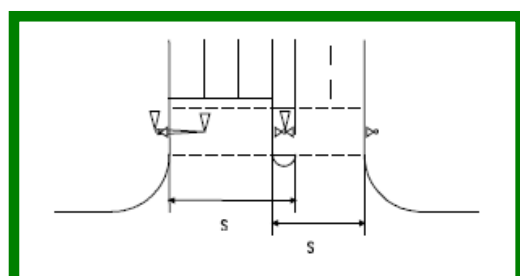
Es gelten folgende Anforderungen:

- Bei den Standard-„Gehenzeiten“ muss an der letzten Furt so lange Freigabezeit geschaltet sein, dass ein bei Freigabezeitbeginn an der ersten Furt startender Fußgänger den Weg bis zur Mitte der letzten zu überquerenden Richtungsfahrbahn mit einer Geschwindigkeit von 1,2 m/s zurücklegen kann (**Bild 88**: blaue Strecke).

Bild 89: maximale Vorlaufzeit (MÜNCHEN 2004)

- Wenn die „Standard-Gehenzeiten“ nicht möglich sind, müssen „Mindest-Gehenzeiten“ eingehalten sein: Hierbei muss an der letzten Furt so lange Freigabezeit geschaltet sein, dass ein bei Freigabezeitbeginn an der ersten Furt startender Fußgänger den Weg bis zur Kante der letzten Richtungsfahrbahn mit einer Geschwindigkeit von 1,2m/s zurücklegen kann (**Bild 88**: rote Strecke).

Lassen sich in **Ausnahmefällen versetzte Freigabezeiten** nicht vermeiden, ist ein Vorlauf möglich. Hierbei darf der Vorlauf über eine Richtungsfahrbahn jedoch maximal nur so lang sein, dass die Kante der nächsten Furt frühestens zu deren Freigabebeginn bei Grün erreicht wird, um einen Halt auf der Insel zu vermeiden (**Bild 89**). Die Gehgeschwindigkeit wird hierbei auf 1,5 m/s festgelegt, um auch schnelle Fußgänger nicht zum Betreten einer gesperrten Furt zu verleiten. Der Vor- bzw. Nachlauf muss mindestens 5 s betragen. Diese Regelung ist bei Fahrbahnteilern mit Haltestellenfunktion nicht zwingend anzuwenden, damit Fahrgäste haltende ÖV-Fahrzeuge gesichert durch Freigabezeit erreichen können.





Bei nicht in einer Flucht angeordneten Signalmasten sollten Versätze nicht geschaltet sein, um Gefährdungen von Fußgängern durch „Rüberzieheffekte“ zu vermeiden (vgl. Abschnitt 4.5.3.3).

Fußgängerschutzanlagen

Fußgängerschutzanlagen (Fußgänger-Lichtsignalanlagen außerhalb von Knotenpunkten) kommen vor allem als **Querungshilfen** an stärker frequentierten Stellen zwischen Knotenpunkten mit LSA und auch benachbart zu Knotenpunkten ohne LSA für besonders zu schützende Fußgängergruppen (v.a. Kinder, Ältere, Behinderte) in Frage (**Bild 90**). Im Regelfall wird die Freigabezeit für die Fußgänger nur auf Anforderung geschaltet.



Bild 90: Fußgängerschutzanlage an einer Bushaltestelle (Foto: D. BOSSERHOFF)

Wenn vermehrt eine Nutzung durch langsame Fußgänger zu erwarten ist, ist sollte die Wahl einer niedrigeren Gehgeschwindigkeit geprüft werden. Empfohlen wird eine Mindestfreigabezeit derart, dass 2/3 des Räumwegs zurückgelegt werden können.

Rotlichtüberfahrten an Fußgängerschutzanlagen können verringert und die Sicherheit dadurch erhöht werden, wenn die Haltlinie für den Kfz-Verkehr 2m vor der Fußgängerfurt angeordnet ist.

Bei Überquerungshilfen benachbart zu Knotenpunkten ohne LSA sollte zwischen Kreuzungen

und Einmündungen unterschieden werden. Es wird häufig beobachtet, dass Kfz aus der Nebenrichtung das Sperrsignal für die Hauptrichtung nutzen, um einzubiegen. Bei Einmündungen kann dies durch die Markierung einer Haltlinie mit Hinweis „Bei Rot hier halten“ minimiert werden. Zusätzliche Sicherheit könnte durch versetzten Freigabezeitbeginn nach der Fußgängerfreigabe um eine fiktive Zwischenzeit (einbiegendes Kfz räumt/Kfz fährt ein) geschaffen werden. Im Einzelfall kann der Nebenrichtung das Hauptrichtungssignal beschränkt auf die Signalfolge Gelb – Rot – Aus (d.h. kein Grün) wiederholt werden.

Bei **Grünen Wellen** können Fußgängerschutzanlagen vor allem an Querungsstellen erforderlich sein, wo aufgrund der Koordinierung die beiden Ströme der Hauptrichtung versetzt passieren und eine Querung ohne Signalschutz nicht möglich bzw. gefährlich wäre. Die **angeforderte Fußgängerfreigabezeit** sollte im Regelfall **schnellstmöglich** und nicht unter Beachtung der Grünen Welle geschaltet werden. Die höhere Sicherheit wiegt schwerer als die nur fallweise Beeinträchtigung der Grünen Welle. Ausnahmen können möglich werden z.B. bei kurzen Stauräumen, hoher Progressionsgeschwindigkeit und der Gefahr der Missachtung des Rotlichts durch die Kfz.

Fußgänger-Lichtsignalanlagen mit **Alles-Rot-/Sofort-Grün-Schaltung** werden für Fußgängerschutzanlagen aufgrund der vorliegenden Erfahrungen mit verstärkten Rotlichtmissachtungen des Kfz-Verkehrs nicht mehr empfohlen.

Eine weitere Sonderform der Fußgängersignalisierung als Überquerungshilfe außerhalb von Knotenpunkten sind die sogenannten **„Dunkel-Anlagen“**. Die Grundstellung der Anlage zeigt für alle Verkehrsteilnehmer „Dunkel“ oder für den Kraftfahrzeugverkehr „Dunkel“ und für den Fußgängerverkehr Rot, wobei Fußgängern bei der Grundstellung „Dunkel“ ein Hinweis gegeben werden muss, dass die Anlage betriebsbereit ist. Nach Anforderung einer Fußgängerfreigabezeit



wechseln die Fahrzeugsignale von „Dunkel“ über eine verlängerte Gelbzeit von 5 Sekunden auf Rot. Nach Ablauf einer Sekunde „Alles-Rot“ erhalten dann die Fußgänger die Freigabe. Mit Beendigung der Fußgängerphase gehen die Fahrzeugsignale wieder in die Grundstellung „Dunkel“ zurück. Durch diese Schaltung kann die Zeit von der Anforderung durch Fußgänger bis zum Aufleuchten des Fußgänger-Grüns möglichst kurz gehalten werden. Dunkel-Anlagen können eingesetzt werden, falls ein Abschalten in verkehrsschwachen Zeiten nicht infrage kommt. Die Dunkel-Schaltung hat den Vorteil, dass anders als beim Freigabesignal keine „Sogwirkung“ auf die Kfz-Führer ausgeht.

Überquerung besonderer Bahnkörper

(vgl. Aussagen im Kapitel 6.1.7 des Handbuchs)

Bei Bahnkörpern kann es an Knotenpunkten und Bereichen wie Haltestellen zweckmäßig sein, **lichtsignalgesteuerte Überquerungsstellen** für Fußgänger und gegebenenfalls mit ihnen gemeinsam signalisierte Radfahrer anzulegen. Dafür ist in der Regel eine **Anforderungssteuerung** durch das ÖPNV-Fahrzeug erforderlich. Damit wird erreicht, dass immer aktuell vor einer Gefahr gewarnt wird und gegebenenfalls die signaltechnische Sicherung des Gleisbereiches auf das Herannahen und Vorbeifahren des ÖPNV-Fahrzeuges beschränkt bleibt.

Im Allgemeinen ist die Signalisierung mit **gelbem Blinklicht** am besten geeignet, und zwar als Springlicht mit zwei übereinander oder nebeneinander angeordneten Leuchtfeldern. Die Vorblinkzeit (vor Eintreffen des ÖPNV-Fahrzeuges an der Überquerungsstelle) entspricht der Räumzeit der Fußgänger. Daraus ermittelt sich die Lage des Anmeldepunktes.

Alternativ ist die Signalisierung mit der Grundstellung **„Halt“ für ÖPNV-Fahrzeuge und „Dunkel“ für Fußgänger** und gegebenenfalls mit ihnen gemeinsam signalisierte Radfahrer möglich. Mit der Anforderung durch ein ÖPNV-Fahrzeug schalten die Fußgängersignale oder die kombinierten

Fußgänger-/Radfahrersignale auf „Rot“ und nach Ablauf der Fußgängerräumzeit wird die Fahrt freigegeben. Nach Ende der Freigabezeit geht das ÖV-Signal in die Grundstellung „Halt“ und nach Ablauf der Zwischenzeit wechselt das Fußgängersignal oder das kombinierte Fußgänger-/Radfahrersignal in die Grundstellung „Dunkel“. Diese Art der Signalisierung ist aufwändiger als die Verwendung des gelben Blinklichtes.

Von einer Signalisierung mit „Grün“ anstelle „Dunkel“ wird abgeraten. Wegen der im Vergleich zum motorisierten Individualverkehr geringen Anzahl an ÖPNV-Fahrzeugen würde „Grün“ lange aufleuchten und könnte zudem im Hinblick auf die außen liegenden Fußgängerfurten über die Fahrbahnen zu Fehlinterpretationen führen.

An der Überquerungsstelle benötigen Rollstuhlfahrer, Fußgänger mit Kinderwagen, Radfahrer usw. ausreichend tiefe und breite Aufstellflächen zwischen Fahrbahn und Bahnkörper (Mindesttiefe 2 m, Breite mehr als 4 m, gegebenenfalls auch in Abhängigkeit vom Fußgängeraufkommen). Ist dies der Fall, können die Furten über Bahnkörper und Fahrbahn(en) getrennt voneinander signalisiert werden. Bei nicht ausreichender Aufstellfläche müssen Fahrbahn- und Bahnkörperüberquerung in einem Zuge erfolgen, wodurch lange Räumzeiten entstehen. Bei einem besonderen Bahnkörper in Mittellage sollte versucht werden, wenigstens auf einer Seite eine Wartefläche von mindestens 2 m Tiefe zu schaffen.

Wenn die Fußgängerfurten gleichzeitig als Zugänge zu einer Haltestelle dienen, sollten die Freigabezeiten über die Fahrbahnen so geschaltet werden, dass einlaufende ÖPNV-Fahrzeuge von den am Fahrbahnrand wartenden Fahrgästen auch noch erreicht werden können.

Zwischen Knotenpunkten und an unübersichtlichen Stellen sollten Aufstellflächen beiderseits des Bahnkörpers zur Verfügung stehen. Vor allem bei hoher Geschwindigkeit der ÖPNV-Fahrzeuge sollte die Überquerungsstelle zusätzlich durch



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Schutzgitter, Geländer, Pfosten mit Ketten o. Ä. gesichert werden (**Bild 91**). Generell kann der Einsatz von im Straßenniveau eingelassenen LED-Lampen in Frage kommen (vgl. Kap. 6.1), die bei Herannahen einer Bahn blinken (KARLSRUHE 2007).

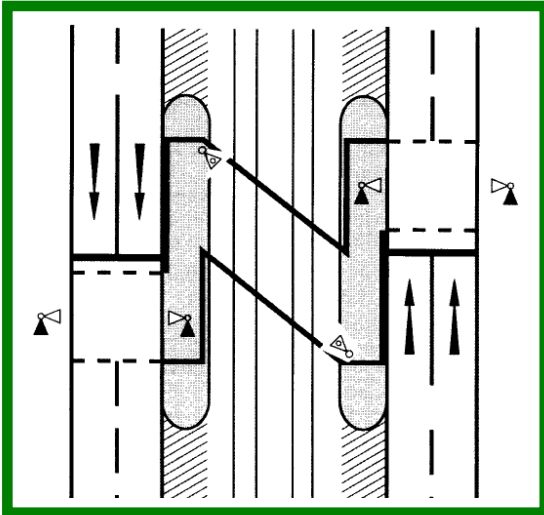


Bild 91: Überquerungsstelle mit Lichtsignalanlage als Z-Übergang (FGSV 2003)

Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte

Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte sollen in **Abstimmung mit den Organisationen** der Betroffenen und den zuständigen kommunalen und staatlichen Behörden installiert werden. Sie kommen vor allem an Furten von Lichtsignalanlagen in Betracht, die regelmäßig von Blinden und Sehbehinderten genutzt werden und an denen diese besonders gefährdet sind. Die Zusatz-einrichtungen für Blinde und Sehbehinderte sollen:

- das Auffinden der Fußgängerfurt sowie der Signalgeberraste mit Anforderungstaster erleichtern,
- die Anforderung der taktilen oder akustischen Signale zur Verdeutlichung der Freigabezeit ermöglichen
- das Erkennen des Freigabesignals für die Fußgängerfurt sicherstellen und

- das sichere und geradlinige Überqueren der Straße ermöglichen.

Neben den zusätzlichen signaltechnischen Einrichtungen sind Bodenindikatoren erforderlich, die das Auffinden der Querungsstelle und ggf. auch des Signalmasts mit der Anforderungseinrichtung erleichtern. **Hinweise** zum Thema geben u.a.

- der Leitfaden „Unbehinderte Mobilität“ der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (KOHaupt/SCHULZ 2006)
- eine Verfügung zu Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte (HLSV 2006b)
- die nachfolgend genannten **DIN**-Normen.

