

Eidgenössisches Departement des Innern
Bundesamt für Strassenbau

ANLEITUNG ZUR PROJEKTIERUNG EINER LICHTSIGNALANLAGE

(Einzelknoten)

SVI-Arbeitsgruppe:

C. Zuberbühler (Vorsitz) c/o SNZ Ingenieurbüro
Jungholzstrasse 6, 8050 Zürich

A.ENZLER c/o Kantonale Strassen- und Tiefbauverwaltung,
Lämmlisbrunnenstrasse 54, 9000 St. Gallen

H.P. Oehrli c/o Stadtpolizei, Mühlegasse 18, 8001 Zürich

S. Unger c/o Stadtplanungsamt, Postfach 2731, 3001 Bern

Forschungsstelle:

SNZ Ingenieurbüro AG Seiler Niederhauser Zuberbühler, 8050 Zürich
Sachbearbeiter: J. Hottinger, dipl.Ing.ETH/SVI

Oktober 1980

Zusammenfassung:

Im Jahre 1968 hat die Vereinigung Schweiz. Verkehrsingenieure (SVI) erstmals einen provisorischen Leitfaden zur Projektierung einer Lichtsignalanlage herausgegeben. Seither haben sich die Bedürfnisse der Verkehrsteilnehmer beziehungsweise der vom Verkehr Betroffenen zum Teil erheblich verlagert. Dazu haben sich sowohl die Anforderungen an die Lichtsignalanlagen als auch die technischen Möglichkeiten stark entwickelt.

Nach umfangreichen Diskussionen der Frage "an wen sich eine derartige Anleitung richten solle ?", wurde der Leitfaden materiell überdacht und mit neuen Erkenntnissen ergänzt. Er richtet sich auch in der überarbeiteten Form nicht ausdrücklich an den Spezialisten und behandelt im wesentlichen die Einzelanlage (ohne Koordination).

Ein Entwurf wurde einem ausgesuchten Kreis von Fachleuten unterbreitet. Diese Vernehmlassung zeigte einerseits noch wertvolle Anregungen, zeigte aber andererseits auch drastisch die zum Teil sehr divergierenden Auffassungen bei den verschiedenen Instanzen in der Schweiz. Bei einigen Fragen kann man in guten Treuen verschiedene Ansichten vertreten, und es war im gegebenen Rahmen nicht möglich, für die Schweiz einen einheitlichen Nenner zu finden.

Die Problematik wird in der nun vorliegenden Anleitung jeweils kurz dargestellt, womit ihre Komplexität selbst bei einer einfachen Anlage beleuchtet wird. Die SVI-Arbeitsgruppe selber, wo die Auffassungen und Bedürfnisse von der hochspezialisierten Stadt bis zu den Verhältnissen auf dem Land zum Ausdruck gekommen sind, konnte sich nach teilweise zähem Ringen auf einen Konsens einigen. So darf dieser Bericht zweifellos in Anspruch nehmen, dass die Anleitungen bezüglich Steuerung, Bemessung (mit Grundlagen), Installation und Betrieb von Lichtsignalanlagen sehr praktikabel sind. Mit einem ausführlichen Berechnungsbeispiel wird der Einstieg in diese Materie noch erleichtert.

Résumé:

La SVI a publié pour la première fois en 1968 des directives provisoires concernant l'étude des projets d'installations de signalisation lumineuse. Depuis lors, les besoins réels des usagés, c.à.d. de ceux qui sont directement concernés par le trafic, se sont considérablement modifiés. D'autre part les exigences concernant les installations lumineuses se sont fortement accrues et les possibilités techniques se sont beaucoup développées.

Suite à de nombreuses discussions sur le thème de savoir à qui ces nouvelles directives devraient s'adresser, le contenu du rapport a été révisé et complété par de nouvelles données techniques. Dans sa forme actuelle ces directives ne s'adressent pas uniquement au spécialiste car elles traitent plutôt de l'aspect général d'une installation (sans coordination).

Un projet a été soumis à un cercle choisi de spécialistes. Bien que ce sondage ait apporté des renseignements de valeur, il est apparu des opinions très divergents parmi plusieurs instances en Suisse. Sur quelques points, il n'a pas été possible, en toute rigueur, de trouver un dénominateur commun pour la Suisse.

La problématique sera exposée brièvement dans ces directives, ce qui permet de démontrer sa complexité, même pour une simple installation. Après de longues et âpres discussions le groupe de travail de la SVI qui s'est occupé des problèmes posés par des installations aussi bien dans des régions rurales que dans des villes avec des exigences techniques très élevées, a pu finalement se mettre d'accord sur plusieurs points. Il est donc possible de conclure que les directives contenues dans ce rapport notamment celles concernant la commande, le dimensionnement (avec des exemples), l'installation et l'exploitation d'un tel aménagement sont tout à fait applicables. Le rapport sera complété d'un calcul détaillé, ce qui permettra de le rendre encore plus accessible.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. VORWORT	1
2. ZWECK DER VERKEHRSSTEUERUNG	5
2.1 Wichtigste Begriffe	5
2.2 Zweck und Aufgabe	6
2.3 Wirkung einer Lichtsignalanlage	8
2.4 Notwendigkeit einer Lichtsignalanlage	9
2.5 Steuerungssysteme	13
3. STEUERUNG	15
3.1 Steuerungsarten	15
3.1.1 Einsatzpunktsteuerung	16
3.1.2 Signalgruppensteuerung	18
3.2 Steuerungsverfahren	19
3.2.1 Festzeitsteuerung	19
3.2.2 Verkehrsabhängige Steuerung	20
3.2.3 Teilverkehrsabhängige Steuerung	22
3.2.4 Anwendungsbereiche	22
4. GRUNDLAGEN FÜR DIE BEMESSUNG VON LICHTSIGNALANLAGEN	23
4.1 Grundsätze für eine gute Funktionsfähigkeit von Lichtsignalanlagen	23
4.2 Gestaltung des Knotenpunktes	25
4.2.1 Inventarisierung der örtlichen Gegebenheiten	25
4.2.2 Projektierungselemente	25
4.2.3 Besonderheiten bestimmter Verkehrsarten	29
4.3 Verkehrsbelastungen	32
4.3.1 Dimensionierungsgrundlage	32
4.3.2 Minimale Verkehrserhebungen	33
4.3.3 Massgebende Verkehrsbelastungen	35

	Seite
5. BEMESSUNG DER LICHTSIGNALANLAGE	38
5.1 Signalzeiten	38
5.2 Generelles Vorgehen	41
5.3 Phasengestaltung	42
5.3.1 Phasenbildung	42
5.3.2 Phasenfolge	46
5.3.3 Sonderregelungen	48
5.4 Berechnung der Signalzeiten	50
5.4.1 Die Zwischenzeiten	50
5.4.2 Die Umlaufzeit	54
5.4.3 Die Grünzeitberechnung	60
5.5 Kriterien für verkehrsabhängige Steuerung	64
5.6 Anzahl Programme	66
5.7 Die Staulänge	68
5.8 Zusammenstellung der Ergebnisse	69
6. INSTALLATION UND AUSRÜSTUNG	72
6.1 Signallageplan	72
6.2 Signalgeber	75
6.3 Montage der Signalgeber	78
6.3.1 Signalträger	78
6.3.2 Anordnung der Signalgeber	79
6.4 Anmeldemittel	84
6.5 Steuergeräte und Kabelnetz	85
7. BETRIEB EINER LICHTSIGNALANLAGE	87
7.1 Betriebsaufnahme	87
7.2 Ein- und Ausschalten	88
7.3 Kosten und Unterhalt	92

	Anhang
ARBEITSABLAUF	1
BETRIEBSZEITEN VON LICHTSIGNALANLAGEN	2
ABKUERZUNGEN UND SYMBOLE	3
LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	4

BERECHNUNGSBEISPIEL FÜR EINE EINFACHE LICHTSIGNALANLAGE

AB B I L D U N G S V E R Z E I C H N I S

		Seite
1	Richtwerte für den Anwendungsbereich von Lichtsignalanlagen	11
2	Bemessungsrichtlinie für Fussgängerstreifen	12
3	Einsatzpunktsteuerung	16
4	Signalgruppensteuerung	18
5	Radien der Fahrstreifen	28
6	Zeitinsel für den öffentlichen Verkehr	30
7	Belastungen der 15-Minuten-Spitze in % der entsprechenden Spitzenstundenbelastung	36
8	Anteil der Frühstarter in Abhängigkeit der Dauer der Rot/Gelb-Zeit	40
9	Leistungsfähigkeit bei behindertem Abbiegen	44
10	Numerierung der Fahrstreifen	45
11	Beispiel einer Phasenreihenfolge bei einer Einmündung	47
12	Messregeln für die Räum- und Anfahrwege	53
13	Optimale Umlaufzeiten	56

	Seite
14 Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Umlaufzeit	57
15 Zeitbedarfswerte	60
16 Phasenschema und Konfliktschema	70
17 Signalzeitenplan	71
18 Symbole für Lichtsignalanlagen (Beispiele)	74
19 Ein- und Ausschalten über stehendes Gelb	90
20 Einschaltprogramm	91

TABELLENVERZEICHNIS

1	Abgrenzung des Berichtsinhaltes	3
2	Typische Verkehrsmischung	37
3	Minimale Grünzeiten	38
4	Richtwerte zur Bestimmung der Zwischenzeiten	52
5	Abminderungsfaktoren bez. Sättigungsfluss	63

1. Vorwort

Leitfaden 1968

Im Jahre 1968 hat die Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI) den "Leitfaden zur Projektierung einer Lichtsignalanlage" im Sinne eines provisorischen Berichtes herausgegeben. Die durchgeführte Vernehmlassung bei allen SVI-Mitgliedern und anderen interessierten Kreisen erbrachte acht, zum Teil sehr umfangreiche Antworten, die im Mai 1969 verarbeitet wurden.

Anlass zur Ueberarbeitung des Leitfadens 68

Seither haben sich die Bedürfnisse der Verkehrsteilnehmer beziehungsweise der vom Verkehr Betroffenen zum Teil erheblich verlagert. Parallel dazu haben sich sowohl die Anforderungen an die Lichtsignalanlagen als auch die technischen Möglichkeiten stark entwickelt. Den eigentlichen Anstoss zur Ueberarbeitung des Leitfadens 1968 bildete die zu Handen des EJPD einzureichende Stellungnahme zum Konflikt zwischen abbiegenden Fahrzeugen und Fussgängern bei Lichtsignalgesteuerten Knoten. Dem Gesuch der SVI zur Ueberarbeitung des Leitfadens 1968 durch eine Arbeitsgruppe wurde durch die Eidg. Kommission für Strassenbauforschung des Eidg. Departementes des Innern am 30.1.1976 stattgegeben (Forschungsauftrag Nr. 8/76 und 17/79).

Ziel der vorliegenden Anleitung

Die Frage, an wen sich der vorliegende Bericht richten soll, wurde sowohl innerhalb der Arbeitsgruppe als auch mit dem Referenten und dem Vorstand der SVI eingehend erörtert.

Allgemein wurde die ursprüngliche Auffassung bestätigt, dass sich die "Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage" nicht an den Spezialisten wendet, sondern an all diejenigen Personen,

- die sich nur gelegentlich mit der Planung und Aufstellung von Lichtsignalanlagen befassen,
- die Strassenprojekte bearbeiten, bei denen allenfalls später Lichtsignalanlagen erstellt werden sowie
- für Schulen, die einen Einstieg in diese Materie benötigen.

Stärkere Vereinfachungen für einzelne Spezialprobleme liegen deshalb im Interesse der Allgemeinverständlichkeit dieses Berichtes.

Gegenstand dieses Berichtes

Der Bericht "Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage" baut auf dem Leitfaden 1968 auf. Sein Inhalt wurde materiell überdacht und mit Blick auf den Leser soweit wie notwendig mit den neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Lichtsignalanlagen ergänzt. Im Sommer 1978 wurde ein erster Entwurf einem ausgewählten Kreis von Fachleuten zur Stellungnahme unterbreitet. Die erhaltenen Antworten wurden in der Arbeitsgruppe eingehend diskutiert und, soweit sie den Zielsetzungen des Berichtes entsprechen, an den geeigneten Stellen berücksichtigt.

Der vorliegende Bericht behandelt die im Normalfall auftretenden Probleme bei der Planung einer Lichtsignalanlage am Einzelknoten. Spezialfälle, wie Lichtsignalanlagen mit Bahnverkehr und koordinierte Anlagen etc. bilden nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Tab. 1: Abgrenzung des Berichtsinhaltes

Steuerung	Einzelanlage		Mehrere Knoten (Ketten oder Netze)	
	Individual- Verkehr	öffentlicher Verkehr	Individual- Verkehr	öffentlicher Verkehr
Festzeitsteuerung	enthalten	enthalten	o	o
Teilverkehrsabhängige Steuerung	enthalten	enthalten	o	o
Vollverkehrsabhängige Steuerung	enthalten	o	o	o

Bei den im Bericht nicht enthaltenen Spezialfällen sowie bei der Bearbeitung von koordinierten Lichtsignalanlagen wird der Beizug eines Fachmannes empfohlen, da die Anforderungen sprunghaft zunehmen.

Publikationen und Stellungnahmen

Im Laufe der Tätigkeit hat die Arbeitsgruppe folgende zwei Themen speziell behandelt:

- die Stellungnahme zu Handen des EJPD zum Konflikt zwischen abbiegenden Fahrzeugen und Fussgängern bei Lichtsignalgesteuerten Knoten (vom 29.11.77)
- Anordnung von Ampeln, Publikation in der Fachzeitschrift "Strasse und Verkehr" im Heft Nr. 7, Jahrgang 1978.

Genereller Ablauf

Die Planung und Realisierung einer Lichtsignalanlage kann generell in fünf Arbeitsphasen eingeteilt werden (Anhang 1 ausklappbares Schema über Arbeitsablauf), welche zur besseren Orientierung in den nachfolgenden Kapiteln wie folgt zusammengefasst werden können:

Die Voruntersuchung befasst sich mit der Analyse der Konflikte, die am Knoten bestehen, sowie mit dem Nachweis, dass diese durch den Einsatz von Lichtsignalanlagen verbessert werden können.

Die zweite Arbeitsphase umfasst die Aufbereitung der Dimensionierungsunterlagen für die Lichtsignalanlage.

In der dritten Arbeitsphase erfolgt der Entwurf und die Dimensionierung der Lichtsignalanlage (Fahrstreifenzuteilung, Phasenbildung, Berechnung der Signalzeiten etc.).

Die Erstellung der Ausführungspläne, die Ausschreibungen etc. sowie die Realisierung der Anlage erfolgen in der vierten Arbeitsphase.

Die fünfte Arbeitsphase umfasst die Inbetriebnahme der Anlage, die Überwachung während der ersten Betriebsphase inklusive allfälliger Anpassungen.

Da der Bau von Lichtsignalanlagen der Verordnung über die Strassen-signalisation (Signalisationsverordnung vom 5.9.1979) unterstellt ist, sind in jedem Fall die hierzu nötigen Bewilligungsverfahren zu beachten. Hinzu kommen die unerlässlichen Absprachen mit diversen Behördenvertretern, dem Tiefbauamt, der Polizei usw.

2. ZWECK DER VERKEHRSSTEUERUNG

2.1 Wichtigste Begriffe

Verkehrssteuerung

Die Verkehrssteuerung ist eine betriebliche Massnahme zur Beeinflussung des Verkehrsablaufes an einzelnen Strassenknoten, längs einzelnen Strassenachsen oder aber in Netzteilen. Die Uebermittlung der zu einem bestimmten Zeitpunkt angeordneten Massnahme zum einzelnen Verkehrsteilnehmer erfolgt über Signalgeber. Diese werden durch Impulse gesteuert, die in einem Steuergerät erzeugt werden. Die gesamte erforderliche Einrichtung zur Erzeugung, Uebertragung und optischen Anzeige dieser Impulse an einem Knotenpunkt wird als Lichtsignal- oder Verkehrsregelungsanlage bezeichnet.

Signalbilder

Gemäss der Signalisationsverordnung sind folgende Signalbilder zulässig (Signalisationsverordnung vom 5.9.1979, Art. 68):

- rotes Licht bedeutet ein zwingendes Anhalten
- grünes Licht gibt die Fahrt frei
- gelbes Licht bedeutet:
 - wenn es auf ein grünes Licht folgt: Halt für alle Fahrzeuge, die vor der Verzweigung anhalten können resp. für Fussgänger Streifen nicht betreten
 - wenn es zusammen mit rotem Licht erscheint: sich für die Weiterfahrt bei Grünbeginn bereithalten
- gelbes Blinklicht mahnt zu besonderer Vorsicht.

Zusätzlich sind eine Reihe besonderer Signale und Symbole zugelassen, die sich entweder an Verkehrsteilnehmer mit bestimmten Verkehrsmitteln richten oder an solche, die bestimmte Fahrtrichtungen bzw. Fahrstreifen benutzen.

Phasen

Die Phase umschreibt jenen Teil eines Signalprogrammes, während dem ein bestimmter Zustand der Signalisierung unverändert bleibt.

Die Abgrenzung der Phase zu Beginn und am Ende des bestimmten Signalisierungszustandes ist vielfach nicht eindeutig festzustellen, da die Grünzeiten der einzelnen Verkehrsströme nicht zu demselben Zeitpunkt beginnen oder enden müssen. Sobald jedoch zwei nicht verträgliche Verkehrsströme nacheinander 'Grün' erhalten, liegen zwei getrennte Phasen vor.

Phasenfolge

Ein Programm setzt sich aus verschiedenen Phasen zusammen, deren zeitliche Folge auch als Phasenfolge definiert wird.

Stauräume

Die Stauräume umfassen die Strassenabschnitte, in denen sich die Fahrzeuge während der Dauer des Rotlichtes regelmässig aufstauen. Ihre Längen sind abhängig von der Dauer der Rotzeit.

2.2 Zweck und Aufgabe

Zweck einer Lichtsignalanlage

Mit der Verkehrssteuerung wird versucht, die Unfallgefahr an Knoten auf ein Minimum zu beschränken und den vorhandenen Verkehrsraum möglichst rationell auszunutzen.

Aufgabe der Lichtsignalanlage

Die Lichtsignalanlage übernimmt die Aufgabe, in die am Knoten vorhandenen Verkehrsströme ordnend einzugreifen und sie möglichst konfliktfrei aneinander vorbeizuführen. Zugleich besteht dabei die Möglichkeit, einzelnen Verkehrsströmen, z. B. den Fussgängern, dem öffentlichen Verkehr etc., eine Priorität einzuräumen, und sie gegenüber den übrigen Verkehrsteilnehmern zu bevorzugen. Insbesondere bei Anlagen mit grossen Verkehrsmengen sind Bevorzugungen einzelner Verkehrsteilnehmer nur durch eine Reduzierung der Grünzeiten der übrigen Verkehrsteilnehmer zu erreichen.

Zielsetzungen

Durch den Einsatz von Lichtsignalanlagen an Einzelknoten werden im allgemeinen folgende Ziele verfolgt:

- Eine Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Reduzierung der Unfallhäufigkeit und vor allem durch eine Verminderung der Unfallschwere, indem die feindlichen Verkehrsströme zeitlich getrennt über die Konfliktfläche geführt werden.
- Ein verbesserter Schutz von Fussgängern, evtl. auch Radfahrern, indem ihnen in der Regel ein gegenüber dem Fahrzeugverkehr gesicherter Uebergang ermöglicht wird.
- Die gezielte Bevorzugung von öffentlichen Verkehrsmitteln, indem für sie zusätzliche Grünphasen und evtl. separate Fahrstreifen vorgesehen werden.
- Die Vermeidung von teuren Strassenausbauten, indem baulichen Mängeln (fehlende Sicht, ungenügende Stauräume etc.) durch optische Mittel (zeitliche Staffelung) begegnet wird.

Je nach den örtlichen Gegebenheiten treten einzelne dieser Ziele stärker in den Vordergrund, andere fallen möglicherweise weg.

2.3 Wirkung einer Lichtsignalanlage

Wirkung

Für den Verkehrsteilnehmer haben Lichtsignalanlagen folgende Wirkungen:

- Im Knotenbereich werden die Zeitlücken infolge der Paketbildung reduziert.
- Durch die zeitliche Trennung von feindlichen Verkehrsströmen werden Konflikte ausgeschaltet.
- Vor dem Knotenbereich werden einzelne Verkehrsströme auch räumlich getrennt und in entsprechende Fahrstreifen geleitet. Dies erlaubt eine flüssige und wiederum konfliktarme Führung im eigentlichen Knotenbereich. Eine räumliche Trennung bildet im allgemeinen die Voraussetzung zur Bevorzugung einzelner Verkehrsteilnehmer (Ausnahme: zusätzliche technische Mittel zur speziellen Erfassung).

Vorteile der Lichtsignalanlage

- Die Unfälle, insbesondere die Unfallschwere kann reduziert werden,
- jeder noch so kleine Verkehrsstrom kann gebührend berücksichtigt werden,
- das Personal zur Verkehrsregelung kann eingespart werden.

Nachteile der Lichtsignalanlage

- Wartezeiten sind unvermeidlich,
- durch stehende bzw. anfahrende Kolonnen entstehen Immissionen,
- der Aufwand für Bau und Betrieb.

2.4 Notwendigkeit einer Lichtsignalanlage

Einleitung

Die Notwendigkeit zur Installation einer Lichtsignalanlage lässt sich nicht rechnerisch exakt ermitteln. Vielmehr bedarf es dazu einer Beurteilung verschiedener Gegebenheiten, nämlich:

- der örtlichen Verhältnisse
- der Verkehrsunfälle,
- der vorhandenen Verkehrsbelastungen und
- der zukünftigen Entwicklungen.

Die Gewichtung der einzelnen Entscheidungsgrundlagen ist von Fall zu Fall unterschiedlich und teilweise auch vom politischen Anliegen beeinflusst.

Örtliche Verhältnisse

Die Planung einer Lichtsignalanlage setzt eine gute Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten voraus, insbesondere der Sichtverhältnisse am Knoten, der Fussgängerbeziehungen und ihrer Ziele (Schulen, Sportanlagen, Altersheime etc.), dem Vorhandensein eines öffentlichen Verkehrsmittels, der geometrischen Verhältnisse und anderes mehr. Vielfach sind auf Grund der örtlichen Verhältnisse spezielle Massnahmen bei der Erstellung der Lichtsignalanlage notwendig.

Verkehrsunfälle

Typische Unfälle bei unregelmässigen Strassenknoten sind frontale und seitliche Zusammenstösse zwischen Fahrzeugen einerseits und solche mit Fussgängern andererseits. Solche Unfälle sind allenfalls durch Mängel an den Strassenanlagen möglich (zum Beispiel untaugliche Griffigkeit des Strassenbelages, undeutliche Markierung oder Signalisation). Mehrheitlich bildet jedoch die Missachtung des Vortrittsrechtes durch die Verkehrsteilnehmer die eigentliche Unfallursache. Sie kann beispielsweise durch Fehleinschätzung von Zeitlücken, durch das Verlieren der Geduld auf einer Strasse ohne Vortrittsrecht und Ähnlichem entstehen.

Typische Unfälle bei Strassenknoten, die mit Lichtsignalanlagen geregelt werden, sind Auffahrkollisionen sowie Kollisionen infolge Missachtung des Rotlichts. Unfälle zwischen abbiegenden Fahrzeugen und Fussgängerströmen sowie zwischen Linksabbiegern und entgegenkommenden Geradeausfahrern sind nur möglich, wenn den Konfliktströmen gleichzeitig 'Grün' gegeben werden muss.

Ist die Unfallhäufigkeit Anstoss zur Sanierung eines Strassenknotens, so sind der Reihe nach folgende Verbesserungsmassnahmen zu prüfen:

- a) Organisatorische Massnahmen
(Verkehrsführung, Signalisation und Markierung)
- b) Bauliche Verbesserungen der Knotengeometrie
- c) Erstellung einer Lichtsignalanlage.

Es muss deshalb mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass die Installation einer Lichtsignalanlage allein nicht Garant für eine unfallfreie Kreuzung ist. Zudem ist bei der Planung von Lichtsignalanlagen darauf zu achten, dass nicht eine Unfallart durch eine andere ersetzt wird (z.B. Unfälle durch nicht vortrittsberechtigte Fahrzeuglenker durch solche, die von Abbiegern ohne separate Regelung verursacht werden).

Verkehrsbelastungen

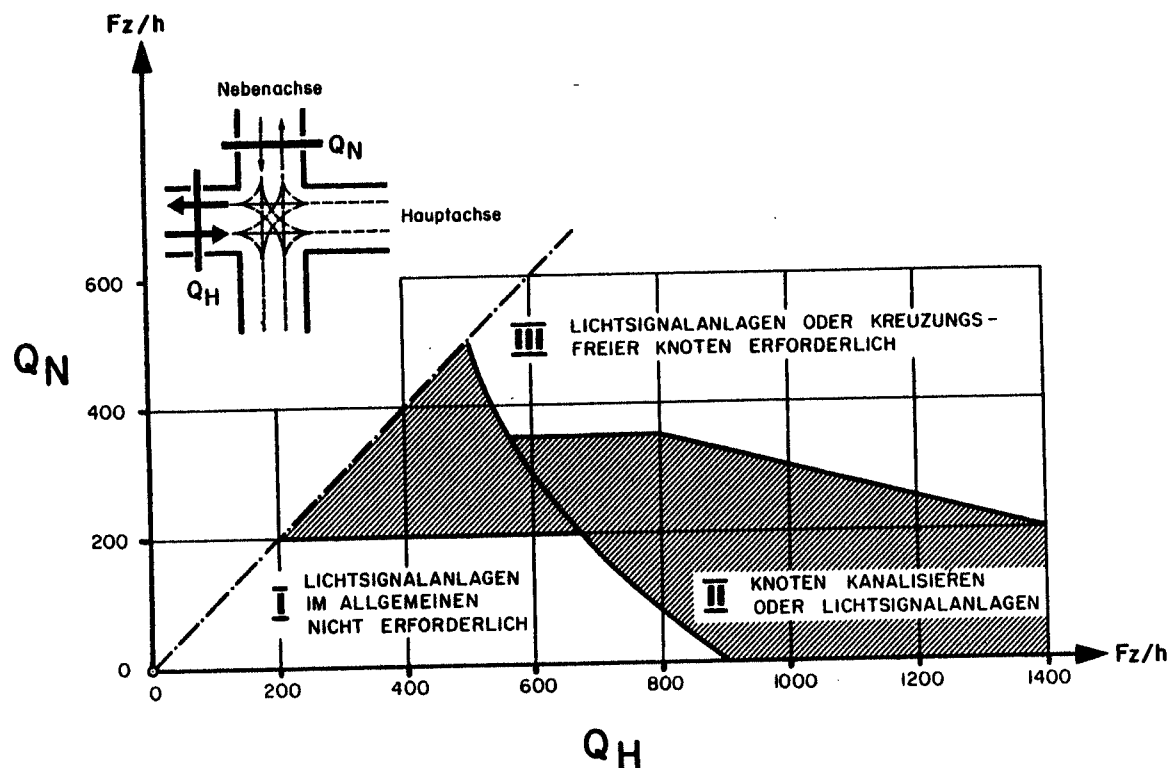
Die vorhandenen bzw. zukünftigen Verkehrsbelastungen bilden ein quantifizierbares Entscheidungskriterium. Da jedoch auch örtliche Einflüsse mitentscheidend sind, besteht keine bestimmte Grenze der Verkehrsmenge, von der an eine Regelung mit Lichtsignalanlagen notwendig ist (Lit. 1).

Richtwerte bezüglich Fahrzeugverkehr

Erfahrungsgemäss spielen das Verhältnis zwischen der Verkehrsbelastung der Hauptachse (Q_H) und jener der Nebenachse (Q_N) bei der Beurteilung eines Knotens eine Rolle.

Aus den Richtzahlen der Literatur lässt sich folgendes Diagramm ableiten:

Abb. 1 : Richtwerte für den Anwendungsbereich von Lichtsignalanlagen



Im Bereich I sind Lichtsignalanlagen nur bei speziellen örtlichen Verhältnissen notwendig. Im Bereich II ist zunächst abzuklären, ob nicht andere Massnahmen (z.B. Schutzinseln, Verbesserung der Sichtverhältnisse und anderes) eine Verbesserung der Verhältnisse bewirken können. Für den Bereich III sind im allgemeinen Lichtsignalanlagen oder sogar kreuzungsfreie Lösungen vorzusehen.

Gemäss einer Faustregel (Lit. 2) braucht eine Kreuzung im Normalfall nicht signalgesteuert zu werden, wenn die Summe der einfahrenden Fahrzeuge im Stundendurchschnitt der acht verkehrsreichsten Stunden eines

mittleren Tages

- bei Stadtstrassen 750 Fz/h und

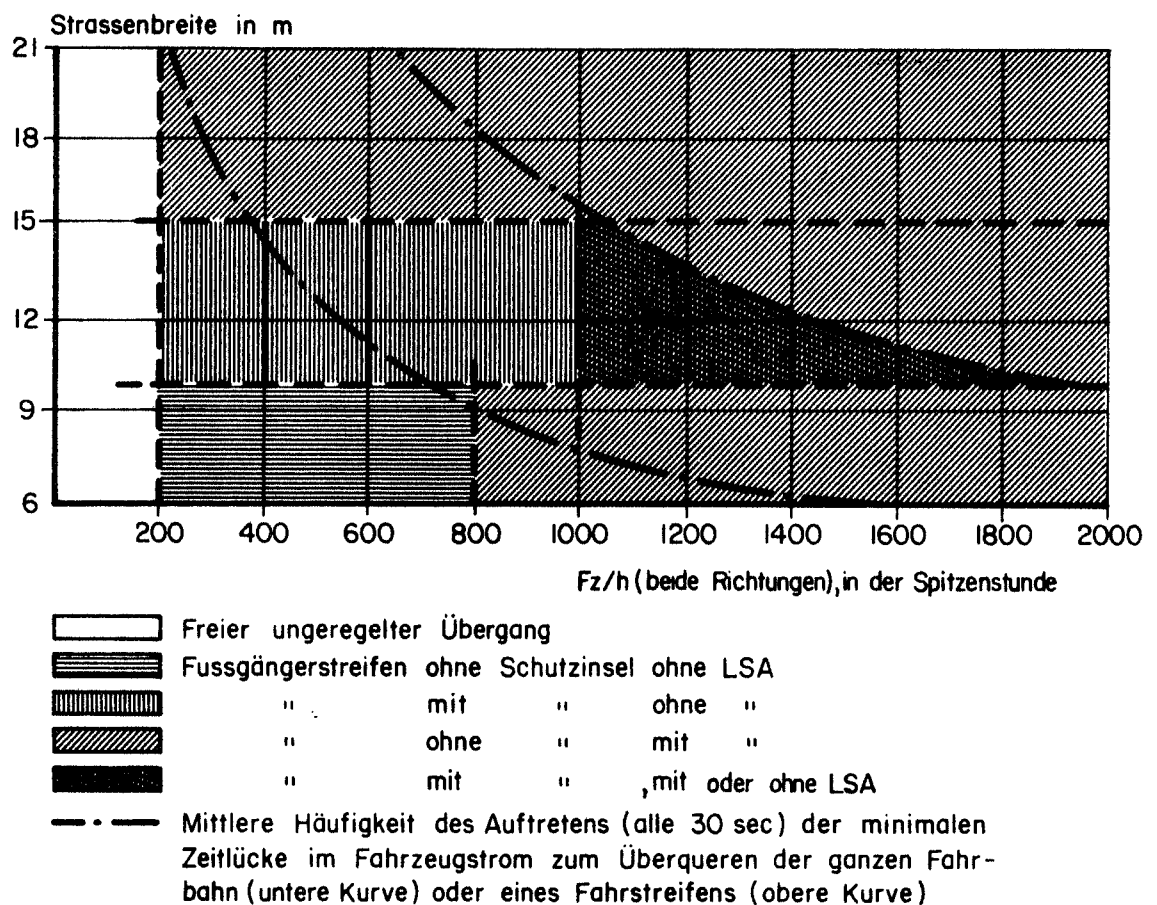
- bei Landstrassen 500 Fz/h

nicht übersteigt.

