

INSTITUT FÜR STRASSEN-UND VERKEHRSWESEN
PROF. DR. RER. NAT. REINHART D. KÜHNE
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik



UNIVERSITÄT
STUTT GART

Signalbau Huber Verkehrstechnik GmbH



Diplomarbeit

DIE VERWENDUNG VON VERKEHRSDATEN AUS VIDEOERFASSUNG ALS
STEUERUNGSGRUNDLAGE VON VERKEHRSSABHÄNGIGEN
NETZSTEUERUNGEN

Dimitrios Tsatalpasidis

Prüfer:

Prof. Dr. Reinhart D. Kühne

Betreuer:

Dipl.-Ing. Peter Schick

Dipl.-Ing. Markus Utz

Dipl.-Ing. Walter Mohr

Abgabe: 11.09.2000

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	1
2.	Methodik der Literaturrecherche	2
2.1	Allgemeines	2
2.2	Vorgehensweise.....	2
2.2.1	Auswahl von Stichwörtern.....	2
2.2.2	Recherche	3
2.2.2.1	Bibliotheken	3
2.2.2.2	Dokumentation Straße der FGSV	4
2.2.2.3	Hochschulen.....	4
2.2.2.4	Forschungseinrichtungen.....	5
2.2.2.5	Firmenkontakte.....	5
2.2.2.6	Suchmaschinen.....	5
3.	Einführung in die verkehrsabhängige Netzsteuerung	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	Historische Entwicklung	8
3.3	Offline - Modelle	9
3.3.1	TRANSYT	10
3.3.2	SIGMA	15
3.3.3	SIGOP	17
3.4	Online – Modelle	18
3.4.1	SCOOT.....	19
3.4.2	UTOPIA / SPOT	28
3.4.3	SCATS.....	32
3.4.4	OPAC.....	37
3.5	Zusammenfassung.....	39
4.	Grundlagen der Videodetektion	42
4.1	Allgemein.....	42
4.2	Induktionsschleifen.....	42
4.3	Infrarotdetektoren	43
4.4	Radardetektor.....	44
4.5	Videotechnologie.....	44
4.5.1	Anforderung aus dem Verkehrswesen	45

4.5.2 Autonomer stabiler Einsatz	45
4.5.2.1 Licht-/ Wetterverhältnisse.....	46
4.5.2.2 Verkehrsverhältnisse.....	46
4.5.3 Automatische Initialisierung	46
4.5.4 Echtzeitbildverfolgung	46
4.5.5 Bildauflösung	47
4.5.6 Zusammenfassung.....	47
5. Das System CCATS.....	49
5.1 Geschichte	49
5.2 Aufbau des Systems CCATS.....	49
5.3 Vergleich von CCATS und Induktionsschleifen.....	53
5.4 Zusammenfassung.....	53
5.5 Das System CCATS im Einsatz.....	54
5.6 Aufbau	54
5.7 Ausgabe	55
5.8 Detektion des Verkehrszustandes.....	55
6. Einsatzmöglichkeit von Videodaten in Netzsteuerungen	59
6.1 Beispiel TRANSYT	59
6.1.1 Programmstrukturaufbau von TRANSYT	59
6.1.2 Erforderliche Daten	60
6.2 Online-Daten	63
6.2.1 Verkehrsstärke	63
6.2.2 Geschwindigkeit.....	63
6.2.3 Fahrzeit.....	64
6.2.4 Fahrzeugtyp.....	64
6.2.5 Sättigungsverkehrstärke	64
6.2.6 Zeitbedarfswert.....	65
6.2.7 Verkehrsdichte	65
6.2.8 Staulänge	65
6.2.9 Pulkauflösung.....	67
6.2.9.1 Überprüfung der Überlegung am Beispiel Neue Weinsteige	71
7. Schlussbetrachtung.....	75

Anhang 1 - Fachterminologie	I
Anhang 2 - Übersetzung der Begriffe der Abbildung 5	VI
Anhang 3 – Modellstruktur von TRANSYT	VII
Anhang 4 – Vergleich von CCATS-Daten mit Induktionsschleifen	VIII
Anhang 5 – Bus-Priorisierung in SCOOT	X
Anhang 6 – Karteikartenstruktur von TRANSYT	XI
Anhang 7 – CCATS auf der Neuen Weinsteig	XII
Anhang 8 – Die Kameras	XIII
Anhang 9 – Ausgabe von CCATS	XIV
Anhang 10 – CCATS-Daten vom 08.08.2000	XIX

Abbildungen

Text

Abbildung 1 - Qualität einer verkehrsabhängigen Steuerung in Abhängigkeit von Planungs-, Prüf- und Pflegeaufwand.....	6
Abbildung 2 - Schematische Darstellung des methodischen Vorgehens bei messwertbasierten und adaptiven Verfahren	9
Abbildung 3 - Typische Zu- und Abflusszusammenhänge.....	11
Abbildung 4 - Hill-Climb-Algorithmus	13
Abbildung 5 - Das Grundprinzip des SCOOT-Verkehrsmodell.....	21
Abbildung 6 - Schema des Informationsflusses in der Scoot-Steuerung	22
Abbildung 7 - AVL mittels dem GPS in Maidstone, England	24
Abbildung 8 - Bedingungen für Unfallerkennung bei INGRID	25
Abbildung 9 - Einteilung in Ebenen.....	29
Abbildung 10 - die Methode des „rolling horizon“	30
Abbildung 11 - Kommunikation der Lichtsignalanlagen	31
Abbildung 12 - Vorgehensweise von CCATS.....	50
Abbildung 13 - Definition des Stellwinkels φ	52
Abbildung 14 - Aufbau des CCATS-Systems auf der „Neuen Weinsteige“	54
Abbildung 15 - Dämpfungsfaktor F	68

Anhang

Abbildung A 3.1 - Modellstruktur von TRANSYT.....	VII
Abbildung A 4.1 - Lageplan des CCATS-Systems und der Induktionsschleife	VIII
Abbildung A 4.2 - Ausdruck der CCATS-Daten im Vergleich mit den Daten der Induktionsschleife.....	VIII
Abbildung A 4.3 - Vergleich von Geschwindigkeit (oben) und Anzahl der Fahrzeuge (unten) zwischen CCATS (1) und Induktionsschleifen (2)	IX
Abbildung A 6.1 - Karteikartenstruktur von TRANSYT	XI
Abbildung A 7.1 - Position der Kameras auf der Neuen Weinsteige	XII
Abbildung A 9.1 - Anzahl der Fahrzeuge.....	XIV
Abbildung A 9.2 - Zeitabstand zwischen den Fahrzeugen in Sekunden	XIV
Abbildung A 9.3 - Geschwindigkeit	XV

Abbildung A 9.4 - Klassifizierung	XV
Abbildung A 9.5 - Anzeige von Stau (Belegung)	XVI
Abbildung A 9.6 - Anzeige von Stau (Geschwindigkeit)	XVI
Abbildung A 9.7 - Anzeige aller erfassten Daten in tabellarischer Form	XVII
Abbildung A 9.8 - Beispiel für die Problematik "Lichteinstrahl" bei Videodetektion.....	XVII
Abbildung A 9.9 - Stauanzeige auf der B27 aufgrund der CCATS-Daten	XVIII

Tabellen

Tabelle 1 - Kurzcharakteristik TRANSYT	15
Tabelle 2 - Kurzcharakteristik SIGMA	17
Tabelle 3 - Kurzcharakteristik SIGOP.....	18
Tabelle 4 - Wichtigkeit und Verfügbarkeit der Daten.....	26
Tabelle 5 - Kurzcharakteristik SCOOT	27
Tabelle 6 - Kurzcharakteristik SCATS	36
Tabelle 7 - Kurzcharakteristik OPAC	39
Tabelle 8 - Übersicht über die beschriebenen Online-Steuerverfahren	41
Tabelle 9 - Richtwerte für die Einbauhöhe der Kamera im Einsatzgebiet Autobahn	51
Tabelle 10 - Unfalltabelle vor und nach der Installation von CCATS.....	53
Tabelle 11 - Unterscheidung in die Verkehrszustände	56
Tabelle 12 - Übergangsbedingungen von Z1 nach Z2 und umgekehrt	57
Tabelle 13 - Übergangsbedingungen von Z2 nach Z3 und umgekehrt	57
Tabelle 14 - Netz-Kontrollkarte	60
Tabelle 15 - Eingabegrößen bei TRANSYT	63

1. EINFÜHRUNG

Durch die steigende Belastung der Straßen aufgrund des Anwachsens des innerstädtischen Kraftfahrzeugverkehrs und der damit verbundenen Umweltbeeinträchtigung ist es im Interesse des Verkehrsplaners, den vorhandenen Straßenraum sowie die Straßenleistungsfähigkeit optimal auszunutzen.