Blinde und Sehbehinderte lernen beim Orientierungs- und Mobilitätstraining den lichtsignalgesteuerten Verkehrsablauf an Kreuzungen und Einmündungen akustisch zu identifizieren und die jeweiligen Fußgängergrünzeiten abzuleiten. An verkehrsreichen Straßen mit einfachen Kreuzungen und Einmündungen kann von Blinden und Sehbehinderten der Zustand der Verkehrsregelung an einer Furt durch die Orientierung an den Umgebungsgeräuschen relativ sicher erfasst werden. Eine besonders starke Konzentration zum Erfassen der Furtfreigabe erfordern:

- Straßen mit erheblichem Geräuschpegel und relativ kurzen Freigabezeiten zum Überqueren,
- Fußgängerfurten mit Anforderung der Freigabezeiten sowie
- Knotenpunkte mit komplexer Verkehrsführung.

Gefährlich für Blinde und Sehbehinderte sind Straßen mit vielen Fahrstreifen und lauten Umfeldgeräuschen oder Straßen mit schwachem Verkehr, vor allem wenn schnell gefahren wird. Lichtsignalanlagen, die hier aus Sicherheitsgründen eingerichtet werden oder eingerichtet worden sind, kommen damit für Zusatz-einrichtungen besonders in Frage. Hintereinander liegende Furten mit schmalen Fahrbahnteilern sollten für Blinde und Sehbehinderte nur in Ausnahmefällen getrennt signalisiert werden (DIN 32981).



Um die besonderen Schwierigkeiten der Blinden und Sehbehinderten wenigstens teilweise auszugleichen, sollte bei Furten mit akustischen Zusatzeinrichtungen die Mindestfreigabezeit für Fußgänger so bemessen sein, dass die Blinden und Sehbehinderten mit allgemein üblicher Gehgeschwindigkeit während der Freigabezeit die **ganze Fahrbahn** überschreiten können.

In der Zwischenzeitberechnung sollte bei einer Räumgeschwindigkeit von in der Regel $v_r = 1,2 \text{ m/s}$ für jedes Betreten oder Verlassen einer Fahrbahn ein **Zeitzuschlag von 1 s** berücksichtigt werden. An Fußgängerfurten, die überwiegend zum Schutz von alten Menschen eingerichtet wurden, und beim Überqueren von Straßengleisen sollte eine **Räumgeschwindigkeit von 1,0 m/s** angesetzt werden.

Die **Freigabezeit** für Blinde und Sehbehinderte kann kürzer sein als die der parallel geschalteten Fußgängersignalgruppe, sofern die Freigabezeit des akustischen Signals zum Überqueren der gesamten Fahrbahn ausreicht. Hauptgrund ist, dass Blinde und Sehbehinderte die Furt in der Regel nur bei Freigabezeitbeginn betreten. Durch die Trennung der Signalgruppen ist es möglich, Signale für Sehende und diejenigen für Blinde und Sehbehinderte zum gleichen Zeitpunkt beginnen zu lassen und unterschiedlich zu beenden.

Bei Signalsteuerungen mit langen Freigabezeiten, wie bei der Hauptrichtung-Dauergrün-Schaltung, sollte von Blinden und Sehbehinderten ein Freigabesignal auch während der Grünzeit ausgelöst werden können. Das Hinzuschalten des akustischen oder taktilen Freigabesignals zu bereits freigegebenen bedingt verträglichen Abbiegeströmen wird ausnahmsweise zugelassen, wenn die betreffende Fußgängerfurt ebenfalls bereits freigegeben ist. Dabei ist die Überquerung der gesamten Fahrbahn innerhalb der zugeschalteten Freigabezeit zu gewährleisten.

Bei Anforderung eines akustischen oder taktilen Freigabesignals in einer langen geschalteten Grünzeit ist es jedoch sicherer, zunächst den Verkehr anzuhalten und danach die bedingt verträglichen Ströme (Abbieger, Fußgänger, Sehbehinderte und Blinde) gemeinsam freizugeben. Damit entfallen die Konflikte, die sonst beim Hinzuschalten entstehen können.

Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte sollen während der Betriebszeit der Lichtsignalanlage **ständig betriebsbereit** sein. Werden Anwohner nachts durch akustische Signale gestört, ist zu prüfen, ob diese Zusatzeinrichtungen gegebenenfalls in ihrer Lautstärke abgesenkt oder abgeschaltet werden können. Dabei kann eher auf die Orientierungssignale als auf die Freigabesignale verzichtet werden.

Als Zusatzeinrichtungen können akustische und taktile Signalgeber verwendet werden.

Bei den **akustischen Signalgebern** werden Orientierungs- und Freigabesignale unterschieden. Das Orientierungssignal dient zum Auffinden der Fußgängerfurt bzw. der Signalgebermaste. Das akustische Freigabesignal dient zur Anzeige der Freigabezeit für Fußgänger.

Das **Orientierungssignal** am Signalgebermast wird vorzugsweise rundum abgestrahlt und muss in einem Umkreis von maximal 5 m vom Signalgebermast zu hören sein. Die akustischen Orientierungssignale unterscheiden sich in der Frequenz und ihrer Abstrahlcharakteristik (Taktfrequenz) deutlich von den Freigabesignalen.

Ob Orientierungssignale erforderlich sind, ist unter Einbezug und Berücksichtigung der Umfeldbelastungen und der örtlichen Besonderheiten mit den Organisationen der Betroffenen abzustimmen. Führen die Geräuschemissionen der Orientierungssignale zur Störung der Anwohner, sollten sie gegebenenfalls durch taktile Bodenindikatoren und Aufmerksamkeitsfelder ersetzt, oder falls das Abschalten in Frage kommt, ergänzt werden. Näheres hierzu findet sich in der DIN 32984.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

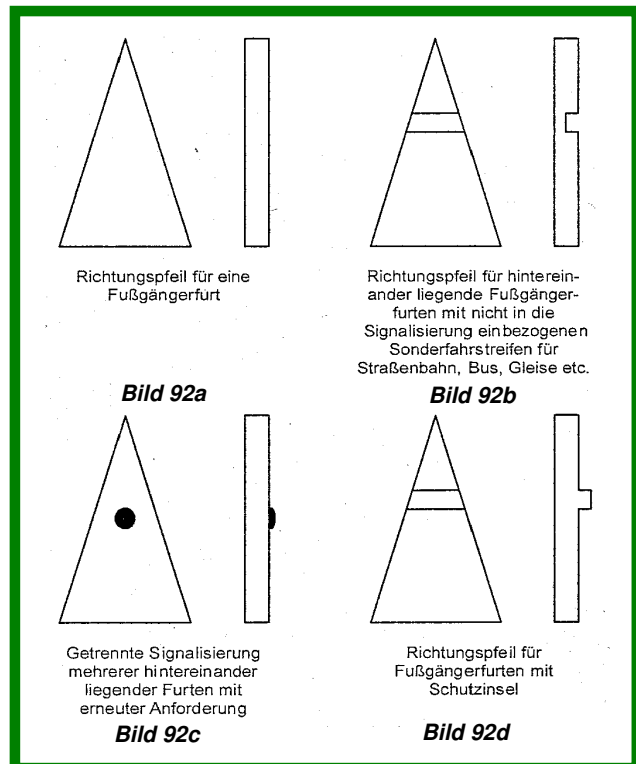
4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Die Schallgeber der akustischen Freigabesignale sollen etwa in Höhe der Lichtsignalgeber für Fußgänger am jeweils gegenüber stehenden Mast so installiert werden, dass der Schall in Richtung Fahrbahnmitte abgestrahlt wird.

Das akustische **Freigabesignal** ist intermittierend mit einer Charakteristik, wie sie in der DIN 32981 beschrieben ist, auszuführen. Der Schalldruckpegel soll bis zu 5 dB(A) über dem Geräuschpegel des Umfeldes liegen, so dass das Freigabesignal auf der Furt noch in einer Entfernung von 8 m, auch bei starkem Verkehr und Umgebungslärm, deutlich zu hören ist. Der Schalldruckpegel soll sich in der Lautstärke automatisch an die Umgebungsbedingungen anpassen. Wo die Schallemissionen stören, sollen die akustischen Freigabesignale nur auf Anforderung geschaltet werden.

Taktile Signalgeber sollen nur ergänzend zu den akustischen Freigabesignalgebern eingesetzt werden. Sie werden an der Unter- oder Oberseite der Anforderungseinrichtung in Form einer während der Freigabezeit vibrierenden Platte angebracht. Die Gehrichtung ist mit einem tastbaren Pfeil kenntlich gemacht (**Bild 92a**). Besonderheiten in der Fahrbahn sind gemäß DIN 32981 durch tastbare Zusatzsymbole auf den in den taktilen Signalgebern eingelegten Richtungspfeilen gekennzeichnet (DIN 32981):

- hintereinanderliegende Furten mit nicht in die Signalisierung einbezogenen ÖPNV-Fahrestreifen, die nach DIN zu vermeiden sind (**Bild 92b**),
- hintereinanderliegende Furten, wenn auf Mittelinseln eine erneute Anforderung erforderlich ist (**Bild 92c**),
- Fußgängerfurten mit Schutzinseln (**Bild 92d**).

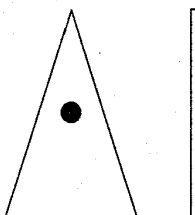


Richtungspfeil für eine Fußgängerfurt

Richtungspfeil für hintereinander liegende Fußgängerfurten mit nicht in die Signalisierung einbezogenen Sonderfahrstreifen für Straßenbahn, Bus, Gleise etc.

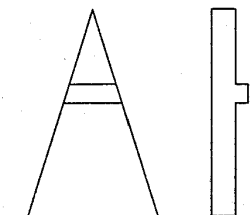
Bild 92a

Bild 92b



Getrennte Signalisierung mehrerer hintereinander liegender Furten mit erneuter Anforderung

Bild 92c



Richtungspfeil für Fußgängerfurten mit Schutzinseln

Bild 92d

Bilder 92a-92d: Beispiele für taktile Signalgeber gemäß DIN 32981 (FGSV 2007)

Taktile Signale haben die Aufgabe, den Beginn der Freigabezeit zu übermitteln. Hierzu ist eine Vibrationsdauer von 5 s ausreichend. Außerdem sind sie hilfreich, wo Blinde und Sehbehinderte das akustische Signal nicht zuverlässig wahrnehmen können, z. B. bei eng zusammenstehenden Signalgebermasten oder wenn von einem Mast die akustischen Signale für zwei Richtungen abgestrahlt werden. In Ausnahmefällen können taktile Signale auch allein gegeben werden, z.B. bei Fußgängerschutzanlagen über Fahrbahnen mit nicht mehr als zwei Fahrstreifen, bei der Überquerung besonderer Bahnkörper oder wenn ortskundige Blinde und Sehbehinderte dies im Einzelfall ausdrücklich wünschen.



Die Anforderungseinrichtung für Blinde und Sehbehinderte muss gut tastbar und optisch kontrastierend gestaltet sein (siehe DIN 32981). Die Betätigung der Anforderung löst die Fußgängergrünzeit mit akustischem oder mit taktilem Zusatzsignal aus.

Ungewollte Freigabesignale durch akustische oder taktile Signalgeber müssen durch die elektrotechnische Überwachung der Lichtsignalanlage ausgeschlossen werden. Akustische und taktile Freigabesignale müssen daher ebenso wie die optischen Fußgängersignale in die **Signalsicherung** einbezogen werden. Weitere Einzelheiten zur technischen Ausrüstung finden sich in den DIN 32981, DIN VDE 0832-100, DIN EN 50293.

Hinweise zum Einsatz der Zusatzeinrichtungen im Bereich der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung gibt (HLSV 2006b). Es wird darauf hingewiesen, dass die Einrichtung von Zusatzeinrichtungen in Abstimmung mit der örtlichen Behindertenvertretung zu regeln ist. Eine Anlage fasst in tabellarischer Übersicht die Einsatzfelder und Kriterien der Zusatzeinrichtungen zusammen, die entsprechend der baulichen Situation als Planungs- und Entscheidungshilfe herangezogen werden sollen.

Grundsätzlich sind im Rahmen der Planungsprozesse das Rechtsgut der „Barrierefreiheit“ im Kontext zu allen weiteren rechtlichen Rahmenbedingungen (Wirtschaftlichkeitsgebot, Verkehrssicherheit, Lärmschutz etc.) zu bewerten und der Bedarf im Einzelfall zu prüfen. Der Bedarfsnachweis ergibt sich insbesondere durch die Prüfung des räumlichen Umfeldes, der Funktionalität des Straßenraumes. Die Lage des Straßenraumes (inner-/außerorts) und die umgebende Bebauung (Schule, Wohnen, Altenwohnanlage, Einkaufen, Krankenhaus, sonst. zentrale Einrichtungen,...) geben Aufschluss über potentiellies Nutzenverhalten sowie Wegebeziehungen.

Auf einen direkten Nachweis, dass die Zusatzeinrichtungen auch tatsächlich durch die betroffenen Nutzergruppen benötigt werden, kann verzichtet werden, zumal hierfür auch keine sichere Prognose möglich ist. Zu beachten ist auch, dass Zusatzeinrichtungen beim Neubau bzw. vollständigem Umbau weniger kostenrelevant sind und i.d.R. nur bei Nachrüstung höhere Kosten entstehen.

Gehbehinderte

Für Gehbehinderte ist eine Nullabsenkung der Bordsteine an den Furten wichtig. Wenn für Sehbehinderte/Blinde, die einen Höhenunterschied bzw. eine ertastbare Bordsteinkante benötigen, und Gehbehinderte nicht getrennte Querungsstellen eingerichtet werden können, kommt der Einsatz des „Kasseler Rollbords“ in Frage (**Bild 93**), der den Belangen beider Personengruppen genügt. Informationen enthält der Leitfaden „Unbehinderte Mobilität“ der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (KOHaupt/SCHULZ 2006).