Richtwerte bezüglich Fussgängerströmen

Zur Erhöhung der Verkehrssicherheit sind an Fussgängerstreifen oft zusätzliche Schutzmassnahmen erforderlich. Die Notwendigkeit solcher Massnahmen ist in Abb. 2 in Funktion der Fahrzeugmenge und Strassenbreite dargestellt (Lit. 3).

Abb. 2: Bemessungsrichtlinie für Fussgängerstreifen



Zukünftige Entwicklungen

Die zukünftigen Entwicklungen sind bei der Beurteilung der Knoten in bezug auf Lichtsignalanlagen einzubeziehen. Im Extremfall muss angenommen werden, dass praktisch an jedem bedeutenden Knoten entlang einer Hauptverkehrsstrasse eine Lichtsignalanlage zum Einsatz kommen kann, wobei aber der Zeitpunkt der Inbetriebnahme nicht bekannt ist. Es ist in diesen Fällen zweckmässig, bei Strassenbauten wenigstens die Kabelrohre (Durchmesser 100 mm) quer über die Strassenäste einzulegen.

2.5 Steuerungssysteme

Es wird unterschieden nach isolierter und koordinierter Verkehrssteuerung.

Isolierte Verkehrssteuerung

Isoliert gesteuert werden Einzelanlagen an Knoten, die heute und in Zukunft in keinem Abhängigkeitsverhältnis zu anderen Anlagen stehen. Der Ausbaugrad reicht dabei von zweiphasigen, festzeitgesteuerten Anlagen bis zur vollverkehrsabhängigen, azyklischen Steuerung mit allfälligen Spezialregelungen für Bahnen etc.

Isoliert gesteuerte Einzelanlagen werden installiert:

- bei Strassenknoten, die nicht im Einflussbereich anderer Anlagen liegen
- bei Baustellen
- bei Ein- und Ausfahrten des öffentlichen Verkehrs
- bei kürzeren Tunnels etc.

Koordinierte Verkehrssteuerung

Bei der koordinierten Verkehrssteuerung sind mehrere Anlagen beteiligt. Die Signalprogramme an den einzelnen Lichtsignal-gesteuerten Knoten werden gegenseitig aufeinander abgestimmt, so dass beispielsweise der Fluss von bestimmten Verkehrsströmen innerhalb des koordinierten Systems gesteigert werden kann. Die Koordination der einzelnen Signalprogramme erfolgt durch eine übergeordnete Steuereinheit, zum Beispiel Koordinator, Kleinzentrale etc. Je nach der vorhandenen Situation wird bei den koordinierten Lichtsignalanlagen unterschieden nach:

- Signalketten: Anordnung längs eines Strassenzuges,
- offene Netze: Koordination längs mehrerer Strassenzüge, die sich nur in einem Punkt überschneiden,
- geschlossene Netze: Koordination mehrerer Strassenzüge, die mehr als einen Schnittpunkt aufweisen.

Je mehr Lichtsignalanlagen gemeinsam gesteuert werden, um so grösser sind die Anforderungen an die Planung und die übergeordnete Steuereinheit.

3. STEUERUNG

3.1 Steuerungsarten

Möglichkeiten

Die Steuerung kann im einfachsten Fall Signalpläne starr ablaufen lassen oder mit steigender Komplexität nach Uhrzeit, Wochentag oder auch nach Verkehrsanfall auswählen. Die Signalpläne können entsprechend vorgegebener Ablaufschematas (Verknüpfungstabellen) je nach Verkehrssituation modifiziert werden. In der extremsten Form besteht überhaupt kein Signalplan mehr, der Signalablauf wird von der Steuerung aufgrund vorgegebener Verknüpfungstabellen je nach Verkehrsanfall laufend neu gebildet. Mit zunehmender Abhängigkeit der Signalschaltung von der aktuellen Verkehrssituation steigt der Komplexitätsgrad der Steuerung exponentiell an. Darum sind bis jetzt kaum erfolgreiche Beispiele von echter Signalplanbildung nachgewiesen worden. Um den finanziellen Aufwand bei der Produktion der Steuergeräte im vertretbaren Rahmen zu halten, müssen bezüglich der Programmierbarkeit Einschränkungen hingenommen werden.

Grundsätzlich wird nach folgenden Steuerungstechniken unterschieden:

- der Einsatzpunktsteuerung und
- der Signalgruppensteuerung.

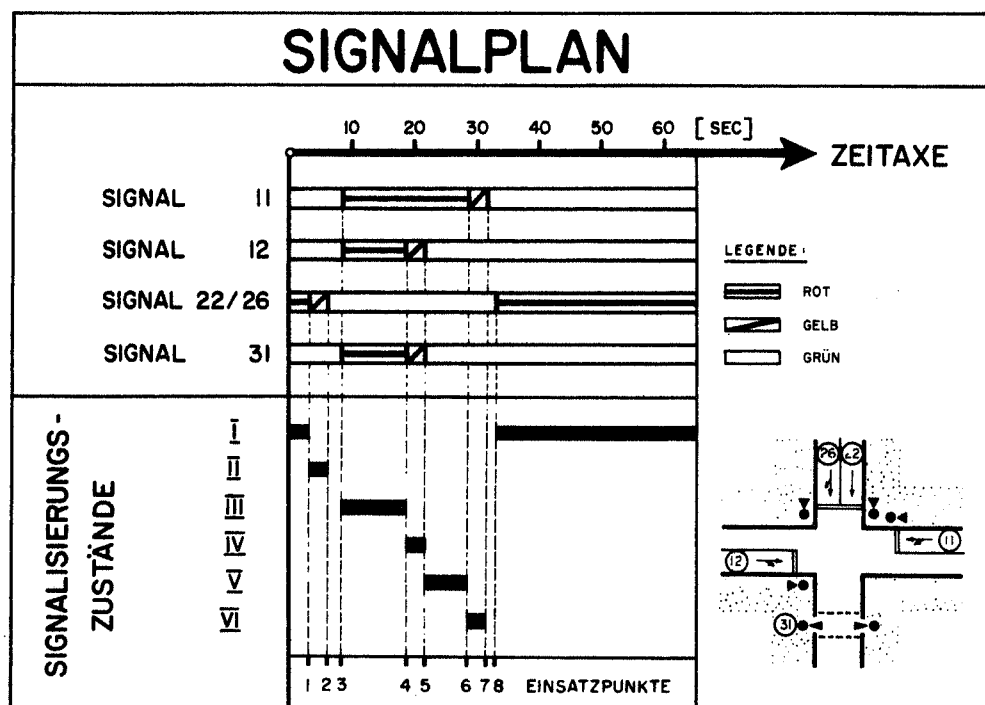
Der Unterschied in den beiden Techniken liegt in der Art und Weise, wie die Signale angesteuert werden.

3.1.1 Einsatzpunktsteuerung

Funktionsweise

Bei der Einsatzpunktsteuerung wird das Signalprogramm in Signalisierungszustände zerlegt. Ein Signalisierungszustand umfasst alle zu ein und demselben Zeitpunkt an der Lichtsignalanlage eingeschalteten Signale. Sie werden über sogenannte Einsatzpunkte geschaltet, wobei die Zwischenzeiten (Gelb- und Schutzzeit) fest eingegeben werden können.

Abb. 3: Einsatzpunktsteuerung



Die Dauer eines Signalisierungszustandes wird durch den zeitlichen Abstand der Einsatzpunkte gebildet.

Modifikationsmöglichkeiten

Der Signalplan mit Einsatzpunktsteuerung lässt sich lediglich innerhalb der Zeit zwischen zwei sich folgenden Einsatzpunkten (Signalisierungszustände I bis VI) modifizieren.

Beim vorangehenden Schema ist es beispielsweise nicht möglich, die Grünzeit des Signals 12 ohne Neuprogrammierung über den Einsatzpunkt 4 hinaus zu verlängern.

Dimensionierungsgrößen

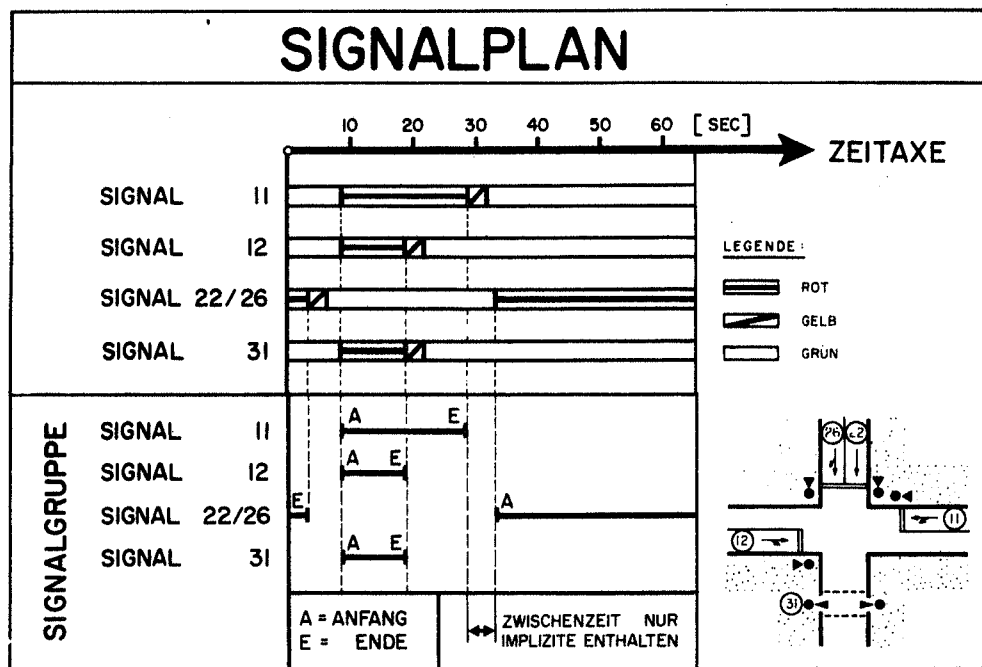
Zur Dimensionierung des Steuergerätes sind die Anzahl der Einsatzpunkte sowie die Anzahl der Signalprogramme massgebend. Im Handel sind Geräte mit üblicherweise max. 40 bis 50 Einsatzpunkten. Der Vorteil der Einsatzpunktsteuerung liegt darin, dass im Regelfall alle Signale auf einer Zeitaxe definiert werden können und somit für alle Signale, die gleichzeitig geändert werden, nur ein Speicherplatz benötigt wird.

3.1.2 Signalgruppensteuerung

Funktionsweise

Bei der Signalgruppensteuerung wird jede einzelne Signalgruppe schalttechnisch getrennt erfasst. Eine Signalgruppe besteht aus einem oder mehreren Einzelsignalen einer Lichtsignalanlage, die zu jeder Zeit ein übereinstimmendes Signalbild zeigen. Im Gegensatz zu früher werden heute nur die Signale zu einer Signalgruppe zusammengefasst, die einem einzelnen Fahrstreifen zugeordnet sind. Bei Fussgängerübergängen mit Mittelinseln wird zweckmäßigerweise je eine Signalgruppe für die beiden Teilübergänge vorgesehen.

Abb. 4 : Signalgruppensteuerung



Für jede Signalgruppe muss der Anfang und das Ende der Grünzeit definiert werden. Pro Signalgruppe sind dadurch im Steuergerät mindestens zwei

Speicherplätze belegt. Nach dem Ende der Grünzeit einer Signalgruppe wird die fest eingegebene Gelbzeit abgewickelt. Da die nachfolgende Grünzeit über eine andere Signalgruppe gesteuert wird, ist die Schutzzeit nur indirekt vorhanden. Sie wird nicht direkt programmiert.

Modifikationsmöglichkeiten

Bei der Signalgruppensteuerung lässt sich jede einzelne Signalgruppe verlängern oder verkürzen. Es bleibt dem Programmierer überlassen, die entsprechenden Bedingungen zu formulieren.

Dimensionierungsgrößen

Zur Dimensionierung des Steuergerätes sind die Anzahl der Signalgruppen massgebend (getrennt nach Fahrzeugen, Fussgängern und Hilfsignalen).

Der Vorteil der Signalgruppensteuerung liegt in erster Linie darin, dass Modifikationen einfacher und flexibler einprogrammiert werden können.

3.2 Steuerungsverfahren

3.2.1 Festzeitsteuerung

Die entsprechenden Apparate steuern die Signalbilder nach einem festen Zeitablauf. Innerhalb eines Programmes können weder die Zeiten noch die Struktur, d.h. die Reihenfolge der Signalbilder, durch den Verkehr beeinflusst werden.

Ist der Verkehrsanfall bei einer Lichtsignalanlage mit Festzeitsteuerung unregelmässig, so ist für jeden Verkehrszustand ein separates Programm aufzustellen. Diese können entweder zeitabhängig durch eine

Schaltuhr oder aber auf Grund der Belastungen von charakteristischen Verkehrsströmen ("verkehrsabhängig") ein- und ausgeschaltet werden.

3.2.2 Verkehrsabhängige Steuerung

Die Steuerung der Anlage erfolgt auf Grund vorhandener Anmeldungen von öffentlichen Verkehrsmitteln, von Fahrzeugen und von Fussgängern. Je flexibler das Steuergerät konzipiert ist, desto besser können die Programme den momentanen Belastungsverhältnissen angepasst werden. Bei der verkehrsabhängigen Steuerung wird zwischen der Anforderung einer bestimmten Phase und der Verlängerung der eingeschalteten Phase unterschieden. Moderne Geräte vermögen beide Fälle kombiniert zu verarbeiten.

Anforderungsbetrieb

Die einzelnen Phasen werden nur aufgrund einer Anmeldung eingeschaltet. Die Aneinanderreihung von Phasen kann dabei zyklisch oder azyklisch erfolgen.

Zyklischer Ablauf

Ein zyklischer Ablauf liegt vor, wenn die Reihenfolge der Phasen jederzeit beibehalten wird, wobei nicht angeforderte Phasen auch übersprungen werden können. Die Zwischenzeit zwischen zwei sich folgenden Phasen ist in jedem Fall bekannt und kann entsprechend berücksichtigt werden.

Azyklischer Ablauf

Bei azyklischem Ablauf wird auch die Reihenfolge der Phasen durch den momentanen Verkehrsanfall bestimmt (zum Beispiel beim ersten Umlauf: Phasenreihenfolge A, B, D, C und beim zweiten Umlauf Phasenreihenfolge A, C, B, D).

Bei echt azyklischer Aneinanderreihung der Phasen müssen die Zwischenzeiten als Minimalwerte unter allen Umständen eingehalten werden. Dieses Problem kann grundsätzlich auf drei Arten gelöst werden:

- a) Zwischen die einzelnen azyklischen Phasen- oder Signalbilder wird eine Zwischenzeit von der Dauer der längsten Zwischenzeit eingefügt. Damit wird der Signalablauf jedoch träge, und es tritt unnötiger Leistungsverlust ein.
- b) Die Phasen- und Signalbilder werden im Steuergerät definiert, so dass für jeden Uebergang die echten Zwischenzeiten zur Anwendung gelangen. Nachteilig ist dabei, dass die Zahl der notwendigen Signalbilder bald die Speicherkapazität der Steuergeräte bei weitem übersteigt, so wären z.B. für fünf Phasen bei vollständig azyklischem Ablauf bereits 20 Phasenkombinationen zu programmieren.
- c) In letzter Konsequenz führt die Forderung nach vielphasigem, echt azyklischem Signalablauf zu signalplanbildenden Steuerungen. Dabei werden der Steuerung einerseits Kombinationen von Verkehrsströmen als Phasen- oder Signalbilder vorgegeben. Andererseits müssen auch sämtliche Zwischenzeiten in einer Matrix sowie die minimalen Grünzeitwerte programmiert sein. Die Steuerung muss dann den Uebergang von einer Phase in eine beliebige andere selbst an den Zwischenzeiten und Minimalgrünzeiten herleiten können. Das sind jedoch vergleichsweise äusserst komplexe Anforderungen. Sie werden heute nur von einigen wenigen Steuergeräten der modernsten Bauart erfüllt, die entsprechend teuer sind.

3.2.3 Teilverkehrsabhängige Steuerung

Diese Anlagen arbeiten prinzipiell nach den Grundsätzen von festzeitgesteuerten Anlagen, wobei schwachbelastete oder im Verkehrsaufkommen stark schwankende Zuflüsse verkehrsabhängig eingebaut werden, beispielsweise:

- Fussgängerübergang auf Anmeldung
- Öffentliche Verkehrsmittel mittels Sonderphasen (Anmeldung oder Verlängerung) oder
- Abbiegeströme (Anmeldung oder Verlängerung).

Die nicht ausgenützte Grünzeit kommt meist der stärksten belasteten Richtung zugute.

3.2.4 Anwendungsbereiche

Bei Einzelknoten ist eine Anlage mit voll verkehrsabhängiger Steuerung am zweckmässigsten. Lediglich bei Anlagen, deren Zufahrten ständig überlastet sind, sollte eine Festzeitsteuerung in Betracht gezogen werden.

Bei Anlagen, die in Gruppen gesteuert oder später mit anderen Anlagen zusammengeschlossen werden (Distanz kleiner als 500 m), ist die Festzeit- oder teilverkehrsabhängige Steuerung vorzuziehen. Es lassen sich damit unnötige Mehrkosten vermeiden.

4. GRUNDLAGEN FÜR DIE BEMESSUNG VON LICHTSIGNALANLAGEN

4.1 Grundsätze für eine gute Funktionsfähigkeit von Lichtsignalanlagen

Spezifische Anforderungen

Der Verkehrsablauf, der mittels Lichtsignalanlagen gesteuert werden soll, stellt spezifische Anforderungen an die Gestaltung des Knotens. Umgekehrt ergeben sich bei gegebener Knotensituation häufig Einschränkungen für die Planung von Lichtsignalanlagen. Die Gestaltung des Knotens und die Berechnung der Signalpläne sind daher in gegenseitiger Abstimmung durchzuführen.

Grundsätzlich ist dabei folgendes zu beachten:

- Der Knoten soll möglichst "kompakt" gestaltet werden. Einerseits lässt sich damit die Uebersichtlichkeit fördern, und andererseits lassen sich die Zwischenzeiten niedrig halten.
- Im Knotenbereich sollen die äusseren Störeinflüsse (Zu- und Wegfahrten einzelner Parzellen, Parkierung, Rückstau von Nachbarknoten) möglichst eliminiert werden. Die Anlage behält damit jederzeit ihre Funktionsfähigkeit. Unsicherheiten durch Ausweichmanöver, stehende Kolonnen trotz Grünanzeige etc. können damit vermieden werden.
- Die Signalpläne der Lichtsignalanlage sollen dem tatsächlichen Verkehrsgeschehen gut angepasst werden. Insbesondere ist eine

Uebereinstimmung zwischen den gesetzlichen Vorschriften bezüglich einer Lichtsignalanlage und den effektiv vorhandenen Belastungsverhältnissen zu erzielen. Zum Beispiel sollte ein stark belasteter Linksabbiegestrom nicht mit einem geradeaus führenden, schwach belasteten Gegenstrom in einer Phase geregelt werden (Gefahr von Unfällen).

- Die Uebersichtlichkeit an den lichtsignalgesteuerten Knoten ist durch korrekte und eindeutige Anordnung von Ampeln, Signalen, Markierungen etc. zu fördern.

4.2 Gestaltung des Knotenpunktes

4.2.1 Inventarisierung der örtlichen Gegebenheiten

Für eine sorgfältige Projektierung einer Lichtsignalanlage sind einwandfreie Unterlagen erforderlich:

- Situationspläne M 1: 200 bis 1: 500,
- Signalisationspläne,
- Werkleitungspläne der bestehenden Leitungen,
- Unfallstatistik,
- Verkehrszählungen,
- allenfalls Kenngrößen der Verkehrsdynamik, wie Geschwindigkeiten, Zeitbedarfswerte etc.,
- allenfalls spezielle Angaben über den öffentlichen Verkehr, den Zweiradverkehr, die Feuerwehr und die Polizei,
- allenfalls örtliche Besonderheiten, wie bauliche Hindernisse, Baumbestand, Fussgängerachsen etc.
- übergeordnete Planungs- bzw. Lenkungsabsichten.

4.2.2 Projektierungselemente

Zufahrtsgeschwindigkeiten

Bei Lichtsignalanlagen beträgt die Zufahrtsgeschwindigkeit im Normalfall höchstens 60 km/h. Für diese Anlagen ist die Dauer der Gelbzeit einheitlich drei Sekunden. Höhere Zufahrtsgeschwindigkeiten verlangen eine längere Gelbzeit, damit vor Rotbeginn noch gefahrlos angehalten werden kann. Damit steigt aber auch der Anteil der Zwischenzeit, die Leistungsfähigkeit des Knotens wird reduziert (Lit. 5).

Fahrstreifenbreiten im Stauraum

Die Fahrstreifenbreiten werden im Normalfall nach der SN 640 147 angeordnet. Die minimale Fahrstreifenbreite von 2.75 m sollte nicht unterschritten werden (vgl. Seite 62: Sättigungsfluss).

Bei stärkerem Zweiradverkehr tragen grössere Fahrstreifenbreiten dazu bei, die Leistungsfähigkeit der Anlage zu erhöhen. Andererseits bergen grössere Breiten die Gefahr in sich, dass sich zwei kleinere Fahrzeuge darin missbräuchlich nebeneinander aufstellen. Ausgenommen sind Kurvenverbreiterungen, welche zusätzlich zu berücksichtigen sind.

Stauraumlänge

Die Längen der Stauräume richten sich nach den in Spitzenzeiten pro Fahrstreifen aufgestauten Fahrzeugen. Die freie Zufahrt zu den einzelnen Fahrstreifen sollte jederzeit möglich sein. Die Stauräume sind grundsätzlich zu berechnen (vgl. Seite 68, Staulänge). Sie sollten mindestens 20 m betragen und im Normalfall 100 m nicht übersteigen (Gefahr des Missbrauches zum Ueberholen).

Fahrbahnaufweitungen zu Beginn des Stauraumes

Im Normalfall wird die Fahrbahnaufweitung gemäss SN 640 266 dimensioniert. Untergeordnete Linksabbiegerströme sind grundsätzlich mit einem Zwickel einzuleiten (Markierung, allenfalls bauliche Massnahmen). Die Länge des Zwickels richtet sich nach der Fahrdynamik in der Kreuzungszufahrt (im Normalfall 1 m seitliche Verschiebung des Fahrzeuges pro Sekunde oder Schräge von 1:10 mit Uebergangsbögen).

Inseln

Sie dienen primär

- der Kanalisierung der Verkehrsströme
- dem Schutz der Fussgänger
- der Unterbringung von Ampeln, Verkehrszeichen etc. (Lichtraumprofil!)

Ihre minimale Breite richtet sich nach der Funktion der Insel (Signalträger 1.40 - 1.60 m, Fussgängerschutzinsel 1.50 - 2.00 m). Die Form der Inseln richtet sich nach der Fahrdynamik und der optischen Linienführung (SN 640 266).

Es ist zu beachten, dass mit jeder Insel dem Verkehr, vor allem in städtischen Verhältnissen, Strassenfläche entzogen wird. Viele Inseln führen zu komplizierten Knoten, verleiten zu falscher Fahrweise und erschweren den Strassenunterhalt.

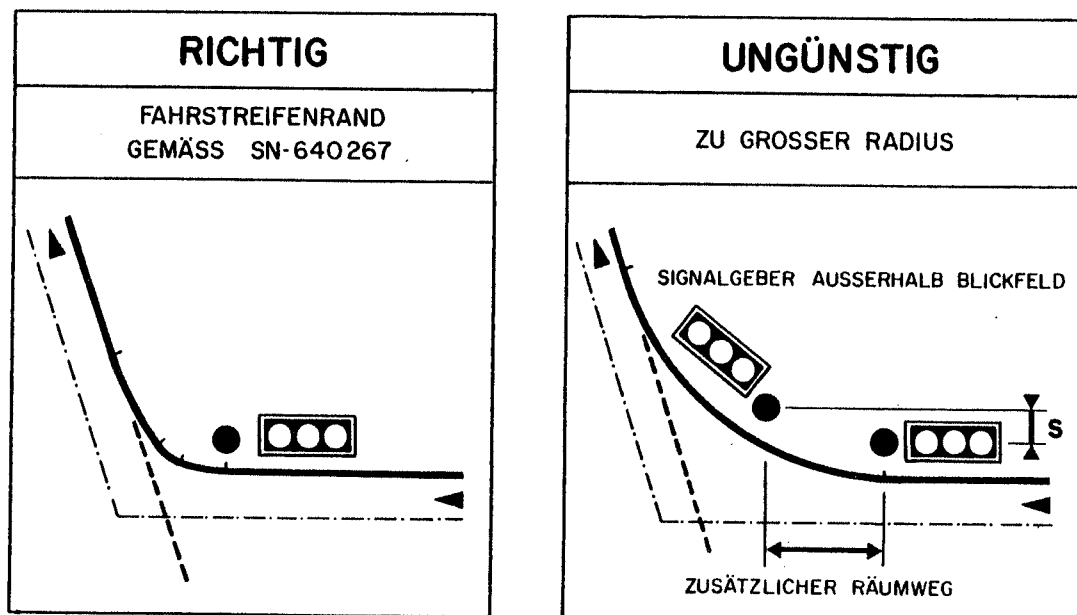
Strassenlängsneigungen

Bei Längsneigungen von über 5% treten zusätzliche Erschwernisse (verzögertes Anfahren insbesondere der Lastwagen, längere Anhaltewege bei winterlichen Strassenverhältnissen etc.) auf, die bei der Planung von Lichtsignalanlagen gebührend zu berücksichtigen sind. Bei Neuanlagen, die mit Lichtsignalanlagen ausgerüstet werden, sind Neigungen von über 5% zu vermeiden.

Radien

Bei den Lichtsignalanlagen erfolgt die zeitliche Trennung der feindlichen Verkehrsströme durch eine Knotenräumzeit, welche von den Räumwegen der verschiedenen Fahrzeuge bestimmt wird. Die Signalgeber sind daher möglichst dicht an den Knotenbereich zu rücken, damit die Räum- bzw. Anfahrwege kurz gehalten werden. Unnötig grosse Ausrundungsradien und grosse Vorbögen sind unzweckmässig (SN 640 263 - 640 269).

Abb. 5: Radien der Fahrstreifen



Zudem ist darauf zu achten, dass ausreichende Sichtverhältnisse bestehen (SN 640 090 und 640 130 a).

Knotenausfahrt

Die Ausfahrten sollen eine grössere Fahrstreifenbreite aufweisen als die Zufahrten (SN 640 147). Die Ausfahrten müssen so viele Fahrstreifen besitzen, wie die korrespondierenden Zufahrten, die in einer Phase zusammen 'Grün' erhalten. Eine Reduzierung der Anzahl Fahrstreifen kann, wenn nötig, nach ca. 50 m erfolgen. Die Ausfahrten sind durch

zeitlich unbegrenzte Halteverbote freizuhalten.

Auf der Knotenausfahrt sollten alle Fahrzeuge einer Grünzeitkolonne unbehindert Aufnahme finden, damit bei Signalwechsel der Verkehr der nächsten Phase nicht behindert wird.