Die Verkehrsverhältnisse im Innenstadtbereich sind, wie es täglich in den Innenstädten zu beobachten ist, katastrophal. Geringe Reisegeschwindigkeit, lange Wartezeiten und Stauungen sind mittlerweile die Merkmale einer „normalen“ Stadt geworden.

Um diesen Zustand zu verändern sind Entwicklungen in Richtung von intelligenten (also verkehrsabhängigen) Netzsteuerungen gemacht worden. Diese Entwicklung der intelligenten Netzsteuerungen sind allerdings dem raschen Fortschritt in der Computerbranche zu verdanken, weil ohne die schnelle Rechenleistung der große Rechenaufwand nicht zu bewältigen sein würde.

Der erste Teil der Diplomarbeit handelt vom Status quo in verkehrsabhängigen Netzsteuerungen. Dabei wird auf den Unterschied von Online- und Offline-Modellen und die Arbeitsweise der Modelle TRANSYT, SIGMA, SIGOP, SCOOT, SCATS, UTOPIA/SPOT und OPAC mit Aufzeigen der erreichbaren Ergebnissen dargestellt.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wird auf der Beschaffung der Verkehrsparameter mittels Detektion eingegangen. Dabei werden kurz die verschiedenen Arbeitsweisen von Induktionsschleifen, Infrarotdetektion, Radardetektion und der Videotechnologie dargestellt und darauf Bezug nehmend das Videodetektionssystem CCATS, welches in Stuttgart auf der „Neuen Weinsteige“ im Einsatz ist, vorgestellt.

Im abschließenden Teil wird untersucht, inwieweit die durch ein Videosystem online erfassten Daten in ein verkehrsabhängiges System zu integrieren sind.

2. METHODIK DER LITERATURRECHERCHE

2.1 Allgemeines

Der traditionelle Weg der Wissensgewinnung hat sich auch durch das digitale Zeitalter nicht verändert. Die Suche nach Literatur hat sich durch die Vernetzung der Bibliotheken, Instituten und Firmen zwar vereinfacht, dennoch ist es ein zeitintensives Vorhaben und sollte, wenn das Endergebnis stimmen soll, auch ernst genommen und gewissenhaft durchgeführt werden.

Für die Erfassung des erforderlichen Materials sind folgende Schritte vorzunehmen:

- Gibt es zum Thema eine geeignete Spezialbibliographie, wird sie für die Recherche zugrunde gelegt.
- Wenn es keine Spezialbibliographie gibt, beginnt die Recherche in Fachbibliographien. Hierbei ist der Forschungsstand der vergangenen Jahre zu bibliographieren.
- Liegt das Gewählte nicht innerhalb der üblichen Grenzen eines traditionellen Fachgebietes, so sind Allgemeinbibliographien heranzuziehen.
- Um noch fehlende Literatur aufzuspüren, sind Forschungsüberblicke der maßgeblichen Forschungsliteratur (jüngere Dissertationen und Habilitationsschriften) heranzuziehen.

2.2 Vorgehensweise

2.2.1 Auswahl von Stichwörtern

Zuerst sollte alle Literatur zum weit gefassten Umkreis des Themas recherchiert werden. Deshalb wurden als erste Orientierung allgemeine Begriffe zum Thema gesucht:

- Flächensteuerung
- Steuerungsverfahren
- Dynamische Steuerungsstrategien
- Adaptive Steuerung

Es wurde ersichtlich, dass die deutschsprachige Literatur nicht zu dem gewünschten Ergebnis führte, woraufhin auch angelsächsische Wörter in der Suche mit aufgenommen wurden, in der Hoffnung, dass die angelsächsische Literatur das Forschungsvorhaben besser unterstützen kann.

- Queue management
- Urban networks
- Urban traffic control
- Traffic management

Um gezielt Informationen zu den einzelnen Steuerungssystemen zu bekommen, wurde die Suche auf die zu untersuchenden Steuerungsverfahren spezialisiert:

- TRANSYT
- SIGMA
- SIGOP
- SCOOT
- SCATS
- UTOPIA
- OPAC

2.2.2 Recherche

Die Linkliste zu allen Bibliotheken, Instituten, Forschungseinrichtungen und Firmen sowie das Ergebnis der gefundenen Literatur ist dem Literaturverzeichnis zu entnehmen.

2.2.2.1 Bibliotheken

Über den Online-Katalog der Universität Stuttgart wurde die Recherche begonnen. Dabei wurde mit den oben genannten Schlagwörtern als Titel, Schlagwort und als Freitext gesucht. Diese Suche begrenzte sich aber nicht nur auf den Stuttgarter Raum, sondern es wurde auch Tübingen, Hohenheim und Karlsruhe miteinbezogen. Im einzelnen wurde gesucht in:

- UB Stuttgart
- Gesamtkatalog Universität Stuttgart (inkl. Institutsbibliotheken)

- StOPAC
- Württembergische Landesbibliothek
- UB Hohenheim, Tübingen
- KVK Karlsruher Virtueller Katalog
- GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund
- OPUS Online Publikationsverbund
- UB Bielefeld

2.2.2.2 Dokumentation Straße der FGSV

Mit der Datenbank „Dokumentation Straße“ der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), welche der Lehrstuhl für Straßenplanung und Straßenbau zur Verfügung stellte, wurde es möglich, in verschiedenen Zeitschriften ab den Jahrgang 1980 nach den oben erwähnten Stichworten zu recherchieren. Dabei stellte sich heraus, dass aus dem deutschen Sprachraum nur die „HEUREKA“ und die Zeitschrift „Straßenbautechnik“ einige passende Ergebnisse lieferten. Aus dem angelsächsischen Raum traten die Zeitschrift „Traffic Engineering & Control“, „Journal of Transportation Engineering“ sowie der „Transportation Research Record“ hervor.

2.2.2.3 Hochschulen

Der nächste Schritt bestand darin, die einzelnen Hochschulen in Deutschland und ggf. im Ausland per World Wide Web zu kontaktieren und über ihre verschiedenen Forschungsarbeiten, Publikationen oder Dissertationen an weitere Informationen zu gelangen. Dabei stellte sich heraus, dass in den letzten Jahren das Thema „verkehrsabhängige Netzsteuerung“ von den Hochschulen nicht behandelt worden ist. Recherchiert wurde an den Universitäten Aachen, Bochum, Braunschweig, Berlin, Darmstadt, Essen, Hamburg, Hannover, Kaiserslautern, Karlsruhe, Kassel, München und Wuppertal. Die ausländischen Hochschulen waren mit Wien, Graz, Innsbruck und Zürich vertreten. Die Recherche beschränkte sich auf den deutschsprachigen Raum, da die Suche im nicht deutschsprachigen Raum viel Zeit in Anspruch nehmen würde und das Ergebnis aller Voraussicht nach diesem Aufwand nicht gerecht werden würde.

2.2.2.4 Forschungseinrichtungen

Nach den Hochschulen wurde die Suche auf verschiedene Forschungseinrichtungen verlagert. Recherchiert wurde beim „Forschungsverbund Verkehrs- und Transportsysteme“, bei der „Bundesanstalt für Straßenwesen“, beim „Transport Research Laboratory“ und beim „Transportation Research Board“. Dabei war es möglich, verschiedene Online-Publikationen nach Stichworten zu durchsuchen, mit dem Ergebnis, auf nützliche Literatur zu stoßen.

2.2.2.5 Firmenkontakte

Schließlich wurden dann die Homepages der Hersteller besucht, wo nach brauchbaren Informationen gesucht wurde. Dabei durfte nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich hierbei um Werbeseiten handelt und man zwischen Eigenwerbung und konstruktive Information unterscheiden sollte. Trotzdem ergaben sich aus diesen Quellen viele Informationen, welche vorher erfolglos gesucht wurden bzw. wurden die vorher gesammelten Ergebnisse hier bestätigt.

2.2.2.6 Suchmaschinen

Suchmaschinen suchen das World Wide Web nach bestimmten, vorher eingegebenen Begriffen. Benutzt wurden die Suchmaschinen:

- Yahoo
- Lycos
- Altavista
- Dino
- Metager

Der erhoffte Erfolg blieb aber aus. Die Web-Adressen der Firmen konnten dadurch zwar ermittelt werden, zu weiterführender Literatur lagen aber keine Hinweise vor. Erschwerend kam noch dazu, dass wenn ein Link (Verweis auf eine Seite) interessant erschien, die Seite entweder nicht mehr erreichbar oder nur über ein Passwort (welches nicht vorhanden war) zu öffnen war.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Literaturrecherche sich schwieriger gestaltete als erwartet, da einerseits die gefundene Literatur veraltet, andererseits die erwünschte nicht verfügbar war.