Bild 93: Übergang von Gehweg zur Fahrbahn mit Aufmerksamkeitsfeld und „Kasseler Rollbord“ (ertastbarer Bord mit Nullabsenkung) (BOSSERHOFF 2007)



4.5.9.3 ÖPNV

Die im Jahr 2003 erschienenen „**Empfehlungen** für den Entwurf von Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (**EAÖ**)“ (FGSV 2003b) geben eine umfassende und übersichtliche Darstellung aller für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) relevanten Planungsdaten unter Berücksichtigung der Vorschriften des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) und den daraus abgeleiteten Verordnungen (BOStrab, BOKraft) und Richtlinien. Die EAÖ ersetzen die außer Kraft gesetzte Richtlinie RAS-Ö, Abschnitt 1 (Straßenbahn, 1977) bzw. Abschnitt 2 (Omnibus und O-Bus, 1979) und sie ergänzen die „Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen“ (EAE: FGSV 1985/95) und die „Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen“ (EAHV: FGSV 1993) um ÖPNV-spezifische Aspekte.

Diese Empfehlungen ergänzt das „**Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung** des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen“ (FGSV 1998). Hier werden ausschließlich Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNV dargestellt. Verzichtet wurde darauf, alle mit der Realisierung von Beschleunigungsmaßnahmen zusammenhängenden Probleme und Interessenskonflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern oder Radfahrern im Detail darzustellen und verträgliche Gesamtlösungen zu beschreiben.

Zu unterscheiden sind Maßnahmen zur Bevorrechtigung des ÖPNV an LSA (d.h. Beeinflussung des LSA-Programms mit dem Ziel einer schnellen Durchfahrt) und andere Maßnahmen (z.B. Schaltung von ÖV-Bedarfsphasen ohne Bevorrechtigung, Freihalten der Fahrbahnfläche für einen gesicherten Fahrgastwechsel). Die Bevorrechtigung des ÖPNV an LSA (insbesondere im Verlauf von Linien) wird im Kapitel 6.1 dieses Handbuchs vertieft dargestellt. Dort werden u.a. behandelt:

- Steuerungsmodell
- Grundprinzipien der ÖPNV-Bevorrechtigung
- Erfassungseinrichtungen und Vorgehen bei Störungen dieser Einrichtungen.

Wichtig für ÖPNV-Fahrzeuge ist, dass Knotenpunkte den fahrdynamischen und fahrgeometrischen Eigenschaften der Fahrzeuge entsprechen. Ein entscheidendes Qualitätskriterium für einen leistungsfähigen ÖPNV ist besonders in Knotenpunkten ein kontinuierlicher Verkehrsablauf. Die Vermeidung von Wartezeiten im Allgemeinen und insbesondere für die ÖPNV-Fahrzeuge ist hier als Hauptaufgabe zu nennen. Dies kann z.B. durch Lichtsignalanlagen mit Bevorrechtigung von Nahverkehrsfahrzeugen erfolgen, durch die Änderung der Vorfahrtregelung oder durch Abbiegeverbote.

Wenn für **ÖPNV-Fahrzeuge** Wartezeiten auftreten, sollten grundsätzlich **Beschleunigungsmaßnahmen** vorgesehen werden, weil ÖPNV-Fahrzeuge durch besonders viele Personen genutzt werden und damit zu einem niedrigeren Kfz-Verkehrsaufkommen und umweltfreundlicheren Verkehrsablauf beitragen. Daher ist bei Knotenpunkten mit LSA, die durch ÖPNV-Fahrzeuge befahren werden, zu prüfen, ob Bedarf für eine ÖPNV-Bevorrechtigung und Möglichkeiten hierfür bestehen (z.B. Ausrüstung der ÖPNV-Fahrzeuge mit Einrichtungen zur An- und Abmeldung an den LSA wie Funk) oder sonstige Verbesserungsmaßnahmen erforderlich sind (HSVV 2007). Zu letzterem zählt z.B. der Ersatz einer Busbuch durch eine Haltestelle am Fahrbahnrand oder ein Buskap (vgl. Kapitel 6.3 dieses Handbuchs). Bei der Prüfung des Bedarfs sind die ÖPNV-Zuständigen (Kommunen, Verkehrsunternehmen) einzubeziehen (BOSSERHOFF/WIENAND 2006).

Eine LSA-Beeinflussung weist den höchsten Nutzen auf, wenn sie über eine längere Strecke erfolgt (**Bild 94**).

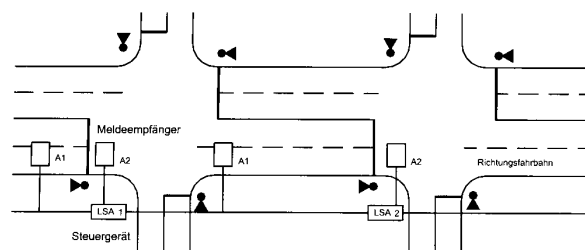


Bild 94: Prinzip der Signalbeeinflussung im Streckenverlauf nach EAÖ (FGSV 2003b)



Für eine **ÖV-Bevorrechtigung** an Lichtsignalanlagen ist ein verkehrsabhängiges Steuerungsverfahren Voraussetzung. Damit kann das Signalprogramm an den aktuellen Verkehrszustand und den Bedarf des ÖPNV-Fahrzeugs angepasst werden. Folgende Maßnahmen sind v.a. möglich:

- Freigabezeitanpassung:
Verlängerung der bereits geschalteten Freigabezeit (falls verträglich zur Fahrtrichtung des angemeldeten ÖV-Fahrzeugs) bis zu dessen Abmeldung oder einer maximalen Freigabezeit
- Sperrzeitverkürzungen:
vorzeitiger Abbruch einer nicht zur Fahrtrichtung des ÖV-Fahrzeug verträglichen Phase und Wechsel in eine nachfolgende verträgliche Phase
- Phasentausch:
Tausch einer nicht zur Fahrtrichtung des ÖV-Fahrzeugs verträglichen Phase mit einer verträglichen Phase unter Beibehaltung der Phasenanzahl und der Umlaufzeit.
- Bedarfsphasenanforderung:
Einschieben von zur Fahrtrichtung des ÖV-Fahrzeugs verträglichen Phasen bei Bedarf innerhalb einer festgelegten Phasenfolge und Abbruch nach Abmeldung.

Weitere Maßnahmen sind z.B. (vgl. Kapitel 6.1):

- Freigabezeitverkürzungen der Gegenrichtung, (z.B. damit Linksabbieger abfließen können)
- ggf. Freigabezeitausgleich für abgebrochene Kfz-Ströme, die noch Freigabezeit benötigen.

Der größte Freiheitsgrad entsteht bei freier Veränderbarkeit der Elemente Umlaufzeit, Phasenfolge, Phasenanzahl und Freigabezeit („**Signalprogrammbildung**“). Diese Steuerungstechnik ist inzwischen weit verbreitet und bietet Nahverkehrsfahrzeugen die Möglichkeit einer nahezu absoluten ÖV-Bevorrechtigung, d.h. keine Wartezeit an der LSA. In der Regel ist aus Gründen der Akzeptanz bei den anderen Verkehrsteilnehmergruppen jedoch nur eine bedingte ÖV-Bevorrechtigung möglich, d.h. die Verlustzeiten werden weitestgehend minimiert. Hinweise zur absoluten bzw. bedingten Bevorrechtigung geben (FGSV 1993b) bzw. (FGSV 1999). Ein guter Kompromiss

zwischen dem erwünschten Grad der Bevorrechtigung und dem finanziellen Aufwand ist die „**Signalprogrammanpassung**“.

Damit Busse bzw. Straßenbahnen Einfluss auf den Signalprogrammablauf nehmen können, müssen sie im Annäherungsbereich erfasst werden. Hierfür kann eine **Anmeldung**, ggf. auch eine Vor- und Hauptanmeldung erforderlich sein. Die Anmeldung kann über Datenfunk oder Infrarotsender oder durch Kontaktschwellen bzw. Induktivschleifen erfolgen. Die Informationsübertragung erfolgt entweder direkt an das Steuergerät oder aber indirekt über eine Bake und gegebenenfalls einen Verkehrsrechner. Nach Passieren der Haltlinie ist eine **Abmeldung** erforderlich, damit das Signalprogramm schnellstmöglich wieder in den regulären Ablauf zurückspringt. Hinweise zu den ÖV-Erfassungseinrichtungen und zur Kompatibilität geben die Kapitel 6.1 und 6.2 dieses Handbuchs.

Innerhalb dieses Kapitels sollen im wesentlichen Möglichkeiten der ÖPNV-Bevorrechtigung an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten behandelt werden. Welche Möglichkeiten zur ÖPNV-Bevorrechtigung sinnvoll sind, hängt unter anderem von Randbedingungen ab, wie:

- Vorhandensein von Haltestellen im Knotenpunktbereich,
- Lage der Haltestellen vor oder hinter dem Knotenpunkt,
- eigener Busfahrstreifen bzw. besonderer Gleiskörper für Straßenbahnen und
- Fahrbeziehungen des ÖPNV im Knotenpunktsbereich.

Ziel der Lichtsignalbeeinflussung durch den ÖPNV ist ein **Passieren des Knotenpunktes möglichst ohne Halt**, zumindest aber eine Minimierung der Wartezeit.

Für die signaltechnische Führung des ÖPNV stehen im allgemeinen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Gemeinsame Freigabe mit den verträglichen Verkehrsströmen oder (gegebenenfalls zusätzlich) eine ÖPNV-Sonderphase.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Der ungünstigste Zeitpunkt für eine ÖPNV-Anmeldung ist der Beginn eines Phasenübergangs zu einer feindlichen Phase (**Bild 95**). In diesem Fall muss bis zur Berücksichtigung einer ÖPNV-Anforderung zunächst der komplette Phasenübergang zur feindlichen Phase, dann deren Mindestfreigabezeit und schließlich der Phasenübergang zu der mit dem ÖPNV verträglichen Phase abgearbeitet werden. Daraus folgt, dass der Abstand x_a des Anmeldepunktes zum Knotenpunkt mindestens der Strecke entsprechen muss, die der Bus bzw. die Straßenbahn mit der Geschwindigkeit v_{zul} in der Versatzeit $t_v = PÜ2.1 + \min t_{Gr1} + PÜ1.2$ durchfährt ($x_a < v_{zul} \cdot t_v$). Bei einer drei- oder mehrphasigen Steuerung ist die maximale Versatzeit t_v , nach der die Freigabe des ÖPNV spätestens erfolgt, aus den Phasenübergängen und der Mindestfreigabezeit einer feindlichen Phase zu ermitteln, die in der Summe den größten Wert ergeben. Die Entfernung x_a des Anmeldepunktes zur Haltlinie hängt somit vor allem von v_{zul} und der Dauer der Phasenübergänge ab. Zumeist liegt x_a im Bereich zwischen 200 m und 300 m.

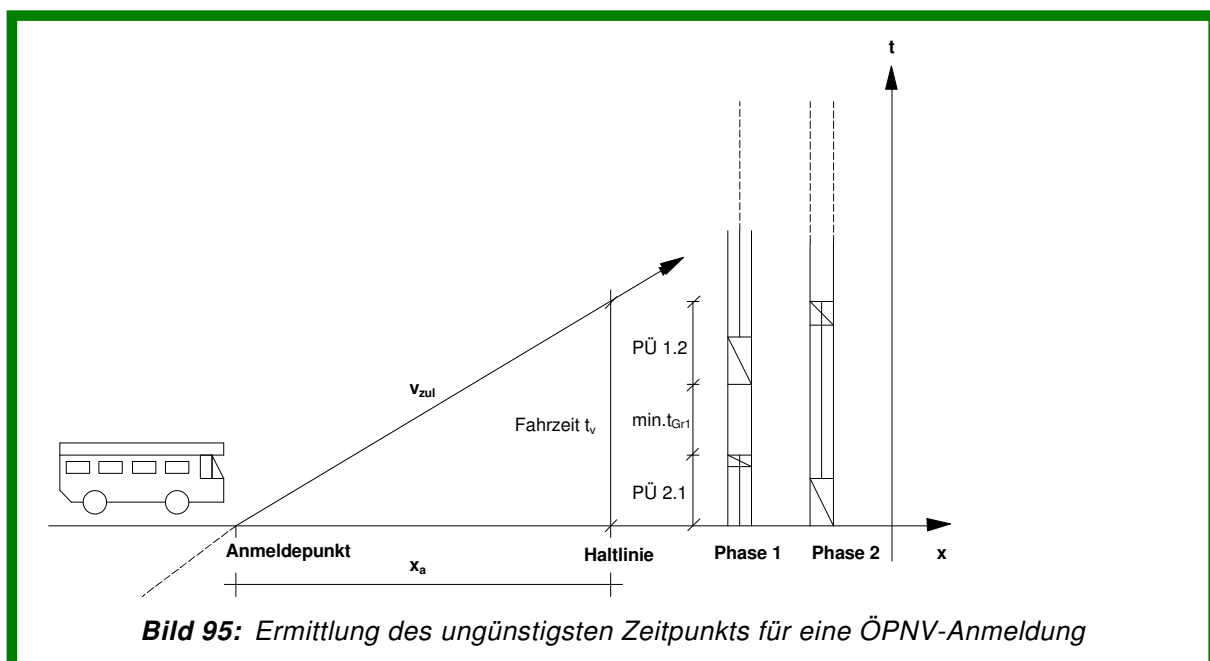
Im Gegensatz zu den Verfahren der Signalprogrammabildung kann bei den Verfahren der **Signalprogrammabpassung** nicht immer ein Halt des ÖPNV vermieden werden. Dies resultiert u.a.

aus dem vorgegebenen Rahmenprogramm und den darin enthaltenen Kernfreigabezeiten feindlicher Phasen.