4.2.3 Besonderheiten bestimmter Verkehrsarten

Öffentlicher Verkehr

Der öffentliche Verkehr (Tram, Bus und Trolleybus) ist in die Verkehrssteuerung einzubeziehen. Aus der Sicht des öffentlichen Verkehrs sind folgende Besonderheiten zu berücksichtigen:

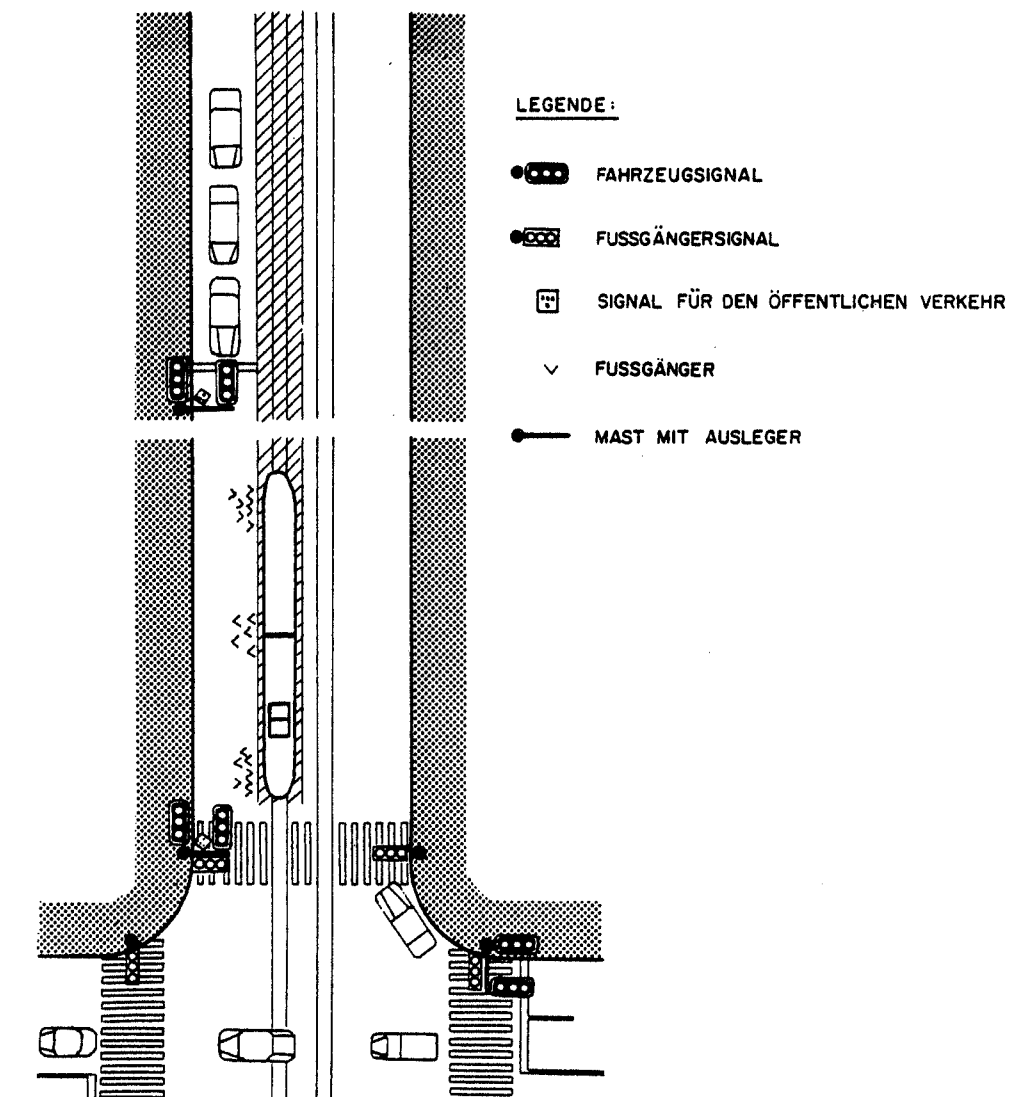
- Für den öffentlichen Verkehr sind die Verzögerungen durch Lichtsignalanlagen möglichst gering zu halten.
- Die Knotendurchfahrt des öffentlichen Verkehrsmittels sollte, wenn möglich, ohne Konflikt mit abbiegenden Fahrzeugströmen erfolgen. Die Fahrstreifenaufteilung der übrigen Verkehrsteilnehmer sollte so gewählt werden, dass gleichzeitig mit der Freigabe für den öffentlichen Verkehr möglichst viele Fahrzeuge den Knoten passieren können.
- Im Staubereich sollte der öffentliche Verkehr gegenüber den übrigen Verkehrsteilnehmern bevorzugt werden. Dies kann räumlich durch Anordnung von separaten Fahrstreifen oder zeitlich durch Räumung der vor dem öffentlichen Verkehrsmittel gestauten Fahrzeuge erfolgen. Bei kombinierter Führung von Tram und Bus ist das grössere Lichtraumprofil der Busse zu beachten.

Sind im Bereich eines lichtsignal-gesteuerten Knotens Haltestellen einzurichten, so stellt sich die Frage, ob diese vor oder nach dem Knoten anzuordnen sind. Mit Hilfe der modernen Anmelde Mittel (Sender und Empfänger für die Standortbestimmung der Fahrzeuge) sind beide Varianten möglich. Die Haltestelle kann deshalb nach den örtlichen Gegebenheiten (Fahrtrichtungen des Verkehrsmittels, Einzugsgebiet,

Platz für Inseln bzw. Buchten inkl. Zugänge etc.) angeordnet werden (SN 640 630).

Die Breite von Haltestelleninseln sollte mindestens 1.80 m betragen. Ihre Länge richtet sich nach den Fahrzeuglängen der eingesetzten Verkehrsmittel. Können bei Tramanlagen keine Inseln erstellt werden, so kann der Haltestellenbereich durch Lichtsignale geschützt werden (sog. Zeitinsel).

Abb. 6: Zeitinsel für den öffentlichen Verkehr



Fussgängerverkehr

Konflikte zwischen dem Fussgängerverkehr und den abbiegenden Fahrzeugen sind nach Möglichkeit zu vermeiden (geeignete Phasenbilder, Abbiegeverbote, evtl. Unter- bzw. Ueberführungen bei wichtigen Uebergängen). Insbesondere im Bereich von Fussgängerzonen ist eine attraktive Gestaltung der Fussgängerübergänge wichtig. Längere Wartezeiten für Fussgänger auf Mittelinseln sollten ebenfalls vermieden werden. Ist ein Zwischenhalt unumgänglich, so ist auf ausreichende Breite der Mittelinsel zu achten (mindestens 2 m).

Sind Konflikte zwischen Fussgängern und abbiegenden Fahrzeugen unausweichlich, so ist die Lage der Fussgängerübergänge speziell zu prüfen. Fussgängerstreifen möglichst nahe am Knoten erhöhen infolge der besseren Sichtverhältnisse und der vielfach geringeren Geschwindigkeit der abbiegenden Fahrzeuge die Sicherheit für Fussgänger. Normalerweise führt diese Anordnung zu langen Uebergängen, womit Leistungseinbussen am Knoten entstehen können. Vom Knoten zurückversetzte Fussgängerstreifen sind üblicherweise kürzer. Zudem entsteht oft genügend Raum, dass einzelne abbiegende Fahrzeuge den geradeaus fahrenden Hauptstrom nicht behindern. Vielfach ist jedoch die Sicht der Lenker auf den Fussgängerstreifen beeinträchtigt.

Bei Fussgängerstreifen, die mit abbiegenden Fahrzeugen 'Grün' erhalten, ist ein Vorstart für Fussgänger anzustreben. Der Fussgänger befindet sich dann beim Eintreffen der Fahrzeuge bereits auf dem Streifen. Sein Vortritt ist dadurch für den Fahrzeugführer leichter erkennbar.

Im Bereich der Fussgängerstreifen sollte ein ausreichender Stauraum (Trottoirverbreiterungen) vorhanden sein. Es kann dabei eine Warteflächenausnutzung von drei Personen pro Quadratmeter angenommen werden.

Radfahrerverkehr

Der Einbezug eines separat geführten Radweges in eine Lichtsignalanlage schafft Probleme bezüglich Platzbedarf, unzulässigen Konflikten zwischen Radfahrern, abbiegenden Fahrzeugströmen oder kreuzenden Fussgängern und bedingt vielfach grössere Zwischenzeiten. Die Leistungsfähigkeit der Anlage wird damit reduziert. Die Probleme sind nur schwer zu lösen.

Separat geführte Radwege müssen deshalb oft im Vorsortierbereich eines Knotens aufgehoben werden. Bei starkem Radverkehr ist eine separate Regelung anzustreben. Im übrigen sind die Bedürfnisse des Radfahrerverkehrs auch bei der Bemessung der Fahrstreifenbreite zu berücksichtigen.

4.3 Verkehrsbelastungen

4.3.1 Dimensionierungsgrundlage

Verkehrszählungen bilden die Grundlage zur:

- Wahl des Steuerungsverfahrens (Kap. 3.2),
- Festlegung der Phasen (Kap. 5.3),
- Grünzeitberechnung (Kap. 5.4.3),
- Festlegung der Anzahl der Programme (Kap. 5.6).

Notwendige Grunddaten

Zur Projektierung einer Lichtsignalanlage sind in erster Linie die Strombelastungen während den Spitzenstunden notwendig. Aufgrund dieser Erhebungen sind massgebende Verkehrsbelastungen für die Dimensionierung der Lichtsignalanlagen festzulegen. Diese sollten einerseits die kurzfristig höheren Belastungsspitzen (z.B. 15 Minuten-Spitze) abdecken, andererseits auch abschätzbare zukünftige Belastungsänderungen berücksichtigen.

Ganglinien

Um einen optimalen Verkehrsablauf zu gewährleisten, muss die Lichtsignalanlage so eingestellt werden, dass den zeitlichen Schwankungen Rechnung getragen wird. Kurzzeitige Verkehrserhebungen, die in jedem Fall nur eine bescheidene Strichprobe darstellen, reichen nicht aus, um sich ein Bild über den zeitlichen Verlauf des Verkehrs über einen längeren Zeitraum zu machen. Sie sollten ergänzt werden durch ausreichende Kenntnisse der örtlichen Verhältnisse sowie Ganglinien des Verkehrs, die entweder zusätzlich zu ermitteln sind oder aufgrund ähnlicher Verhältnisse bei anderen Zählstellen festgestellt werden können (beispielsweise Bundesamt für Strassenbau: "Automatische Strassenverkehrszählungen").

4.3.2 Minimale Verkehrserhebungen

Umfang

Der Umfang der durchzuführenden Erhebungen richtet sich nach der Lage des zu untersuchenden Knotenpunktes und den verfügbaren Unterlagen in der Nachbarschaft. In städtischen Verhältnissen ist diesbezüglich oft ausreichendes Grundlagenmaterial vorhanden. Knoten in ländlichen Gebieten erfordern eher eine sorgfältige Datenerhebung. Von Bedeutung ist dabei die enge Vertrautheit des Projektierenden mit den örtlichen Verhältnissen, da einerseits subjektive Beurteilungen nicht zu umgehen sind, andererseits diese Verhältnisse oft spezifische Ergänzungen gegenüber den empfohlenen minimalen Erhebungen verlangen, zum Beispiel in bezug auf Fussgängerströme etc.

Minimale Erhebungen in städtischen und halbstädtischen Verhältnissen

In städtischen und halbstädtischen Verhältnissen, wo der Spitzenverkehr während den Werktagen (Montag bis Freitag) massgebend ist, sollen die Strombelastungen im 15 Minuten-Intervall mindestens über folgende Zeiten eines Werktages erhoben werden:

- 1 1/2 Stunden während der Morgenspitze
- 1 Stunde während einer typischen Zwischenzeit des Tages (d.h. zwischen 8.30 bis 11.00 und 14.30 bis 16.00 Uhr)
- 1 1/2 Stunden während der Abendspitze.

Je nach den örtlichen Verhältnissen sind auch Zählungen bei Arbeitschluss bzw. Arbeitsbeginn über Mittag notwendig.

Minimale Erhebungen in ländlichen Verhältnissen

In allen übrigen Fällen, wo der Spitzenverkehr nicht während den Werktagen auftritt, sollen die Erhebungen mindestens über folgende Zeiten durchgeführt werden:

- 1 Stunde während typischen Zwischenzeiten (z.B. zwischen 14.30 - 16.30 Uhr) eines Dienstags, Mittwochs oder Donnerstags
- 1 1/2 Stunden während der Abendspitze eines Dienstags, Mittwochs oder Donnerstags
- 1 Stunde mit den grössten Belastungen des Vormittags (z.B. 11.00 - 12.00 Uhr) eines Sonntags mit starkem Verkehr
- 1 Stunde mit den grössten Belastungen des Nachmittags (zwischen 16.00 - 20.00 Uhr) eines Sonntags mit starkem Verkehr.

Randbedingungen für Verkehrserhebungen

Für die Organisation, die Durchführung und die Auswertung ist die SN 641 210 a massgebend. Die Zähltag, die repräsentativen Wetterbedingungen (z.B. bei grösserem Anteil Zweiradverkehr) etc. sind entsprechend den örtlichen Verhältnissen auszuwählen. Bei den Erhebungen werden im allgemeinen die einzelnen Verkehrsmittel (Personenwagen, Lastwagen, Lastenzüge, Radfahrer etc.) getrennt erhoben*. Diese Angaben dienen der Ueberprüfung der Standard-Verkehrsmischungen (vgl. Seite 37).

4.3.3 Massgebende Verkehrsbelastungen

Kurzfristige Spitzenbelastungen

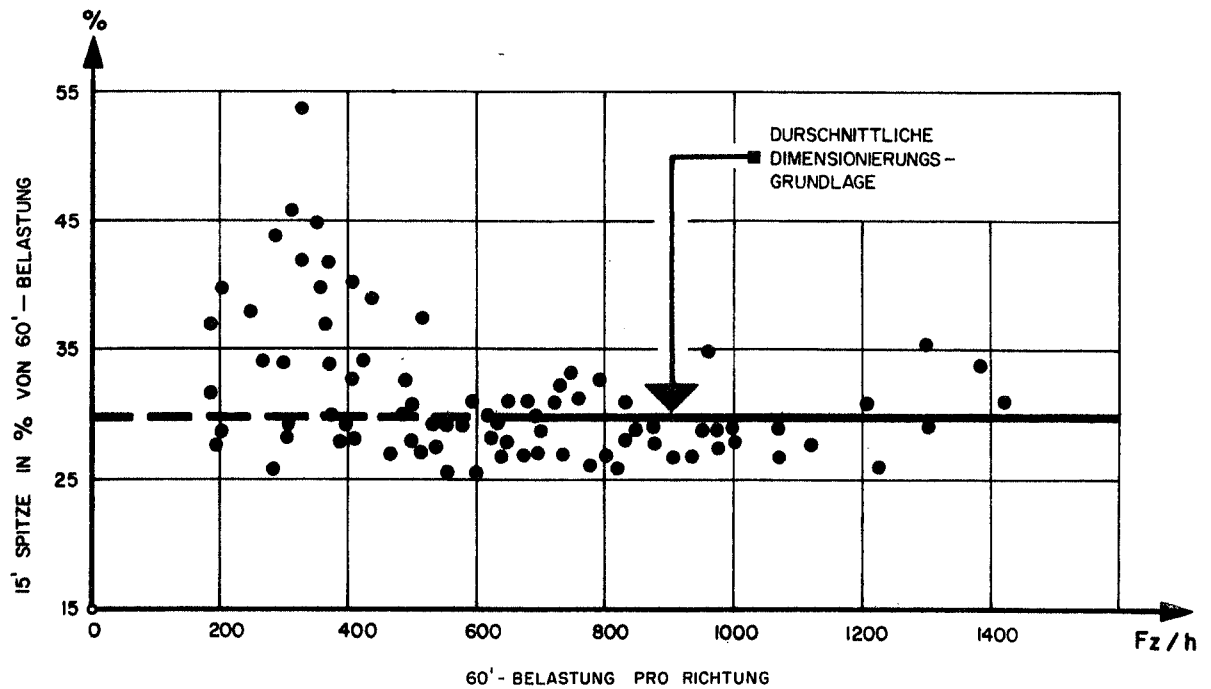
Der anfallende Verkehr kann innerhalb einer Spitzenstunde noch derart schwanken, dass sich bei der Verwendung der effektiven Stundenbelastungen für die Dimensionierung einer Lichtsignalanlage unhaltbare Zustände ergeben könnten. Beobachtete Viertelstundenwerte einer

*) Forschungsauftrag 16/79: "Vereinheitlichung von Verkehrsbefragungen",
SNZ Ingenieurbüro 1980

Verkehrsrichtung sind in Abb. 7 als prozentuale Anteile des Spitzenstundenverkehrs dargestellt.

Abb. 7: Belastungen der 15-Minuten-Spitze in % der entsprechenden Spitzenstundenbelastung

(Lit. 4)



Je kurzfristiger eine Belastungsspitze ist, desto grösser ist im allgemeinen die Zufälligkeit ihres Auftretens. Es ist aber unwirtschaftlich, eine Lichtsignalanlage auf absolute Spitzen auszurichten, die selten vorkommen.

Massgebende Belastung

Im allgemeinen wird der Dimensionierung von Lichtsignalanlagen die Verkehrsmenge der massgebenden Spitzenviertelstunde zu Grunde gelegt. Diese wird entweder aufgrund direkter Messungen bestimmt oder aber berechnet. Dabei wird üblicherweise angenommen, dass ihr Anteil 30%

der als massgebend festgestellten stündlichen Verkehrs (MV*) beträgt. Oertlich festgestellte Abweichungen sind zu berücksichtigen.

Wird der Dimensionierung der Zeitraum von einer Stunde zu Grunde gelegt, so wird empfohlen, mit dem vierfachen Wert der maximalen 15-Minuten-Belastung zu rechnen oder vereinfacht den 1,2-fachen Wert des als massgebend festgelegten stündlichen Verkehrs anzusetzen.

Die der Dimensionierung zu Grunde gelegte Verkehrsmenge wird in einem Strombelastungsplan dargestellt (vgl. SN 641 210 a).

Verkehrsmischung

Untersuchungen an lichtsignal-gesteuerten Knoten (Lit. 21) haben gezeigt, dass im Normalfall die Verkehrsmischung in drei typische Fälle eingeteilt werden kann:

Tab. 2: Typische Verkehrsmischung

Fall	PW	LW	Zweiräder	durchschnittlicher Platzbedarf pro Fahrzeug (LFz)
(1)	100%			6,00 m
(2)	70%	10%	20%	5,40 m
(3)	40%	5%	55%	3,50 m

Die entsprechende Standard-Mischung wird auf Grund der Verkehrszählung festgelegt. Aussergewöhnliche Verhältnisse sind speziell zu berücksichtigen.

* Mandat de recherche 19/78: "Trafic déterminant capacité et charge admissible des noeuds routiers" Robert-Grandpierre et Rapp S.A. Lausanne, 1980

5. BEMESSUNG DER LICHTSIGNALANLAGE

5.1 Signalzeiten

Grünzeit

Die Grünzeit umfasst die Zeitdauer, während der einem Fahrzeugstrom ein Grünsignal gegeben wird. Die Grünzeit soll ein Minimum nicht unterschreiten, da sonst die Verkehrsteilnehmer verunsichert werden.

Tab. 3: Minimale Grünzeiten

Verkehrsteilnehmer	Minimale Grünzeit	Bemerkungen
Fahrzeugverkehr	8 sec. (6 sec.)	inkl. 1. Verlängerung (vgl. Kap. 5.5)
Radfahrer	8 sec. (6 sec.)	
Fussgänger	5 sec.	
öffentlicher Verkehr	5 sec.	

Die Dauer der Grünzeit richtet sich nach dem Verkehrsanfall. Sie sollte jedoch nicht zu gross sein. Bei einer Grünzeitdauer von 15 - 20 sec. ergeben sich im allgemeinen die besten Verkehrsabläufe.

Gelbzeit

Die Gelbzeit kündigt den Signalwechsel auf Rot an. Sie soll verhindern, dass Verkehrsteilnehmer der vorher freien Richtung in der darauf folgenden Rotzeit in den Konfliktbereich einfahren. Die Dauer der Gelbzeit richtet sich nach der zulässigen Geschwindigkeit der Zufahrtstrecke. Für die empfohlene Zufahrtsgeschwindigkeit von max. 60 km/h soll die Gelbzeit einheitlich 3 sec. betragen. Höhere Zufahrtsgeschwindigkeiten erfordern längere Gelbzeiten.

Bei Signalen für Fussgänger sollte die Räumzeit durch Gelb gesichert werden (vgl. SSV Art. 68, Abs. 7), was zur Vereinheitlichung der Signalgebung allgemein eingeführt werden sollte.

Rotzeit

Die Rotzeit umfasst die Zeitdauer, während der einem Fahrzeugstrom ein Rotsignal gegeben wird. Sie ergibt sich aus der Summe der Grün- und Gelbzeit der mit dem Verkehrsstrom nicht verträglichen Konfliktströme sowie einer eventuellen Alles-Rotzeit.

Rot/Gelb-Zeit

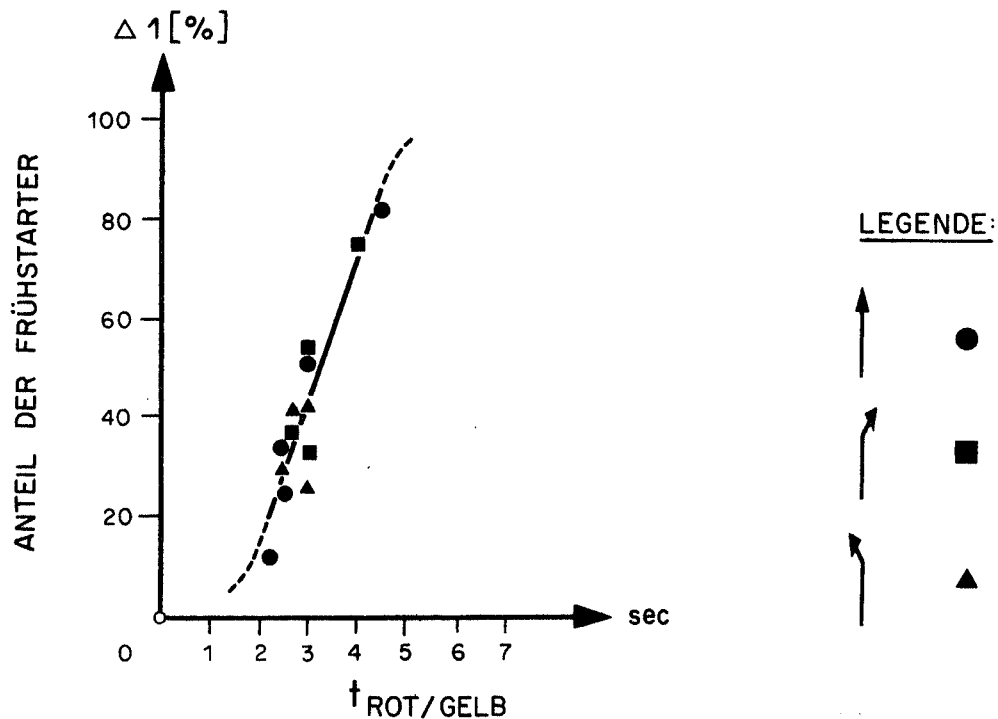
Die Rot/Gelb-Zeit dient der Vorbereitung auf den Signalwechsel auf Grün. Die Berücksichtigung der Rot/Gelb-Zeit bei der Planung von Lichtsignalanlagen hat einerseits eine psychologische Wirkung, indem sie zu einer Beruhigung vor allem der vordersten Fahrzeuglenker führt, andererseits können damit die Anfahrverluste bei den ersten zwei bis drei Fahrzeugen reduziert werden. Ausserdem werden dadurch bessere Voraussetzungen für das Motorabstellen und damit zu geringerer Umweltbelastung und zur Energieeinsparung gegeben.

Aus der Sicht der Lichtsignalsteuerung sind jedoch folgende Probleme zu beachten:

- Untersuchungen bei Lichtsignalanlagen haben gezeigt, dass der Anteil der Frühstarter mit zunehmender Dauer der Rot/Gelb-Zeit stark steigt (Abb. 8). Die Rot/Gelb-Zeit sollte 1 - 2 Sekunden betragen aber keinesfalls länger als 2 Sekunden sein. Signalbilder von lediglich einer Sekunde Dauer können durch bestehende Toleranzen bei der Schrittgenauigkeit der Apparate beeinflusst werden.

Abb. 8: Anteil der Frühstarter in Abhängigkeit der Dauer der
Rot/Gelb-Zeit

(Lit. 9, 13 und 18)



- Bei der Berechnung der Zwischenzeiten sollte zur Berücksichtigung der "fliegenden Starts" die Rot/Gelb-Zeit mindestens teilweise als Grünzeit eingesetzt werden. Die Einführung einer Rot/Gelb-Zeit von 1 - 2 Sekunden führt darum vermutlich zu keinem Leistungsgewinn.

Da die Rot/Gelb-Zeit in der Schweiz leider sehr unterschiedlich gehandhabt wird, sind jeweils die örtlich gültigen Richtlinien zu beachten. Die SVI-Forschungsgruppe 18/79 bearbeitet z.Zt. diesen Problemkreis. Es soll abgeklärt werden, welche der beiden Regelungsarten Rot-Gelb vor Grün oder der direkte Uebergang auf Grün mit Würdigung verschiedenster Kriterien die empfehlenswertere ist.

5.2 Generelles Vorgehen

Iteratives Vorgehen

Die Berechnung einer Lichtsignalsteuerung bedingt ein iteratives Vorgehen (Anhang 1).

In einem ersten Schritt wird auf Grund der massgebenden Belastung sowie allfälliger weiterer Randbedingungen (Knotensituation, öffentlicher Verkehr etc.) ein Entwurf einer Fahrstreifeneinteilung skizziert. Dieser bildet die Grundlage zur Bildung der Phasen sowie deren mögliche Reihenfolge (Kap. 5.3). Hierauf können die Zwischenzeiten von einer Phase zur anderen ermittelt werden (Kap. 5.4.1).

Wird die Lichtsignalanlage mit einer Festzeitsteuerung ausgerüstet, ist durch Aenderung der Phasenfolge, evtl. durch Neubildung der Phasen bzw. Fahrstreifenaufteilung die kleinste Summe der Zwischenzeiten zu suchen. Bei einer verkehrsabhängigen Steuerung ist diese Optimierung nicht zwingend, da die Phasenreihenfolge vielfach durch den Verkehr selbst bestimmt wird.

Berechnung der Signalzeiten

Stehen die Phasenfolgen sowie die Zwischenzeiten fest, so können die Umlaufzeiten, die Grünzeiten etc. ermittelt werden. Bei verkehrsabhängigen Anlagen erfolgt diese Berechnung nur für das theoretische Maximum der Steuerung. Diese Berechnung gestattet einerseits den Leistungsnachweis und andererseits, die maximal mögliche Verlängerung der einzelnen Phasen bzw. Verkehrsströme zu bestimmen. In diesem Fall müssen zudem noch die Mindestgrünzeiten sowie die Verlängerungszeiten der einzelnen Phasen festgelegt werden (vgl. Seite 65/66).

Ueberprüfung der Stauräume

Nachdem die Steuerung der Signalanlage berechnet ist, müssen für deren Maximalbelastung noch die Staulängen der einzelnen Fahrstreifen überprüft werden (vgl. Seite 68). Sind diese unzureichend, so ist zu prüfen, ob sie durch eine veränderte Fahrstreifeneinteilung verbessert werden können.

5.3 Phasengestaltung

5.3.1 Phasenbildung

Fahrstreifenaufteilung

Auf Grund der massgebenden Verkehrsbelastungen, der verfügbaren Verkehrsfläche sowie der vorhandenen Stauräume müssen die Anzahl Fahrstreifen je Zufahrt provisorisch bestimmt werden. Ein wichtiges Kriterium für die Wahl der Fahrstreifenaufteilung ist die Leistungsfähigkeit. Sie ist abhängig von

- der Anzahl der Phasen,
- der Länge der Umlaufzeit,
- dem Anteil der Zwischenzeiten,
- der vorgeschriebenen Fahrtrichtung respektive der Geometrie,
- den Steigungsverhältnissen,
- der Anzahl und der Charakteristik der Fahrstreifen sowie
- der Verkehrsmischung.

Daneben können auch andere Kriterien wie konfliktfreie Regelung des öffentlichen Verkehrs oder der Fussgänger in der Nähe von Fussgängerzonen massgebend sein.

Abbiegerströme

Bei Lichtsignal-gesteuerten Knoten bieten die Abbiegerströme oft besondere Schwierigkeiten, da sie

- in vielen Fällen schwach belastet sind,
- im Fall des Linksabbiegers Konfliktmöglichkeiten mit anderen Verkehrsströmen aufweisen können oder
- im Fall des Rechtsabbiegers Konflikte mit Fussgängerübergängen ergeben.

Hinzu kommt, dass in manchen Fällen sowohl die vorhandene Verkehrsfläche als auch die Leistungsfähigkeit für eine signaltechnisch gesicherte Abwicklung der Abbiegerströme nicht ausreichen.

Gemäss der Verordnung über die Strassenverkehrsregeln (Art. 6.2) und der Verordnung über die Strassensignalisation (Art. 68.2) kann den abbiegenden Fahrzeugen gleichzeitig mit dem Gegenverkehr und den Fussgängern auf der Querstrasse 'Grün' gegeben werden. Die Lenker der abbiegenden Fahrzeuge haben den Konfliktströmen den Vortritt zu gewähren. Diese Anordnung bedeutet in der Regel einen Kompromiss zwischen zusätzlicher Verkehrssicherheit und der Leistungsfähigkeit des Knotens bzw. der verfügbaren Verkehrsfläche. Es ist darum zwingend zu prüfen, ob dieser Kompromiss zulässig ist. Dazu sind zu beachten:

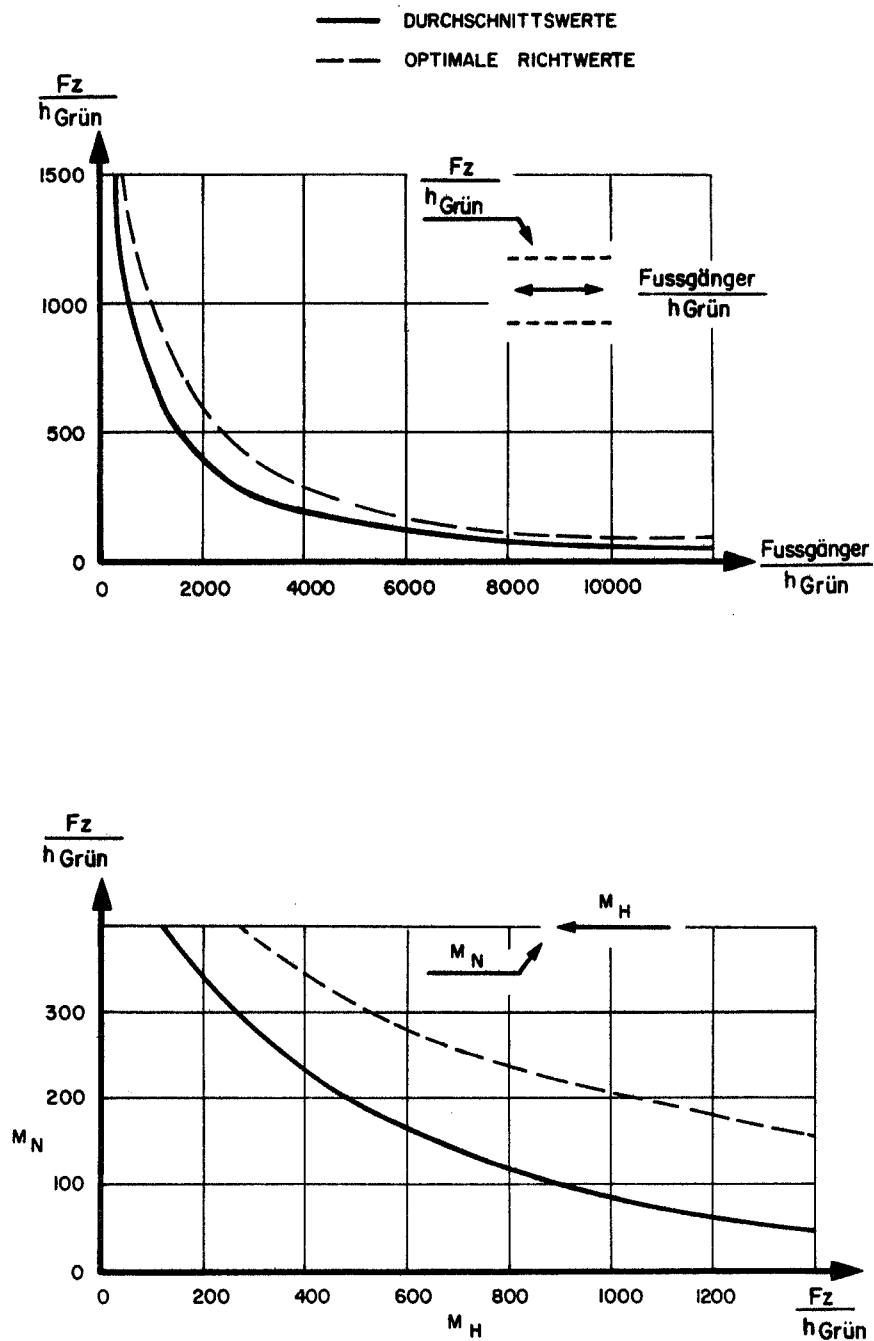
- die Belastungen der Konfliktströme,
- die möglichen Behinderungen konfliktfreier Verkehrsströme,
- die ausreichende Leistungsfähigkeit bei behindertem Abbiegen (Abb. 9),
- die möglichen Fahrgeschwindigkeiten, vor allem bei Konflikten mit Fussgängern und
- die vorhandenen Sichtverhältnisse, nicht nur in Zusammenhang mit baulichen Hindernissen, sondern auch im Hinblick auf verdeckte Sicht durch andere Fahrzeuge.