3. EINFÜHRUNG IN DIE VERKEHRSABHÄNGIGE NETZSTEUERUNG

3.1 Allgemeines

Die Forderung nach störungsfreiem Verkehrsablauf und nach wirtschaftlicher und umweltverträglicher Nutzung der Straßen bzw. des Straßennetzes haben den Stellenwert der Optimierung von Lichtsignalanlagen erhöht. Auch im Hinblick auf das steigende Verkehrsaufkommen und den begrenzten Raum der zur Verfügung steht, ist die Optimierung von Lichtsignalanlagen, als einzelne Komponente bzw., was eigentlich noch wichtiger ist, als ein zusammenhängendes Netz unabdingbar.

Um dieser Forderung gerecht zu werden, wurde schon frühzeitig an der Entwicklung verkehrsabhängiger Steuerungen gearbeitet. Rasche Fortschritte in der Rechnertechnologie sowie steigende Anforderungen an Optimierungsverfahren ermöglichten die Entwicklung neuer komplexer Verfahren. Dass bei der Optimierung des Verkehrsablaufs nicht nur an den motorisierten Individualverkehr, sondern vor allem an den öffentlichen Personennahverkehr gedacht werden soll, ist allgemein bekannt. Entscheidend ist aber auch, dass der für die Koordinierung entstandene Aufwand und der aus dem Ergebnis resultierende Nutzen in einem akzeptablen Verhältnis stehen sollte (Abb. 1).

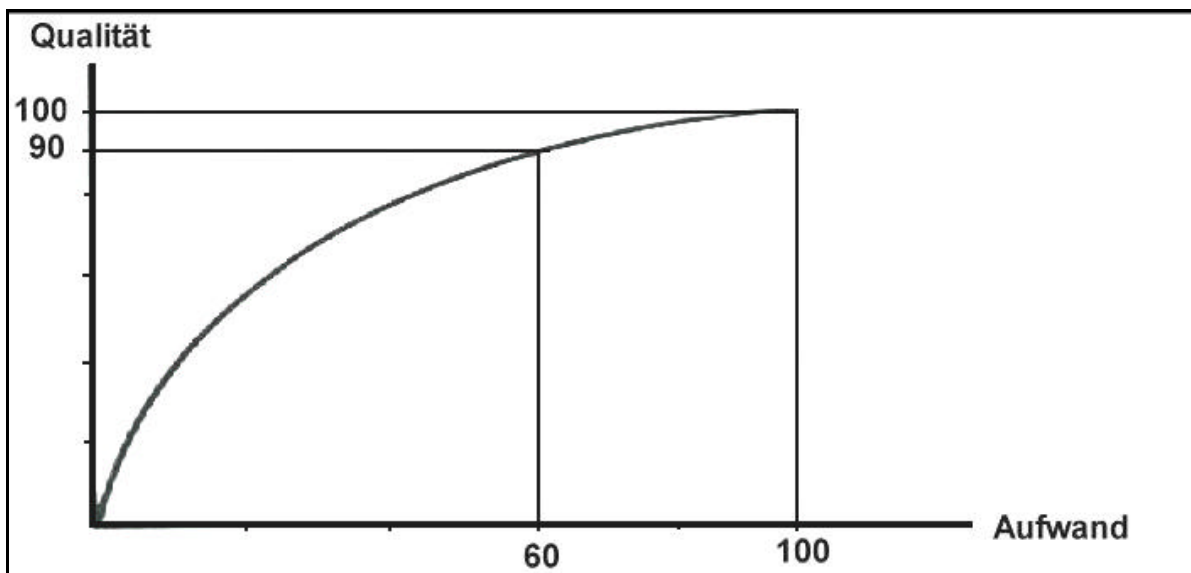


Abbildung 1 – Qualität einer verkehrsabhängigen Steuerung in Abhängigkeit von Planungs-, Prüf- und Pflegeaufwand (WUNDER, 1998)

Auf dem Gebiet der Lichtsignalsteuerung bedeutet die Ermittlung einer optimalen Lösung zum einen die Auswahl der optimalen Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen und Basiselemente der Signalprogramme wie z.B. Phaseneinteilung und Phasenfolge, zum anderen die Bestimmung der optimalen Parameter für die Signalsteuerung. Aus der großen Anzahl von verschiedenen Parametern, die in den Prozess miteinbezogen werden müssen, ist ersichtlich, dass das "Optimum", falls überhaupt gefunden, nicht direkt auf andere Gebiete übertragbar, sondern an die lokale Gegebenheit gebunden ist. Zur Optimierung von Lichtsignalanlagen in Straßennetzen werden vorwiegend folgende Optimierungskriterien angewandt:

- Minimierung der Wartezeit
- Minimierung der Anzahl der Halte
- Minimierung des Kraftstoffverbrauchs
- Minimierung der vom Straßenverkehr ausgehenden Emissionen (Lärm, Schadstoffe)
- Maximierung der Grünbandbreite auf den Hauptverkehrsstraßen

Es sollte in Betracht gezogen werden, dass es grundsätzlich zwei verschiedene Strategien für die Optimierung der Signalsteuerung in einem Straßennetz gibt:

- Stadtfahrplan
- Schachspielmethode

Bei der Strategie „Stadtfahrplan“ wird für ein System von Grünen Wellen ein möglichst guter Verkehrsfluss in den fest vorgegebenen Hauptrichtungen angestrebt. Dabei liegen Festzeitprogramme für die Signalisierung zugrunde, die für die erwarteten Verkehrsbelastungen offline optimiert und zeitplanabhängig oder verkehrsabhängig gewählt werden (BOLTZE, 1989).

Die Strategie „Schachspielmethode“ muss sich laufend den Erfordernissen und Änderungen des Verkehrs anpassen und möglichst einige Zeit vorausdenken. Dafür sind Online-Modelle erforderlich.

3.2 Historische Entwicklung

Schon 1917 wurden in Salt Lake City die ersten Signalanlagen koordiniert. Dabei wurde grünes Licht an allen Anlagen gleichzeitig geschaltet. Ende der 20er wurde das Progressivsystem entwickelt, welches die Besonderheit hat, dass der Anfang der Grünphase an dem darauffolgendem Knotenpunkt um die Fahrzeit (ausgehend von einer plausiblen Fahrgeschwindigkeit) bis zu diesem Knotenpunkt verschoben wird. Dieses System (auch als Grüne Welle bekannt) ist zur Zeit das in Mitteleuropa am häufigsten angewandte Mittel zur Planung von koordinierten Steuerungen in Straßenzügen.

Anfang der 60er zeichnete sich eine neue Entwicklung ab, deren Grundgedanke war, Wartezeit und Anzahl der Halte in die Betrachtung mit einzubeziehen. Dabei wird die Fahrzeugdichte beim Passieren eines Streckenquerschnittes als Funktion der Zeit betrachtet. Der auf dem Lichtsignal zufahrende Pulk wird im zeitlichen Verlauf seiner Fahrzeugdichte von der Signalanlage der davor liegenden Kreuzung gesteuert. In Abhängigkeit von der Versatzzeit werden die Wartezeit sowie die Halte vor einer Lichtsignalanlage beeinflusst. Es wurden verschiedene Verfahren auf diesem Grundgedanken basierend entwickelt, welche in der Regel aus zwei Teilen bestehen : das Verkehrsmodell und das Optimierungsmodell.

Das Verkehrsmodell simuliert den Verkehrsablauf, der sich aus zunächst vorgegebenen Steuerungsgrößen (Freigabezeiten, Umlaufzeit) ergibt. Der simulierte Verkehrsablauf wird durch Kenngrößen wie Zufluss- und Abflussprofile, Halte und Wartezeiten beschrieben. Dies sind die Eingangsgrößen für das Optimierungsmodell (MAY, 1989).

Das Optimierungsmodell hingegen enthält den Algorithmus, der die Versätze so wählt, dass die Zielfunktion (Minimierung der Wartezeit bzw. Halte) erreicht wird. Dieser Ansatz ermöglicht auch, Netze zu koordinieren.

In den 70er und 80er Jahren fand eine fortlaufende Entwicklung sowohl der Hardware als auch der Steuerungsverfahren für digitale Rechnersysteme statt. Dabei werden zwei unterschiedliche Ansätze für die verkehrsabhängige Steuerung verfolgt:

- Der **messwertbasierte** Ansatz, welcher die Umsetzung von Expertenwissen in einer Ablauflogik repräsentiert. Hier wird eine von Verkehrsingenieuren erstellte Logik für die Steuerung bestimmter Logiken erstellt. In der Logik werden durch die Abfrage bestimmter Messwerte (Länge der Zeitlücken, usw.) Steuerungsentscheidungen abgeleitet. Das Ergebnis der Steuerung entspricht der Qualität der Logik, d.h. des Verkehrsingenieurs. Es findet keine Optimierung statt.

- Beim **adaptiven** Ansatz werden die gemessenen Kenngrößen direkt als Eingangsgrößen eines Verkehrsmodells verwendet. Der Optimierungsalgorithmus testet systematisch die möglichen Steuerungseinstellungen und bewertet sie auf Basis der modellierten Wirkungen entsprechend der Zielfunktion. Ein adaptives Steuerungsverfahren ist allgemeingültig für Knotenpunkte bzw. Verkehrsnetze.