Bei der **Freigabezeitmodifikation** kann aber aufgrund einer ÖPNV-Anforderung die vorangehende Phase zum frühestmöglichen Zeitpunkt abgebrochen werden oder die laufende, ÖPNV-verträgliche Phase bis zu ihrer maximalen Dauer verlängert werden (**Bild 96**). Im Rahmen der logischen Bedingungen kann eine bevorzugte Behandlung des ÖPNV dadurch erzielt werden, dass ein Phasenwechsel zur ÖPNV-verträglichen Phase auch dann eingeleitet wird, wenn die laufende (feindliche) Phase noch ausgelastet ist (Zwangseingriff).

Beim Verfahren **Phasentausch** führt eine Anforderung des ÖPNV zu einem Vorziehen der entsprechenden Phase im Signalprogrammablauf.

Bei Straßenbahnen, die in Mittellage geführt werden oder bei Bussen, die den Gleiskörper mitbenutzen, kann es im Rahmen einer ÖPNV-Beschleunigung erforderlich werden, ein **Freiräumen** des Knotenpunktbereiches **von** wartepflichtigen **Linksabbiegern** vor dem Eintreffen des Busses bzw. der Straßenbahn zu gewährleisten.





Dynamische Straßenraumfreigabe

Dies kann z.B. dadurch realisiert werden, dass infolge einer ÖPNV-Anforderung dem entsprechenden Linksabbiegestrom eine verkehrsabhängige Zugabezeit gewährt wird, solange über Detektoren im Knotenpunktsbereich noch eine Auslastung dieses Stroms registriert wird.

Neben Vorrangschaltungen an Lichtsignalanlagen sind entsprechend dem Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNV mit Straßenbahnen und Bussen (FGSV 1999) verschiedene **signaltechnische Sonderformen** geeignet, Zeitverluste des ÖPNV an Haltestellen und Knotenpunkten zu reduzieren. Dazu gehören:

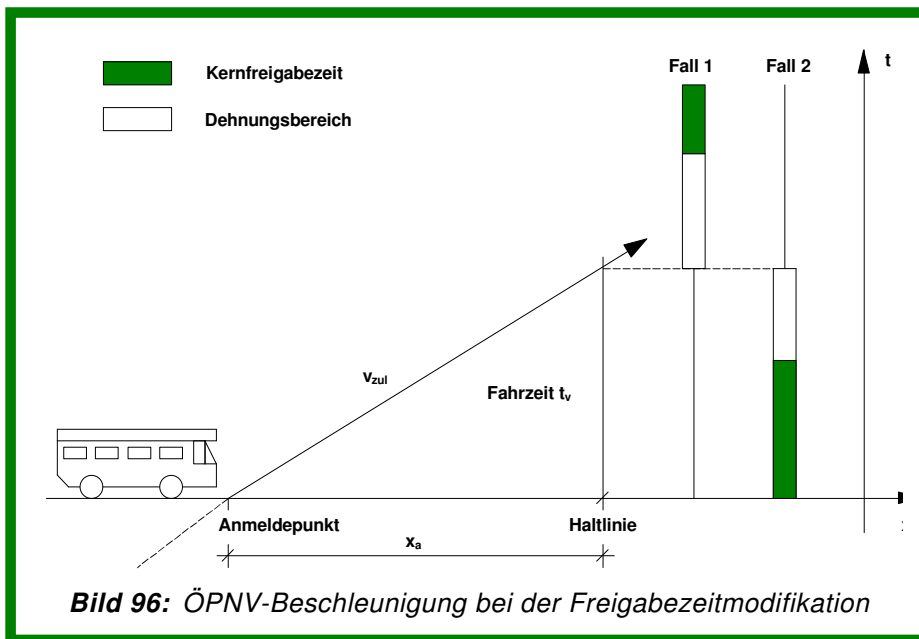
- dynamische Straßenraumfreigabe,
- Beeinflussung der Abfahrtszeiten an Haltestellen,
- Einrichtung von Zeitinseln,
- Ausfahrhilfen,
- Lückenampeln sowie
- Stauüberholschleusen an Pflörtneranlagen.

Diese Maßnahme dient dazu, den ÖPNV auf einem Streckenabschnitt **ohne räumliche Trennung** der Verkehrsarten mittels einer ÖPNV-Spur (z.B. besonderer Bahnkörper) zu beschleunigen. Dem ÖPNV wird dann durch eine Lichtsignalanlage an dem am Streckenbeginn liegenden Knotenpunkt eine bevorrechtigte Einfahrt in den Streckenabschnitt bei gleichzeitiger Zurückhaltung des MIV ermöglicht. Das **ÖPNV-Fahrzeug** befährt den Streckenabschnitt dann als **Pulkführer**. Die dynamische Straßenraumfreigabe für Schienenbahnen erfordert aufeinander abgestimmte Maßnahmen an Knotenpunkten, Haltestellen und Streckenabschnitten (ALBERS 1996); Hinweise hierzu enthält Kapitel 6.1 dieses Handbuchs.

Die dynamische Straßenraumfreigabe setzt ein zuverlässiges Anmeldesystem voraus, um nicht nur die zeitgerechte Freigabe für die Nahverkehrsfahrzeuge, sondern auch das rechtzeitige Abfließen des Kraftfahrzeugverkehrs vor dem Eintreffen der Nahverkehrsfahrzeuge sicherzustellen. Erforderlich ist eine Fahrzeugortung, welche die Fahrzeuge rechtzeitig bei Annäherung an den Knotenpunkt, beim Erreichen des Knotenpunkts, ggf. beim Erreichen der Haltestelle und beim Verlassen des Knotenpunkts und/oder der Haltestelle erfasst.

Die Funktionsfähigkeit der Einrichtungen zur Erfassung der ÖV-Fahrzeuge und der Lichtsignalprogramme muss stets überprüfbar und handhabbar sein (vgl. Kapitel 6.1 dieses Handbuchs).

Die Knotenpunkte im Verlauf eines Streckenzuges mit dynamischer Straßenraumfreigabe müssen ausreichende Kapazitätsreserven aufweisen.





Beeinflussung der Abfahrtszeiten an Haltestellen

An Haltestellen, die sich nicht unmittelbar vor einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt befinden, werden den ÖPNV-Fahrzeugen analog einer Vorsignalisierung die Zeitbereiche durch ein besonderes Abfahrtsignal angezeigt, die an der folgenden Lichtsignalanlage eine Durchfahrt bei Freisignal sicherstellen. Auf diese Weise können Verzögerungsvorgänge vermindert und unvermeidliche Wartezeiten in die Haltestelle verlagert werden.

Das Abfahrtsignal kann erforderlichenfalls mit einem Türschließsignal kombiniert werden. Die Anzeige der günstigen Abfahrtszeiten ist nur dann sinnvoll, wenn zwischen Haltestelle und dem Folgeknotenpunkt eine unbehinderte Fahrt gewährleistet werden kann. Fahrzeitsteuerungen bei größeren Entfernungen können durch eine zweite Anforderung im Annäherungsbereich zum Folgeknoten berücksichtigt werden.

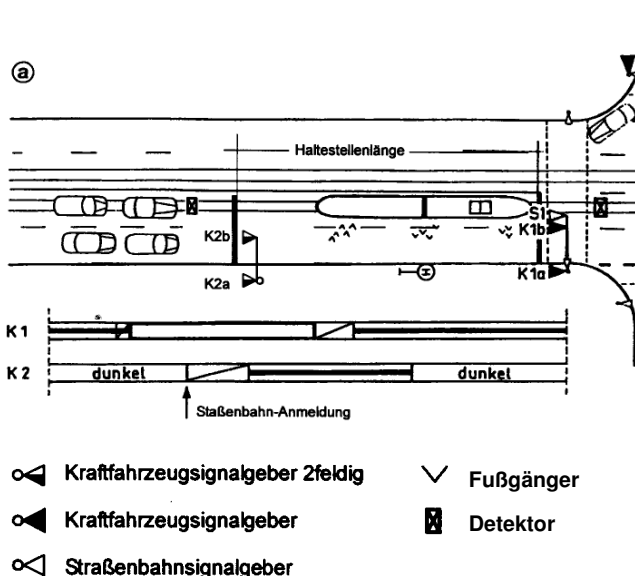


Bild 97: Signalisierung einer Zeitinsel (nach: Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des (FGSV 1999))

Zeitinsel

Straßenbahnhaltestellen vor lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten und auf freier Strecke können als Zeitinseln betrieben werden, wenn Fahrgastinseln nicht angeordnet werden können. Sie haben den Zweck, die Fahrbahn im Haltestellenbereich rechtzeitig für das Ein- und Aussteigen der Fahrgäste freizumachen und freizuhalten und tragen damit zur **Sicherheit und Beschleunigung des Fahrgastwechsels** bei. Darüber hinaus kann der Straßenbahn mit Hilfe von Zeitinseln im Verlauf eines Straßenzuges ein dauernder **Vorlauf vor dem allgemeinen Kfz-Verkehr** geschaffen und der vorausliegende Fahrweg vor allem von abbiegenden Kfz freigehalten werden. Unter diesen Zielvorgaben kann es daher sinnvoll sein, Zeitinseln auch an Haltestellen mit Fahrgastinseln einzurichten und damit zusätzlich die Erreichbarkeit der Haltestelle zu verbessern.

Die Signalisierung von Zeitinseln ergibt sich aus **Bild 97**. Mit dem Signal K2 wird bei Anforderung der Straßenbahn der allgemeine Straßenverkehr angehalten. Die unbehinderte Einfahrt der Straßenbahn in die Zeitinsel und die Freihaltung des Haltestellenbereichs von Staus ist durch progressive Schaltung der Signalgruppen K2 und K1 sicherzustellen. Die Abschaltung des Signals K2 erfolgt über Abmeldedetektor und eine Zwangslöszeit. Ein Beispiel zeigt **Bild 98**.



Bild 98: Beispiel für eine Zeitinsel an einer Haltestelle ohne Fahrgastinsel (Foto: W. SCHWANZER)



Ausfahrhilfen

Wenn Bus-Sonderfahrstreifen vor dem Knotenpunkt enden oder Busse aus einer Haltestelle mit Sonderfahrstreifen ausfahren sollen, können **Busschleusen** mit einfachen Vorlaufsignalen (Freigabe- und/oder Permissivsignal) ausreichen, um den Bus bei Standardsituationen an die Spitze der Fahrzeugströme zu bringen (**Bild 99**). Dies ist in Festzeitsteuerung oder verkehrsabhängig ohne ÖV-Bevorrechtigung, hat dann aber in der Regel Verlustzeiten für das ÖV-Fahrzeug zur Folge.

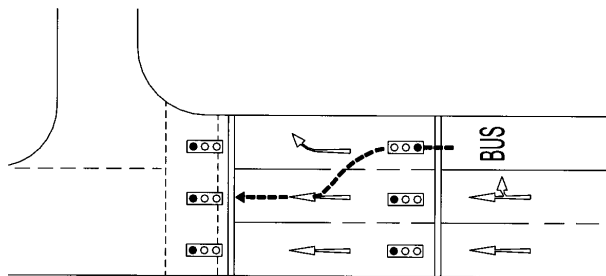


Bild 100: Prinzip einer Busschleuse nach EAÖ (FGSV 2003b)

Um Linienbussen in Randlage das Einfädeln oder Abbiegen aus einem vor dem Stauraum endenden Busfahrstreifen oder einer Haltestelle zu erleichtern, ist die Einrichtung einer Busschleuse zu empfehlen, bei der die ÖV-Fahrzeuge bevorrechtigt Freigabezeit erhalten. Weitere Einsatzmöglichkeiten für eine Busschleuse können zum Beispiel gegeben sein, wenn Busse zur Vermeidung von Stauwartezeiten unter Befreiung von der vorgeschriebenen Fahrtrichtung auf einem parallelen IV-Fahrstreifen geführt werden und vor dem Knotenpunkt ein Fahrstreifenwechsel in den entsprechende Abbiegefahrstreifen erfolgt.

Das Prinzip dieser Busschleuse zeigt **Bild 100**. Durch zusätzliche Signale wird der allgemeine Kfz-Verkehr je nach Anzahl der einzuschleusenden Busse im Abstand von mindestens 30 m zurückgehalten. Die Freigabezeit für die Busse wird durch ÖPNV-Signal angezeigt (**Bild 101**).

Busschleusen sollten nach Möglichkeit **verkehrsabhängig gesteuert** werden, damit der Kfz-Verkehr nur bei Busanwesenheit beeinflusst wird, dann aber die Bussen Vorrang erhalten. Dabei müssen Detektoren eingesetzt werden, die Linienbusse möglichst frühzeitig erfassen und eindeutig von anderen, den Fahrweg des Busses bzw. die Haltestelle unbefugt nutzenden Fahrzeugen unterscheiden können. Die Kfz-Signalgruppe K2 vor der Busschleuse ist so auf die Kfz Signalgruppe K1 abzustimmen, dass der Bereich der Schleuse staufrei gehalten wird. Die Haltestelle sollte vor dem Signal B1 angeordnet werden. Diese Konzeption eignet sich auch für Ausfahrten aus ÖPNV-Anlagen.

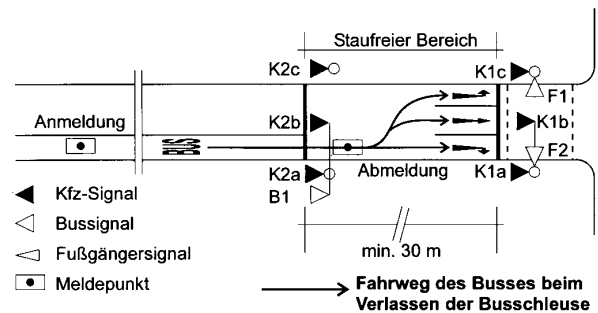


Bild 101: Prinzipskizze einer Busschleuse mit ÖV-Bevorrechtigung gemäß Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNV (FGSV 1999)



Bild 101: Busschleuse am Ende einer Busspur (Foto: D. BOSSERHOFF)



Lückenampel

Kann der Busverkehr an ungesteuerten Knotenpunkten nicht im Zuge der vorfahrtberechtigten Verkehrsrichtung geführt werden, ist bei längeren Wartezeiten in der untergeordneten Zufahrt die Einrichtung einer sogenannten „Lückenampel“ in Betracht zu ziehen (**Bild 102**).