Abb. 9: Leistungsfähigkeit bei behindertem Abbiegen

(Lit. 4)

$$\text{Definition: } Fz/h_{\text{grün}} = \text{MSV} \cdot \frac{3600 \text{ sec}}{\text{vorh. Grünzeit}/h}$$

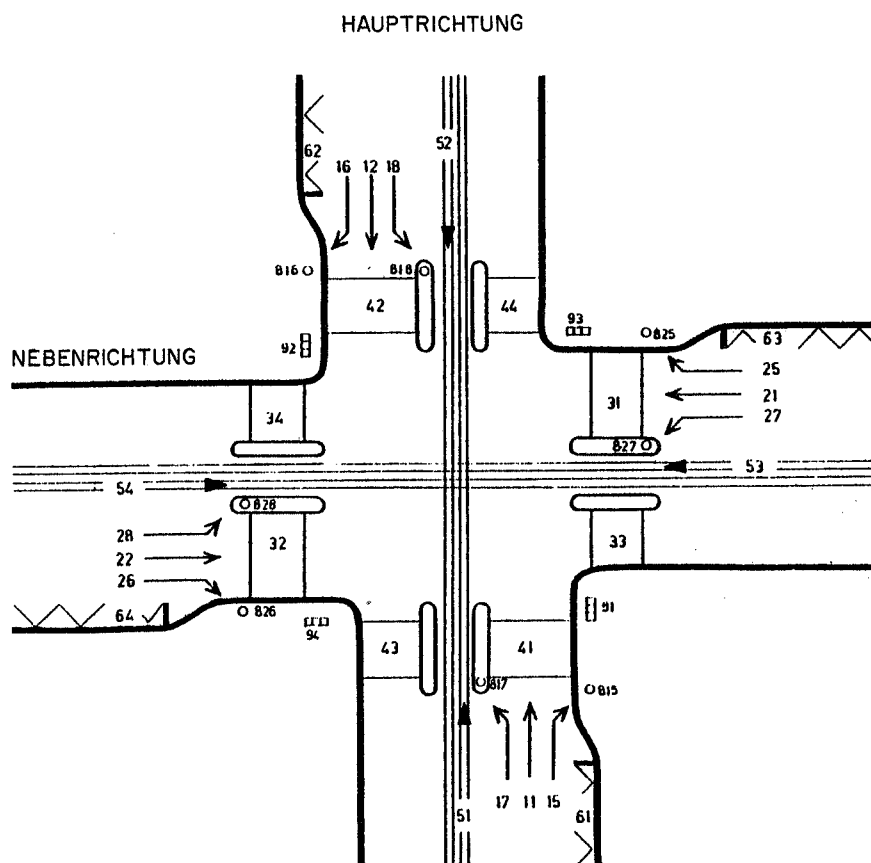
$$FG/h_{\text{grün}} = FG/h \cdot \frac{3600 \text{ sec}}{\text{vorh. Grünzeit}/h}$$



Numerierung der Fahrstreifen

Die einzelnen Fahrstreifen bzw. Verkehrsströme sind anschliessend zu numerieren, was z.B. nach folgendem Schema erfolgen kann:

Abb. 10: Numerierung der Fahrstreifen
(Lit. 7)



	Haupttrichtung	Nebenrichtung
Fahrzeugverkehr	11 bis 18	21 bis 28
Fussgänger parallel zur	31 bis 34	41 bis 44
öffentlicher Verkehr		
- Tram	51 und 52	53 und 54
- Bus	61 und 62	63 und 64
Warnblinker	815 bis 818	825 bis 828
Geschwindigkeitssignale	91 und 92	93 und 94

Phasenbildung

Bei der Kombination der diversen Fahrstreifen zu Phasen bzw. Signalbildzuständen (bei Signalgruppensteuerung) ergeben sich viele Möglichkeiten. Zur Leistungssteigerung sollten sich möglichst viele Verkehrsteilnehmer während einer Phase (eines Signalbildes) gleichzeitig auf der Konfliktfläche bewegen.

Die Phasen- resp. Signalbildeinteilung lässt sich zweckmässigerweise wie folgt durchführen:

- Alle Verkehrsströme werden mittels einfachen Pfeilen und den zugehörigen massgebenden Belastungen übersichtlich zusammengestellt.
- Die konfliktfreien Verkehrsströme können nun zu einzelnen Phasen oder Signalbildern zusammengestellt werden, wobei auf einigermaßen ausgeglichene Verkehrsmengen zu achten ist. Einzelne Verkehrsströme können dabei auch in mehreren Signalbildern auftreten.
- Nicht konfliktfreie Abbiegerströme können in den entsprechenden Phasen berücksichtigt werden, sofern dies auf Grund der Verkehrssicherheit zulässig ist.
- Die Länge der benötigten Grünzeiten wird durch die Verkehrsmenge des am stärksten belasteten Fahrstreifens innerhalb der Phase bestimmt.

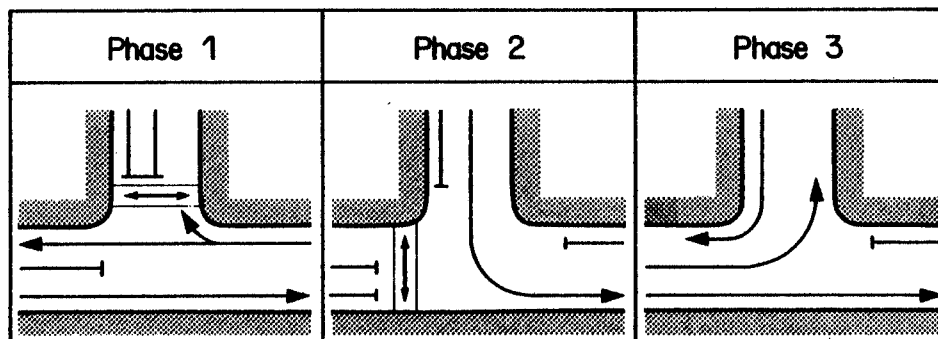
5.3.2 Phasenfolge (Reihenfolge der Signalbilder)

Die Zusammenstellung der einzelnen Phasen zum Phasenablauf erfolgt für die einzelnen Steuerungsverfahren nach unterschiedlichen Kriterien.

Bei komplizierten Knoten mit einer Vielzahl von Fahrstreifen können die besten Signalbild-Kombinationen erst mit der detaillierten Signal-

plandarstellung gefunden werden. Vielfach sind dabei die Grün- und Räumzeiten der Fussgängerstreifen - insbesondere während den verkehrsschwächeren Tageszeiten - in den einzelnen Phasen massgebend. Sind einzelne Verkehrsströme während zwei oder mehr Signalbildern freigegeben, so sollte die Phasenfolge derart gestaltet werden, dass eine zusammenhängende Grünzeit (wegen abnehmender Fahrzeugdichte nicht mehr als etwa 40 sec.) entsteht. Damit kann ein mehrmaliges neues Anfahren während einer Umlaufzeit vermieden werden.

Abb. 11: Beispiel einer Phasenreihenfolge bei einer Einmündung



Festzeitgesteuerte und teilverkehrsabhängige Anlagen

Bei festzeitgesteuerten und teilverkehrsabhängigen Einzelknoten ist jener Ablauf zu wählen, der die kleinste Summe der Zwischenzeiten und somit die kürzeste Umlaufzeit aufweist.

Vollverkehrsabhängige Einzelanlagen

Bei vollverkehrsabhängigen Einzelanlagen werden die Signalbilder auf Grund der Anmeldungen der einzelnen Fahrstreifen ausgewählt. Somit sind alle Uebergänge von einem Signalbild zum anderen zu gewährleisten. Dem sich bei Vollast ergebenden starren Ablauf ist spezielle Beachtung zu schenken, weil eine Summierung aller Maximalzeiten nicht ohne weiteres zweckmässig ist (zu lange Umlaufzeiten). Es muss der Ablauf mit der kleinsten Summe der Zwischenzeiten gewährleistet werden.

Zusätzliche Randbedingungen für die Festlegung der Phasenfolge können bilden:

- einzelne starke Ströme (z.B. starke Fussgängerströme),
- Verkehrsströme, die in mehreren Phasen 'Grün' erhalten, oder
- Verkehrsströme, die nachfolgende Ströme behindern.

5.3.3 Sonderregelungen

Fussgängersignalanlage

Der Fussgängerverkehr und der Fahrzeugverkehr behindern sich gegenseitig. Zudem ist der Fussgänger der schutzbedürftigere Verkehrsteilnehmer. Diese Gründe führen bei Fussgängerübergängen, insbesondere in der Nähe von Schulhäusern, Altersheimen etc., immer wieder zur Forderung nach Lichtsignalanlagen. Diese Anlagen werden mit Anmelde Mitteln für die Fussgänger ausgerüstet, damit die Verkehrsströme nicht grundlos zurückgehalten werden. Sie weisen üblicherweise zwei Phasen auf und zeigen in der Grundstellung in der Regel 'Grün' für den Fahrzeugverkehr *. Bei einer Anmeldung schaltet die Anlage nach Ablauf einer garantierten minimalen Grünzeit und der Zwischenzeit auf 'Grün' für die Fussgänger. Die Umschaltung auf die Fussgängerphase kann auch von einer minimalen Zeitlücke im Fahrzeugstrom abhängig gemacht werden, die mittels Detektoren festgestellt werden kann. Dadurch lässt sich die Gefahr des Missbrauchs vermindern. Es ist jedoch zu gewährleisten, dass die Wartezeit für die Fussgänger nicht übermässig lang wird (erwünscht sind weniger als 60 Sekunden).

*) Daneben sind auch Anlagen gebräuchlich, die nur bei Bedarf (sogenannt: bedarfsgesteuert) eingeschaltet werden und anschliessend in den Ruhezustand - "dunkel" - zurückkehren.

Öffentlicher Verkehr

Die öffentlichen Verkehrsmittel, gleichgültig ob Tram ¹⁾, Trolleybus oder Bus, sollten Priorität geniessen. Dies ist mit modernen Anmelde-
mitteln ohne weiteres möglich. Sonderregelungen für das öffentliche
Verkehrsmittel können sein:

- Kurze Zwischenphasen,
- Vorstarts und Nachlauf (Phasenverlängerung) oder
- Spezielle Programme.

Durch entsprechende Signale (Geschwindigkeitsangaben, Warnung durch
optische Signale etc.) können den Führern von öffentlichen Ver-
kehrsmitteln zusätzliche Informationen übermittelt werden.

Die Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs bewirkt in den meisten Fällen
eine Benachteiligung der übrigen Verkehrsteilnehmer. Die Auswirkungen
der vorgesehenen Sonderregelungen sind deshalb sorgfältig zu prüfen
(Leistungseinbusse, zusätzliche Wartezeiten, grössere Staulängen etc.).

1) Gemäss "Eisenbahngesetz" sowie "Verordnung über die Signalisierung von
Bahnübergängen" (15.12.75) unterstehen Regelungen für alle schienenge-
bundenen Verkehrsmittel der Genehmigungspflicht durch das Bundesamt für
Verkehr.

5.4 Berechnung der Signalzeiten

5.4.1 Die Zwischenzeiten

Zusammenhänge

Die Zwischenzeiten errechnen sich aus der Räumzeit des letzten Fahrzeuges, das bei Grünende der auslaufenden Phase die Haltelinie passiert, minus die Anfahrzeit des ersten Fahrzeuges, das von der Haltelinie der anlaufenden Phase wegfährt. Die Zwischenzeiten sind unabhängig von der Belastung der jeweiligen Verkehrsströme.

Beide Vorgänge, Räumen und Anfahren, hängen von zahlreichen Parametern ab, die nur unvollständig mathematisch erfasst werden können. Es rechtfertigt sich deshalb ein einfaches, empirisch ermitteltes Berechnungsmodell, das etwa 90% aller Räum- und Anfahrvorgänge abdeckt (sowohl den "fliegenden Start" als auch das Anfahren aus dem Stand). Für die detaillierte Behandlung dieses Berechnungsmodells wird auf die Literatur 7 verwiesen.

Berechnung der Zwischenzeit

Die Methode stützt sich auf die folgenden vier Parameter für die vier Verkehrsteilnehmer: Fahrzeugverkehr, öffentlicher Verkehr, Radfahrer und Fussgänger:

$r \quad \left[\text{sec} \right]$ = Räumintervall bezüglich des Hecks des letzten Fahrzeuges an der Haltelinie nach Gründende; es umfasst auch die überfahrene Gelbzeit

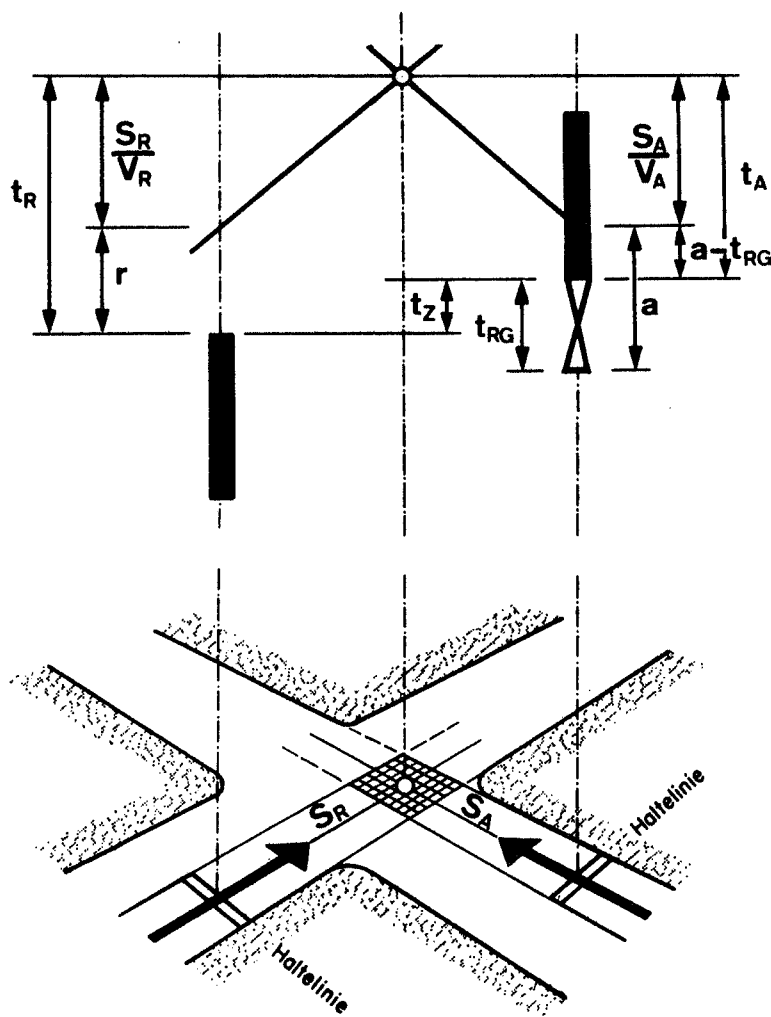
$v_R \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$ = Räumgeschwindigkeit des letzten Fahrzeuges

$a \quad \left[\text{sec} \right]$ = Anfahrintervall bezüglich der Front des ersten Fahrzeuges an der Haltelinie (inkl. Sicherheitszeit)

$v_A \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$ = Anfahrgeschwindigkeit des ersten Fahrzeuges (vereinfacht analog der Räumgeschwindigkeit).

Die Formeln für die Berechnung der Zwischenzeit t_Z lauten demnach wie folgt (Lit.7):

$$\begin{aligned}
 t_Z &= t_R - t_A \quad [\text{sec}] \quad \text{wobei} \\
 t_R &= r + \frac{S_R}{V_R} \quad [\text{sec}] \\
 t_A &= a + \frac{S_A}{V_A} - t_{RG} \quad [\text{sec}]
 \end{aligned}$$



t_Z = Zwischenzeit

t_R = Räumzeit

t_A = Anfahrzeit

S_R = Räumweg

S_A = Anfahrweg

V_R = Räumgeschwindigkeit

V_A = Anfahrgeschwindigkeit

a = Anfahrintervall Fahrzeugspitze

r = Räumintervall Fahrzeugende

t_{RG} = Rot/Gelb vor Grün (eventuell)

Richtwerte

Für die Räum- und Anfahrintervalle sowie die Räum- und Anfahrgeschwindigkeiten können für die vier verschiedenen Verkehrsmittel folgende Werte verwendet werden:

Tab. 4: Richtwerte zur Bestimmung der Zwischenzeiten

	r	V_R	a	V_A 2)
	4 sec	15 m/sec	1 sec	15 m/sec
	7 sec ¹⁾	10 m/sec	3 sec	10 m/sec
	1 sec	5 m/sec	1 sec	5 m/sec
	0 sec	1.2 m/sec	-	-

1) nicht auf Heck, sondern auf 15-20 m Wagenlänge bezogen

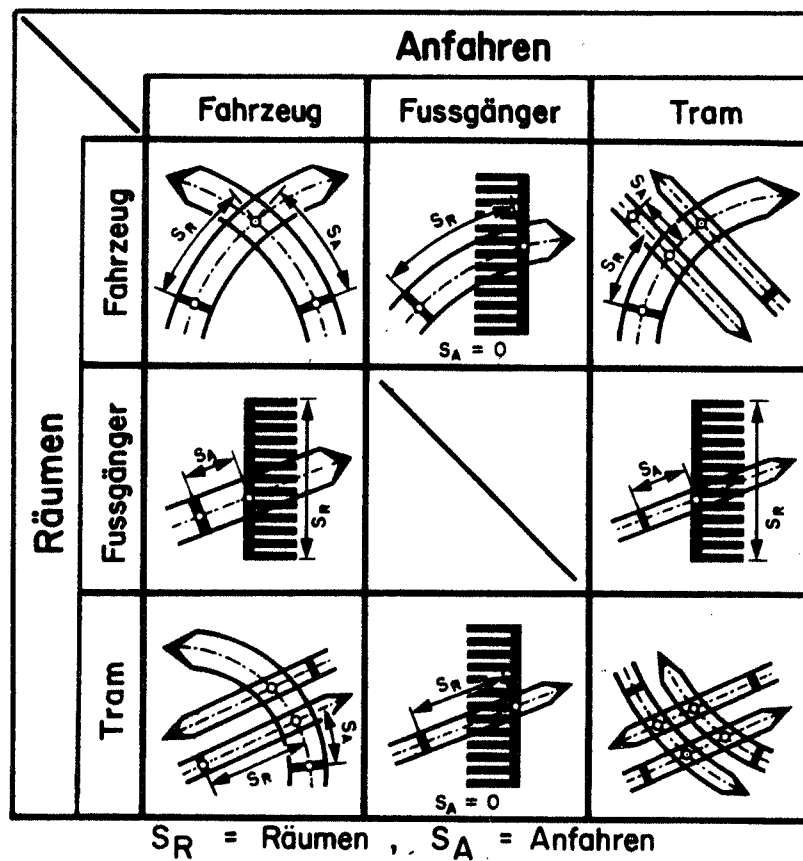
2) Werte der Anfahrgeschwindigkeit auf sicherer Seite; decken fliegende Starts teilweise ab

Diese Richtwerte sind gültig für übliche Knotenverhältnisse und Innerortsgeschwindigkeiten bis 60 km/h. Bei aussergewöhnlichen Knotengeometrien, insbesondere bei Situationen mit Räumwegen von mehr als 30 m, ist die Zwischenzeitberechnung anhand spezifischer Messwerte differenziert zu überprüfen. Die angegebenen Geschwindigkeitsrichtwerte sind an und für sich relativ hoch, haben sich aber für die Berechnung der Zwischenzeiten in normalen Situationen bewährt.

Messregeln

Bei der Anwendung dieses Berechnungsverfahrens sind folgende Regeln zu beachten:

Abb. 12: Messregeln für die Räum- und Anfahrwege



Rundungsregel

Die errechneten Zwischenzeiten sind auf volle Sekunden aufzurunden.

Grenzwerte

Die Zwischenzeiten der Signalgruppen, die für die Leistung der Anlage nicht massgebend sind, sollen mindestens das 'Gelb' des Räumenden plus 1 sec alles 'Rot' plus evtl. das 'Rot/Gelb' des Anfahrens umfassen.

Bei den Zwischenzeiten der Signalgruppen, die für die Leistung der Anlage massgebend sind, stellt 1 sec das absolute Minimum dar.

Die Gelbzeit der Fussgänger sollte 8 sec nicht überschreiten, da diese sonst erneut den Streifen betreten. Anstelle überlanger Gelbzeiten kann ein Anteil Rotzeit (z.B. 2/3 'Gelb' und 1/3 'Rot') vorgesehen werden. Bei knapper Leistungsfähigkeit des Knotens können allenfalls die Räumzeiten für die Fussgänger auch nur für den Weg bis zur Mittelinsel bemessen werden.

Vorgehen

Zweckmässigerweise werden die Zwischenzeiten der einzelnen Signalgruppen in Form einer Matrix zusammengestellt. Die Zeilen der Matrix stellen dabei das Räumen und die Kolonnen das Anfahren je eines Verkehrsstromes dar. Im Schnittpunkt der jeweiligen Konfliktströme kann nun die berechnete Zwischenzeit eingetragen werden (vergleiche Berechnungsbeispiel).

5.4.2 Die Umlaufzeit

Definition

Die Umlaufzeit (t_U) ist die Zeitdauer für den einmaligen Ablauf eines Signalplanes. Ihre Dauer wird bestimmt durch die Summe der Grünzeiten der einzelnen sich folgenden Verkehrsströme zuzüglich der dazwischen liegenden Zwischenzeiten.

Bedeutung für verschiedene Steuerungsverfahren

Bei festzeitgesteuerten Anlagen ist die Umlaufzeit eines Signalplanes eine konstante Grösse. Sie kann normalerweise nur durch Umschalten auf einen anderen Signalplan verändert werden (Ausnahme: Dehnung des Programmes durch Aenderung von Schrittgeschwindigkeiten der Apparate). Die Umschaltung von einem Signalplan zum nächsten kann entweder nach der Uhrzeit oder verkehrsabhängig nach charakteristischen Verkehrsströmen erfolgen.

Bei verkehrsabhängig gesteuerten Anlagen bildet die Umlaufzeit keine feste Grösse. Beim einmaligen Ablauf der minimalen Grünzeiten der sich folgenden Verkehrsströme sowie den dazwischen liegenden Zwischenzeiten ergibt sich eine minimale Umlaufzeit. Für die einzelnen Grünzeiten wird zudem eine obere Grenze definiert, die zu einer maximalen Umlaufzeit führen. Dazwischen variiert die Umlaufzeit von Umlauf zu Umlauf.

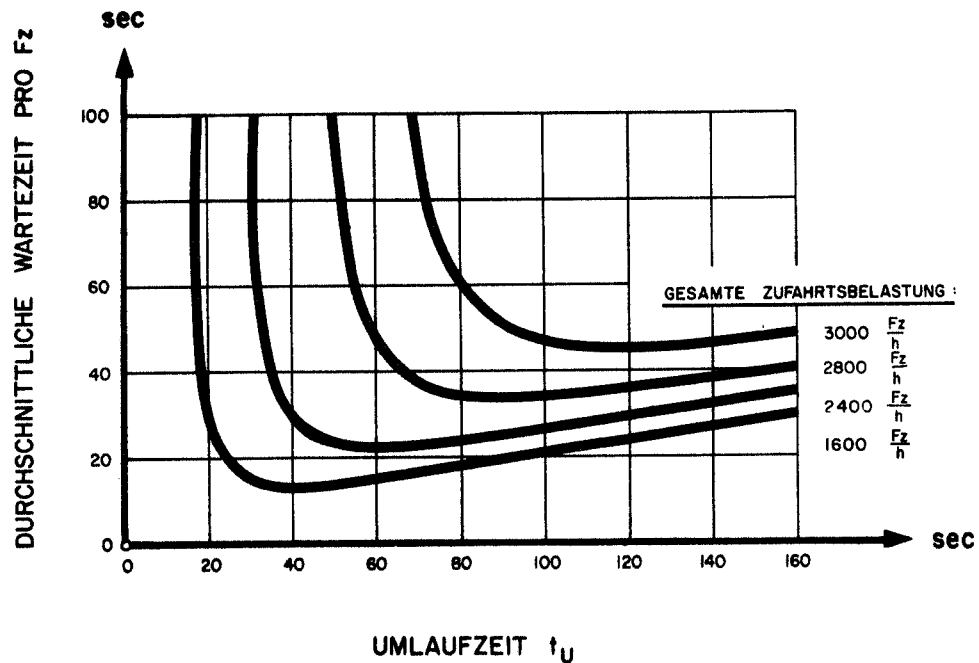
Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich in erster Linie auf festzeitgesteuerte Anlagen und gelten theoretisch auch für die maximale Umlaufzeit bei verkehrsabhängigen Anlagen.

Richtwerte

Die Umlaufzeit wird nach unten begrenzt durch die minimalen Grünzeiten plus die Zwischenzeiten und nach oben durch die Forderung, die Wartezeiten nicht übermässig anwachsen zu lassen. Untersuchungen (Lit. 10) haben gezeigt, dass bei Umlaufzeiten in der Grössenordnung zwischen dem 0.75 bis 1.5-fachen der optimalen Umlaufzeit (vgl. Abb. 13) die durchschnittlichen Wartezeiten gegenüber jenen einer optimalen Umlaufzeit nicht mehr als 10 - 20% grösser werden.

Abb. 13: Optimale Umlaufzeiten

(Zweiphasige Kreuzung mit gleichwertigen Zufahrten, Lit. 10)

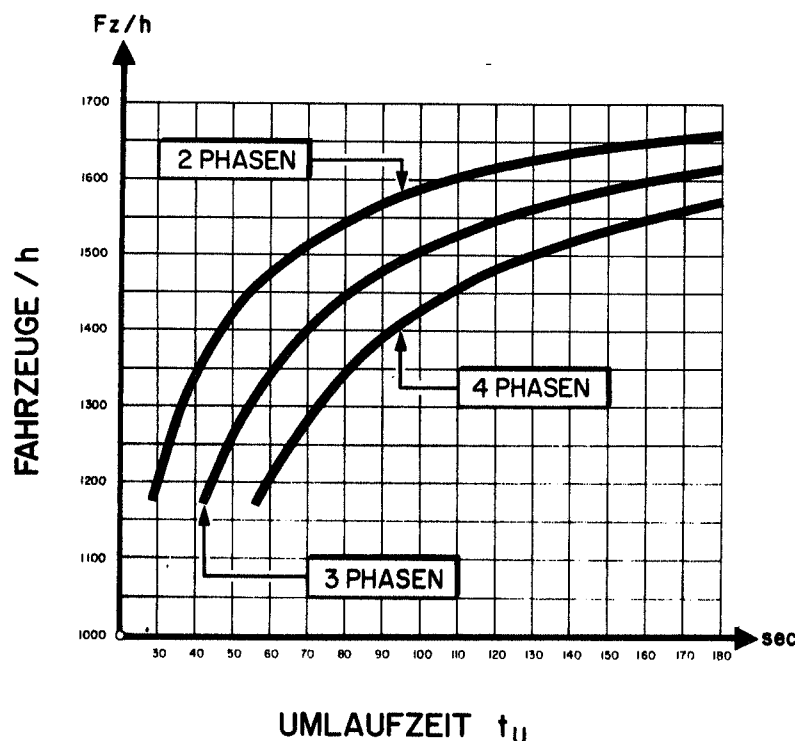


Bei beschränktem Stauraum kann es erforderlich sein, diesen häufiger zu entleeren, was unter anderem durch kürzere Umlaufzeiten erreicht werden kann. Für die Umlaufzeiten ergeben sich erfahrungsgemäss folgende Richtwerte:

minimal	35 sec.
normal	60 - 90 sec.
maximal	120 sec.

Eine Vergrößerung der Umlaufzeit ergibt im Normalfall keinen proportionalen Leistungsgewinn.

Abb. 14: Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Umlaufzeit



Voraussetzungen: $\sum t_z = N \cdot 5 \text{ sec}$ bei Sättigungsfluss $S = 1800 \text{ Fz/h}$
 N = Anzahl Phasen

Zur Berechnung der Grün- bzw. Umlaufzeiten sind verschiedene Verfahren bekannt geworden, wobei das Zeitbedarfsverfahren und das Querschnittsverfahren am häufigsten angewandt werden.