Der Unterschied der beiden Verfahren ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

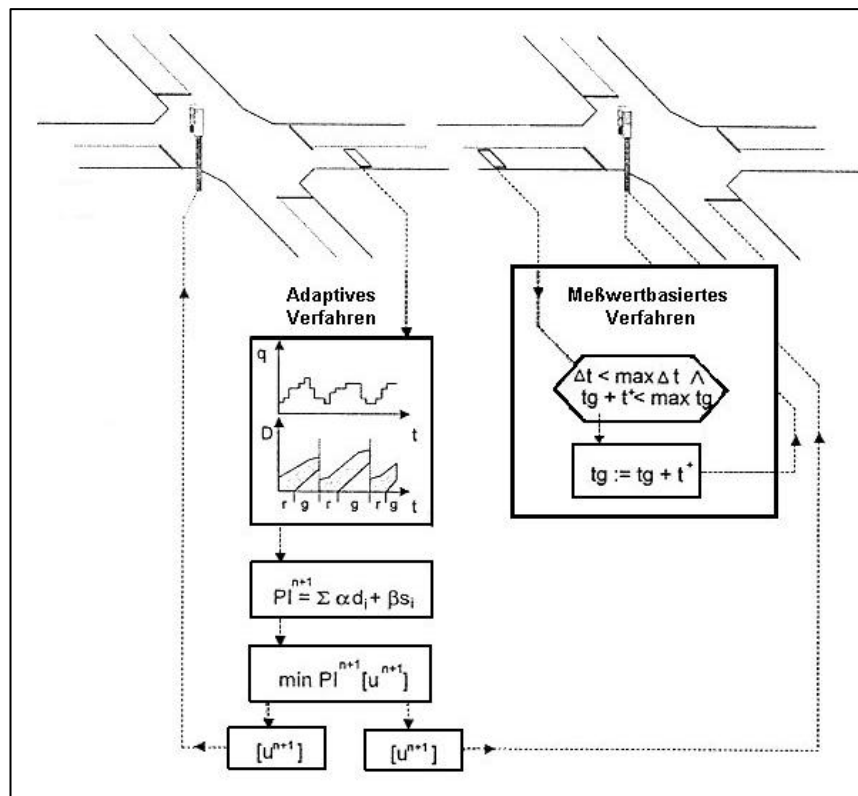


Abbildung 2 – Schematische Darstellung des methodischen Vorgehens bei messwertbasierten und adaptiven Verfahren (FRIEDRICH, 1989)

3.3 Offline - Modelle

Offline-Modelle bestehen in der Regel aus einem Verkehrsmodell und einem Optimierungsmodell. In dem Verkehrsmodell wird der Verkehrsablauf an den signalisierten Knotenpunkten und den dazwischenliegenden Streckenabschnitt simuliert und im Optimierungsmodell wird eine bzw. mehrere Zielfunktionen (Bandbreite der Grünen Welle, Minimierung der Anzahl der Halte usw.) optimiert. Als Grundlage der offline erstellten Berechnungen dienen Verkehrsstärken, die vorher erhobene Durchschnittswerte bestimmter Verkehrssituationen darstellen.

Dabei werden aktuelle Schwankungen nicht berücksichtigt. Übliche Verfahren sind TRANSYT, SIGMA und SIGOP.

3.3.1 TRANSYT

TRANSYT (ROBERTSON, 1969) ist das bekannteste Offline-Steuerungssystem auf dem Markt. Aufgrund seiner guten Ergebnisse wird TRANSYT immer wieder als Vergleichsbasis herangezogen.

TRANSYT (**TR**Affic **N**etwork **S**tudY **T**ool) ist eine meso- bzw. makroskopische Simulation des Verkehrsablaufs für ein Straßennetz oder eine Hauptverkehrsader. In der Hauptsache dient es der Berechnung der Signalisierungszustände des betrachteten Systems. Das Verkehrsverhalten in einem städtischen Straßennetz soll modellmäßig erfasst werden, um daraus die Festzeitsteuerung der Lichtsignalanlage zu optimieren. Das Programm besteht aus drei Elementen:

- Simulationsmodell
- Optimierungsmodell
- Umlegungsmodell

Simulationsmodell

Das Simulationsmodell ist ein deterministisches makroskopisches Untermodell. Dieses Modell berechnet den Bewertungsindex PI (aus dem Englischen „Performance Index“, Definition s.u.) des betrachteten Straßennetzes für gegebene Signalzeiten.

Optimierungsmodell

Dieses Programmelement versucht iterativ optimale Signalisierungszustände zu erlangen. Dabei wird versucht, den PI zu minimieren. Es optimiert Phasenanzugszeiten und / oder die Versatzzeiten für die vorher festgelegte Umlaufzeit. Im Gegensatz zu anderen Optimierungsverfahren besitzt TRANSYT eine Vielzahl von Bewertungsmöglichkeiten, um die Zielvorstellungen zu erreichen. Folgende Kenngrößen können berechnet werden:

- Wartezeiten (s/h)
- Anzahl der Halte (Halte/h)
- Kraftstoffverbrauch (l/h)

- Kohlenwasserstoff-Emissionen (g/h)
- Stickoxid-Emissionen (g/h)
- Kohlenmonoxid-Emissionen (kg/h)

Umlegungsmodell

In Abhängigkeit von Verkehrssystem und Netztopologie wird mittels eines Sensitivitätsfaktors die Teilung des Verkehrs auf alternative Routen und mit verschiedenen Verkehrsmittel vorgenommen. Die Modellstruktur ist in Anhang 3 dargestellt.

TRANSYT betrachtet den Verkehr in Fahrzeugpuls (zusammenhängende Fahrzeugkolonnen) pro Zeitschritt, die unter Berücksichtigung der aktuellen Signalisierung durch das Netz bewegt werden. An einer Haltelinie bedeutet dies, dass sich während einer Sperrzeit ein Fahrzeugpuls aufstaut, der sich während der Freigabezeit auflöst und mit einem von Fahrzeuggeschwindigkeit und Streckenlänge abhängigen Zeitversatz den nächsten Knotenpunkt erreicht. Die typischen Zufluss- und Abflusszusammenhänge sind in Abbildung 3 dargestellt.

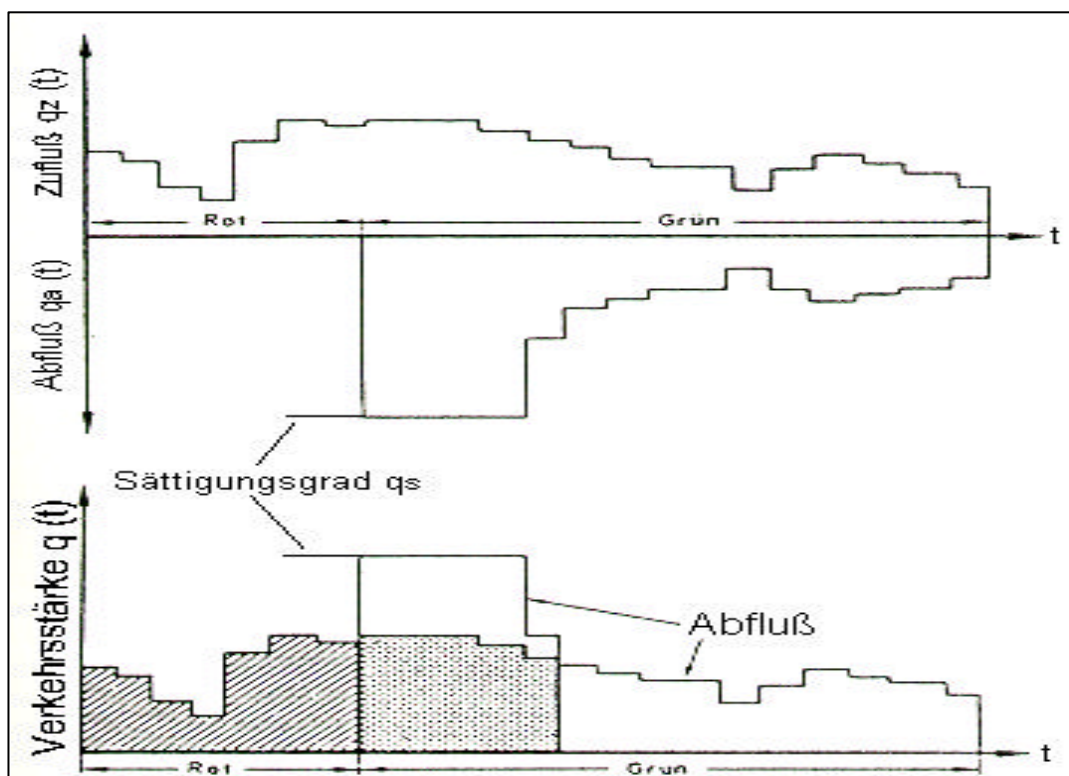


Abbildung 3 – Typische Zu- und Abflusszusammenhänge (ZACKOR, 1991)

Im Verkehrsmodell wird auch die Pulkauflösung berücksichtigt. Aufgrund dieser Art der Nachbildung können verkehrstechnische Kenngrößen wie Fahrzeit, Zeitverluste, Anzahl der Halte u.ä. direkt abgeleitet und bei der Berechnung des PI zusammengefasst berücksichtigt werden.