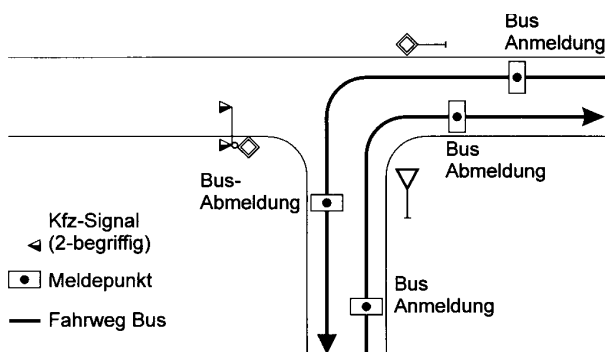


Bild 102 *Prinzipskizze einer Lückenampel (Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNV mit Straßenbahnen und Bussen (FGSV 1999))*

Durch zweibegriffige, vom Bus anforderbare Kfz-Signale (Signalfolge Gelb-Rot) wird eine für das Ab- oder Einbiegen des Busses erforderliche Zeitlücke geschaffen. Nach Abmeldung des Busses oder Ablauf einer Zwangslöschzeit gehen die Kfz-Signale wieder auf „Dunkel“. Unter Umständen kann es sinnvoll sein, dem Bus die Zeitlücke im übergeordneten Verkehr durch ein Permissivsignal anzuzeigen. Soweit vorhanden, können auch bestehende Fußgänger-Lichtsignalanlagen für die Unterbrechung des vorfahrtberechtigten Verkehrsstroms verwendet werden.

Stau-Überholschleuse

Stau-Überholschleusen können in Betracht kommen, wenn z.B. an Pfortneranlagen die Einrichtung eines Busfahrstreifens zur Umfahrung des durch die Zuflussdosierung verursachten Rückstaus nicht möglich ist.

Mit der in **Bild 103** dargestellten Sonderform der Stau-Überholschleuse liegen bislang nur geringe Erfahrungen vor; die Maßnahme erfordert eine besondere Ausnahmegenehmigung der zuständigen Verkehrsbehörde.

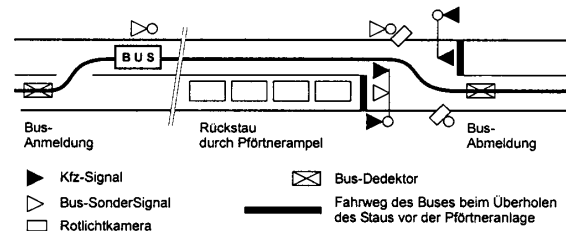


Bild 103: *Prinzipskizze einer Stau-Überholschleuse (Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNV mit Straßenbahnen und Bussen (FGSV 1999))*

Um den Bus auf der Gegenfahrbahn vorbeizuführen, werden bei Anmeldung des Busses alle Fahrzeugströme der Gegenrichtung angehalten. Nach Ablauf der Abflusszeit erhält der Bus über Sondersignal die Freigabe für das Überholen des Rückstaus. Durch Abmeldung des Busses bzw. nach Erreichen der Zwangslöschzeit geht die Lichtsignalanlage wieder in den Normalbetrieb über.

Diese Maßnahme ist besonders geeignet in Spitzenverkehrszeiten bei regelmäßigem Stau in der einen und schwächer ausgelastetem Verkehr in der anderen Richtung.

Voraussetzung für die Einrichtung einer Stau-Überholschleuse ist eine uneingeschränkte Einsehbarkeit des Überholbereichs zwischen dem Sondersignal und der Lichtsignalanlage. Dieser Straßenabschnitt darf darüber hinaus keine Zufahrten aufweisen und muss mit Haltverbot (Zeichen 283 StVO) beschildert werden. Die Ausstattung der Lichtsignalanlage mit Rotlichtkameras ist unverzichtbar.



Eine weitere Beschleunigungsmaßnahme für den Busverkehr ist die Kombinationen mit einer Lichtsignalanlage zur **Zuflussdosierung**. Unabhängig vom Vorhandensein einer Haltestelle setzen sie in der Regel einen gesonderten Busfahrstreifen voraus. Ihr Ziel besteht im ungehinderten Passieren rückgestauter Fahrzeuge des allgemeinen Kfz-Verkehrs durch den ÖPNV. Dies kann beispielsweise realisiert werden, indem auf Anforderung des ÖPNV der parallele Kfz-Verkehr gesperrt und ein Busfahrstreifen freigegeben wird.

Hinweise zur Knotenpunktgestaltung

Bereits beim Knotenpunktentwurf sollten die Belange der ÖPNV-Beschleunigung berücksichtigt werden. Kompakte Knotenpunktformen begünstigen den ÖPNV. Durch **richtungskonforme Einordnung des ÖPNV** am Knotenpunkt kann die Anzahl der Konfliktströme reduziert und dadurch der Steuerungsspielraum für den ÖPNV erweitert werden. Richtungskonform ist eine Zuordnung benachbarter Verkehrsströme dann, wenn diese aus einer Richtung kommend bei gleichzeitiger Freigabe keine Konfliktpunkte aufweisen. Nicht richtungskonform ist z. B. ein linksabbiegender Bus aus einem ÖPNV-Fahrstreifen in rechter Seitenlage oder eine rechtsabbiegende Straßenbahn aus der Mittellage.

Ein nicht richtungskonform eingeordneter ÖPNV erfordert in der Regel Sonderphasen, welche die Gesamtkapazität des Knotenpunkts verringern.

Entstehen zur Herstellung der Richtungskonformität in der Zulaufstrecke Kreuzungsvorgänge zwischen dem ÖPNV und dem allgemeinen Straßenverkehr, ist die Notwendigkeit einer Signalisierung dieses Konfliktbereichs zu überprüfen. Durch koordinierte Steuerung mit der LSA des Knotenpunktes sind Kapazitätseinbußen vermeidbar.

Hohe Zeitgewinne können häufig erreicht werden, indem Busse im Zulauf zu lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten unter Befreiung von der vorgeschriebenen Fahrtrichtung auf geringer ausgelasteten und dadurch rückstaufreien Fahrstreifen

geführt werden. Die Straßenverkehrsbehörden können die dafür erforderliche Ausnahmegenehmigung erteilen.

Aus markierten und gering belasteten Fahrstreifen kann mit dem Linienbus in abweichender Richtung gefahren werden, wenn die Busfahrt nach dem Knotenpunkt in einem Sonderfahrstreifen, in einer Haltestellenbucht oder in einen zusätzlichen Fahrstreifen nach dem Knoten mündet und auf dem Knotenpunkt keine feindlichen Richtungen gequert werden.

Die Ausfahrt aus markierten Fahrstreifen in abweichender Richtung kann auch erfolgen, wenn mit dem ÖPNV-Signal nach BOStrab oder RiLSA und Rotschaltung feindlicher Richtungen der Fahrweg des Busses auf dem Knotenpunkt gesichert wird.

Die Erkennbarkeit, Eindeutigkeit und Übersichtlichkeit des Knotenpunkts muss gewährleistet sein, damit auch bei Ausfall der Lichtsignalanlage die Verkehrssicherheit weiterhin gewährleistet ist.

4.5.9.4 Einsatzfahrzeuge

Eine Beeinflussung von Lichtsignalanlagen kann auch für Einsatzfahrzeuge sinnvoll sein. Ziele sind dabei insbesondere

- eine schnelle Durchfahrt der Einsatzfahrzeuge durch bevorrechtigte Schaltung von Freigabezeit in der benötigten Richtung oder aller Fahrtrichtungen der betreffenden Zufahrt,
- eine größtmögliche Sicherheit für das Einsatzfahrzeug und die anderen Verkehrsteilnehmer am Knotenpunkt, in dem alle außer dem Einsatzfahrzeug Sperrzeit erhalten
- eine möglichst geringe Lärmbelastigung der Anwohner (z.B. durch Wegfall des „Martins-horns“).

Diese Art der Bevorrechtigung kommt in Frage vor allem an Knotenpunkten in der Nähe von Feuerwachen, Krankenhäusern oder längs Haupt-routen von Feuerwehrfahrzeugen; Hinweise sind u.a. enthalten in (BOSSERHOFF/SWIDERSKI 1984) und ZMECK (1983).



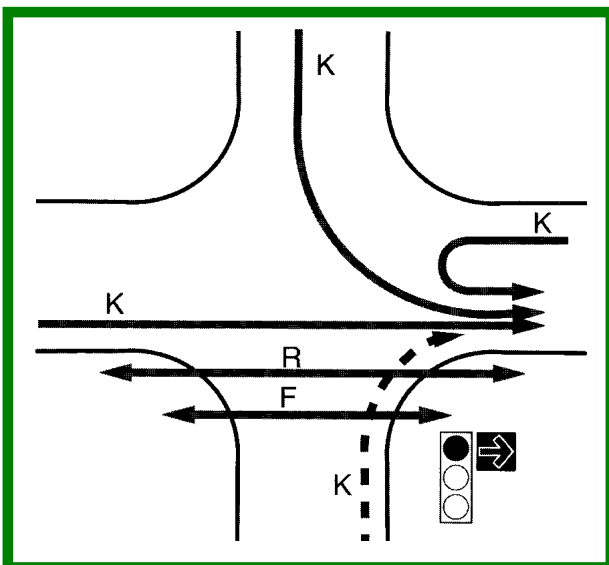
4.5.10 RECHTSABBIEGEN MIT GRÜNPFEIL-SCHILD

Das Schild mit grünem Pfeil auf schwarzem Grund (Grünpfeil-Schild: **Bild 104**) erlaubt an Knotenpunkten mit LSA das **Rechtsabbiegen bei ROT nach vorausgegangenem Anhalten** an der Haltlinie (Grünpfeil-Regelung).



Bild 104: Grünpfeil-Schild (BOSSERHOFF 2006)

Um eine Behinderung oder Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer auszuschließen, ist der Vorrang des freigegebenen Fußgänger- und Fahrzeugverkehrs unbedingt zu beachten. Die möglichen Konfliktsituationen zwischen Nutzern der Grünpfeil-Regelung und anderen Verkehrsteilnehmern verdeutlicht das **Bild 105**.



Das Rechtsabbiegen bei ROT hat **Vorteile**:

- Wartezeiten für die Rechtsabbieger können entfallen,
- die Kapazität für die Rechtsabbieger nimmt zu, wenn keine Geradeausfahrer vor ihnen sind oder eine Rechtsabbiegespur vorhanden ist und Lücken das Einbiegen ermöglichen
- für die Rechtsabbieger können ggf. kürzere Stauräume vorgesehen werden (Flächensparnis) und
- die Anzahl der zu gleichzeitig freigegebenen Fußgängern und Radfahrern bedingt verträglichen Rechtsabbieger verringert sich.

Allerdings entstehen auch **erhebliche Nachteile**. Es ist zu beobachten, dass das Anhaltegebot der StVO von einem großen Anteil der bei ROT rechts abbiegenden Kraftfahrer nicht beachtet wird und **Gefährdungen** des nicht-motorisierten Verkehrs die Folge sein können. Außerdem wird eine wichtige **Sicherheitsvorschrift** gemäß dem gültigen Regelwerk **außer Kraft gesetzt**: Der sonst gemäß RiLSA geforderte Zeitvorsprung parallel geführter Fußgänger und Radfahrer gegenüber abbiegenden bedingt verträglichen Fahrzeugen an der Konfliktfläche geht verloren, wenn Nutzer der Grünpfeil-Regelung zwischen dem Freigabezeitende des kreuzenden Verkehrs und dem Freigabezeitbeginn der Fußgänger oder Radfahrer an der Furt ankommen.

Weitere Nachteile der Grünpfeil-Regelung sind, dass

- die Fußgängerfurten durch Fahrzeuge blockiert sein können, die direkt vor der Querstraße auf eine Lücke im Fahrzeugstrom warten und Fußgänger oder Radfahrer dann ihre Freigabezeit nicht nutzen können oder Umwege erforderlich sind
- durch rechtsabbiegende Kfz ein „Mitschlepp-effekt“ entstehen kann, indem bei nachfolgenden Kfz-Führern der Eindruck entsteht, dass sie GRÜN haben
- Sehbehinderte und Blinde besonders beeinträchtigt sind.

Bild 105: Mögliche Konflikte zwischen Nutzern der Grünpfeil-Regelung und anderen Verkehrsteilnehmern nach RiLSA-Teilfortschreibung (FGSV 2003)



In **Hessen** bestehen gemäß Erlass des zuständigen Ministeriums (HMWVTE 1994) grundsätzliche Bedenken gegen die Anordnung des Grünpfeil-Schilds insbesondere im Hinblick auf die Sicherheit von Fußgängern und Radfahrern. Von der Anordnung ist daher nur äußerst zurückhaltend Gebrauch zu machen.

Bei der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV) kommt das Grünpfeil-Schild aus Sicherheitsgründen **außerorts nicht** und **innerorts nur in besonders begründeten Ausnahmefällen** zum Einsatz; in diesem Fall ist die Konfliktsituation längerfristig zu überwachen. Die HSVV befürwortet statt des Grünpfeil-Schilds eine verkehrabhängige Steuerung der LSA oder bauliche Maßnahmen (z.B. zusätzliche Rechtsabbiegespur), um Wartezeiten für rechtsabbiegende Kfz zu verkürzen. Diese Maßnahmen haben anders als das Grünpfeil-Schild keine Sicherheitseinbußen zur Folge.