Zeitbedarfsverfahren

Bei diesem Verfahren wird von einer angenommenen Umlaufzeit ausgegangen und die dabei auftretende Verkehrsmenge pro Umlauf für jede Phase

berechnet. Die erforderlichen Grünzeiten können aus Diagrammen (siehe Abb. 15, S.60) von gemessenen Zeitbedarfswerten abgelesen werden. Diese Zeitbedarfswerte wurden zuerst von B.D. Greenshields für Fahrzeuge bei Signalanlagen bestimmt. Die Formel für die Umlaufzeit lautet:

$$t_U = \sum t_{Gr} + \sum t_Z \quad [\text{sec}]$$

$t_{Gr} \quad [\text{sec}]$ = Grünzeit der einzelnen Phase

$t_Z \quad [\text{sec}]$ = Zwischenzeit zwischen den einzelnen Phasen
(Reihenfolge der Phasen beachten)

Durch Iteration (siehe S. 61 "Leistungsnachweis") muss nun das Ergebnis den angenommenen Ausgangswerten angenähert werden.

Querschnittsverfahren

Bei diesem Verfahren wird pro Fahrstreifen ein Sättigungsfluss s (Fz/h) oder Fluss pro Grünstunde bestimmt (siehe S. 62). Nach Bestimmung des Sättigungsflusses lässt sich die minimale Umlaufzeit ermitteln (ohne Berücksichtigung der Verzögerungszeiten der Verkehrsteilnehmer):

$$t_{Uo} = \frac{\sum (t_Z + t_{Gr. \text{ fest}})}{1 - \sum \left(\frac{q}{s}\right)} \quad [\text{sec}]$$

$t_{Uo} \quad [\text{sec}]$ = Umlaufzeit (kleinste mögliche Umlaufzeit bei gegebenen Belastungen)

$t_Z \quad [\text{sec}]$ = Zwischenzeit

$q \quad \left[\frac{Fz}{h}\right]$ = massgebende Verkehrsbelastung

$s \quad \left[\frac{Fz}{h}\right]$ = Sättigungsfluss pro Fahrstreifen

$t_{Gr. \text{ fest}} \quad [\text{sec}]$ = spezielle Phasen nur für den öffentlichen Verkehr, Fussgänger, Radfahrer etc. (falls vorhanden)

Die so ermittelte Umlaufzeit reicht gerade aus, um die eingegebenen Verkehrsmengen zu verarbeiten (Index 0).

In England ist es üblich, die praktische Umlaufzeit mit der Gleichung

$$t_U = \frac{\sum (t_Z + t_{\text{Gr. fest}})}{0.9 - \sum \left(\frac{q}{S}\right)} \quad [\text{sec}] \quad (\text{Lit. 10})$$

zu berechnen. Die maximale Leistungsfähigkeit liegt dabei 10% über der Leistung, die der Berechnung zugrunde liegt.

Das Querschnittsverfahren wurde wesentlich weiter entwickelt. Beispielsweise können die Verzögerungszeiten, die Staulängen und die Anzahl der Stops rechnerisch bestimmt werden (Lit. 8). Ferner liegt dieses Verfahren auch mehreren Computerprogrammen, wie z.B. dem "Transyt" (Lit. 19) zugrunde.

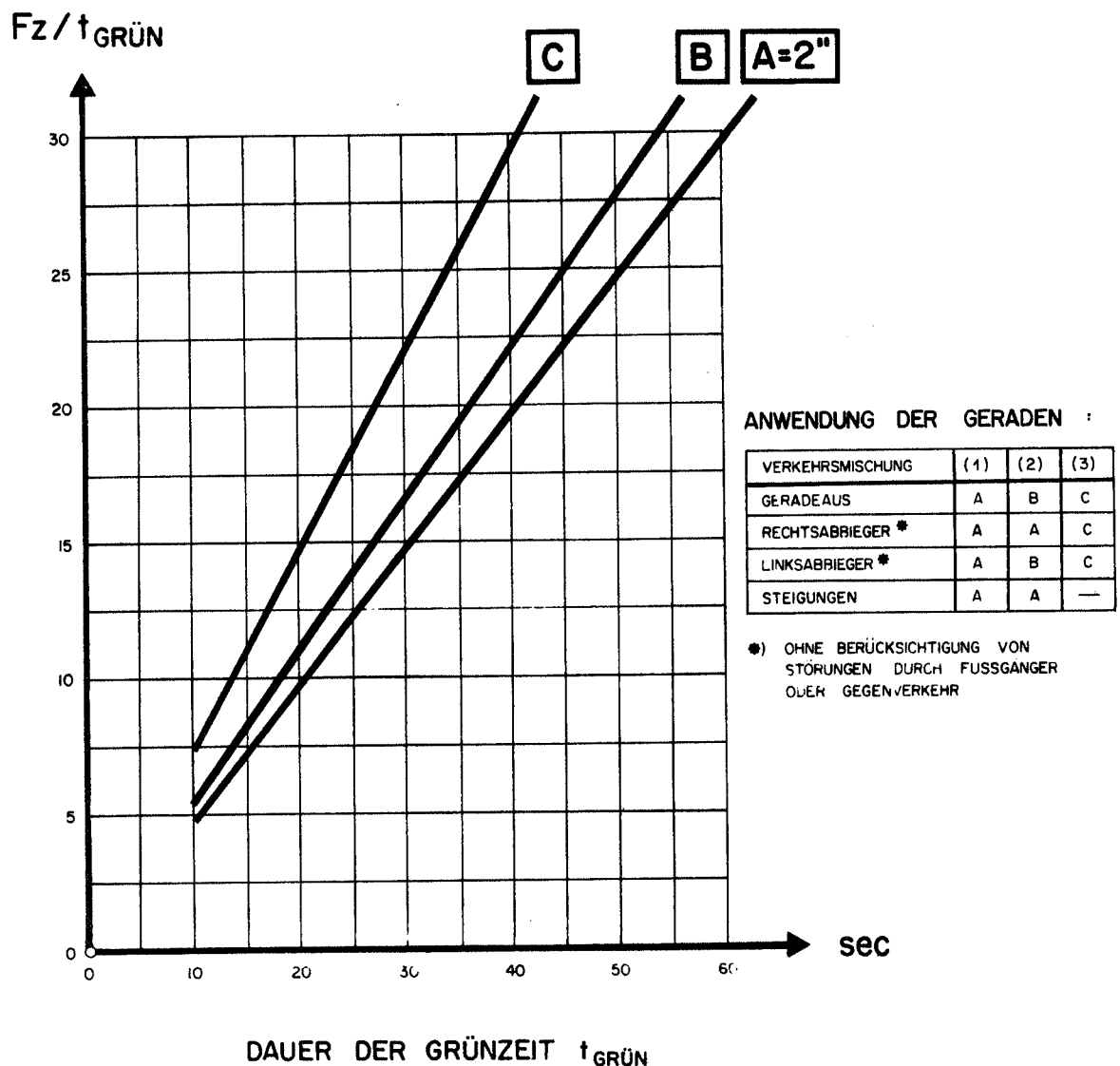
5.4.3 Die Grünzeitberechnung

Zeitbedarfsverfahren

Bei diesem Verfahren wird der Zeitbedarf bestimmt, den eine aus dem Stand in eine bestimmte Richtung (Rechtsabbieger, Geradeausfahrer, Linksabbieger) anfahrende Kolonne bis zum Ueberqueren der Haltelinie benötigt.

Abb. 15: Zeitbedarfswerte

(Auf der Haltelinie, 3m-Spur)



Verkehrsmischung vgl. S. 37

Um den Grünzeitbedarf je Phase bestimmen zu können, sind für den massgebenden Verkehrsstrom dieser Phase die Anzahl Fahrzeuge (m) pro angenommene Umlaufzeit zu ermitteln:

$$m = \frac{MV_{15} \cdot t_U}{900 \cdot N} \left[\frac{Fz}{t_U} \right]$$

$MV_{15} \left[\frac{Fz}{15'} \right]$ = massgebende Spitzenviertelstundenbelastung

t_U [sec] = Umlaufzeit

N = Anzahl vorhandene Fahrstreifen je Fahrtrichtung

Für die Fussgänger ist die Grünzeit im Prinzip aufgrund der Länge des Fussgängerstreifens zu bestimmen. Wenn immer möglich, vor allem aber bei stark begangenen Fussgängerstreifen, ist das Ueberqueren der gesamten Strassenbreite innerhalb ein- und derselben Grünzeit zu gewährleisten. Das Ueberqueren in zwei Etappen sollte nur an Strassenknoten mit vereinzelt Fussgängern (in Aussenbezirken) in Betracht gezogen werden.

Die Berechnung der Grünzeit wird zweckmässigerweise in Tabellenform durchgeführt (vgl. Berechnungsbeispiel).

Leistungsnachweis

Beim Leistungsnachweis ist aufzuzeigen, dass die aus der Summe der erforderlichen Grünzeiten und Zwischenzeiten sich ergebende Umlaufzeit kleiner oder gleich der gewählten Umlaufzeit ist. Ist die Leistungsfähigkeit nicht ausreichend, so ist entweder die Umlaufzeit zu erhöhen,

der Phasenablauf anders zu gestalten oder die Knotengestaltung zu ändern. Ferner ist der Nachweis zu erbringen, dass die abbiegenden Fahrzeuge abgeführt werden (vgl. Seite 42, Phasenbildung).

Querschnittsverfahren

Mit dem Querschnittsverfahren lassen sich die Grünzeiten rechnerisch wie folgt bestimmen:

$$t_{Gr} = t_U \cdot \frac{q}{s} \quad [\text{sec}]$$

t_U	$[\text{sec}]$	= Umlaufzeit
q	$\left[\frac{\text{Fz}}{\text{h}}\right]$	= massgebende Belastung
s	$\left[\frac{\text{Fz}}{\text{h}}\right]$	= Sättigungsfluss pro Fahrstreifen

Der Sättigungsfluss ist die Anzahl Fahrzeuge, die während einer Grünstunde (3600 sec. kontinuierliches Grün) bei günstigen Bedingungen über die Haltelinie fahren könnten (theoretische Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens). Im Idealfall liegt er für Fahrzeuge in der Größenordnung von

$$s = 1800 \div 2000 \quad \left[\frac{\text{Fz}}{\text{h}}\right]$$

Der Sättigungsfluss ist abhängig unter anderem von der Fahrstreifenbreite, der Strassenneigung, der Fahrstreifencharakteristik (Fahrstreifen für einzelne oder mehrere Verkehrsströme, Lit. 10).

Der Sättigungsfluss wird durch die am Knoten vorhandenen geometrischen Verhältnisse bzw. Verkehrszusammensetzungen beeinflusst. Um diese auf einfache Art berücksichtigen zu können, wurden entsprechende Abminderungsfaktoren ermittelt.

Tab. 5: Abminderungsfaktoren bez. Sättigungsfluss
(Lit. 8)

		Abminderungsfaktor
Spurbreite	2,6m	0,85
	3,0m-3,5m	1,0
	4,0m	1,15
Nebeneinanderfahren	2 Spuren 3,5m	0,95
	2 Spuren 3,0m	0,9
	3 Spuren 3,0m	0,85
Abbiegen Radius	10m	0,85
	15m	0,9
	30m	0,95
Neigung Steigung	+3%	0,9
	+5%	0,85
Gefälle	-3%	1,1
	-5%	1,15
Lastwagen/Fahrzeuge (nicht PWE)	10%	0,9
	20%	0,8
	30%	0,7
Abbieger/Geradeausverkehr + Abbieger (Radius 15 m)	10%	0,95
	20%	0,9
	30%	0,8
Kreuzen von Fussgängerverkehr	schwacher Fussg.-Verkehr	1,0
	mittlerer Fussgänger-Verkehr	0,9
	starker Fussgänger-Verkehr	0,8

Für den öffentlichen Verkehr braucht kein Sättigungsfluss angegeben zu werden, da die Grünzeit gezielt nur für die betreffenden Fahrzeuge festgelegt werden soll. Bei der Berechnung der notwendigen Umlaufzeit (siehe Formel Seite 58, $t_{Gr\text{ fest}}$) kann die Grünzeit für den öffentlichen Verkehr als zusätzliche Verlustzeit im Zähler berücksichtigt werden.

5.5 Kriterien für verkehrsabhängige Steuerung

Grundsätzliche Arbeitsweise

Bei vollverkehrsabhängigen Signalanlagen wird ein 'Grün' solange belassen, bis sich bei einem Konfliktstrom ein Fahrzeug anmeldet. Hierauf werden üblicherweise zwei Bedingungen eingeschaltet, die zum Abbruch der Grünzeit des laufenden Verkehrsstromes führen.

Die erste Bedingung betrifft die sogenannte Verlängerungszeit. Es werden dabei Kriterien beschrieben, die der laufende Verkehrsstrom erfüllen muss, damit seine Grünzeit weiterhin verlängert werden kann. Die Verlängerungszeit kann erst nach Ablauf einer Mindestgrünzeit zu Beginn jeder Phase wirksam werden.

Die zweite Bedingung setzt eine Maximalzeit fest, während der die Verlängerung des freigegebenen Stromes beansprucht werden kann.

Wird eine der beiden Bedingungen überschritten, erfolgt der Abbruch der laufenden Grünzeit und nach Ablauf der erforderlichen Zwischenzeit die Freigabe für den angemeldeten Nebenstrom.

Steuergeräte, die mehr als zwei Phasen regeln, vermögen normalerweise, nicht angeforderte Phasen zu überspringen (vgl. Seite 20).

Die Geräte für verkehrsabhängige Steuerung besitzen zudem eine Rückstelleinrichtung, die es erlaubt, die Signalanlage auf eine bestimmte Phase zurückzustellen, sofern keine Anmeldungen mehr vorliegen.

Abbruchverfahren

Die Bedingungen für den Abbruch der Grünzeiten können anhand des Zeitlückenverfahrens oder eines kombinierten Zeitlücken-/Belegzeitver-

fahrens definiert werden. Beim ersteren erfolgt der Abbruch nachdem eine vorgegebene Zeitlücke überschritten wird. Diese kann während der ganzen Verlängerungsdauer konstant oder aber abnehmend gestaltet werden. In der Praxis ist das Abbruchverfahren mit konstanter Zeitlücke am gebräuchlichsten.

Beim Zeitlücken-Belegzeitverfahren (Lit.8) wird nicht nur die Zeitlücke innerhalb der Fahrzeugkolonne, sondern auch die Dauer der Detektorbelegung (Langsamfahrzeuge) berücksichtigt.

Detektoren

Für jeden Fahrstreifen bzw. Fussgängerübergang, der verkehrsabhängig geregelt wird, sind entsprechende Anmeldemittel vorzusehen. Die Lage der Detektoren für den Fahrzeugverkehr ist dabei abhängig vom gewählten Abbruchverfahren (vergl. Lit. 13).

Beim öffentlichen Verkehr richtet sich die Distanz der Anmeldemittel vom Haltebalken zum Beispiel nach der geforderten Priorität oder der Streckengeschwindigkeit.

Mindestgrünzeit

Es muss gewährleistet sein, dass alle Fahrzeuge, die sich bei Beginn der Grünzeit zwischen dem Detektor und dem Haltebalken befinden, abfließen können. In der Regel setzt sich diese Mindestgrünzeit aus einem festen und aus einem variablen Bestandteil zusammen. Ersterer darf nicht kleiner sein als die minimale Grünzeit (vgl. Seite 38, Signalzeiten). Der variable Teil entspricht in der Regel der Verlängerungszeit.

Verlängerungszeit

Die Verlängerungszeit ist so zu bemessen, dass die Fahrzeuge mit einer mittleren Geschwindigkeit vom Detektor bis über die Halte-
linie gelangen können. Beim Zeitlückenverfahren gibt diese Verlängerungszeit (mit konstantem Wert) gleichzeitig den Grenzwert an, bei dem die Grünzeit abgebrochen wird.

Maximalzeit

Die Maximalzeit wird üblicherweise auf Grund der stärksten Knotenbelastung ermittelt. Die verkehrsabhängige Steuerung geht damit in einen Zustand über, der dem einer festzeitgesteuerten Anlage entspricht.

5.6 Anzahl Programme

Festzeitgesteuerte oder teilverkehrsabhängige Anlagen

Neben einer verkehrsabhängigen Steuerung (Seite 20) ist es möglich, die Steuerung mit verschiedenen Programmen dem tatsächlichen Verkehrsaufkommen anzupassen. Es können damit unnötige Wartezeiten und Staubildungen vermieden werden. Die theoretische Aufgabenstellung wäre:

Die Ganglinie des Verkehrs eines ganzen Jahres (Monate, Wochen, Tage) müsste derart in verschiedene Zeitintervalle eingeteilt werden, dass die Schwankungen innerhalb dieser Intervalle ein bestimmtes Mass nicht überschreiten. Die praktische Berechnung wird erschwert, weil die Messungen der Verkehrsströme in jedem Fall nur relativ kleine Stichproben darstellen. Bei der praktischen Abschätzung der erforderlichen Programme sollte den folgenden Gegebenheiten Rechnung getragen werden:

-
- Wird die Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens an einer Lichtsignalanlage angegeben, so stellt diese Zahl einen Durchschnittswert dar, wobei ca. 85% der betreffenden Einzelwerte innerhalb den Grenzen $\pm 20\%$ liegen.
 - Ist die Umlaufzeit konstant, so wirkt sich ein Abweichen der tatsächlichen von der massgebenden Verkehrsmenge bei den kleineren Verkehrsmengen weniger stark auf die Wartezeiten aus als bei grösseren Verkehrsmengen (vgl. Abb. 13, Seite 56).

Anzahl Programme

In Berücksichtigung dieser Umstände werden bezüglich der massgebenden Fahrzeugströme einzelne Verkehrsmengen-Bereiche festgelegt, für die spezielle Programme vorgesehen werden können. Üblicherweise reichen 4 - 6 Programme aus (Einwärtsspitze, Auswärtsspitze, Zwischenzeit, Nachtprogramm, evtl. Sonderprogramme). Die einzelnen Signalzeitenpläne unterscheiden sich in der Hauptsache in der Umlaufzeitlänge, der Grünzeitverteilung und der Phasenreihenfolge.

Da besonders in städtischen Verhältnissen die Tagesganglinien an Wochentagen charakteristisch sind, soll grundsätzlich eine Steuerprogrammumschaltung nach der Uhrzeit und nach dem Wochentag möglich sein.

Umschalten

Das Umschalten der einzelnen Programme erfolgt bei starren Anlagen mit Schaltuhren oder durch eine verkehrsabhängige Signalplanauswahl. Die letztere bezieht sich in der Praxis meistens auf ausgewählte Hauptströme, da eine differenzierte Berücksichtigung aller Verkehrsströme oft zu sehr komplizierten Abhängigkeiten führen würde. Für die verkehrsabhängige Signalplanauswahl sind an charakteristischen Stellen

Detektoren angeordnet. Die damit möglichen kontinuierlichen Verkehrsmessungen werden an jeder Messstelle mit vorher bestimmten Schwellenwerten verglichen. Bei Ueber- oder Unterschreiten der entsprechenden Schwellenwerte wird eine Programmumschaltung vorgenommen. Da die Originalwerte der Messungen zu einer hohen Umschalhäufigkeit führen würden, sind die stark schwankenden Messwerte durch ein Ausgleichsverfahren zu dämpfen (Lit. 8).

Vollverkehrsabhängige Anlagen

Ueblicherweise ist bei dieser Steuerungsart nur ein Programm notwendig. Bei über den Tag stark schwankenden Verkehrsströmen können die Maximalzeiten noch zeitabhängig variiert werden. Damit wird verhindert, dass zufällig eintreffende Einzelfahrzeuge die Wartezeit der übrigen Verkehrsteilnehmer (auch des öffentlichen Verkehrs und der Fussgänger) unnötigerweise erhöhen.

5.7 Die Staulänge

Die verkehrstechnische Berechnung einer Lichtsignalanlage hat auch über die zu erwartenden Staulängen auf den Fahrstreifen Auskunft zu geben. Es muss Vorsorge getroffen werden, dass der Stauraum für alle während der Rotzeit zufahrenden Fahrzeuge ausreicht. Die Zufahrt in den durch 'Grün' freigegebenen Fahrstreifen darf nicht durch Fahrzeuge behindert werden, die auf dem parallelen Fahrstreifen durch 'Rot' gestaut werden. Im Zeitbedarfsverfahren werden die Staulängen der einzelnen Fahrstreifen überschlägig aus der Anzahl während der Rotzeit gestauter Fahrzeuge multipliziert mit dem Platzbedarf pro Fahrzeug ermittelt. Die Anzahl der bei Grün auf den schon vorhandenen Stau aufzufahrenden Fahrzeuge wird vernachlässigt!

$$L_{St} = \frac{MV_{15}}{900} \cdot (t_U - t_{Grün}) \cdot L_{Fz} \quad [m]$$

- $L_{St} \quad [m]$ = durchschnittliche Staulänge
 $MV_{15} \quad \left[\frac{Fz}{15'} \right]$ = massgebende Spitzenviertelstundenbelastung
 $t_U \quad [sec]$ = Umlaufzeit
 $t_{Grün} \quad [sec]$ = massgebende Grünzeit
 $L_{Fz} \quad [m]$ = durchschnittlicher Platzbedarf der Fahrzeuge für verschiedene Verkehrsmischungen (vergleiche Tab. 2, Seite 37)

Die durchschnittliche Staulänge genügt für den Normalfall. Falls die theoretische Wahrscheinlichkeit mit berücksichtigt werden soll, wird auf die Lit. 8 verwiesen.

5.8 Zusammenstellung der Ergebnisse

Ergebnisse

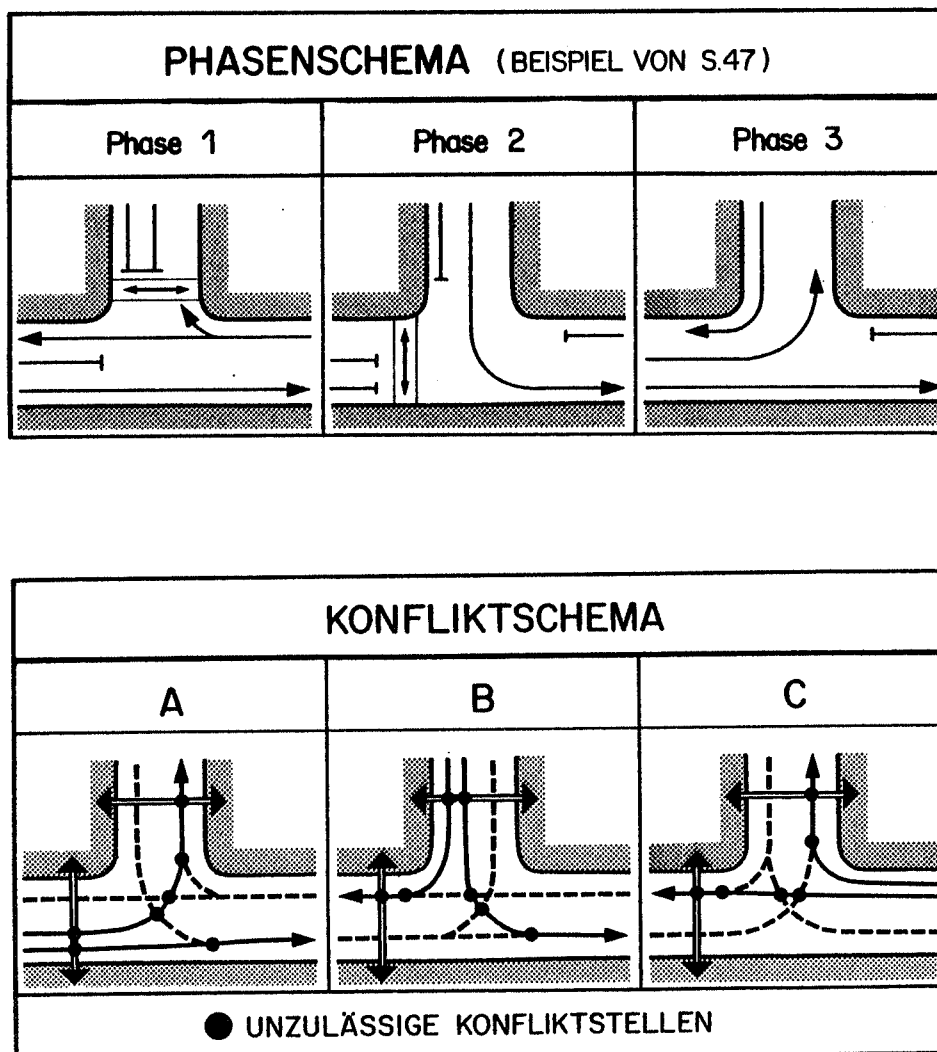
Aus der Berechnung einer Lichtsignalanlage resultieren folgende Ergebnisse:

- die Phasenschemata (eventuell ein Konfliktschema bei komplizierten Anlagen),
- die Zwischenzeiten - Matrix und
- die Signalzeitenpläne.

Phasenschema

Die Phasenschemata dienen der Illustration der ersten Einstellung. Sie werden aber im Laufe des Betriebes oft verändert. Diese Schemata sind bei festzeitgesteuerten Anlagen sehr gebräuchlich. Bei verkehrsabhängiger Steuerung mit zahlreichen Anmeldungen und Sonderregelungen sind eigentliche Phasenschemata nur schwer darzustellen. In diesen Fällen sind graphische Darstellungen der Konfliktstellen (Kreuzungspunkte jener Verkehrsströme, die nicht gleichzeitig 'Grün' erhalten dürfen) in einem sog. Konfliktschema vorzuziehen.

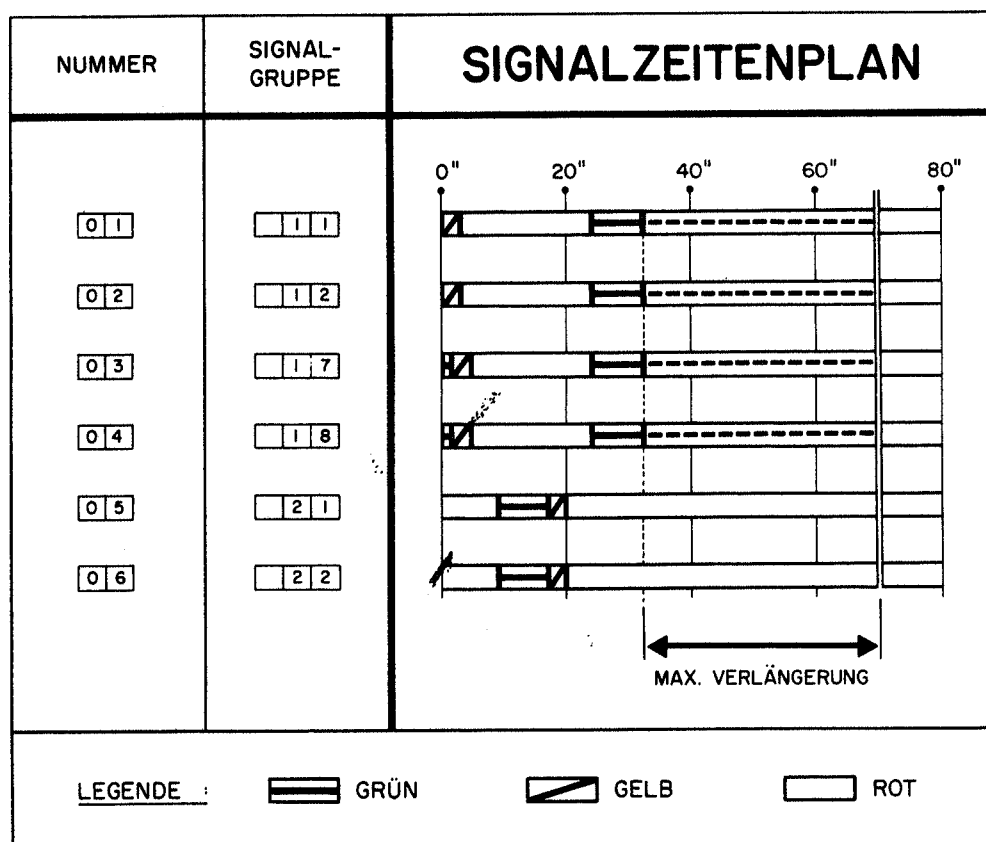
Abb. 16: Phasenschema und Konfliktschema



Signalzeitenpläne

In den Signalzeitenplänen werden die Grünzeiten, Rotzeiten und die Uebergänge von Phase zu Phase (Signalgruppe zu Signalgruppe) dargestellt. Bei festzeitgesteuerten Anlagen ist im Signalplan zugleich ein ganzes Programm dargestellt. Bei verkehrsabhängigen Anlagen können demgegenüber nur der minimale oder der maximale Zyklus sowie die Uebergänge dargestellt werden. Die Darstellungen erfolgen prinzipiell in folgender Form:

Abb. 17: Signalzeitenplan
(Muster)



6. INSTALLATION UND AUSRÜSTUNG

6.1 Signallageplan

Als Grundlage für die Signallagepläne dient der bereinigte Situationsplan des Knotens im Massstab 1:500 evtl. 1:200 mit eingetragener Fahrstreifeneinteilung. Um die Klarheit und die Uebersichtlichkeit zu bewahren, werden mit Vorteil zwei Signallagepläne erstellt.

Oberirdische Knotenausrüstung

Der Plan 1 (siehe Berechnungsbeispiel) enthält die oberirdische Knotenausrüstung der Lichtsignalanlage. Er beinhaltet:

- die Standorte und die Art der Signalmasten,
- die Standorte, die Anzahl und die Art der Signalgeber,
- die Numerierung der Signalgruppen und Signalgeber,
- die Lage, die Ausdehnung und die Funktion der Anmeldemittel,
- den Standort des Steuergerätes,
- die Signalisation und die Strassenmarkierung (SN 640 810 ff).

Bei stark aufgeweiteten Knoten mit Wegweisertafeln über den Fahrstreifen ist ein separater Plan vorteilhaft, der Angaben über die Art der Tafeln, Grösse der Schrift etc. sowie die Kombination der Wegweisung und der Ampelanordnung beinhaltet.

Unterirdische Knotenausrüstung

Der Plan 2 enthält die unterirdische Knotenausrüstung der Lichtsignalanlagen. Er beinhaltet unter Beachtung der übrigen Werkleitungen:

- das Trasseee der Kabelkanäle,
- die Kabeltypen,
- die Lage der Verteilerschächte,
- die Standorte der Beleuchtungsmasten, der Träger für die Fahrleitungen etc.

Die Pläne dienen einerseits als Grundlage für die Offertstellung und andererseits für die Ausführung der Anlage. Für die Darstellung ist die SN 690 278 massgebend. Im konkreten Bearbeitungsfall sind für die Darstellung der Pläne auch Vorschriften der örtlichen Werke zu beachten (beispielsweise Lit. 20).