Der Bewertungsindex PI ist eine Größe zur Beurteilung des Verkehrsablaufs, genauso wie Anzahl der Halte und Wartezeit. Er berechnet sich folgendermaßen:

$$\mathbf{PI} = \sum_{i=1}^n (t_w + k * H_i)$$

PI ... Bewertungsindex

t_w ... mittlere Wartezeit in der Zufahrt i

H_i ... mittlere Anzahl der Halte in der Zufahrt i

k ... Gewichtungsfaktor

Die Zielfunktion für die Optimierung wird aus der Halte jeder Strecke im Netz gebildet. Hierbei können sowohl die Anzahl der Halte gegenüber dem Zeitverlust als auch die Strecken untereinander unterschiedlich gewichtet werden.

In dem Optimierungsmodell werden die Signalprogrammelemente „Freigabezeit“ und „Versatzzeit“ in der geeigneten Reihenfolge und in geeigneten Schrittgrößen so verändert, dass der Bewertungsindex verbessert wird. Die so neu berechneten Signalprogramme werden anschließend an das Verkehrsmodell übergeben. Das Minimum der Zielfunktion wird mit dem Hill-Climb-Algorithmus (Abb.4) gesucht. Dabei werden Schrittweiten für die Versatzänderung und für die Verschiebung der Grünzeit eines Knotens angegeben. Für jede Variante wird der Bewertungsindex PI berechnet und mit dem vorherigen verglichen. Ist der neu berechnete Wert größer als der vorhandene, so wird in der entgegengesetzten Richtung weiter gesucht. Durch Veränderung der Schrittweiten soll sichergestellt werden, dass nicht ein lokales Minimum als Optimallösung angesehen wird. D.h., man beginnt mit einer relativ kleinen Schrittweite s_1 , stellt ein lokales Minimum fest und wählt dann eine große Schrittweite s_3 , um eventuell diesen Bereich zu verlassen. Mit diesem Wechsel der Schrittweiten soll gewährleistet werden, dass nicht das lokale Minimum gefunden wird, sondern das globale und somit die beste Lösung für das betrachtete Netz.

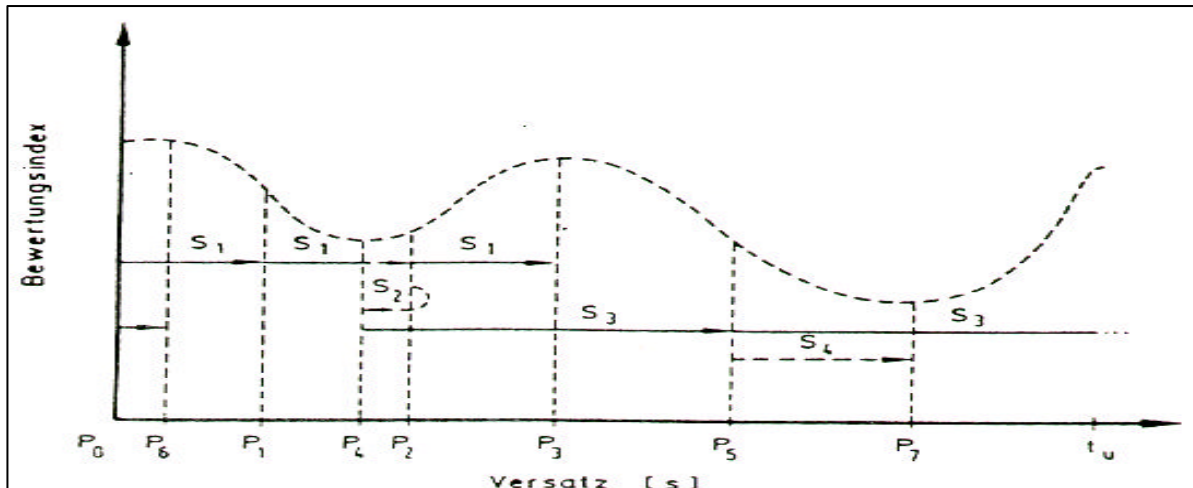


Abbildung 4 – Hill-Climb-Algorithmus (ZACKOR, 1991)

Für die Simulation des Verkehrsablaufs werden für jeden im städtischen Straßennetz zu berücksichtigenden Strom (MIV, ÖPNV) vier wesentliche Eingangsgrößen herangezogen:

- Verkehrsstärke Q (Kfz/h)
- Zeitbedarfsgrenzwert t_b (s/Kfz)
ermittelbar über die Sättigungsverkehrsstärke Q_s (Kfz/h)
- Geschwindigkeit v (km/h)
- Pulkauflösfaktor PDF (-)

Verkehrsstärke

Die Verkehrsstärke ist definiert als Anzahl der sich an einer Stelle eines Verkehrsweges (Haltelinie oder Teile davon) in die gleiche Richtung bewegendem Verkehrselemente (Fahrzeuge) je Zeiteinheit (i.d.R. eine Stunde) (FGSV, 1989).

Sie muss für jeden Strom und dessen Zusammensetzung aus räumlich vorhergehenden Ströme sowie optional auch für gleichmäßige Zuflüsse innerhalb eines Streckengebietes angegeben werden. Da die Summe der Zuflussverkehrsstärke infolge Erhebungsproblemen selten mit der Gesamtverkehrsstärke eines Stromes übereinstimmt, wird innerhalb bestimmter Grenzen automatisch ein linearer Ausgleich durchgeführt.

Nach RiLSA (FGSV, 1992) sollen bei der Signalprogrammrechnung zur Berücksichtigung zufälliger Belastungsschwankungen sogenannte Dimensionierungsverkehrsstärken angesetzt werden. In TRANSYT werden derartige Belastungsschwankungen durch die sogenannte Zufallswartezeit Rechnung getragen.

Zeitbedarfsgrenzwert

Der Zeitbedarfsgrenzwert bezieht sich bei gesättigtem Abfluss einstellenden zeitlichen Grenzabstand von Fahrzeugen, die aufeinanderfolgend eine Haltelinie in eine Richtung überqueren. Er dient der Beschreibung des Abflussverhaltens an einem Bezugsquerschnitt. In TRANSYT wird das Äquivalent, die Sättigungsverkehrsstärke, benötigt. Diese gibt an, wie viele Fahrzeuge bei einer Freigabezeit von einer Stunde maximal einen Bezugsquerschnitt (Haltelinie) in einer Richtung überqueren. Sättigungsverkehrsstärken müssen für alle lichtsignalgeregelten Ströme angegeben werden.

Geschwindigkeit

TRANSYT arbeitet mit einer „Durchschnittsgeschwindigkeit“, welche der arithmetische Mittelwert aller Geschwindigkeit der Fahrzeuge eines Stromes zwischen zwei Haltelinien bei unbehinderten Verkehrsverhältnisse ist. Diese entspricht nicht der idealen Progressionsgeschwindigkeit.

Für jeden Strom, einschließlich der einzelnen Zuflussströme, muss die Geschwindigkeit angegeben werden. Um zwischen MIV und ÖPNV unterscheiden zu können, werden die Geschwindigkeiten kodiert. Für den MIV wird eine zweistellige, für den ÖPNV eine vierstellige Kodierung verwendet.

Pulkauflösungsfaktor

Als Pulkauflösung wird im allgemeinen das räumlich-zeitliche Auseinanderziehen eines Fahrzeugpulses bezeichnet. Ursache hierfür sind unterschiedliche Geschwindigkeiten der sich im Pulk befindlichen Fahrzeuge sowie zufällig auftretende Hindernisse. Sie können sich nach Beginn der Freigabezeit einer Lichtsignalanlage im Verlauf der Strecke ergeben. In TRANSYT wird die Pulkauflösung mit Hilfe der Rekursionsformel beschrieben:

$$Q_2(i+t) = F * Q_1(i) + (1-F) * Q_2(i+t-1)$$

Q_1	... Verkehrsstärke am Querschnitt 1
Q_2	... prognostizierte Verkehrsstärke am Querschnitt 2
i	... Zeitintervall
$t = \beta * T$... Ankunftsintervall des ersten Pulkfahrzeugs
T	... mittlere Pulkfahrzeit zwischen 1 und 2
$F = 1/(1+a*t)$... Dämpfungsfaktor

Es muss für jeden Strom ein Pulkauflösungsfaktor angegeben werden.