Gründe für die ablehnende Haltung der HSVV sind unter anderem:

- Der Einsatz des Blechschildes scheidet wegen Ausschlusskriterien oft von vornherein aus.
- Viele Kfz-Führer kennen/beachten die Anhaltspflicht nicht, wodurch Konflikte entstehen.
- In der Regel rechtfertigt die geringfügige Erhöhung der Flüssigkeit des Kfz-Verkehrs nicht die Erhöhung der Gefährdung von Kindern sowie älteren oder behinderten Menschen.
- In vielen Kommunen wurden angebrachte Grünpfeil-Schilder wegen Unfällen oder Gefährdungen wieder entfernt.
- Die alternativ eingesetzten Maßnahmen zur Wartezeitverkürzung haben eine gleiche oder bessere Wirkung ohne Sicherheitseinbuße.

Vor einem eventuellen Einsatz der Grünpfeil-Regelung ist zu prüfen, dass die Ausschlusskriterien gemäß VwV-StVO nicht vorliegen und es sollen die Hinweise der RiLSA beachtet werden.

Um die Verminderung der Verkehrssicherheit bei Anwendung der Grünpfeil-Regelung einzugrenzen, sind in der **VwV-StVO Ausschlusskriterien** festgelegt worden, bei denen das Grünpfeil-Schild

nicht angebracht werden darf (vgl. BAST 1999). Es darf nicht verwendet werden, wenn:

- dem entgegenkommenden Verkehr ein konfliktfreies Abbiegen nach links signalisiert wird,
- die entgegenkommenden Linksabbieger durch ein einfeldiges Richtungssignal im Knotenpunkt zeitweilig gesichert geführt werden,
- Pfeile in den für die Rechtsabbieger gültigen Signalgebern die Fahrtrichtung vorschreiben,
- beim Rechtsabbiegen Gleise von Schienenfahrzeugen gekreuzt oder befahren werden müssen,
- der freigegebene Fahrradverkehr auf dem zu kreuzenden Radweg für beide Richtungen zugelassen ist oder der Fahrradverkehr **trotz Verbotes** in der Gegenrichtung in erheblichem Umfang stattfindet und durch geeignete Maßnahmen nicht ausreichend eingeschränkt werden kann,
- für das Rechtsabbiegen mehrere markierte Fahrstreifen zur Verfügung stehen oder
- die Lichtsignalanlage überwiegend der Schulwegsicherung dient (vgl. auch GDV 2004).

Folgende in der **RiLSA-Teilfortschreibung** (FGSV 2003) gegebenen zusätzlichen **Einsatzhinweise und Abwägungskriterien** sollten zusätzlich vor der Anwendung beachtet werden:

Voraussetzung für die Anwendung der Grünpfeil-Regelung ist, dass für die Rechtsabbieger ausreichende Sicht auf die freigegebenen Verkehrsrichtungen gegeben ist.

Bei abgesetzten Radfahrerfurten kommt zu der möglichen Blockierung der Furt durch Rechtsabbieger bei ROT, die an der Sichtlinie warten müssen, noch die höhere Gefährdung der Radfahrer durch wartepflichtige Kraftfahrzeuge hinzu, wie sie ähnlich an Kreuzungen und Einmündungen mit Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen beobachtet wird. In diesem Fall ist entweder die abgesetzte Furt durch eine andere Führung der Radfahrer (nicht abgesetzte Radfahrerfurt, Radfahrstreifen) zu ersetzen oder gegebenenfalls auf die Grünpfeil-Regelung zu verzichten.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

Die Grünpfeil-Regelung kann als Ersatz für „freies Rechtsabbiegen“ auf Rechtsabbiegefahrbahnen neben Dreiecksinseln in Frage kommen. Das kann z.B. dann der Fall sein, wenn wegen zu hoher Geschwindigkeiten auf der Rechtsabbiegefahrbahn und der nicht ausreichenden Sicherung überquerender Fußgänger und Radfahrer sich ein Rückbau des Knotenpunktes empfiehlt, auf Grund der örtlichen Situation aber zusätzliche Rechtsabbiegemöglichkeiten erforderlich sind.

Die Grünpfeil-Regelung sollte nicht verwendet werden, wenn der freigegebene Radverkehr auf der zu kreuzenden Furt gesondert signalisiert ist oder wenn im Knotenpunktbereich Aufstellflächen für Radfahrer vorhanden sind, die von Kraftfahrzeugen beim Rechtsabbiegen mit Grünpfeilschild überfahren werden.

An Knotenpunkten außerhalb bebauter Gebiete sollte die Grünpfeil-Regelung wegen der hohen Geschwindigkeiten nicht eingesetzt werden.

An Knotenpunkten, die häufig von Blinden, Sehbehinderten oder Mobilitätsbehinderten überquert werden, soll die Grünpfeil-Regelung nicht angewandt werden. Gemäß **RiLSA-Fortschreibung** (FGSV 2007) darf die Regelung an diesen Knotenpunkten künftig nicht mehr eingesetzt werden.

Ob die durch den Einsatz der Grünpfeil-Regelung erreichbaren Vorteile die Nachteile mehr als ausgleichen, ist besonders sorgfältig zu prüfen, wenn:

- zu erwarten ist, dass viele Fahrstreifen und Fahrbeziehungen zur Überforderung der Rechtsabbieger führen
- häufig lange Fahrzeuge (Lastzüge, Busse) rechts abbiegen und dadurch Fußgänger und Radfahrer wegen der Blockierung der Furt am Überqueren behindert oder dadurch gefährdet werden könnten, dass sie hinter dem langen Fahrzeug außerhalb der Furt für entgegenkommende Kraftfahrzeuge unvermittelt die Fahrbahn überqueren (siehe **Bild 106**)
- aufgrund der Geometrie des Knotenpunktes rechtsabbiegende Lkw und Busse mit ihren

Schleppkurven häufig Teile der Verkehrsfläche des von rechts entgegenkommenden Verkehrs überstreichen

- Linienbusse als bedingt verträgliche Linksabbieger häufig behindert werden,
- in der übergeordneten Fahrtrichtung von rechts regelmäßig Wendefahrten auftreten.

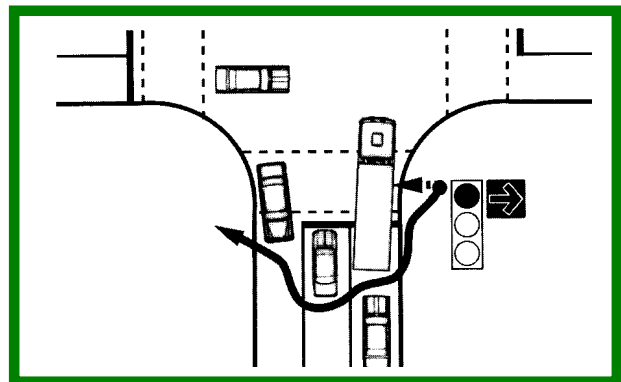


Bild 106: Mögliche Behinderung und Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern, wenn lange Fahrzeuge die Furt blockieren (FGSV 2003)

Weiter ist das **Unfallgeschehen** an Knotenpunktzufahrten mit Grünpfeil-Schild **regelmäßig zu beobachten und auszuwerten**. Im Fall einer Häufung von Unfällen, bei denen der Grünpfeil ein unfallbegünstigender Faktor war, ist der Grünpfeil zu entfernen, soweit nicht verkehrstechnische Verbesserungen möglich sind.

Gemäß dem **Regelwerk für Fußgängerverkehr** (EFA: FGSV 2002) ist der Einsatz des Grünpfeils aus Fußgängersicht nicht zu empfehlen.

Das **Grünpfeil-Schild** ist wegen seiner großen Nachteile sehr umstritten (z.B. LAGEMANN/TOPP 2003). Insbesondere **Fußgänger- und Radfahrerverbände lehnen es ab** (z.B. FUSS/SRL 2005, ADFC 2001) und viele Kommunen haben ihn wegen aufgetretener Unfälle wieder abgeschafft (z.B. Wiesbaden, Darmstadt) oder setzen ihn nur in Ausnahmefällen ein. Zudem können die hohen Erwartungen hinsichtlich eines flüssigeren Verkehrsablaufs nur in kleinem Umfang erfüllt werden (z.B. MANNHEIM 2000), während die negativen Wirkungen auf die Verkehrssicherheit nach-



gewiesen sind. Bei einem Workshop zur RiLSA-Fortschreibung in Darmstadt 2005 wurde die Grünpfeil-Regelung sehr kontrovers diskutiert: der Einsatz sollte nicht oder nur sehr vorsichtig erfolgen. Hinzu kommt, dass gemäß neueren Untersuchungen (SPAHN/BÄUMLER 2007) an LSA mit Grünpfeil-Schild verhältnismäßig **viele Senioren verunglücken**; der Anteil der Unfälle mit Vrangverletzungen ist höher. Auch wegen des zunehmenden Anteils älterer Menschen ist die Grünpfeil-Regelung äußerst kritisch zu sehen.

Wegen vieler negativer Erfahrungen mit der Grünpfeil-Regelung wird empfohlen, die Verkehrssicherheit langfristig zu untersuchen (BOLTZE/FRIEDRICH ET AL. 2007).

4.5.11 NACHTABSCHALTUNG VON LSA

Gemäß **RiLSA** in der aktuellen Fassung (FGSV 1992) und dem Entwurf der neuen Fassung (FGSV 2007) sollten **Lichtsignalanlagen ununterbrochen (Tag und Nacht) in Betrieb** gehalten werden. Abweichungen sind möglich, wenn der Grund, der zur Errichtung der LSA führte, während bestimmter Zeiten entfällt und vorher geprüft wurde, dass auch bei abgeschalteter LSA ein sicherer Verkehrsablauf möglich ist bzw. durch das Abschalten keine anderen Gefahren entstehen. Weiter wird ausgeführt, dass das Abschalten die Unfallwahrscheinlichkeit erhöhen kann. Die entstehenden volkswirtschaftlichen **Kosten** können dadurch deutlich **höher** sein **als** die bewertbaren **Einsparungen** beim Kfz-Fahrer (Zeit-, Energiekosten) bzw. beim LSA-Betreiber (v.a. Wartungs-, Reparatur- und Stromkosten) und die eventuellen Nutzen im Bezug auf die Nachtruhe von Anwohnern und den Verkehrsablauf.

Im Unterschied dazu werden aber in Realität LSA sehr häufig nachts abgeschaltet. Gemäß einer bundesweiten Erhebung (SCHLABBACH/KÖSTER 2004) sind Hessen und Nordrhein-Westfalen die einzigen Bundesländer, bei denen der Mittelwert der Abschaltquote nachts in den untersuchten

Gemeinden unter 50% liegt. Die Abschaltquoten sind bei größeren Städten deutlich geringer als bei Gemeinden unter 100.000 Einwohnern.

Als **Voraussetzungen für eine Abschaltung** wurden insbesondere genannt:

- geringes Kfz-Aufkommen
- gut erkennbare Wartepflicht
- ausreichende Sichtweiten
- keine Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeiten
- geometrisch kleiner Knotenpunkt
- kein ÖPNV.

Als Ergebnis ist festzustellen, dass die erwarteten oder behaupteten positiven Wirkungen des Abschaltens bei näherer Betrachtung nicht eintreten bzw. stark zu relativieren sind (SCHLABBACH/KÖSTER 2004). Gemäß anderen Untersuchungen kann nicht einmal die Verringerung der Lärmimmissionen nachgewiesen werden. Die geringe Stromkostensparnis bei den Baulastträgern rechtfertigt nicht die **volkswirtschaftlichen Folgekosten durch Unfälle** an abgeschalteten LSA. Belegt werden kann dies u.a. durch Untersuchungsergebnisse für die Städte Berlin, Bonn, Duisburg, Mannheim und Nürnberg (MANNHEIM 2000). **Bild 107** zeigt, dass die Unfallkosten nach dem nächtlichen Abschalten deutlich höher sind. Das Unfallrisiko ist ca. viermal so hoch, die Unfälle in den Nachstunden sind relativ schwer. **Bild 108** zeigt, dass die Allgemeinheit ein Vielfaches an Unfallkosten im Vergleich zu den bei Baulastträgern eingesparten Stromkosten aufbringen muss. Gemäß SPAHN/BÄUMLER (2007) steigt die Unfallschwere 2 Stunden vor Mitternacht erheblich an.

Daher sollten als **alternative Maßnahmen** zur Nachtabschaltung ohne Sicherheitseinbußen v.a. Nachtprogramme mit kurzen Umlaufzeiten oder verkehrsabhängige Steuerungen, die kurze Wartezeiten gewährleisten (z.B. voll-verkehrsabhängige LSA, „Alles-Rot-/Sofort-Grün“-Anlagen), geprüft werden. Diese Zielrichtung verfolgt auch die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung.