Abb. 18: Symbole für Lichtsignalanlagen (Beispiele)
(für Massstab 1:200)

	Maststandort
	Mast mit Ausleger
	Winkelmast
	Signalbrücke
	Dreikammerampel für Fahrzeuge links und rechts in Kombination mit Zusatzpfeil
	Dreikammerampel für Fussgänger
	Einkammerampel für Blinker etc.
	Spezialampel für den öffentlichen Verkehr
	Steuergerät
	Bedienungskasten für Handsteuerung
	Stromzufuhr
	Kabelkanal
	Schlaufschacht
	Druckknopf-Detektor für Fussgänger
	Induktivschleifen-Detektor für Fahrzeuge
	Ultraschall-/Radar-Detektor für Fahrzeuge
	Standort von Beleuchtungsmasten

6.2 Signalgeber

Die Farben und ihre Bedeutung sind in der Verordnung über die Strassensignalisation (Lit. 11) festgelegt. Die Form, die Grösse, die Ausrüstung etc. sind in der SN 640'825 dargestellt.

Fahrzeugsignale

Diese bestehen aus senkrecht oder aus waagerecht montierten Dreikammerampeln.

Bei der senkrechten Montage befindet sich das rote Licht oben, das gelbe in der Mitte und das grüne unten. Alle Lichter sind rund und weisen in der Regel einen Durchmesser von 200 mm auf. In bebauten Gebieten ist die Verwendung von 300 mm Linsen auf Masten neben der Fahrbahn unüblich.

Die horizontale Montage der Dreikammerampel über den Fahrstreifen sollte vorwiegend in Kombination mit Wegweisertafeln angewendet werden. Dabei wird das rote Licht links, das gelbe in der Mitte und das grüne Licht rechts angeordnet. Der Linsendurchmesser beträgt dabei 300 mm.

In der roten und grünen Linse können Pfeile eingebaut werden, die im Rot als schwarze Kontur und im Grün als grün ausgeleuchteter Pfeil erscheinen.

Die Fahrzeugsignale - ausgenommen Doppelampel, Wiederholungssignale, Warnblinker und Geschwindigkeitsanzeigen - sind mit schwarzen Frontplatten mit weissem Rand auszurüsten, auf denen je nach Fahrstreifeneinteilung auch Zusatzpfeile angebracht werden können. Dieser schwarze Pfeil auf weissem Grund gibt an, welchem Verkehrsstrom die Ampel zugeordnet ist (vgl. SN 640'825).

Besonderes Augenmerk ist auf den Phantomeffekt bei ungünstigem Lichteinfall zu legen. Wenn Fahrzeuglenker bei besonderen Verhältnissen das momentane Signalbild nicht erkennen können, sind besondere Massnahmen notwendig (zum Beispiel Halogenlampen).

Fussgängersignale

Es wird empfohlen, auch für die Fussgänger Dreikammerampeln zu montieren. Das Grün gibt die Zeit an, während der der Fussgänger die Strasse betreten kann (Einlaufzeit). Die Räumzeit beginnt bei Wechsel von Grün auf Gelb (vgl. Seite 54).

Die konstruktiv gleich wie die Fahrzeugampeln gestalteten Fussgängerampeln weisen bei Rot eine Linse mit vollerleuchteter, stehender Fussgängerfigur und bei Grün und Gelb die Kontur einer gehenden Figur auf (SN 640 825).

Tram- und Linienbussignale

Für diese öffentlichen Verkehrsmittel müssen einkammerige Signalgeber mit weissen Lichtern in besonderer Anordnung vorgesehen werden, wenn eine vom Privatverkehr separate Steuerung (Busspuren, geradeaus fahrender Bus auf Rechtsabbiegespur usw.) erfolgt, oder die Räumzeit nicht jener der parallel laufenden Fahrzeugströme (z.B. beim Tramverkehr) entspricht.

SSV, Art. 70.8 Als Sondersignale für Fahrzeuge im öffentlichen Linienverkehr dürfen nur weisse Lichter in besonderer Anordnung (Punktlichter) verwendet werden.

(Bei Busspuren, geradeausfahrender Bus auf Rechtsabbiegerstreifen, Tramverkehr (Anfahr- und Räumzeiten) usw., wobei die Bedeutung der aufleuchtenden Punkte analog derjenigen der grünen Pfeile ist.)



Halt



Fahrt geradeaus frei



Fahrt nach links frei



Fahrt nach rechts frei

Radfahrersignale

Besondere Signalgeber für Radfahrer sollen ebenfalls dreikammerig sein. Die Linsen werden mit dem Sinnbild eines Fahrrades versehen, evtl. mit Zusatzpfeil für besondere Fahrtrichtungen.

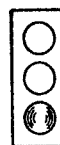
Hilfssignale

Hilfssignale sind in der Regel ein- oder zweikammerige Signalgeber, die auf besondere Situationen aufmerksam machen oder zur Klarheit der Signalgebung beitragen, zum Beispiel:

- Warnblinker für Links- und Rechtsabbieger

Diese warnen vor gleichzeitig freigegebenem, vortrittsberechtigtem Fahrzeugverkehr oder parallel laufendem Fussgängerverkehr. Die Distanz zur Konfliktstelle sollte nicht zu gross sein, da der Fahrzeuglenker die Aufhebung des Vortrittsrechtes schnell vergisst. Blinklichter müssen neben dem Grün des Hauptsignals (Pfeilsymbol) angebracht werden. Zur Warnung vor entgegenkommenden Fahrzeugen wird eine Linse mit einem auf der Spitze stehenden gelben Dreieck und vor parallel laufenden Fussgängern mit einem gehenden gelben Fussgänger eingesetzt.

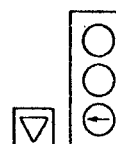
SSV Art. 68.2 Grünes Licht gibt den Verkehr frei. Abbiegende Fahrzeuge müssen dem Gegenverkehr und den Fussgängern auf Querstrasse den Vortritt lassen.



SSV Art. 71.3 Lichtsignale müssen das Zusammenreffen von Fahrzeugen aus verschiedener Richtung, ausser von Linksabbiegern mit dem Gegenverkehr, verhindern. Wird die Fahrt durch grüne Pfeile ohne gelbes Blinklicht freigegeben, muss auch das Zusammentreffen von abbiegenden Fahrzeugen mit Fussgängern in der Querstrasse und von Linksabbiegern mit dem Gegenverkehr ausgeschlossen sein.

SSV Art 68.3 Grüne Pfeile gestatten den Verkehr in der angezeigten Richtung. Blinkt daneben gleichzeitig ein gelbes Licht, müssen abbiegende Fahrzeuge dem Gegenverkehr und den Fussgängern auf der Querstrasse den Vortritt lassen.

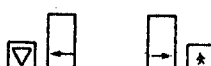
Mögliche Kombinationen mit Blinklicht (Anordnung gemäss SN 640'825):



Normalfälle



eher Ausnahmefälle



- Repetitionssignale

Es ist zu unterscheiden zwischen der Doppelbeampelung der einzelnen Fahrstreifen - Erhöhung der Verkehrssicherheit, damit die Anlage auch beim Ausfall einer Rotlampe pro Fahrstreifen weiterlaufen kann - und den Repetitionssignalen nur für die Grünanzeige. Repetitionssignale dienen zur Klarheit der Signalgebung bei schwierigen Knotenverhältnissen und auch der Erhöhung des Abflusses. Die Doppelbeampelung Rot, Gelb und Grün darf nach dem Ueberfahren des Haltebalkens nicht mehr sichtbar sein (Gefahr von Auffahrkollisionen beim Signalbildwechsel).

- Geschwindigkeitssignalgeber

Die theoretische Fahrgeschwindigkeit kann mit weissen Leuchtziffern angegeben werden. Da ihre Wirkung sehr fraglich ist, sollten diese Zusatzsignale nur in ganz besonderen Fällen und nach eingehender Abklärung ihrer Wirkung eingesetzt werden.

6.3 Montage der Signalgeber

6.3.1 Signalträger

Als Signalträger werden verwendet:

- Normalmaste (gerade, leicht gebogen oder mit längeren Briden),
- Bogen- bzw. Peitschenmaste,
- Ausleger (bis ca. 1,8 m) an bestehenden Masten, in Ausnahmefällen an Hauswänden,
- Winkelmaste (je nach Grösse der Wegweisertafel bis etwa 7 m Ausladung),
- Signalbrücken (sog. Portale).

Der Entscheid, welche Signalträgerart zu verwenden ist, ist abhängig von:

- der Geometrie des Knotens,
- der Anzahl der Fahrstreifen und deren Regelung,
- der Notwendigkeit von Wegweisertafeln und ihren Anordnungsmöglichkeiten,
- den baulichen Randbedingungen infolge des öffentlichen Verkehrs,
- der Aesthetik (Ortsbildschutz) und den baulichen Randbedingungen der Umgebung.

Aus finanziellen (Baukastensystem) und ästhetischen Gründen ist die Verwendung von Normalmasten vorteilhaft. Zudem ergibt sich dadurch für den Fahrzeuglenker immer etwa dasselbe Erscheinungsbild, was das Erkennen der Verkehrsregelungsanlage erleichtert und somit die Verkehrssicherheit fördert.

Bei der Signalisierung von mehrspurigen Fahrbahnen ist auf eine eindeutige Zuordnung der Ampeln zu achten. Diesbezüglich kann sich eine Fixierung der Ampeln in der Mitte des betreffenden Fahrstreifens an Winkelmasten oder evtl. Portalen eignen. Bei Fixierungen mit Drahtzügen können die Signale unter Umständen weniger beachtet werden und ohne Abspannungen erheblich schwanken.

6.3.2 Anordnung der Signalgeber

Maststandorte

Die Masten werden üblicherweise 60 - 80 cm vom Strassenrand weg eingelassen (Mehrbreiten bei Verwendung von Warnblinkern und Fussgängerampeln mit Schuten beachten). Der Abstand zwischen den Masten und einer allfälligen baulichen Begrenzung des Strassenquerschnittes muss gross genug sein und darf die mechanische Trottoirräumung, das Passie-

ren mit Kinderwagen etc. nicht behindern. Die Sicht auf die Ampeln soll vom vordersten Fahrzeugführer aus gewährleistet sein. Die Signalträger stehen deshalb 3 - 4 m in Fahrtrichtung nach der Haltelinie.

Grundlagen zur Ampel-Aufstellung

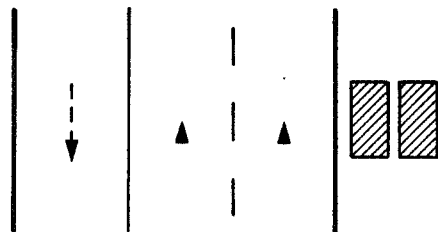
Verordnung über die Strassensignalisation (5.9.1979), insbesondere Art. 71.1 sowie SN 640 825 und 640 840.

Prinzipielle Möglichkeiten

Für die folgenden Beispiele wird angenommen, dass der Verkehr auf den einzelnen Fahrstreifen separat geregelt wird.

Es bestehen drei prinzipielle Aufstellungs-Möglichkeiten bezüglich zwei- und dreispuriger Richtungsfahrbahnen:

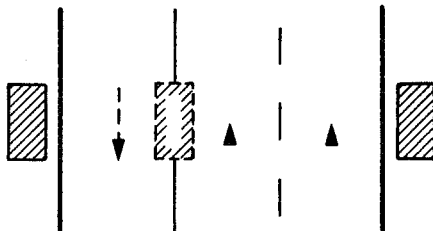
a)



Ampeln stehen am rechten Rand der Fahrbahn

Diese Anordnung wird wegen der Gefahr falscher Interpretation nicht empfohlen!

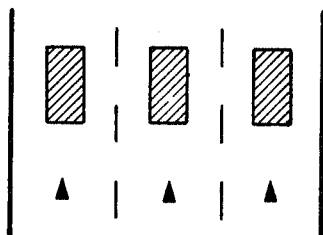
b)



Bei zwei Fahrstreifen in gleicher Richtung kann die Ampel für den linken Streifen, bei nur einer Gegenspur, auf der linken Strassenseite stehen, wenn keine Insel zum Aufstellen der Ampeln vorhanden ist.

Die Anordnung von Mittelinseln ist in diesen Fällen empfehlenswert. Notfalls kann auch eine Ueberkopf-Signalisation vorgesehen werden.

c)



Bei drei und mehr Fahrstreifen in gleicher Richtung können die Ampeln über dem Fahrstreifen angeordnet werden.

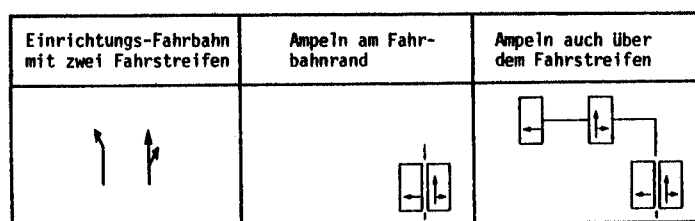
Eine Ueberkopf-Signalisierung allein soll aber nicht vorgesehen werden (u.a. müssten die Haltelinien sehr weit zurück versetzt werden).

Wenn eine Ueberkopf-Signalisierung als notwendig erachtet wird, ist eine Kombination mit Fall b), mit Mittelinsel, zweckmässig.

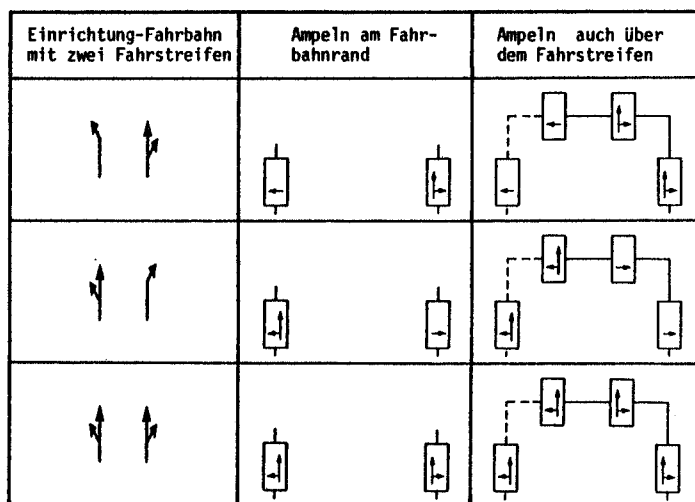
Beispiele im Fall von zwei Fahrstreifen

Strassen mit Mittelinseln oder Einbahnstrassen (Wiederholungssignale, Blinklichter etc. sind in folgenden Schematas nicht berücksichtigt).

Die vorstehend erwähnte Aufstellungs-Möglichkeit gemäss Fall a) - beide Ampeln am rechten Fahrbahnrand - hat sich als gefährlich erwiesen:



Es wird empfohlen, die Ampel für den rechten Fahrstreifen am rechten und die Ampel für den linken Fahrstreifen am linken Rand der Richtungsfahrbahn aufzustellen:



Beim letzteren Beispiel der Fahrstreifenzuordnung sollte der Verkehr auf den beiden Fahrstreifen nicht separat geregelt werden!

Beispiele im Fall von drei Fahrstreifen

Es wird empfohlen, die Ampeln für den rechten und mittleren Fahrstreifen rechts, jene für den linken Fahrstreifen links aufzustellen:

Einrichtungsfahrbahn mit drei Fahrstreifen	Ampeln am Strassenrand	Ampeln auch über dem Fahrstreifen

Es stellt sich bei den vorstehenden Fällen die Frage, ob auf die Ampel am rechten Strassenrand mit dem Geradeaus-Pfeil verzichtet werden könnte. Es würde sich dann nicht mehr um eine im Prinzip bewährte "Fahrstreifen-Signalisation" handeln.

6.4 Anmeldemittel

Verwendungszweck

Detektoren dienen in der Strassenverkehrstechnik der Gewinnung von Informationen. Je nach Art der benötigten Information werden Detektoren zu folgenden Zwecken eingesetzt:

- Verkehrsmengenzählung,
- Verkehrsdichtemessung,
- Rückstaumessung,
- Anwesenheitserfassung (Anforderung und Verlängerung),
- Geschwindigkeitsmessung und
- Unterscheidung von Fahrzeugtypen.

Typen

Bei der Lichtsignalsteuerung gelangen folgende Detektortypen zum Einsatz:

- | | |
|---------------------------------|---|
| für individuelle Fahrzeuge: | <ul style="list-style-type: none">- Induktionsschleifendetektor- in Ausnahmefällen Radargeräte |
| für öffentliche Verkehrsmittel: | <ul style="list-style-type: none">- Fahrdrahtkontakte- Schienenkontakte- Empfangsschleife für spezielle Sender (auch für fahrdrahtunabhängige Fahrzeuge (Busse) geeignet) |
| für Fussgänger: | <ul style="list-style-type: none">- Druckknopfdetektor. |

Verlegung der Anmeldemittel

Die Schleifen für den Privatverkehr werden im Bereich (bis ca. 40 m) vor der Haltelinie verlegt. Falls kurze Schaltintervalle gefordert werden, oder die Induktionsschleifen nur zur Anmeldung von Fahrzeugen dienen, so werden diese im Abstand von 5 - 10 m vor der Haltelinie verlegt. Dazu wird ein Schlitz in den Belag eingefräst, der anschliessend mit einer Füllmasse ausgegossen wird. Die dazugehörenden elektronischen Verstärker sollen in einer nicht zu grossen Entfernung, unter 200 m, montiert werden. Für differenzierte Anordnungshinweise wird auf die Lit. 13 verwiesen.

Für den öffentlichen Verkehr in innerstädtischem Gebiet richtet sich die Distanz der Anmeldemittel nach der Zahl der verkehrenden Kurse, der geforderten Priorität oder der Streckengeschwindigkeit. Je höher die Priorität der Bevorzugung, je grösser wird im allgemeinen die Distanz, oder es sind komplizierte Steuerapparate notwendig, die in der Lage sind, entsprechend rasch zu reagieren (Widerruf bereits eingeleiteter Signalabläufe). Für die Detektoren der öffentlichen Verkehrsmittel haben verschiedene Transportunternehmen ihre eigenen Systeme. Die Fahrdrähtkontakte müssen in jedem Fall bahnseits montiert werden.

6.5 Steuergeräte und Kabelnetz

Steuergeräte

Bei der Bestimmung des Standortes des Steuergerätes ist auf folgende Punkte zu achten:

- Der Standort der Steuergeräte soll so gewählt werden, dass sie durch allfällige Unfälle nicht beschädigt werden,
- Die Netzzuleitung soll möglichst kurz sein (unter 100 m),
- Die Sicht der Verkehrsteilnehmer darf durch das Steuergerät nicht beeinträchtigt werden,
- Die Sicht vom Steuergerät auf die Kreuzung muss gewährleistet sein,

- Die Handsteuerung wird an einem speziell gekennzeichneten Mast mit gelber Mastkappe am Knoten selbst angebracht. Beim ausnahmsweisen Einbau einer Handsteuerung im Steuergerät muss von seinem Standort der Knoten gut überblickt werden können. Handsteuerung und elektrische Steuereinheit müssen jedoch getrennt zugänglich sein und dürfen nicht mit demselben Schlüssel versehen werden (Lit. 12). Bei der Handsteuerung wird vielfach nicht jeder einzelne Fahrstreifen einzeln geregelt, sondern nur das Schalten bestimmter Phasen ermöglicht (zum Beispiel gelb-blinken, alles Rot etc.).
- Steuergeräte können ohne weiteres im Freien aufgestellt werden. Wird der Steuerapparat in einem geschlossenen Raum untergebracht, so soll der freie Zugang jederzeit (auch nachts) gewährleistet sein.

Kabel

Es wird dringend empfohlen, jeden Signalmast durch ein eigenes Kabel direkt mit dem Steuerapparat zu verbinden. Diese Lösung ist etwas aufwendiger, hat aber weniger Störquellen (weniger Klemmen). Für den Einsatz von Fehlerstromschutzschaltern zum Schutz der Personen ist die Einzelverkabelung zwingend erforderlich.

Als Kabel sollen nur armierte Typen verwendet werden, da die Beschädigungsgefahr (infolge Setzungen, Ratten etc.) gegenüber anderen Ausführungen geringer ist.

Kabelkanäle

Die Kabel werden in Kunststoffrohre mit einem Durchmesser von 10 - 15 cm (evtl. grösser) verlegt, die in einer Tiefe von ca. 70 cm liegen (Lit.12). Bei Neuanlagen ist die Anzahl und die Führung der Rohre so zu wählen, dass zusätzliche Kabel jederzeit ohne Grabarbeiten und möglichst ohne Verkehrsbehinderungen eingezogen werden können. Bei bestehenden Knoten ist darauf zu achten, dass infolge der Grabarbeiten der Verkehr nicht übermässig gestört wird (evtl. nur ein Quergraben über die Hauptachse).

7. BETRIEB EINER LICHTSIGNALANLAGE

7.1 Betriebsaufnahme

Verantwortung

Der Werkbesitzer trägt die volle Verantwortung für den Betrieb und den Unterhalt einer Verkehrsregelungsanlage (Werkhaftung). Zur Vermeidung von Verkehrsgefährdungen ist die Anlage regelmässig zu überprüfen (vergl. Lit. 13).

Zur Klärung von Fehlern, für Rückfragen bei Strassenverkehrsunfällen etc. ist die Aufzeichnung aller mit der Lichtsignalanlage zusammenhängenden Daten in einer Akte notwendig. Dem heutigen Stand der Technik entsprechend sind die Steuerapparate mit Diagnosesteckern auszurüsten, über die die Steuerimpulse (Starkstromkreise) der Ampelanschlüsse auf Papierstreifen registriert werden können. Von Vorteil sind besondere Stecker mit entsprechenden Kabelausgängen zum Anschluss von Verkehrszählgeräten.

Abnahme

Für die Steuergeräte ist vor der Montage am Knoten eine Werkabnahme zweckmässig. Bei Lichtsignalanlagen mit reproduzierbarem Ablauf sollen die Verkehrsabläufe im Detail überprüft werden. Vollverkehrsabhängige Anlagen lassen sich in der Regel nicht mit letzter Konsequenz austesten. Sie sollten deshalb aktive Sicherheitseinrichtungen aufweisen.

Die Abnahme der Lichtsignalanlage umfasst in erster Linie die Kontrolle (Lit. 13):

- des ordnungsgemässen Ausbaues sowie der korrekten Anbringung der Signalisationen, Markierungen etc.

-
- die Uebereinstimmung der geschalteten Signalzeiten mit den gültigen Unterlagen und
 - die Vollständigkeit der Unterlagen zuhanden der Auftraggeber.

Ueber die Kontrollen ist ein entsprechendes Protokoll zu führen. Die Verantwortlichkeiten der Lieferfirma gegenüber dem Auftraggeber sind bereits im Werkvertrag eindeutig zu regeln.

Inbetriebnahme der Anlage

Der Verkehrsablauf muss bei der ersten Einschaltung der Anlage während mehreren Stunden dauernd überwacht werden. Sofortige Aenderungen sind jedoch nur in aussergewöhnlichen Fällen (unvorhersehbare Planungsmängel) vorzunehmen.

Die grundsätzliche und detaillierte Ueberprüfung der Regelung (Signalzeitenpläne) erfolgt üblicherweise zwei bis drei Monate nach der Inbetriebsetzung. Erst nach dieser Zeitspanne hat sich der Verkehr erfahrungsgemäss auf die Lichtsignalanlage eingestellt, so dass anhand neuer Zählungen die Einstellung nötigenfalls korrigiert werden kann. Für derartige Vorkehrungen (Programmkorrekturen, zusätzliche Ampeln, Detektoren etc.) sollten von Anfang an die erforderlichen Mittel bereitgestellt werden.

7.2 Ein- und Ausschalten

Betriebsarten und Rechtsgrundlagen

Es sind zwei Betriebsarten zu unterscheiden:

- der "Normalbetrieb" und
- das "Gelb-Blinken" ("Signale aus" sollte den Ausnahmefall darstellen).

Signalgesteuerte Knoten haben je nach der laufenden Betriebsart unterschiedliche Rechtsgrundlagen und damit auch unterschiedliche rechtliche Konsequenzen für den Fahrzeuglenker. Beim eingeschalteten Zustand (Normalbetrieb) wechseln die Vortrittsverhältnisse entsprechend der aufleuchtenden Signalfarben. Beim ausgeschalteten Zustand ("Gelb-Blinken") gelten die Verkehrsverhältnisse der sekundären Signalisation. Es ist durchaus möglich, dass sich beim Ein- oder Ausschalten der Verkehrsregelungsanlage diese Vortrittsverhältnisse schlagartig ändern, zum Beispiel bei Störungen.

Beim Umschalten von einer Betriebsart zur anderen muss der Uebergang von der Vortrittsregelung zur Signalsteuerung und umgekehrt über eine verkehrstechnisch unbedenkliche Folge von Signalzuständen vorgenommen werden.

Ein- und Ausschalten der Anlagen

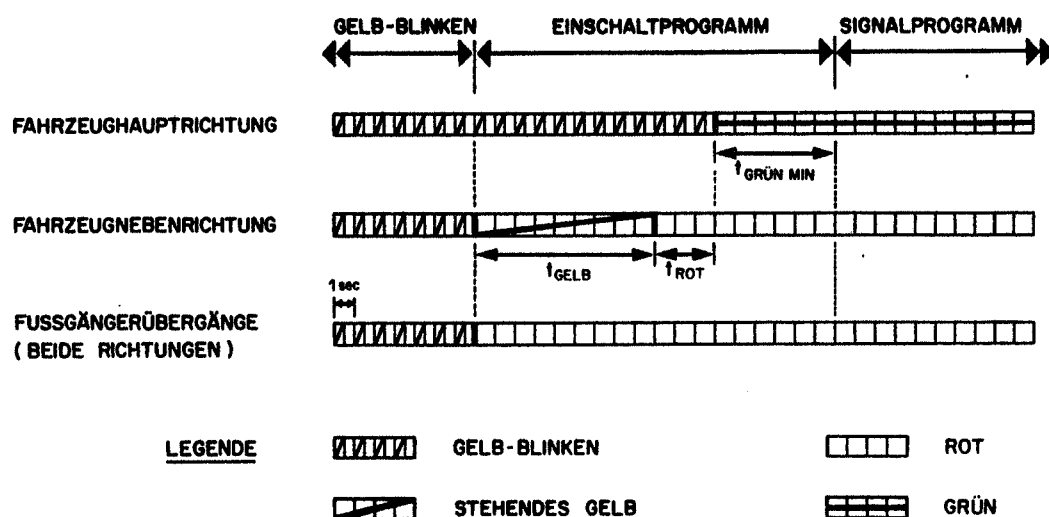
In Kenntnis dieser Problematik wurde auf vielfältigste Art und Weise versucht, mittels eigentlicher Ein- und Ausschaltprogramme diesen Vorgang möglichst unter Vermeidung jeglicher Verkehrsgefährdung abzuwickeln. Nachstehend sind zwei Verfahren angegeben.

Beim Ausschalten der Anlage erscheint nach Ablauf der stehenden Gelbzeit das Gelb-Blinken bei den Hauptlampen. Die Methode des Ausschaltens über stehendes Gelblicht kann in jedem beliebigen Signalisationszustand, selbst nach kürzesten Grünzeiten, erfolgen. Damit ist es völlig unproblematisch, wenn im Falle einer Störung die Lichtsignalanlage sofort abgeschaltet werden muss.

Die Erzeugung des überlangen Gelblichtes geschieht vollständig unabhängig von der Zeitmessung der Grün- und Rotzeiten. Sie ist in der Regel leicht zu gewährleisten, auch wenn die eigentliche Steuerung Defekte aufweisen sollte. Der einzige Nachteil ist darin zu sehen, dass beim Einschalten der Lichtsignalanlage kurzzeitige Verzögerungen auftreten können.

Zur Einschaltung einzelner Lichtsignalanlagen kann auch folgendes Schaltverfahren verwendet werden:

Abb. 20: Einschaltprogramm



Die Lichtsignalanlagen sind in der Regel durchgehend (Tag und Nacht) in Betrieb zu halten. Dies wirkt sich nachweislich günstig auf das Unfallgeschehen aus (siehe Anhang 2). Auch in verkehrsschwachen

Zeiten dürfte strenggenommen eine Abschaltung zur Verringerung von Wartezeiten und Immissionen nur dann vorgenommen werden, wenn der Grund, der zur Aufstellung der Anlage geführt hat, entfällt.

7.3 Kosten und Unterhalt

Erstellungskosten

Die Kosten variieren je nach Fabrikat und den gestellten Bedingungen (verkehrsabhängige Signalplanmodifikationen, Ueberkopfsignalisation usw.). Die grössten Kosten verursacht der Bau der Aussenanlage (Leitungsgräben). Die Ausgaben für den Steuerapparat fallen im allgemeinen nicht massgeblich ins Gewicht.

Eine gewöhnliche 2-Phasen-Anlage kostet beispielsweise mindestens Fr. 50'000.-- und eine Einmündung mit 3 Phasen ungefähr Fr. 120'000.-- bis Fr. 150'000.--. Diese Zahlen sind selbstverständlich als Richtlinien aufzufassen und gelten nur für Einzelanlagen (Preise 1980). Sobald es sich um Anlagen mit Zentralsteuerung handelt, sind andere Massstäbe anzulegen. Bei den Bauarbeiten sind nur die Grabarbeiten für die Leitungen, Signalmasten usw. eingerechnet, nicht aber Korrekturen der Strassen, neue Schutzinseln usw., welche erfahrungsgemäss immer noch dazukommen.

Die buchmässige Abschreibung wird etwa wie folgt vorgenommen:

- Steuergerät, Datenerfassung (Detektoren): max. 10 Jahre
- Aussenanlagen (Ampeln, Kabel) : 25 Jahre

Betriebskosten

Der mittlere finanzielle Aufwand für den Betrieb einer Lichtsignalanlage kann nur schwer ermittelt werden, da hierzu eine entsprechende funktionale Gliederung der Rechnungen der öffentlichen Hand notwendig wäre. Zudem spielt auch die Grösse der Lichtsignalanlage eine erhebliche Rolle.