Tabelle 1 zeigt eine Kurzcharakteristik des Modells TRANSYT.

TRANSYT	TRA ffic N etwork S tud Y T ool
Anwendungsbereich	Festgesteuerte Straßennetze
Entwickler :	Trrl, ROBERTSON (1969)
Modell :	Verkehrsmodell mit Pulkauflösung und Berücksichtigung von Ein-/Ausbiegern („cyclic flow profiles“) Makroskopisch; deterministisch; am Knotenpunkt spurbezogene Zuflusszusammensetzung; „effektive Grünzeit“; vereinfachtes Umlegungsmodell; IV und ÖV
Eingabedaten :	Umlaufzeiten („double cycling“) Sättigungsverkehrsstärken Netzdaten Gewichtungsfaktoren Geschwindigkeiten
Optimierungsverfahren :	Hill-Climbing-Verfahren Lokales Optimum Systematisches Probierverfahren
Entscheidungsvariable :	Freigabezeit Versatzzeit Phasenfolge
Zielkriterien :	Anzahl der Halte Wartezeit Abgas-/Lärmemissionen Kosten Performance Index

Tabelle 1 – Kurzcharakteristik TRANSYT (SCHLABBACH, 1991)

3.3.2 SIGMA

SIGMA (**SIG**nal **M**anagement), (HECK, 1987) wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes in den Jahren 1984 bis 1987 entwickelt. Es handelt sich um ein heuristisches Verfahren zur optimalen Koordinierung festzeitgesteuerter Signalanlagen.

Ähnlich wie in TRANSYT kommt für die Quantifizierung und Bewertung der Steuerung ein Pulk-Modell zum Einsatz, mit dessen Hilfe ein Güteindex der Koordinierung (KAPPA) ermittelt wird.

In SIGMA werden prinzipiell zwei Steuerstrategien verfolgt:

- Globale Netzsteuerung
- Koordinierung bevorzugter Hauptrouten (Stadtfahrplan)

Die Optimierung ist in folgende drei Teilschritte gegliedert:

Anfangslösung

Hier wird für jeden Knoten aufgrund der netz- und verkehrsbezogenen Daten die optimale Signalisierung ermittelt. Es entstehen Signalisierungen, die nur über eine gemeinsame Umlaufzeit miteinander gekoppelt aber noch völlig unkoordiniert sind.

Konstruktion

In der Konstruktion werden die in der Anfangslösung gefundenen Einzelsignalisierungen miteinander koordiniert. Es sind zwei Strategien möglich:

Strategie Stadtfahrplan: Die Koordinierung erfolgt über die Variation des Versatzparameters. Dabei kann eine Maximierung des Grünbandes oder eine Grüne Welle erreicht werden.

Strategie Netzoptimierung: Versatz und Phasenfolge werden so variiert, dass die Zeitverluste im Netz minimiert werden.

Die Konstruktion endet mit einer vollständigen Signalisierung des Netzes.

Verbesserung

Hier wird die überschlägige Koordinierung der Konstruktion weiter optimiert. Die Optimierung erfolgt interaktiv, indem der Verkehrsingenieur den Verkehrsablauf, welcher mit TRANSYT simuliert wird, visuell verfolgen, auftretende Fehler gleich erkennen und nachträglich verbessern kann.

Mit SIGMA wurden in Darmstadt in einem aus 30 Knoten bestehenden Netz Verbesserungen in Bezug auf die Reisezeit von 15%, die Haltezeit von 3% und die Halterate von 15% im Vergleich zur nicht rechnergestützten Festzeitoptimierung erreicht.

Tabelle 2 zeigt eine Kurzcharakteristik des Modells SIGMA.

SIGMA	SIG nalplan MA nagement
Anwendungsbereich	Festzeitgesteuerte Straßennetze
Entwickler :	Heusch-Boesefeldt GmbH; AK „Entscheidungs- und Optimierungsverfahren“ der FGSV; Stadt Darmstadt (Baudezernat)
Modelle :	Modifiziertes Wartezeitmodell nach Akcelik; vereinfachtes Zweibereichs-Pulkmodell; Verkehrsflussmodell nach Robertson; IV und ÖV; Fußgänger indirekt berücksichtigt.
Eingabedaten :	Knotenpunktdateien; Zeit-Weg-Grundgerüst Netzdefinition; Belastungstabellen; Phasenübergangsdiagramm
Optimierungsverfahren :	Mehrstufiger heuristischer Prozess; lokales Optimum
Entscheidungsvariable:	Split; Umlaufzeit; Versatz; Phasenfolge
Zielkriterien :	Gewichtete Kombination aus Halten, Zeitverlust, Kraftstoffverbrauch und Emissionen. Gewichtete Kombination aus Halten und Reisezeiten; KAPPA

Tabelle 2 – Kurzcharakteristik SIGMA (SCHLABBACH, 1991)

3.3.3 SIGOP

SIGOP (TRAFFIC RESEARCH CORP., 1966) ist ein Modell zur Optimierung festzeitgesteuerter, koordinierter Signalsteuerungen. Der Anwendungsbereich erstreckt sich über einfache Straßenzüge mit Zwei-Richtungsverkehr, auf Netzmaschen als auch auf zusammenhängende Stadtstraßennetze. Es wird nur Kraftfahrzeugverkehr berücksichtigt.

Verkehrsmodell

Das Verkehrsmodell betrachtet den Verkehrsfluss in der Form von Pulks, wobei auch die Pulks von abbiegenden Strömen berücksichtigt werden. Ziel des Modells ist die Minimierung der Verlustzeit. In der Verlustzeit sind die Wartezeiten am Knotenpunkt (Haltezeit, Anfahr- und Beschleunigungsverluste) sowie der Reisezeitmehrbedarf zwischen den Knotenpunkten (resultierend durch eine geringere Fahrgeschwindigkeit als der ideal angenommen) enthalten. Andere Zielgrößen wie z.B. Anzahl der Halte und Kosten können in die Minimierung mit einbezogen werden.

Optimierung

Die Optimierung erfolgt nach der Methode der sukzessiven Näherung. Dadurch wird für n Knoten ein n -dimensionales Gesamtproblem in n Teilprobleme umgewandelt. Als Teilproblem wird die Lösung eines Mininetzes definiert: Für den betrachteten Knoten werden die Sig-

nalzeiten der benachbarten Knoten als fest vorgegeben angesehen und nur die Signalzeiten des betrachteten Knotens optimiert. Bei dieser Optimierungsprozedur werden im Mininetz für alle zulässige Signalzeiten Performance-Index-Werte durch Variierung der Grün- und Versatzzeit errechnet. Vorausgesetzt wird, dass ein ungesättigter Zufluss herrscht. Durch dieses Verfahren wird das echte Minimum (im Gegensatz zum lokalen Minimum bei TRANSYT) gefunden.

Beurteilung

Vorteile bieten die gleichzeitige Optimierung von Versatz- und Grünzeit sowie die Findung eines echten Minimums. Zu bedenken ist allerdings, ob das durch die Auflösung in Teilprobleme gefundene Optimum tatsächlich auf das Netz bezogen werden kann.

Tabelle 3 zeigt eine Kurzcharakteristik des Modells SIGOP

SIGOP	Traffic S IGNAL O ptimisation P rogram
Anwendungsbereich	Festzeitgesteuerte Straßennetze bis zu 150 Knoten
Entwickler :	Traffic Research Corp., USA (1966) Liebermann / Woo (1975)
Modelle :	Verkehrsmodell mit gleichverteiltem Zufluss und Pulkauflösung; spurbezogen; Einbieger berücksichtigt; nur Kfz
Eingabedaten :	Umlaufzeitbereich; Strecken-/Knotenpunktdaten; Phasenfolge
Optimierungsverfahren :	Systematisches Probierversahren; Variation der Umlaufzeit in 10s-Schritten, Minimum der quadratischen Abweichung (mit Verkehrsstärke gewichtet) von idealem und realem Versatz; lokales Optimum
Entscheidungsvariablen :	Umlaufzeit Grünzeit Versatzzeit
Zielkriterien :	Zeitverlust Anzahl der Halte

Tabelle 3 – Kurzcharakteristik SIGOP (SCHLABBACH, 1991)

3.4 Online – Modelle

Online-Modelle sollen, im Gegensatz zu den Offline-Modelle, auf die aktuelle Verkehrssituation reagieren können. Dies ist aber nur möglich, wenn die relevanten Verkehrsdaten in real-

time abgefragt und auch die daraus resultierenden Ergebnisse wie z.B. eine Grünzeitverlängerung bzw. -verkürzung gleich umgesetzt werden. Damit eine Online-Steuerung auch effektiv arbeiten kann, müssen nach GARTNER (GARTNER, 1982) folgende Randbedingungen eingehalten werden:

- Das primäre Ziel einer Online-Steuerung ist die Verbesserung des Verkehrsablaufs gegenüber einer Offline-Steuerung, wobei der Kosten-Nutzen-Aspekt nicht außer Acht gelassen werden darf.
- Das Steuerungssystem muss tatsächlich verkehrsabhängig sein und muss direkt auf veränderte Verkehrssituationen reagieren können.
- Das System soll zu jeder Zeit und an jeder Lichtsignalanlage auf die Signalprogramme einwirken können.
- Das Verfahren soll in seinen Entscheidungen dezentralisiert werden und nur solche Daten benutzen, die direkt zu einer Entscheidung führen.
- Das System soll die konventionellen Steuerungsvariablen, wie Versatzzeit, Grünzeitaufteilung und Umlaufzeit verwenden.