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

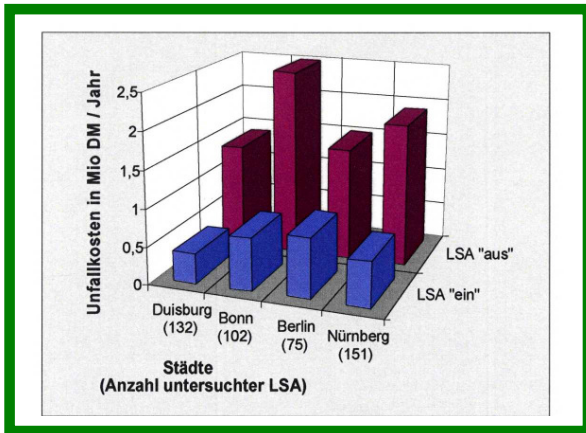


Bild 107: Unfallkosten vor und nach dem nächtlichen Abschalten (MANNHEIM 2000)

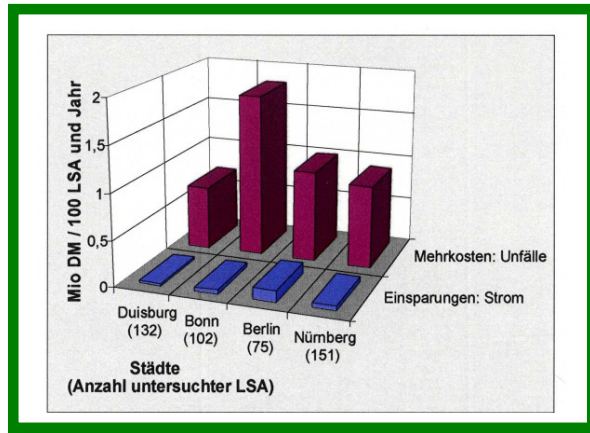


Bild 108: Mehrbelastung durch Unfallkosten gegenüber Stromeinsparung nach Abschalten (MANNHEIM 2000)

4.5.12 QUALITÄTSSICHERUNG AN LICHTSIGNALANLAGEN

Grundlagen

Mit der Teilfortschreibung der **RiLSA** (FGSV 2003) wurde auch das FGSV-Regelwerk um Hinweise zur Qualitätssicherung ergänzt (vgl. Kapitel 4.6). Behandelt werden die Qualitätssicherung

- bei der verkehrstechnischen Projektierung
- bei der Implementierung
- im laufenden Betrieb und bei der Systempflege.

Die Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen wird immer wichtiger – bedingt auch durch die zunehmende Bedeutung verkehrsstrategischer Konzepte wie im Rahmen des Verkehrsmanagements. Die Qualitätssicherung stellt u.a. sicher: eine sinnvolle LSA-Steuerung, das ordnungsgemäße Funktionieren der eingesetzten Technik und dass die Beteiligten wie der Betreiber der Lichtsignalsteuerung oder die Unfallkommission, wirkungsvoll zusammenarbeiten. Die Qualitätssicherung bezieht sich auf das gesamte Verkehrsnetz, auf Teilnetze, auf koordinierte und auf einzelne Lichtsignalanlagen.

Die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV) betreibt die Qualitätssicherung an LSA schon seit Jahren intensiv: Hierfür wurde mit Unterstützung der Ingenieurgemeinschaft Habermehl+Follmann der **Leitfaden** „Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen“ erstellt (HLSV 2002b) und 2004 eine spezielle **Projektgruppe** der HSVV im Rahmen des Projektes „Staufreies Hessen 2015“ eingerichtet (BOSSERHOFF 2007).

Ziele der HSVV bei der Qualitätssicherung sind insbesondere

- Erhöhung der Verkehrssicherheit
- Verbesserung des Verkehrsablaufs für alle Verkehrsteilnehmergruppen
- Erhöhung der Kapazität im Kfz-Verkehr
- Verringerung von Wartezeiten, Halten und Rückstaulängen
- bessere Beachtung der Belange von Fußgängern und Radfahrer
- gezielte Bevorzugung des ÖPNV
- Verringerung von Lärm- und Abgasemissionen für die Anwohner
- Berücksichtigung des aktuellen Regelwerks



- Erhöhung der Betriebssicherheit
- Bereitstellung aktueller Daten zum Zustand der Ampeln (z.B. Störungen, Ausfälle) und dem Verkehrsaufkommen
- Verringerung der Kosten für Planung und Bau von Ampeln sowie Instandhaltungs- und Betriebskosten.

Eine günstigere Betriebssicherheit ist von zentraler Bedeutung, weil sie eine höhere Verkehrssicherheit zur Folge hat. Für die Betriebssicherheit sind insbesondere wichtig:

- Erneuerung der Signalanlagen und ihrer technischen Ausstattung, insbesondere die Ausrüstung mit LED-Signalgebern
- Einsatz der Datenfernübertragung.

Einsatz der LED-Technik

Viele Ampel-Steuergeräte sind schon älter als 20 Jahre und in Hochvolt-Technik. Bei der Hochvolt-Technik sind der Energieverbrauch sowie der Aufwand für die Instandhaltung (Kontrolle der Ampel, Tausch der Glühbirnen) sehr hoch. Durch eine Erneuerung der Steuergeräte und Umrüstung auf LED-Signalgeber werden auch die laufenden Kosten reduziert, weil die Energiekosten erheblich abnehmen. Auch die Instandhaltungskosten werden geringer, z.B. weil bei der LED-Technik anders als bei der bisherigen Hochvolt-Technik keine Glühbirnen auszutauschen sind. Lampenbedingte Ausfälle der Ampeln, die zur Zeit ca. 40% der Ampelausfälle ausmachen, treten so gut wie nicht mehr auf. LED-Signalgeber erhöhen die Verkehrssicherheit deutlich, weil sie auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen (z.B. Gegenlicht) noch einwandfrei erkennbar sind (**Bild 109**).



Einsatz der Datenfernübertragung

Bei der Qualitätssicherung im laufenden Betrieb ist es wichtig, Informationen über **Störungen im Betriebsablauf** der Lichtsignalanlage (z.B. LSA-Ausfall, Störungen der IV-Erfassungseinrichtungen, bei ÖV-Bevorrechtigung Störung der ÖV-Erfassungseinrichtungen) zu erhalten. Von zentraler Bedeutung ist es, schnellstmöglich einen **Ausfall der Lichtsignalanlage** zu erkennen und die hieraus resultierenden Ausfallzeiten, die zu einem **erhöhten Unfallrisiko** führen, zu minimieren. Daher hat die Datenfernübertragung im Rahmen der Qualitätssicherung eine besondere Bedeutung. Weiter kann die Datenfernübertragung die aktuelle Verkehrslage an den Knotenpunkten zur Verfügung stellen. Hierdurch kann ggf. eine Optimierung der Signalsteuerung oder eine verbesserte Verkehrsbeeinflussung auf strategisch wichtigen Routen vorgenommen werden.

Die Ausrüstung mit **Datenfernübertragung** ist vor allem **sinnvoll** bei (BOSSERHOFF 2007):

- LSA mit Netzbedeutung,
- LSA an Autobahn-Anschlussstellen,
- Fußgängerschutzanlagen,
- LSA im Verlauf von Schulwegen,
- LSA mit Zusatzeinrichtungen für Blinde/Sehbehinderte und
- BÜSTRA-Anlagen.

Ein Gutachten (TIM 2005) ergab für Lichtsignalanlagen in Zuständigkeit der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV), dass bei einem vermehrten Einsatz der Datenfernübertragung die volkswirtschaftlichen Nutzen die Kosten überwiegen. Auf Basis des ermittelten volkswirtschaftlichen Nutzens wird die HSVV die Datenfernübertragung in größerem Umfang einsetzen (HLSV 2006a). Im Rahmen eines stufenweisen Aufbaus des Konzepts wird die Datenfernübertragung zunächst an Knotenpunkten mit einem DTV ab 15.000 Kfz/24h verwirklicht. Ausnahmen hiervon sind möglich, z.B. kommt der Einsatz auch an Knotenpunkten im Zuge stärker frequentierter fußläufiger Wegeverbindungen innerorts oder mit nachweislich erhöhtem Querungsbedarf bei Schülern oder Sehbehinderten in Frage.

Bild 109: Gut erkennbarer LED-Signalgeber (BOSSERHOFF 2007)



OCIT-Schnittstelle

Bei LSA-Ausschreibungen sollte eine standardisierte OCIT-Schnittstelle gefordert werden. Sie ermöglichen es, OCIT-konforme Herstellerfabrikate beliebig zu mischen (**Unabhängigkeit** von speziellen Lieferanten), im **Wettbewerb** auszuschreiben, an jeder Stelle Komponenten einzusetzen, die das **beste Preis-Leistungs-Verhältnis** aufweisen, Verkehrstechnik von Sicherheitstechnik trennen und insgesamt eine **hohe Leistungsfähigkeit** der Verkehrstechnik gewährleisten. Weitere Informationen enthalten (OCA 2007a) und Kapitel 5.1.

Weitere Informationen

Kapitel 4.6 dieses Handbuchs behandelt ausführlich das **Vorgehen der HSVV** bei der Qualitätssicherung an LSA und die maßgebliche **Literatur Dritter**. Relevant sind neben der RiLSA-Teilfortschreibung (FGSV 2003) insbesondere die Untersuchungen zum Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen (REUSSWIG 2005 bzw. BOLTZE/REUSSWIG 2005), Veröffentlichungen des OCA-Arbeitskreises "Qualitäts- und Sicherheitsstandards" (OCA 2005 bzw. OCA 2007b) und die „Empfehlungen zur Verkehrssicherheit von Lichtsignalanlagen (GDV 2007).

4.5.13 HILFSMITTEL

Arbeitshandbuch – Lichtsignalanlagen

Das Arbeitshandbuch mit den Arbeitsunterlagen für den Aufgabenbereich Lichtsignalanlagen (HSVV 2007) stellt das **interne Regelwerk** der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung für die Planung, den Bau und den Betrieb von Lichtsignalanlagen dar. Es hat folgende Inhalte:

- Verzeichnis des externen Regelwerks zu Planung, Bau und Betrieb von Lichtsignalanlagen
- Zuständigkeiten für die Bearbeitung der Lichtsignalanlagen
- Verfahren für die Bearbeitung und die Berechnung der Lichtsignalanlagen
- Kostenregelung für die Errichtung und die Unterhaltung der Lichtsignalanlagen

- Ausschreibung der Lichtsignalanlagen
- Vergabe der Lichtsignalanlagen
- Instandhaltung der Lichtsignalanlagen
- Archivierung der Lichtsignalanlagen
- Qualitätssicherung der Lichtsignalanlagen
- ÖPNV-Beschleunigung an Lichtsignalanlagen
- Barrierefreies Bauen an Lichtsignalanlagen
- Vereinbarung für Unterhalt und Instandsetzung der Lichtsignalanlagen
- VDE-Bestimmungen für die Lichtsignalanlagen
- Statik für die Lichtsignalanlagen
- BÜSTRA-Anlagen
- Ingenieurvertrag.

DV-Programm SITRAFFIC P2

Als **Verkehringenieurarbeitsplatz** zur Planung von Lichtsignalanlagen gibt es verschiedene Programme. Der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung steht SITRAFFIC P 2 (PTV 2005a) zur Verfügung, das auf den Vorläuferprogrammen CROSSIG und SITRAFFIC aufbaut.

SITRAFFIC P 2 ermöglicht u.a. die Zwischenzeitberechnung nach RiLSA mit automatischer Wegermittlung aus der Lageplangrafik, die Bearbeitung von Signalplanbasisdaten, Phasen und Phasenübergängen, die Signalplangenerierung, die Berechnung und Bewertung von Signalprogrammen auf den Grundlagen des HBS und die grafische Bearbeitung von Zeit-Weg-Diagrammen.

Simulationsprogramm VISSIM

Mit einem Simulationsprogramm können für verschiedene Verfahren der Lichtsignalsteuerung bei unterschiedlichen Verkehrsbedingungen **Bewertungsgrößen** des Verkehrsablaufs für alle Verkehrsteilnehmergruppen und signaltechnische **Kenngößen** für verkehrabhängige Steuerungen wie minimale bzw. maximale Freigabezeiten und mittlere Freigabedauer pro Signalgruppe oder Wartezeiten nach Detektoraufrufen ermittelt werden. Der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung steht hierzu das Simulationsprogramm VISSIM in der Version 4.1.0 zur Verfügung (PTV 2005b). Die Simulation des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten wird in Kapitel 4.7 behandelt.



4.5.14 LITERATUR

- ADFC (2001):
Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club:
Positionsbestimmung zum Thema
Lichtsignalanlagen.
ADFC-Kreisverband München
München, 2001
- ALBERS, A. (1996):
Dynamische Straßenraumfreigabe
für Nahverkehrsfahrzeuge.
Heft 17 der Veröffentlichungen des Instituts
für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und
Städtebau, Universität Hannover, 1996
- AKCELIK, R. (1981):
Traffic Signals: Capacity and Timing.
Analysis, Research Report ARR No. 123,
Victoria, 1981
- AXHAUSEN, K.-W./ FELLENDORF, M./ HOOK, D.
(1989):
Zur Abhängigkeit der Zeitbedarfswerte von
der Knotenpunktsgometrie.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 5/1989
- BAST (2005):
Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten.
Berichte der Bundesanstalt für
Straßenwesen Heft V 124
Bergisch Gladbach, 2005
- BAST (1999):
Projektgruppe Grünpeil:
Rechtabbiegen bei Grünpeil.
Berichte der Bundesanstalt für
Straßenwesen Heft V 72
Bergisch Gladbach, 1999
- BOLTZE/FRIEDRICH (2007):
Innovation in der Lichtsignalsteuerung –
Die Neufassung der Richtlinien für Licht-
signalanlagen (RiLSA).
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 4/2007
- BOLTZE, M. / FRIEDRICH, B. ET AL. (2006):
Analyse und Bewertung neuer Forschungs-
erkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung.
Berichte der Bundesanstalt für
Straßenwesen, Heft V 149
Bergisch Gladbach, 2006
- BOLTZE, M. / REUSSWIG, A. (2005):
Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen.
Sicherheitsüberprüfung vorhandener Licht-
signalanlagen und Anpassung der Steuerun-
gen an die heutige Verkehrssituation.
Schriftenreihe der Bundesanstalt für
Straßenwesen Heft V 128
Bergisch Gladbach, 2005
- BOSSERHOFF, D. (2005):
Stellungnahme zum Entwurf des
Forschungsberichtes: "Analyse und
Bewertung neuer Forschungs-
erkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Wiesbaden, 2005
- BOSSERHOFF, D. (2006):
Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen
der Hessischen Straßen- und Verkehrsver-
waltung – ein Projekt von „Staufreies
Hessen 2015“.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 4/2006
Internet:
www.dietmar-bosserhoff.de/Q-LSA.html
- BOSSERHOFF, D. (2007):
Arbeitsprogramm der Projektgruppe
„Qualitätssicherung an LSA“ und Umsetzung.
Projektgruppe „Qualitätssicherung an LSA“
Wiesbaden, 2007
Internet: www.staufreieshessen2105.de
- BOSSERHOFF, D. / KOCH, V. (2006):
Qualitätssicherungsmaßnahme
"Grüne Welle B 7 in Hessisch-Lichtenau"
Projektgruppe „Qualitätssicherung an LSA“
Bad Arolsen/Wiesbaden, 2006
Internet: www.staufreieshessen2105.de