Die Anteile der einzelnen Aufwendungen setzen sich in etwa wie folgt zusammen:

	Anteile der Betriebskosten
- Ueberwachung und Kontrolle	9 - 12 %
- Unterhalt der Anlage: periodischer Glüh- lampenwechsel, Reinigung der Anlage, Be- hebung von Störungen inkl. Material, teil- weise mit eigenem Personal oder aber im Unterhaltsvertrag mit Lieferfirma geregelt	37 - 50 %
- Energiekosten	40 - 25 %
- Versicherungen (Schaden u. Haftpflicht)	3 %
- Anpassung der Steuerungsanlage an veränderte Verkehrssituation	11 - 12 %
Total Unterhaltskosten	<u>100 %</u> =====

Unterhalt

Zur Wahrung der Betriebssicherheit müssen Lichtsignalanlagen ge-
wartet werden. Der Beauftragte für den Unterhalt muss

- die laufende Betriebsfähigkeit sowie die ständige Verkehrssicherheit,
- die sofortige Beseitigung von Störungen,
- den einwandfreien mechanischen Zustand der Anlage gewährleisten
sowie
- die Funktionen der Lichtsignalanlage überprüfen.

Ueblicherweise werden diese Arbeiten oder Teile davon durch die
Lieferfirma besorgt, mit der ein Werkvertrag über die Unterhalts-
arbeiten und den Pikettdienst abgeschlossen wird. Die Unterhalts-
arbeiten bilden einen Bestandteil der Offerte zur Erstellung der Ver-
kehrsregelungsanlage. Mit Vorteil werden solche Verträge für die
Dauer von 5 bis 10 Jahren unter Berücksichtigung der Teuerung abge-
schlossen. Ueber die Unterhaltsarbeiten sind entsprechende Protokolle
zu führen.

BETRIEBSZEITEN VON LICHTSIGNALANLAGEN

Quelle: Stadtpolizei Zürich 1978

Anzahl Unfälle bezüglich verlängerten Betriebszeiten

1 JAHR VOR VERLÄNGERUNG		Oertlichkeiten	1 JAHR NACH VERLÄNGERUNG	
0600 - 2100			0600 - 0100	
		Reibuch - / Schaffhauserstrasse		
		Badener - / Luggwegstrasse		
		Seidengasse / Uraniasstrasse		
		Nordstrasse / Rosengartenbrücke		
		Kornhaus - / Röteli - / Reibuchstrasse		
		Hofwiesen - / Wehntalerstrasse		
		Brunau - / Rietenstrasse		
		Duttweilerbrücke / Herdern - / Hohlst.		
		Sihlporte		
		Bleicherweg / Stackerstrasse		
		Binzmühle - / Glaublen - / Wehntalerstrasse		
		Altstetter - / Rautenstrasse		
		Börfen - / Schaufelb. - / Schweighofstrasse		
Total: 113 Koll. 61 Verl. 0 Tote Sachsch. Fr. 607 090.-		Unfälle Verletzte	Total: 16 Koll. 4 Verl. 0 Tote Sachsch. Fr. 105 720.-	

1 JAHR VOR VERLÄNGERUNG		Oertlichkeiten	1 JAHR NACH VERLÄNGERUNG	
0630 - 0100			0600 - 0100	
		Alfred Escher - / General Willestrasse		
		Ueberland - / Winterthurerstrasse		
		Guggach - / Milchbuck - / Schaffhauserstrasse		
		Bullinger - / Handstrasse		
		Badener - / Luggwegstrasse		
		Buchegg - / Hirschw. - / Schaffhauserstrasse		
		Fabrik - / Linnatsstrasse		
		Buchegg - / Wehntalerstrasse		
		Badener - / Berfa - / Sihlfeldstrasse		
		Förnbuck - / Hardturmstrasse		
		Duttweilerbrücke / Pfingstweidstrasse		
		Duttweilerbrücke / Herdern - / Hohlst.		
Total: 84 Koll. 41 Verl. 1 Toter Sachsch. Fr. 614 880.-		Unfälle Verletzte	Total: 7 Koll. 3 Verl. 0 Tote Sachsch. Fr. 69 000.-	

Abkürzungen und Symbole

a	[sec]	= Anfahrintervall bez. der Front des er- Fahrzeuges an der Haltelinie nach Grünbeginn
d	[sec]	= mittlere Verzögerungszeit je Fahrzeug pro Umlauf
FG		= Fussgänger
Fz		= Fahrzeuge
h		= Stunde
L _{FG}	[m]	= Länge des Fussgängerstreifens
L _{Fz}	[m]	= Platzbedarf pro Fahrzeug
LSA		= Lichtsignalanlage
LW		= Lastwagen
MV	$\left[\frac{Fz}{h} \right]$	= massgebende Verkehrsmenge pro h
m	$\left[\frac{Fz}{t_u} \right]$	= Anzahl Fahrzeuge pro Umlauf t_u
MV ₁₅	$\left[\frac{Fz}{15'} \right]$	= massgebende Spitzenviertelstunden- belastung
N		= Anzahl Fahrstreifen
öV		= öffentlicher Verkehr
PW		= Personenwagen
q	$\left[\frac{Fz}{h} \right]$	= massgebende Belastung
r	[sec]	= Raumintervall der Strecke des letzten Fahrzeuges an der Halte- linie nach Grünende
RF		= Radfahrer, Velo mit Hilfsmotor
s	$\left[\frac{Fz}{h} \right]$	= Sättigungsfluss
S _A	[m]	= Anfahrweg
SN		= Schweizer Norm

s_R	[m]	= Räumweg
SSV		= Verordnung über die Strassensignalisation vom 5.9.1979
t_A	[sec]	= Anfahrzeit
t_b	[sec]	= Zeitbedarfswert auf der Haltelinie
t_{Gelb}	[sec]	= Gelbzeit
$t_{Grün}$	[sec]	= Grünzeit
$t_{Gr.fest}$	[sec]	= fixe Grünzeit für Sonderphasen (bspw. für öffentlicher Verkehr, Fussgänger etc.)
t_R	[sec]	= Räumzeit
t_{Rot}	[sec]	= Rotzeit
t_{RG}	[sec]	= Rotgelb-Zeit
t_U	[sec]	= Umlaufzeit
t_{U0}	[sec]	= kleinste mögliche Umlaufzeit bei gegebenen Verkehrsmengen
t_Z	[sec]	= Zwischenzeit
v_A	$\left[\frac{m}{sec} \right]$	= Anfahrgeschwindigkeit des ersten Fahrzeuges an der Haltelinie
v_R	$\left[\frac{m}{sec} \right]$	= Räumgeschwindigkeit des letzten Fahrzeuges an der Haltelinie
VSS		= Vereinigung Schweiz. Strassenfachleute

LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

- 1 Jessen G-D.: "Ein Richtlinienvorschlag für die Behandlung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Signalregelung", Strassenverkehrstechnik 7/8/1968
- 2 Raff: "Volume Warrant for Urban Stop Signs", Eno Foundation for Highway Traffic Control, Saugatuck, Connecticut 1950
- 3 Arbeitsgruppe Verkehrssicherheit, Sicherheit an Fussgängerstreifen Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement Bern, Dez. 1978
- 4 ORL Notiz Nr. 32 und 37, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung, ETH Zürich
- 5 Retzko H.G., "Die Gelblichtproblematik an Lichtsignalanlagen im Strassenverkehr - im Zusammenhang betrachtet", Strassenverkehrstechnik Heft 3/4, 1966
- 6 Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Richtlinien für die Anlage von Stadtstrassen (RAST K), Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1973
- 7 Stadtpolizei Zürich, Abteilung für Verkehr, Normen für Zwischenzeiten, Zürich, Januar 1977 (P. Pitzinger)
- 8 Pavel G., "Planen von Signalanlagen für den Strassenverkehr" Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg, Mai 1974
- 9 Gleue A.W., "Grundsätze und Signalprogrammberechnung", Strassenverkehrstechnik H. 2/77, Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg

-
- 10 Webster F.V., Traffic Signal Settings, Road Research Techn. Paper Nr. 39 und Nr. 966, Road Research Laboratory, England, 1961
 - 11 Verordnung über die Strassensignalisation (SSV) vom 5.9.1979
 - 12 Bundesgesetz betreffend elektr. Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz) 24.6.1902, Verordnung über Schwachstromanlagen, Verordnung über Starkstromanlagen 1939.
Kontrollstellen für elektrische Anlagen 26.5.1939.
 - 13 Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Richtlinien für Lichtsignalanlagen "RILSA", Ausgabe 77, Köln
 - 14 Korte J.W., Grundlagen der Strassenverkehrsplanung in Stadt und Land, 2. Auflage
 - 15 Leibbrand K., Verkehr und Städtebau
 - 16 Baerwald J.E., Traffic Engineering Handbook, Institut of Traffic Engineers, Washington D.C. 1965
 - 17 Retzko H.G., Hächelmann P., "Latente Gefahren für Fussgänger bei Lichtsignalanlagen", Zeitschrift für Verkehrssicherheit Heft 23, 1977
 - 18 Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, "Untersuchungen zur Signalfolge an Knotenpunkten", Bundesminister für Verkehr Heft Nr. 200, 1976
 - 19 GEC-Elliott, "Traffic Automation Ltd., a Traffic Network Study Tool", Wembley, England Febr. 1971

- 20 Tiefbauamt des Kt. Zürich, Normalien über Werkleitungen,
Normalien-Sammlung Ausgabe 1977
- 21 Zuberbühler C., "Elemente zur Dimensionierung von Lichtsignal-
anlagen bei Strassenknoten", Institut für Orts- und Regional-
und Landesplanung, ETH Zürich
- 22 Kant. Tiefbauamt Luzern, Leistungsberechnung für Kreuzstutz,
Luzern August 1967

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

1.	EINLEITUNG	1
2.	VERKEHRSELASTUNGEN	1
3.	STEUERUNG DES ANLAGE	2
4.	GESTALTUNG DES KNOTENPUNKTES	2
5.	DIMENSIONIERUNG DER LICHTSIGNALANLAGE	4
6.	FUNKTIONSBESCHRIEB DER LICHTSIGNALANLAGE	7

B E I L A G E N V E R Z E I C H N I S

1	Ganglinien und Verkehrsmischung des Knotens alte Land-/Staffelstrasse
2	Knotenstrombelastung
3	erster Knotenpunktsentwurf
4	Fahrstreifennummerierung und Phasenplan
5	Matrix der Anfahr- und Räumwege
6	Matrix der Zwischenzeiten
7	Phasenübergänge
8	Minimaler Umlauf
9	Berechnung der Umlauf- und Grünzeiten
10	Maximaler Umlauf
11	Staulängenberechnung
12	unterirdische Knotenausrüstung
13	oberirdische Knotenausrüstung

BERECHNUNGSBEISPIEL FÜR EINE EINFACHE LICHTSIGNALANLAGE

1. Einleitung

Zur Illustration der "Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage" wird im folgenden eine einfache und zum besseren Verständnis teilweise konstruierte Einzelanlage in verkehrsabhängiger Steuerung beschrieben. Der Schwierigkeitsgrad steigt rapide an, falls zum Beispiel einzelne Signalgruppen nicht mehr zusammengefasst werden können, sondern allenfalls azyklisch Hauptströme, Querströme, Abbieger und Fussgänger gegeneinander gesichert werden müssen.

2. Verkehrsbelastungen

Verkehrserhebungen

Für den Knoten liegt für einen Dienstag eine Stromzählung von 11.30 - 15.00 Uhr zur Erhebung der Mittagsspitzen und von 17.00 - 19.00 Uhr zur Erfassung der Abendspitze vor. Die Ergebnisse dieser Verkehrserhebung sind in Beilage 1 dargestellt.

Verkehrsmischungen

Die Verkehrsmischungen wurden für die einzelnen Fahrströme und für die Gesamtbelastung des Knotenpunktes ermittelt und in Beilage 1 dargestellt. Die auftretenden Schwankungen sind vernachlässigbar. Es wird im folgenden mit der Verkehrsmischung 2 (vergl. Anleitung Kap. 4.3.3, Seite 37) gerechnet.

Massgebende Verkehrsbelastungen

Aus der Ganglinie ist ersichtlich, dass die massgebende Spitzenstunde zwischen 17.15 und 18.15 Uhr auftritt. Eine Zusammenstellung der entsprechenden Verkehrsbelastungen ist in Beilage 2 enthalten.

Der massgebende Spitzen-Viertelstundenverkehr (MV_{15}) wird gemäss Abb. 7 (vergl. Anleitung Kap. 4.3.3, Seite 37) zu 30% der Spitzenstundenbelastung angenommen (Beilage 2, unten).

Die Werte der am stärksten belasteten Querschnitte betragen $Q_H = 1890 \text{ Fz/h}$, $Q_N = 328 \text{ Fz/h}$. Eine Lichtsignalanlage ist also auch von der Knotenpunktbelastung her gemäss Abb. 1 der Anleitung (Seite 11) gerechtfertigt.

3. Steuerung der Anlage

Für die Lichtsignalanlage wird eine vollverkehrsabhängige Steuerung gemäss folgenden Prinzipien vorgesehen:

- Um in der Hauptstrasse möglichst wenige Fahrzeuge zum Halten zu zwingen, wird bei einer Nichtanforderung der Querrichtung die Hauptphase A bis zur Maximalzeit freigegeben.
- Vor Ablauf der Maximalzeit der Phase A kann ein Umschalten durch Fahrzeugdetektoren der Querrichtung oder Fussgängerdrücker zum Ueberqueren der Hauptrichtung auf die Phase B angefordert werden.
- Diese Umschaltung wird solange zurückgehalten, bis keine Fahrzeuge in der Hauptrichtung mehr die Verlängerung der Phase A anfordern. Nach Erreichen der Maximalzeit wird die Phase A in jedem Fall abgebrochen.

4. Gestaltung des Knotenpunktes

Inventarisierung der örtlichen Gegebenheiten

Die Kreuzung der Alten Landstrasse mit der Staffelstrasse liegt innerorts. Sie bildet ungefähr einen rechten Winkel. Die Alte Landstrasse weist eine Breite von 7.50 m auf, die Staffelstrasse ist 6.50 - 6.80 m breit. Eine Möglichkeit zum Vorsortieren besteht nicht. Die Geschwindigkeit ist auf 60 km/h beschränkt. Die Strassen verlaufen horizontal.

Im engeren Kreuzungsbereich befindet sich eine Haltestelle für die öffentlichen Verkehrsbetriebe (Bus), die nicht verlegt werden soll.

1. Knotenpunkt-Entwurf

Es ist vorgesehen, alle vier Knotenpunkt-Zufahrten so zu erweitern, dass je zwei Vorsortierstreifen entstehen. Um eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit der Lichtsignalanlage und kurze Umlaufzeiten zu erreichen, sollen die zusätzlichen Fahrstreifen den Linksabbiegern zugeteilt werden. Für die Hauptrichtung ist dies aus prinzipiellen und leistungsmässigen Gründen sehr wünschenswert, in der Querrichtung könnte allenfalls darauf verzichtet werden.

Zusätzliche Rechtsabbiegerstreifen kämen der Sicherheit der Fussgänger zugute, sind aber in diesem Beispiel übertrieben und aufwandmässig nicht zu verantworten. Der Zweiradverkehr ist schwach und braucht deshalb keine gesonderte Behandlung.

Die Fahrstreifenbreite wird wie folgt vorgesehen:

Alte Landstrasse

Fahrstreifen für den durchgehenden Verkehr	3.50 m
Fahrstreifen für den abbiegenden Verkehr	3.50 m

Staffelstrasse

Beide Streifen je	3.50 m
-------------------	--------

Die notwendige Stauraumlänge ergibt sich erst aus der Berechnung der Lichtsignalanlage.

An allen vier Knotenpunktzufahrten sind Verkehrsteiler anzuordnen, um eine wirkungsvolle Verkehrstrennung und -führung zu erzielen. Die Verkehrsteiler weisen eine Breite von 1.6 m auf, damit die Verkehrszeichen und die Signalgeber gestellt werden können.

Neben den Inseln sind die Fahrstreifen für den abfliessenden Verkehr 4.5 m breit.

Fussgängerverkehr

Der Fussgängerverkehr ist in die Lichtsignalsteuerung zu integrieren. Um den Geradeausverkehr nicht zu behindern, werden die Fussgängerstreifen vom Rand der durchgehenden Fahrbahn abgerückt.

Busverkehr

Laut Randbedingung muss die Bushaltestelle in heutiger Lage beibehalten werden. Es ist jedoch zu gewährleisten, dass die Zu- und Wegfahrt der Busse nicht durch gestaute Fahrzeuge gestört wird (vergl. Kap.5.7). Auf jeden Fall ist eine Haltebucht vorzusehen.

Der 1. Knotenpunkt-Entwurf ist in Beilage 3 dargestellt.

5. Dimensionierung der Lichtsignalanlage

Fahrstreifen-Aufteilung und Phasenplan

Beilage 4 zeigt die Numerierung aller Fahrstreifen und Fussgängerübergänge sowie die Phasenpläne.

Zwischenzeiten

Anhand der in Beilage 4 ermittelten Konfliktpunkte werden die Distanzen in der Matrix Beilage 5 eingetragen. Die nach dem Verfahren in Kap. 5.4.1 (Seite 50) ermittelten Zwischenzeiten sind in der Matrix Beilage 6 eingetragen, in der auch die den einzelnen Signalgruppen zugehörigen Gelbzeiten vermerkt werden. Die Räumwege bei den Fussgängerstreifen werden nur bis zur Mittelinsel gerechnet.

Phasenübergänge

Aus der Zwischenzeit einerseits sowie aus der Forderung nach zeitlichem Versatz des Grünbeginns der einzelnen Signalgruppen zueinander andererseits, kann nunmehr der komplette Uebergang von der Haupt- (A) in die Querphase (B) und umgekehrt graphisch aufgezeichnet werden. Die Uebergänge von A nach B sind in Beilage 7 links und von B nach A in Beilage 7 rechts dargestellt.

Alle Fahrstreifen der Phase A sollen gleichzeitig 'Grün' erhalten, um die Vortrittsverhältnisse zwischen

- den Linksabbiegern und dem Gegen-Geradeausverkehr
 - den Rechtsabbiegern und den Fussgängern über die Querstrasse
- eindeutig zu zeigen.

Auf einen optisch signalisierten Vorstart für die Fussgänger kann verzichtet werden, da bei gleichzeitigem Grünbeginn für Fussgänger und Fahrzeuge letztere 2 bis 3 Sekunden benötigen, um den Fussgängerstreifen zu erreichen.

Damit ist der Grünbeginn aller Fahrstreifen der Phase A definiert. Die Grünenden der Fahrstreifen der Phase B werden gemäss der Matrix der Zwischenzeiten eingetragen.

Minimale Umlaufzeit

Bei der vollverkehrsabhängigen Steuerung müssen für alle Signalgruppen die Mindest-Grünzeiten festgelegt werden. Bei Fussgängerstreifen mit Mittelinseln ist die minimale Grünzeit so zu dimensionieren, dass auch die zweite Streifenhälfte noch bei Grün betreten werden kann:

- Mindest-Grünzeit der Fahrzeugströme = 8 sec.
- Mindest-Grünzeit der Fussgänger = 6 sec.

resp. Wahl der Grünzeit der Fussgänger, so dass mit Start bei Grünbeginn auch die zweite Hälfte des Streifens betreten werden kann.

Unter Berücksichtigung der Mindest-Grünzeiten entsteht aus der Zusammensetzung mit den Phasenübergängen der Signalzeitenplan mit minimaler Umlaufzeit (Beilage 8).

Maximale Umlaufzeit

Die maximalen Grünzeiten für beide Phasen sollen aufgrund der massgebenden Spitzenstundenbelastungen (vgl. Kap. 4.3.3) ermittelt werden (Beilage 9). Die Berechnung zeigt, dass eine Umlaufzeit von 60 sec. ausreicht, um diesen Verkehr zu bewältigen.

Die Beilage 9 enthält auch den Leistungsnachweis für die nicht konfliktfrei geführten Linksabbieger (gemäss Diagramm in der Anleitung S. 44).

In der Beilage 10 ist der endgültige Signalzeitenplan mit minimaler und maximaler Umlaufzeit enthalten. Dabei beträgt die maximale Verlängerung der Hauptachse A nunmehr 30 sec. Die Querphase B benötigt keinerlei Verlängerungsmöglichkeit. Das Minimal-Grün reicht bereits aus.

Staulängen

In der Beilage 11 werden die Staulängen für alle Signalgruppen ermittelt (vgl. Anleitung Kap. 5.7, Seite 68).

Definitive Knotenpunkt-Gestaltung (Beilage 12 und 13)

Der Leistungsnachweis hat gezeigt, dass die angenommene Fahrstreifenaufteilung (Beilage 4) beibehalten werden kann. Der maximale Stau des Fahrstreifens 11 ergibt 38 m und reicht damit nicht bis zur Bushaltestelle. Ihre Lage kann deshalb akzeptiert werden.

Anordnung der Anmeldemittel

Für die Fahrstreifen der Phase A sind Anmeldemittel für die Phasenverlängerung notwendig. Der Abstand der Detektoren von der Haltelinie soll-

te der Leistung der Minimalzeit mal die Fahrzeuglänge entsprechen:

- Minimalzeit = 8 sec.
- Leistung = 4 Fahrzeuge (vgl. Anleitung Abb 15, Seite 60)
- Fahrzeuglänge = 5,4 m (vgl. Anleitung Tab. 2, Seite 37)
- Detektorabstand = $4 \times 5,4 = 22 \text{ m}$

Für die Fahrstreifen der Phase B sind Detektoren nur zum Anmelden der Fahrzeuge notwendig. Sie werden deshalb in die Nähe der Haltelinie verlegt. Bei den Fussgängerstreifen sind an den Masten Fussgängerdrucktasten anzubringen.

Verlängerungszeit der Phase A

Die Verlängerungszeit des Fahrstreifens 11/17 resp. 12/18 entspricht der Fahrzeit zwischen Detektor und Haltelinie:

- Geschwindigkeit ca. 36 km/h = 10 m/sec
- Verlängerungszeit = $22 : 10 = 2,2 \text{ sec}$ gewählt 3 sec.

6. Funktionsbeschreibung der Lichtsignalanlage

Einschalten:

Die Anlage schaltet über 9 Sec. stehendes Gelb ein.

Einschaltzeitpunkt:

28. Sec. (Phase A).

Detektorenauswertung:

Detektor Phase A: Verlängerungszeit pro Fahrzeugimpuls = 3 Sec.
ab Impulsende gemessen.

Detektor Phase B: Speicherung von Impulsen, löschen bei Ende Gelb der zugehörigen Signale.

Phasenwechsel:

Die Regelung wechselt von Phase A in die Phase B wenn,

1. Phase B angemeldet ist,
2. Minimalzeit Phase A abgelaufen ist und
3. Keine Verlängerungszeit der Phase A läuft oder die maximale Verlängerungszeit abgelaufen ist.

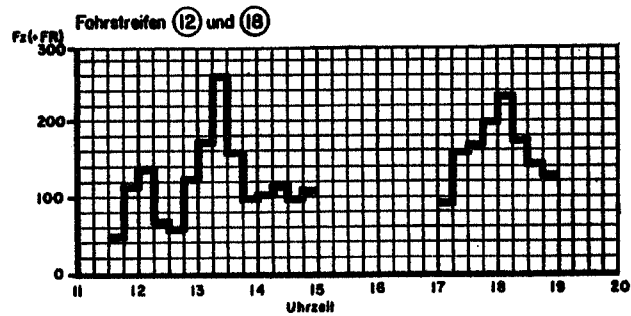
Ausschalten:

Die Normal-Ausschaltung erfolgt über 9 Sec. stehendes Gelb. Ausschaltzeitpunkt: 28.Sec. (Phase A).

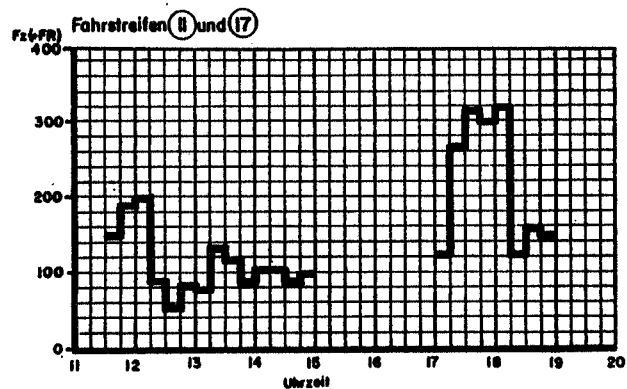
GANGLINIEN UND VERKEHRSMISCHUNG DES KNOTENS ALTE LAND-/STAFFELSTRASSE

(Fahrstreifen-Numerierung siehe Beilage 3/4)

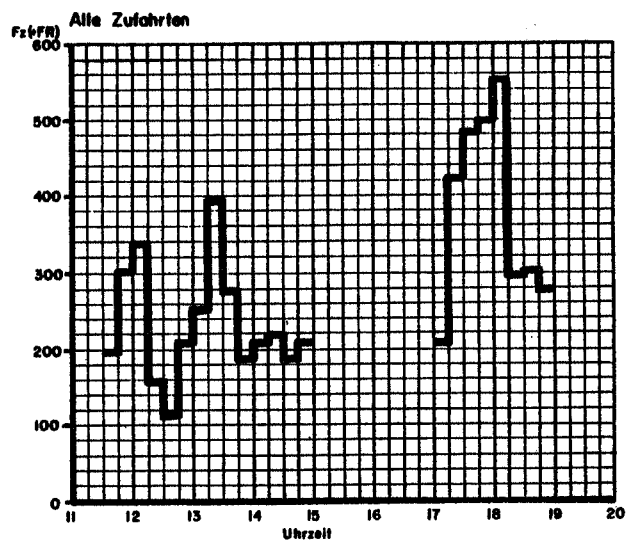
Ganglinien der
Fahrstreifen 12 und 18



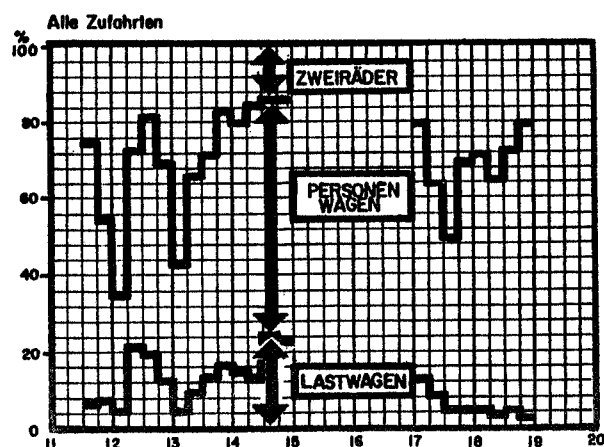
Ganglinien der
Fahrstreifen 11 und 17



Ganglinie der Summe
der Zufahrten

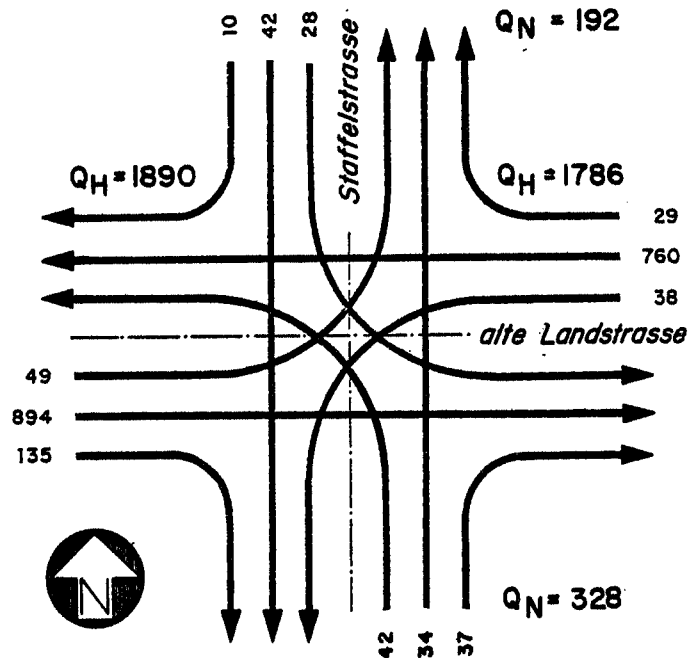


Verkehrsmischung

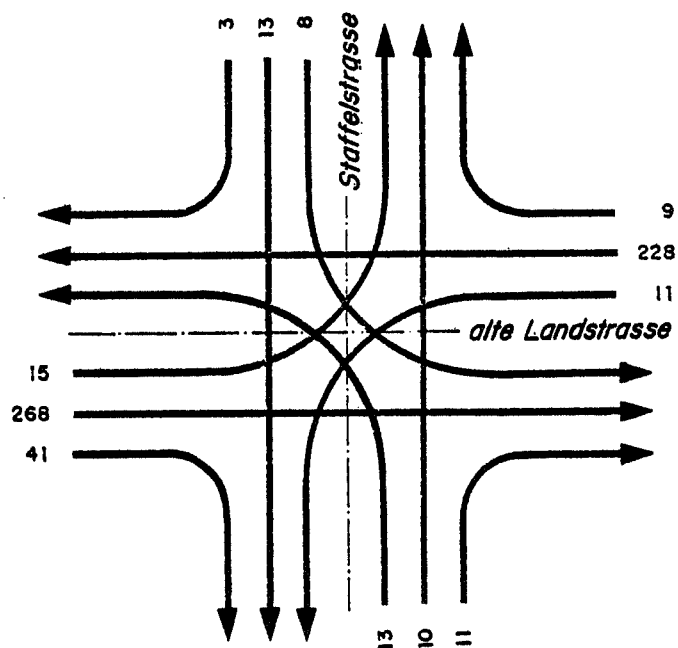


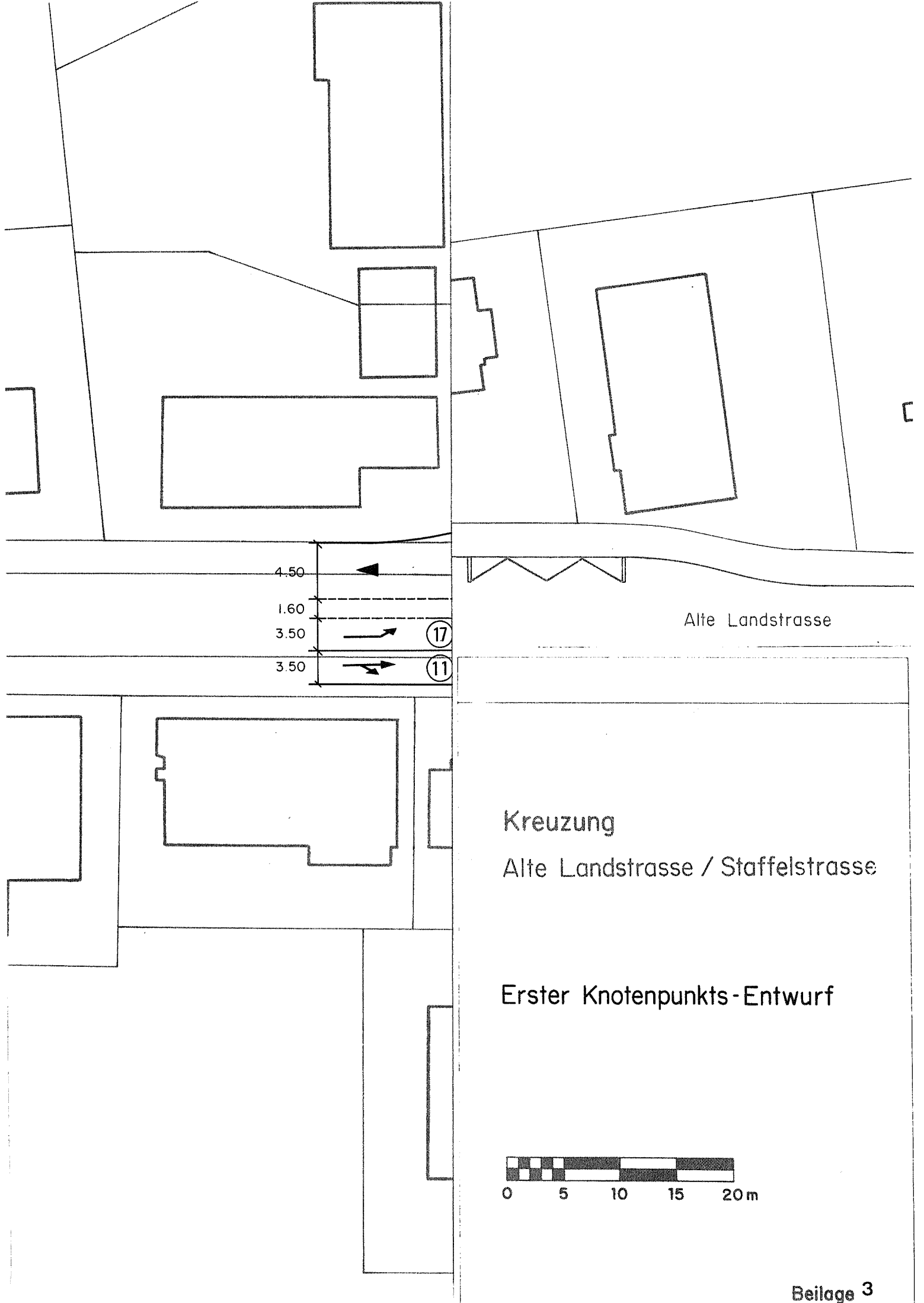
KNOTENSTROMBELASTUNG

MASSGEBENDER SPITZENSTUNDENVERKEHR IN Fz/h
 VERKEHRSMISCHUNG (2) 17.15 - 18.15 UHR



MASSGEBENDER SPITZENVIERTELSTUNDENVERKEHR IN Fz/15min (MVI5)
 VERKEHRSMISCHUNG (2)