Übliche Systeme sind SCOOT, SCATS, OPAC und UTOPIA / SPOT.

3.4.1 SCOOT

SCOOT (**S**plit **C**ycle **O**ffset **O**ptimization **T**echnique), (HUNT et al., 1981) wurde vom Transport and Road Research Laboratory (TRL) im Jahr 1973 entwickelt. Mittlerweile beteiligen sich auch Siemens Traffic Control Ltd. und Peek Traffic Ltd. an diesem System, welches kontinuierlich weiterentwickelt wird, um den heutigen Anforderungen gerecht zu werden.

SCOOT baut auf das Offline-Modell TRANSYT auf und beinhaltet somit einige gleiche Bausteine. Hauptziel bei der Entwicklung von SCOOT war es, ein Programm zu entwickeln, welches selbständig aufgrund von Real-Time-Erfassung der Verkehrsdaten den Verkehrsablauf besser steuert als ein gutes und auf aktuellen Verkehrsdaten basierendes Festzeitprogramm. Es ist ein zentrales Steuerungsverfahren zur Optimierung von Umlaufzeit, Versatzzeit und Freigabezeit in Verkehrsnetzen und hat das Ziel, eine Linearkombination aus Wartezeit und Anzahl von Halten zu minimieren.

Grundprinzip

Am Ausgang der stromaufwärts liegenden Kreuzung wird mit Hilfe von Abfluss-Messungen der Zufluss zur nächsten Kreuzung erfasst. Unter Verwendung des Hill-Climb-Algorithmus (siehe Kapitel 3.3.1) werden Grünzeiten, Versatzzeiten und Umlaufzeiten real-time optimiert.

Verkehrsmodell

Ausgehend von aktuell gemessenen Durchfluss-Profilen am Ausgang der vorherliegenden Kreuzungen werden die Ankunftszeiten der Fahrzeuge an der nächsten Haltelinie errechnet. Durch die Annahme eines gesättigten Abflusses während der Grünzeit können Wartezeit und Anzahl der Halte für alle Kreuzungszufahrten ermittelt werden. Das Grundprinzip ist in Abbildung 5 (Übersetzung der Begriffe im Anhang 2) dargestellt.

Zielfunktion

Wie beim Offline-Modell TRANSYT wird auch hier der Bewertungsindex PI aus Wartezeit und gewichteter Anzahl der Halte als Zielfunktion verwendet. Dabei soll, genau wie TRANSYT, der PI so gering wie möglich gehalten werden.

Optimierungsverfahren

Scoot verwendet einen "elastischen Koordinierungsplan", der entsprechend den aktuell gemessenen Durchfluss-Profilen gedehnt oder gestaucht werden kann. Erreicht wird dies durch die Optimierung von Grünzeit (Split), Versatzzeit (Offset) und Umlaufzeit (Cycle-Time). Der dazu verwendete Algorithmus ist der Hill-Climb-Algorithmus.

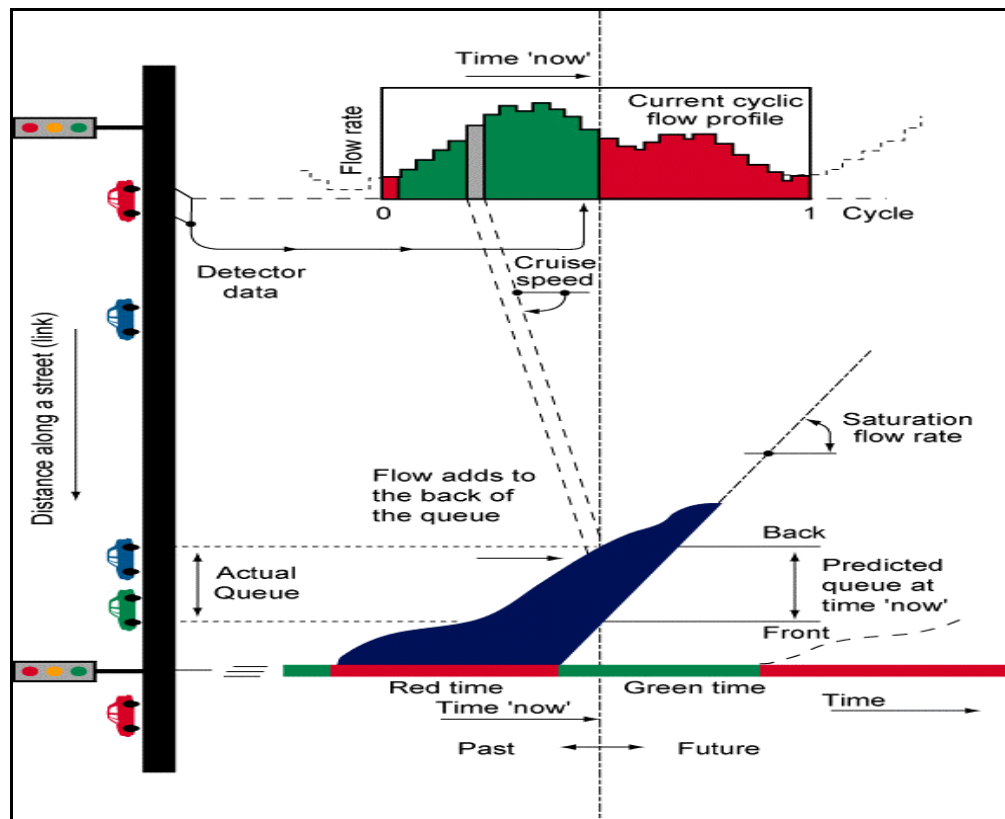


Abbildung 5 – Das Grundprinzip des SCOOT-Verkehrsmodell (ZACKOR, 1991)

Grünzeit - Optimierung (Split-Optimiser)

Die Grünzeit-Optimierung analysiert die vorhandene Rot- und Grünzeiten an jeder Lichtsignalanlage und entscheidet, ob die vorhandene Einstellung verändert (Verlängerung oder Verkürzung der Grünzeit) oder gleich bleiben soll. Dabei gibt es einen Spielraum von 4 Sekunden. Für die Optimierung werden nur die Zufahrten des zu optimierenden Knotens herangezogen.

Versatzzeit - Optimierung (Offset-Optimiser)

Einmal pro Umlauf wird errechnet, ob eine Änderung der Versatzzeit um bis zu 4 Sekunden eine Reduktion bzw. eine Erhöhung des Bewertungsindex PI bringt. Die Optimierung der Versatzzeit erstreckt sich über alle relevanten Zufahrten in der unmittelbaren Umgebung des Knotens.

Umlaufzeit - Optimierung (Cycle-Time-Optimiser)

Alle 5 Minuten, bei großem Verkehrsaufkommen alle 2,5 Minuten, wird errechnet, ob die Umlaufzeit in einem kleinem Schritt (4, 8 oder 16 Sekunden) verändert werden soll. Zur Optimie-

zung der Umlaufzeit wird für den am stärksten belasteten Knoten im Netz überprüft, ob die Auslastung über 90% liegt.

Für jede Kreuzung kann der Level der Optimierung individuell gewählt werden. Von der Beibehaltung eines Festzeitprogramms (ohne Durchführung der Scoot-Optimierung) bis zur vollen Scoot-Optimierung können alle Kombinationen vorgegeben werden.

Der Informationsfluss in einer Scoot-Steuerung (Abbildung 6) entspricht genau den Anforderungen, die GARTNER (GARTNER, 1982) (siehe Kapitel 3.4) als Voraussetzung für ein echtes Online-Steuerungsverfahren nennt:

Registrierung der Fahrzeuge vor Erreichen der Haltelinie mittels Detektoren, so dass die Entscheidung für eine optimale Schaltung der Signalprogramme genau den registrierten Fahrzeugen zugute kommt.