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- BOSSERHOFF, D. / SWIDERSKI, D. (1984):
Bevorrechtigung von Einsatzfahrzeugen durch Eingriffe in den Ablauf von Lichtsignalprogrammen.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 4/1984
- BOSSERHOFF, D. / WIENAND, J. (2006):
Vorgehen zur Dringlichkeitsreihung für Maßnahmen zur Qualitätssicherung an den Lichtsignalanlagen an Bundes- und Landesstraßen in Hessen.
Projektgruppe „Qualitätssicherung an LSA“
Bad Arolsen/Wiesbaden, 2006
Internet: www.staufreieshessen2105.de
- BOSSERHOFF, D. / WIENAND, J. (2006):
Optimierungsbedarf an den Lichtsignalanlagen an Bundes- und Landesstraßen in Hessen aus Sicht des Öffentlichen Personennahverkehrs.
Projektgruppe „Qualitätssicherung an LSA“
Bad Arolsen/Wiesbaden, 2006
Internet: www.staufreieshessen2105.de
- BMVBW (2004):
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen:
Fahrradverkehr – Erfahrungen und Beispiele aus dem In- und Ausland.
In: Schriftenreihe „direkt“, Heft 59, 2004
- BMVBW (2002):
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2002):
Nationaler Radverkehrsplan 2002 – 2012
FahrRad!
Berlin, 2002
- BMV (1972):
Bundesministerium für Verkehr:
Richtlinien über Abhängigkeiten zwischen der technischen Sicherung von Bahnübergängen und der Verkehrsregelung an benachbarten Straßenkreuzungen und -einmündungen (BÜSTRA).
BMV-Rundschreiben vom 17.07.1972
- DIN VDE 0832-100:
Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA) –
Deutsche Fassung des HD 638 S1
2002
- DIN EN 50293 (VDE 0832 TEIL 200).
Elektromagnetische Verträglichkeit
2002
- DIN EN 12675:
Steuergeräte für Lichtsignalanlagen
2000
- DIN 18024 (wird durch DIN 18030 ersetzt):
Teil 1: Bauliche Maßnahmen für behinderte und alte Menschen im öffentlichen Bereich; Planungsgrundlagen: Straßen, Plätze und Wege
1998
- DIN 18030:
Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen
Entwurf 2007
- DIN 32981:
Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen – Anforderungen
2002
- DIN 32984:
Bodenindikatoren im öffentlichen Verkehrsraum
2000
- DIN 67527:
Teil 1: Lichttechnische Eigenschaften von Signallichtern im Verkehr; Ortsfeste Signallichter im Straßenverkehr
2001
- FIEDLER, J. (1971):
Die Belange der Fußgänger an LSA
In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 1/1971



FOLLMANN, J. / NOVOTNY, T./ SCHENK, M. (1994):
Grundlagen und Berechnungsverfahren
zur verkehrstechnischen Bearbeitung
eines Knotenpunkts.
Schriftenreihe des Hessischen Landesamtes
für Straßenbau, Heft 37, Wiesbaden, 1994

FOLLMANN, J. / SCHUSTER, G. (1992):
Alles-Rot-/Sofort-Grün-Schaltungen
an Lichtsignalanlagen.
Schriftenreihe des Hessischen Landesamtes
für Straßenbau, Heft 31, Wiesbaden, 1992

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (2007):
Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) –
Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr,
Köln, Entwurfsfassung 22.2.2007

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (2006):
Hinweise zur Qualitätsanforderung
und Qualitätssicherung der lokalen
Verkehrsdatenerfassung für
Verkehrsbeeinflussungsanlagen.
Köln, 2006

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (2005):
Hinweise zur Signalisierung
des Radverkehrs (HSRa).
Köln, 2005

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (2003):
Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) –
Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr,
Teilfortschreibung 2003.
Köln, 2003

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (2003b):
Empfehlungen für Anlagen des
öffentlichen Verkehrs (EAÖ).
Köln, 2003

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (2002):
Empfehlungen für Fußgänger-
verkehrsanlagen (EFA).
Köln, 2002

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (2002):
Hinweise zum Radverkehr außerhalb
städtischer Gebiete (H Ra S).
Köln, 2002

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (1999):
Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleuni-
gung des öffentlichen Personennahverkehrs
mit Straßenbahnen und Bussen.
Köln, 1999

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (1998):
Hinweise zur Beschilderung von
Radverkehrsanlagen nach der
Allgemeinen Verwaltungsvorschrift
zur Straßenverkehrs-Ordnung.
Köln, 1998

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (1995):
Empfehlungen für die Anlage von
Radverkehrsanlagen (ERA 95).
Köln, 1995

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (1985/1995):
Empfehlungen für die Anlage von
Erschließungsstraßen (EAE).
Köln, 1985/1995

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-
UND VERKEHRSWESEN (1993):
Empfehlungen für die Anlage von
Hauptverkehrsstraßen (EAHV).
Köln, 1993/1995



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (1993b)
Hinweise zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung.
Köln, 1993
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (1992):
Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr.
Köln, 1992
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (1988/2001):
Richtlinien für die Anlage von Knotenpunkten, Teil: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1), Berichtigung 2001.
Köln, 1988/2001
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (1991):
Merkblatt Detektoren für den Straßenverkehr.
Köln, 1991
- FUSS / SRL (2005)
Der Grünpfeil – kleines Blechschild, große Wirkung
In: Fußnote 7: Fachverband Fußverkehr Deutschland e.V. / Vereinigung für Stadt-, Regional- und Landesplanung e.V.
Berlin, 2005
Internet:
www.fussverkehr.de/pdf/FNOTE07.pdf
- GDV (2004)
Planerheft Schulwegsicherung.
Empfehlungen Nr. 14 des Verkehrstechnischen Instituts der Deutschen Versicherer.
Berlin, 2004
Internet: www.verkehrssicherheit.nrw.de/download/5100_VI_schulweg_eltern2006.pdf
- GDV (2007):
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.:
Empfehlungen zur Verkehrssicherheit von Lichtsignalanlagen (EVL 2006).
Empfehlungen Nr. 15
Berlin, 2007
Internet: www.verkehrstechnisches-institut.de/downloads/neu/empfehlung_lsa.pdf
- GLEUE, A. W. (1972):
Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung signal geregelter Knotenpunkte.
In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 136, 1972
- HÄCKELMANN, P. (1976):
Steuerung des Fußgängerverkehrs an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage.
Dissertation an der TH Darmstadt
Darmstadt, 1976
- HERKT, S.; STEIERWALD, G.; SCHÖNHARTING, J. (1986):
Analyse der Auswirkungen wetterbedingter Störeinflüsse auf den Verkehrsablauf im innerstädtischen Straßennetz.
In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 468, 1986
- HLSV (2006a):
Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen:
Datenfernübertragung bei Lichtsignalanlagen
Wiesbaden, 23.5.2006
- HLSV (2006b):
Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen:
Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Lichtsignalanlagen (Verfügung).
Wiesbaden, 2006



- HLSV (2002a):
Hessisches Landesamt für
Straßen- und Verkehrswesen
Handbuch für die Bemessung von
Straßenverkehrsanlagen (Verfügung).
Wiesbaden, 2002
- HLSV (2002b):
Hessisches Landesamt für
Straßen- und Verkehrswesen:
Leitfaden „Qualitätssicherung
an Lichtsignalanlagen“.
(Erarbeitet von der Ingenieur-
gemeinschaft Habermehl+Follmann)
Wiesbaden, 2002
- HMWVTE (1994)
Hess. Ministerium für Wirtschaft, Verkehr,
Technologie und Europaangelegenheiten:
Anwendung des Grünpfeil-Schildes.
Wiesbaden, 23.02.1994
- HOFMANN, D. (2007):
Erfahrungen mit Systemen zur
Erfassung von Kraftfahrzeugen.
Projektgruppe „Qualitätssicherung an LSA“
Schotten, 2007
- HSVV (2007):
Arbeitshandbuch mit den Arbeits-
unterlagen für den Aufgabenbereich
Lichtsignalanlagen (AHB-LSA).
Projektgruppe „Qualitätssicherung an LSA“
In: HSVV-weites Tauschverzeichnis unter:
Informationen/Qualitätssicherung-LSA
- HSVV (2007):
Wirkungsanalysen des Umbaus von
Knotenpunkten.
In: HSVV-weites Tauschverzeichnis
(Laufwerk V) unter:
Informationen/Wirksamkeitsanalysen
- KARLSRUHE (2007):
Verkehrsbetriebe Karlsruhe: Pilotprojekt
"LaneLights" an der Haltestelle ZKM.
Karlsruhe, 2007
- KOHAUPT, B. / SCHULZ, A (2006):
Leitfaden „Unbehinderte Mobilität“.
Schriftenreihe des Hessischen Landesamtes
für Straßen- und Verkehrswesen, Heft 54
Wiesbaden, 2006
Internet: www.verkehr.hessen.de
- LAGEMANN, A. / TOPP, H. (2003):
Der Grünpfeil – Verkehrsbeschleuniger
oder Grüne Gefahr?
In. Straßenverkehrstechnik, Heft 7/2003
- MÜNCHEN (2004):
Kreisverwaltungsreferat der
Landeshauptstadt München:
Leitfaden zur LZA-Planung.
München 2004 (Entwurf)
- MANNHEIM (2000):
Stadt Mannheim:
Informationsvorlage zum
zeitweisen Abschalten bzw.
Nachtbetrieb von LSA.
Mannheim, 25.10.2000
- MÜNSTER (2007):
Amt für Stadtentwicklung, Stadtplanung,
Verkehrsplanung der Stadt Münster:
Signale für den Radverkehr.
Erarbeitet von der Planungsgemeinschaft
Verkehr Hannover, gefördert vom BMVBS
Münster, 2007
Internet: [www.muenster.de/stadt/
stadtplanung/pdf/Signale_Radverkehr.pdf](http://www.muenster.de/stadt/stadtplanung/pdf/Signale_Radverkehr.pdf)
- NRW (2002a):
Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand,
Energie und Verkehr des Landes NRW:
FahRad in NRW!
Düsseldorf, 2002
- NRW (2002b):
Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand,
Energie und Verkehr des Landes NRW:
Empfehlungen zum Einsatz und zur Gestal-
tung von Fußgängerüberwegen.
Düsseldorf, 2002



VERKEHRSTECHNISCHE BEARBEITUNG EINES KNOTENPUNKTES

4.5 KNOTENPUNKTE MIT LICHTSIGNALANLAGE

- OCA (2007a)
Open Communication Interface for Road Traffic Control System City Association: Informationen zu OCIT
Internet. www.oca-ev.info/oca-orig/
- OCA (2007b)
AK "Qualitäts- und Sicherheitsstandards": Praktischer Leitfaden zur Beurteilung der Qualität an Lichtsignalanlagen.
Aachen, 2007
- OCA (2005)
AK "Qualitäts- und Sicherheitsstandards": Erhaltung der Qualitäts- und Sicherheitsstandards in der Verkehrstechnik.
Aachen, 2005
- PTV (2005a):
Planungsbüro Transport und Verkehr
Verkehringenieurarbeitsplatz P 2 zur Bearbeitung von Lichtsignalanlagen.
(Version 2.1.0), Karlsruhe, 2005
- PTV (2005b):
Planungsbüro Transport und Verkehr:
Produktinformation zum DV-Programm VISSIM (Version 4.1). Karlsruhe, 2005
- REUSSWIG, A. (2005):
Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen.
Dissertation an der TU Darmstadt, 2005
Int: www.elib.tu-darmstadt.de/diss/000562/
- SCHIRMACHER, G. (2002):
Das Verhalten von Fußgängern an bedarfsabhängigen Lichtsignalanlagen
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 7/2002
- SCHLABBACH, K. / KÖSTER, J. (2004):
Betriebszeiten und Qualität von LSA.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 9/2004
- SPAHN, V. / BÄUMLER, G. (2007):
Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen und Lichtzeichenanlagen in Bayern.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 7/2007
- SCHNABEL, W. (2002):
Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage.
In: Seminar „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001) der VSVI Hessen am 17. April 2002 in Friedberg
- SCHNABEL, W. / LOHSE, D. (1997):
Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung (2. Auflage).
Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997
- STEINHART, W. (1985):
Untersuchungen zum Verkehrsablauf des Radverkehrs an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten und Methoden der signaltechnischen Absicherung.
In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 450, 1985
- TIM (2005):
Traffic Information and Management GmbH:
Datenfernübertragung von Lichtsignalanlagen in Hessen - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.
Gutachten im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen Rodgau, 2005
- WEBSTER, F.V. (1958):
Traffic Signals Settings.
Road Research Technical Paper No. 39
London, 1958
- WU, N. (1992):
Wartezeiten an festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen unter zeitlich veränderlichen (instationären) Verkehrsbedingungen.
Straßenverkehrstechnik, Heft 3/1992
- ZMECK, N. (1983):
Beeinflussung von Lichtsignalanlagen durch Rettungsfahrzeuge im Einsatz.
Teil 2: Untersuchung in Berlin.
Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen (Unfallforschung) Nr. 94
Bergisch Gladbach, 1983