4.50

1.60

3.50

3.50

17

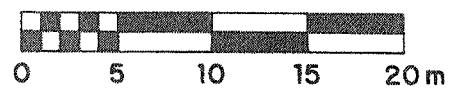
11

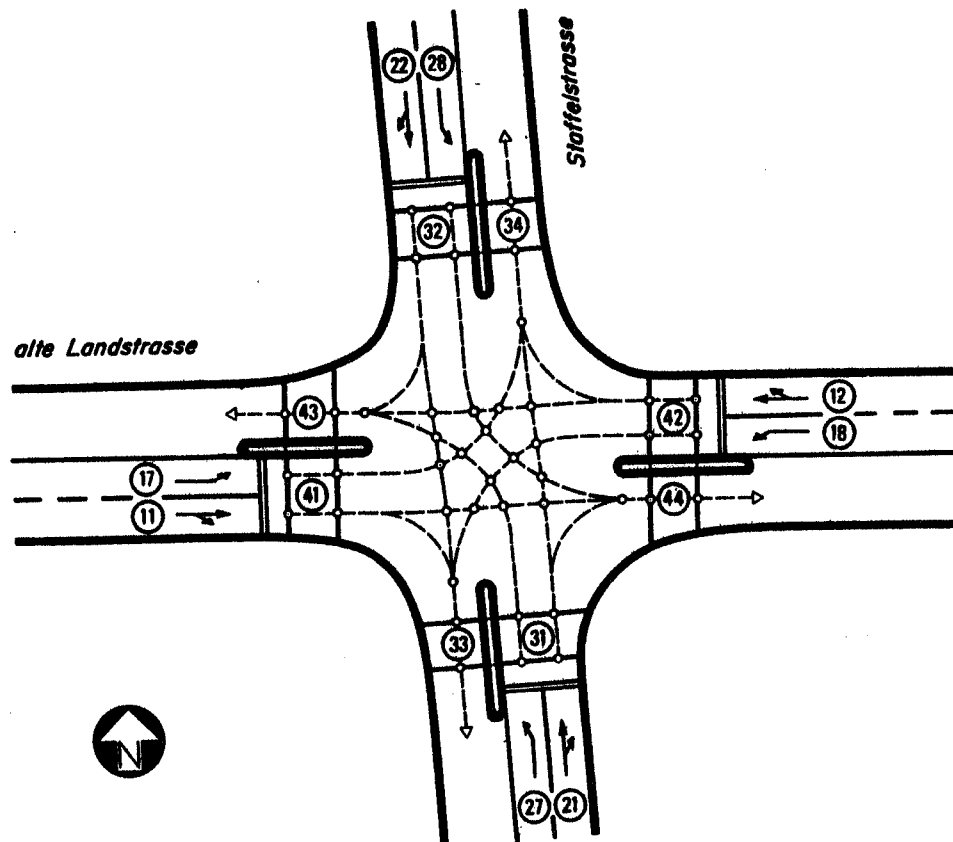
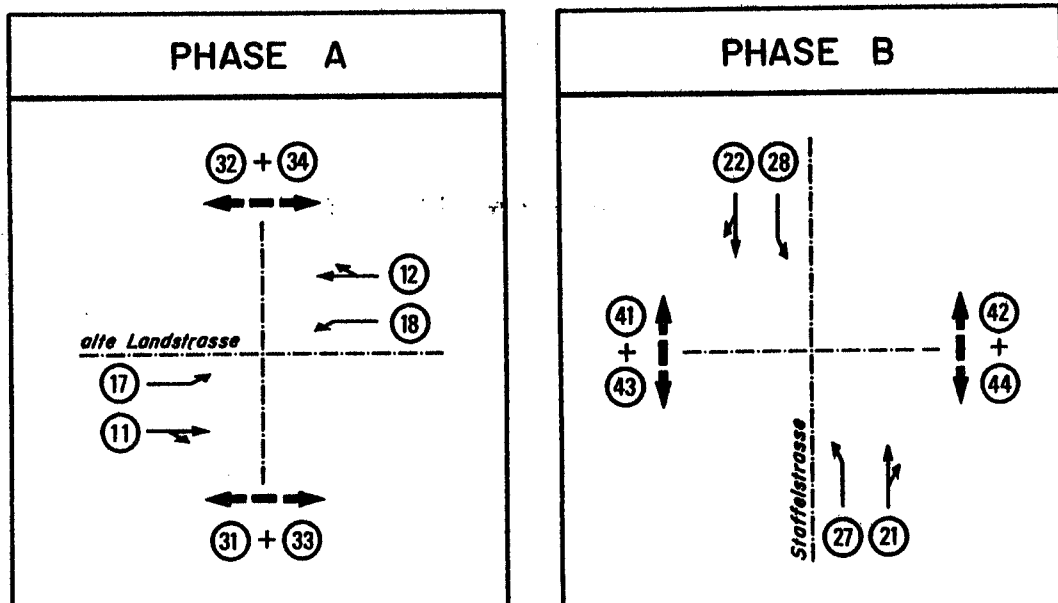
Alte Landstrasse

Kreuzung

Alte Landstrasse / Staffelstrasse

Erster Knotenpunkts-Entwurf



FAHRSTREIFENNUMERIERUNG UND PHASENPLANFahrstreifennumerierungPhasenplan

MATRIX DER ANFAHR- UND RÄUMWEGE

Knoten alte Land-/Staffelstrasse

Anfahren

Sig- nale	11 ^R	11 ^G	12 ^R	12 ^G	17	18	21 ^R	21 ^G	22 ^R	22 ^G	27	28	31	32	33	34	41	42	43	44
11 ^R											34						6,5			
11 ^G							12	13		16	27	13	35				6,5			7
12 ^R							28	23		13	18	28					6			34
12 ^G							20	22		17	17	26	18				6			
17							14	29		23	29	18					6			
18							29	8		10	14	20					6			
21 ^R							13			25	18	14								
21 ^G													6			6,5				
22 ^R													6			38				
22 ^G													6			6				
27													6			40				
28													6			6				
31																				
32																				
33																				
34																				
41																				
42																				
43																				
44																				

Räumen

LEGENDE:

	k
i	SA, SR

11^R: SPUR 11
RECHTSABBIEGER

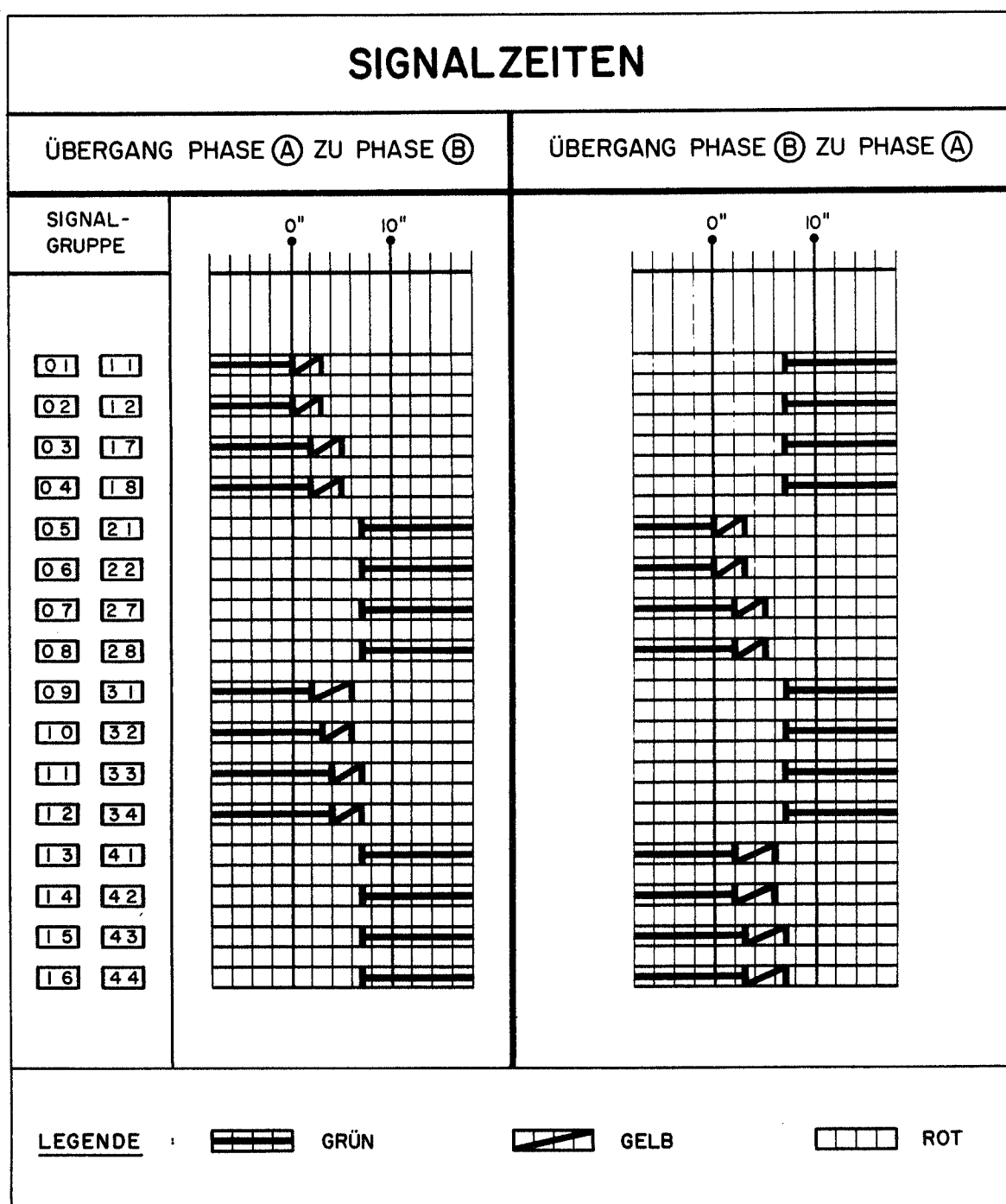
SA: Anfahrweg

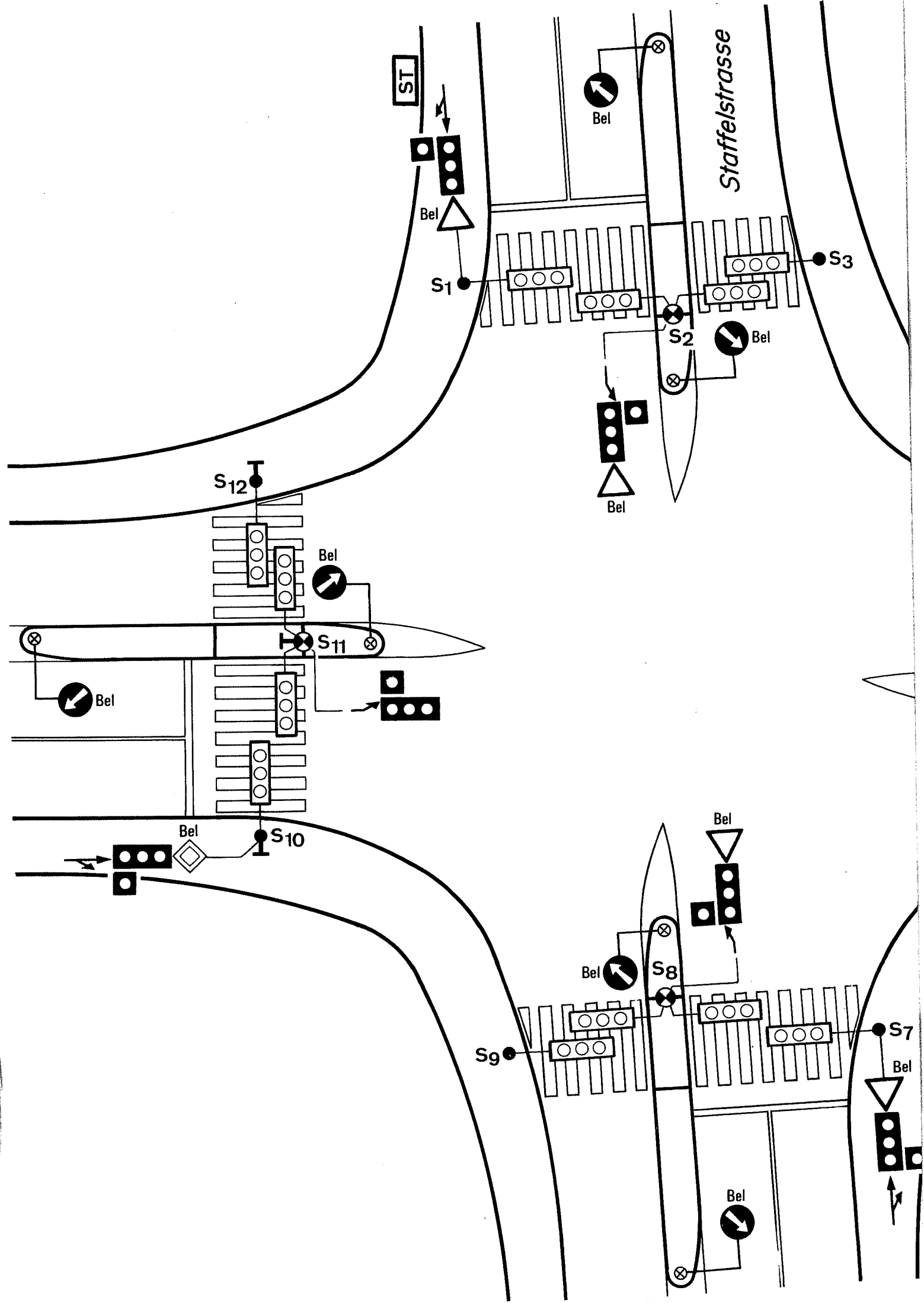
SR: Räumweg

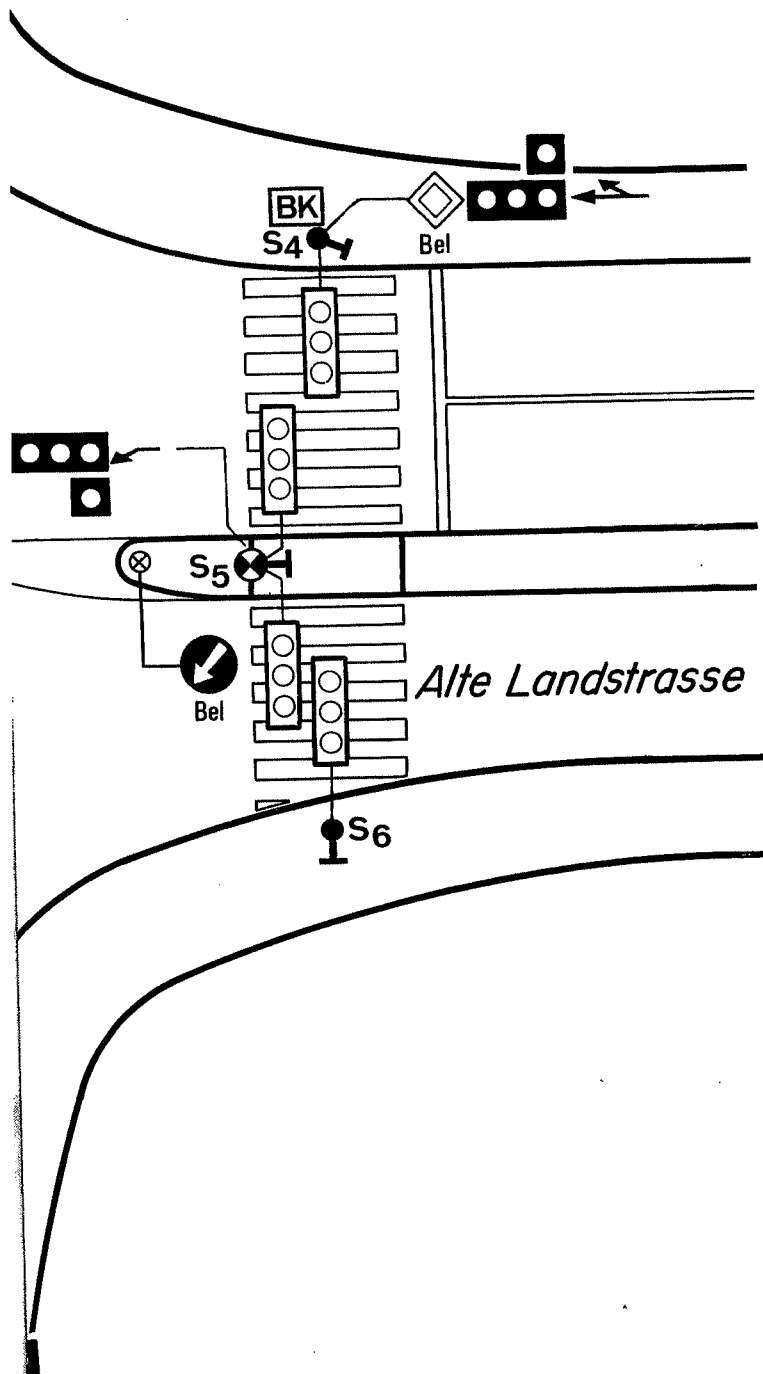
MATRIX DER ZWISCHENZEITEN

Knoten alte Land-/Staffelstrasse

[illegible]

PHASENUEBERGAENGE

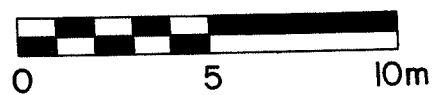




Kreuzung
Alte Landstrasse / Staffelstrasse

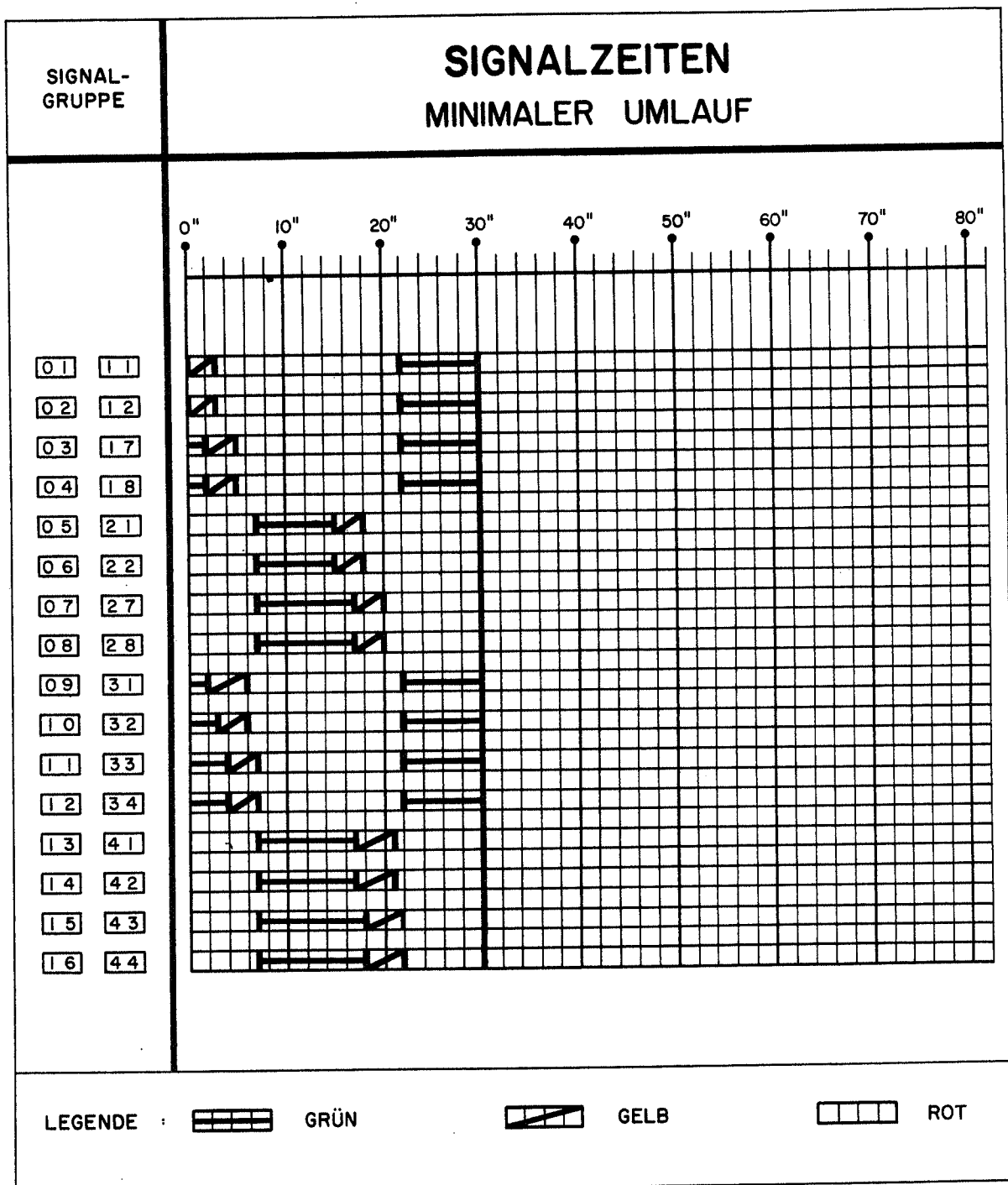
Oberirdische
Knotenausrüstung

M. 1:200



MINIMALER UMLAUF

(Signalzeitenplan mit minimaler Umlaufzeit)



BERECHNUNG DER UMLAUF- UND GRUENZEITEN

$$t_U = \frac{\sum(t_Z + t_{Gr. \text{ fest}})}{1 - \sum\left(-\frac{q}{s}\right)}$$

$$t_{Gr.} = t_U \cdot \frac{q}{s}$$

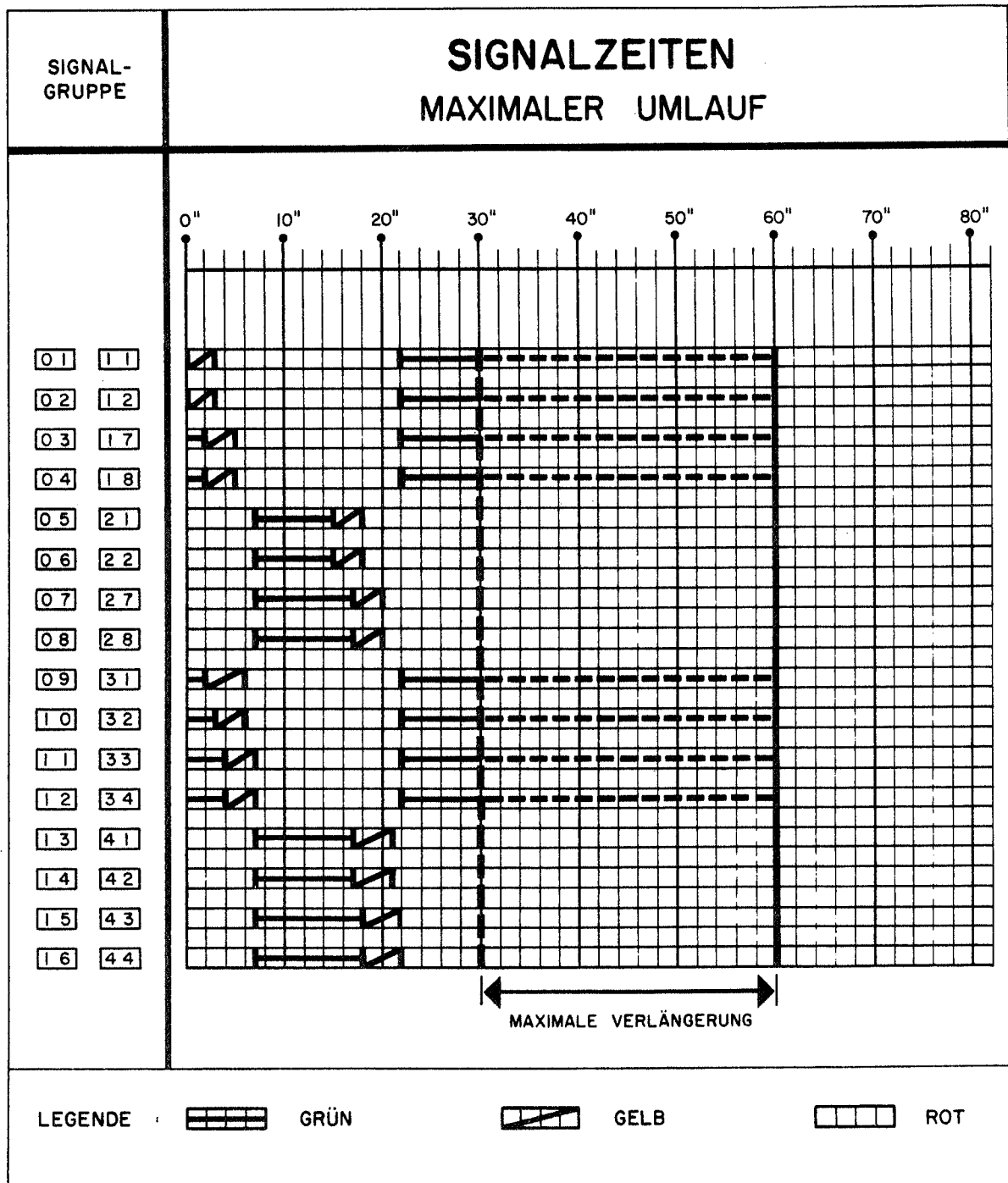
Spitzenviertel- stunde	Phase A			Phase B			Zwischenzeit	Feste Grünzeiten $t_{grün \text{ fest}} \text{ (sec)}$	Umlauf		Grünzeiten	
	q (Fz/h)	s (Fz/h)	q/s	q (Fz/h)	s (Fz/h)	q/s			Erfor- derlich	Ge- wählt	Phase A	Phase B
			*						$t_u \text{ erf.}$	$t_u \text{ gew.}$	$t_{Gr} \quad t_{Gr \text{ min.}}$	$t_{Gr} \quad t_{Gr \text{ min.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 13	14 15
17 ¹⁵ - 17 ³⁰	1235	1980	0.624	85	1980	0.043	14	-	42	50	32 > 8	3 < 8
	1235	1980	0.624	-	-	-	14	8	59	<u>60</u>	38 > 8	8 = 8

Leistungsnachweis für Linksabbieger

Fahrstreifen Nr.	MV ₁₅ (aus Beilage 2 unten)	Fz/h grün	Leistung ausreichend
11	268	1'693	ja
18	11	66	
12	228	1'440	ja
17	15	90	
21	10	300	ja
28	8	192	
22	13	390	ja
28	13	312	

MAXIMALER UMLAUF

(Endgültiger Signalzeitenplan)



STAULAENGENBERECHNUNG

Phase Nr	Fahrstreifen Nr	Spitzenviertelstunden- belastung MV15	Grünzeit sec	Rotzeit sec	Fahrstreifenbelastung $\frac{MV15}{900}$	Gestaute Fahrzeuge pro Umlauf $\frac{MV15 \cdot t_R}{900}$	Fahrzeuglänge a	Erforderliche Staulänge L_{sterf}	vorhandene Staulängen L_{Stvorh}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	11	268	38	22	0.298	7	5.4	38	34 20
	12	228	38	22	0.253	6	5.4	33	
	17	15	40	20	0.017	1	5.4	5.4	
	18	11	40	20	0.012	1	5.4	4.5	
B	21	10	8	52	0.009	1	5.4	5.4	28 11
	22	8	8	52	0.009	1	5.4	5.4	
	27	13	10	50	0.011	1	5.4	5.4	
	28	13	10	50	0.011	1	5.4	5.4	