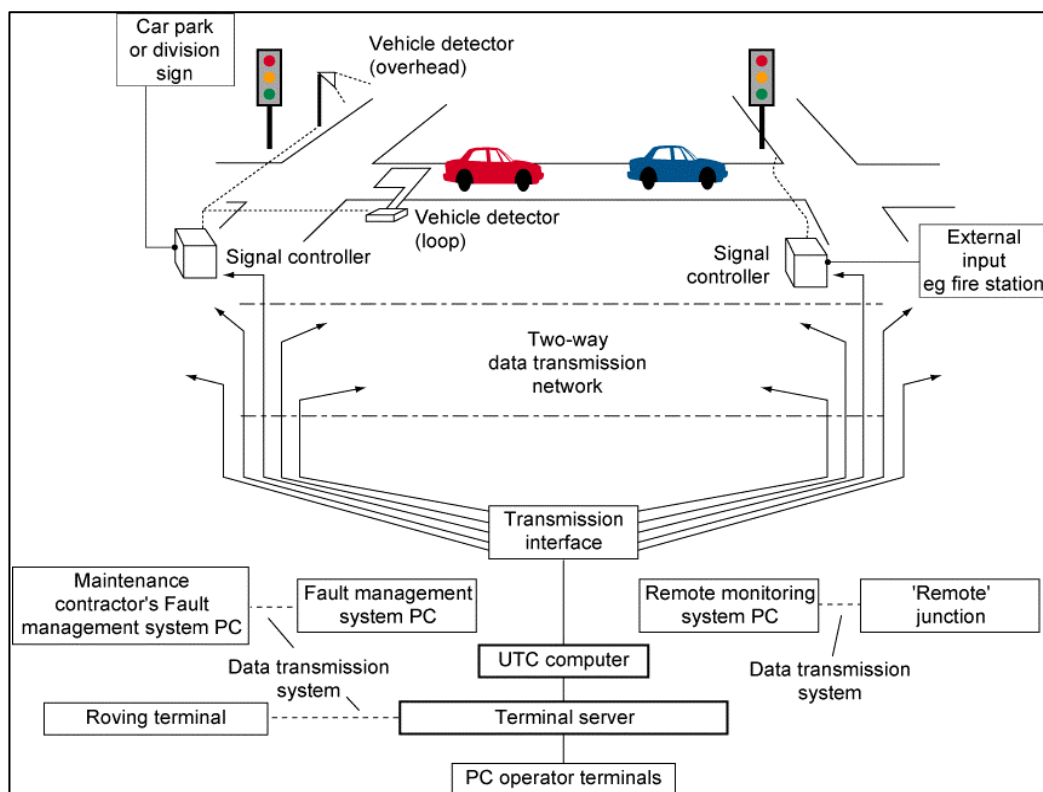


Abbildung 6 – Schema des Informationsflusses in der Scoot-Steuerung (ZACKOR, 1991)

Durch die ständige Erhöhung der Anforderung an solche Systeme wurde das Grundmodell von Scoot ständig verbessert bzw. es wurden neue Bausteine integriert:

- Spezielle Maßnahmen für gesättigte Netze
- ÖPNV – Priorisierung

- Störfallerkennung und Datenbank ASTRID / INGRID (Definition weiter unten)
- Berechnung / Prognose der Emissionen
- Benutzung von vorhandenen Induktionsschleifen

Spezielle Maßnahmen für gesättigte Netze

Die in Scoot eingesetzten Induktionsschleifen sollen soweit wie möglich an das Ende der Kante gelegt werden, damit sie selten von einer Warteschlange belegt werden und somit verlässliche Informationen in Form von Belastungsprofilen liefern können. Sättigung wird allerdings erst dann registriert, wenn die Kante vollständig durch die Warteschlange zugebaut ist (d.h. die Schleife ist für mindestens 4 sek. belegt). Ist dies der Fall, kann kein weiterer Verkehr in dieser Kante einfahren und der Sättigungseffekt breitet sich dann in andere Bereiche aus.

Aufgrund der weit nach hinten gelegten Schleifenposition erkennt Scoot diesen Sättigungseffekt sehr spät, so dass es dann nur die Möglichkeit gibt, die Lichtsignalanlagen an den Netzerändern so zu schalten, dass der einfahrende Verkehr zurückgehalten wird (Gating). Voraussetzung für das Gating sind allerdings, dass Umleitungsmöglichkeiten existieren und / oder am Netzrand genügend Aufstellfläche vorhanden ist.

In den gesättigten Netzen ist nicht die Minimierung der Verlustzeit das Ziel, sondern das Abfließen der sich in der Warteschlange befindlichen Fahrzeuge, bevor der neue Pulk diese Kreuzung erreicht. Dieses wird in Scoot berücksichtigt.

Da im gesättigten Fall nicht die einzelne Kante sondern das Netz das Kriterium bildet, werden auch die benachbarten Kanten in die Steuerlogik mit einbezogen.

ÖPNV-Priorisierung

Das zunehmende Verkehrsaufkommen führt dazu, dass durch Störungen im Verkehrsablauf der ÖPNV nicht mehr pünktlich verkehren kann. Um ihn zu stärken wird die ÖPNV-Priorisierung eingesetzt.

Bei Scoot gibt es zwei Möglichkeiten einen Bus zu erkennen:

- SVD (selective vehicle detector)
- AVL (automatic vehicle detector)

Beim SVD wird mittels Schleifen die Ankunft des Busses registriert. Dagegen ist beim AVL jederzeit der Standpunkt, Geschwindigkeit und Richtung des Busses bekannt und die Priorisierung kann genauer ablaufen (Abbildung 7).

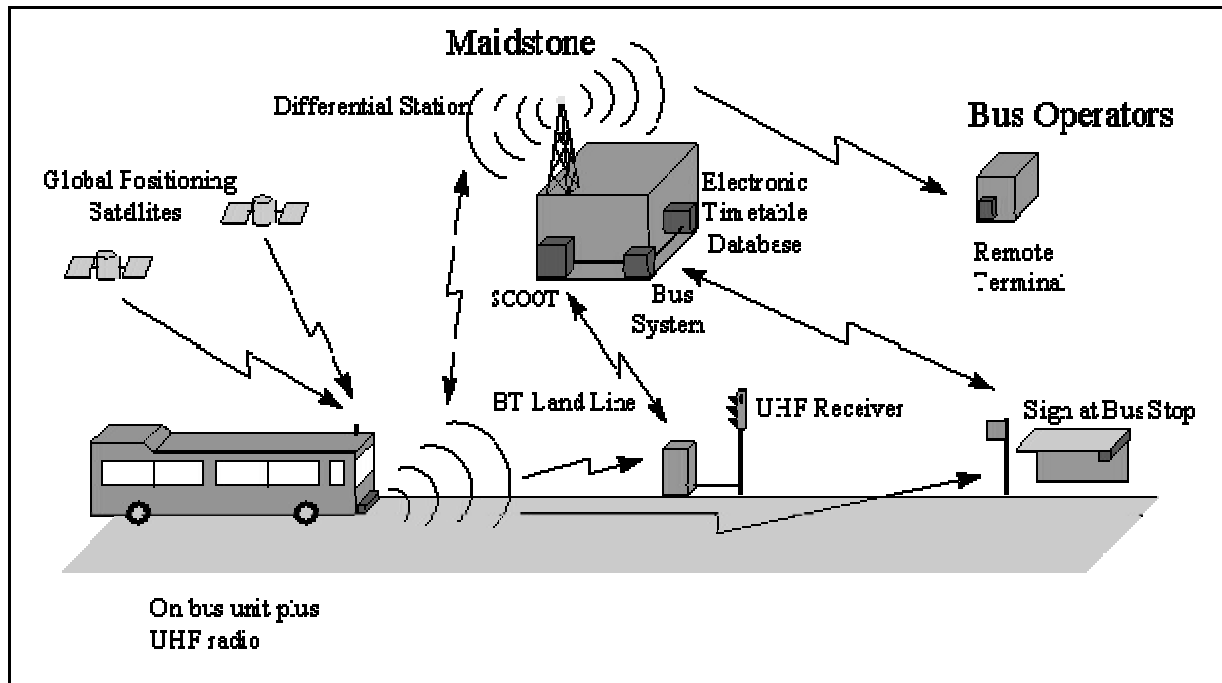


Abbildung 7 – AVL mittels dem GPS in Maidstone, England (www.scoot-utc.com)

Die ÖV-Priorisierung kann auf zwei Wege erfolgen (siehe auch Anhang 5):

- Verlängerung der laufenden Grünzeit
- Veränderung des Signalzeitenplans (schnelles Anfordern von Grün)

Hat der Bus die Kreuzung passiert, wird der optimale Zustand (ohne Priorisierung) wieder eingestellt. Ist die Kreuzung überlastet, wird die Priorisierung ausgeschaltet, da die Entlastung des Netzes Vorrang hat.

Damit die Priorisierung richtig funktioniert, müssen die geeigneten Informationen an das System geliefert werden:

- Standort des Busses
- Reisezeit bei ungehinderter Fahrt bis zur Haltelinie
- Auflösungszeit der Warteschlange an der Kreuzung

Störfallerkennung und Datenbank (ASTRID / INGRID)

ASTRID (**A**utomatic **S**coot **T**Raffic **I**nformation **D**atabase) ist eine Datenbank, in der die von SCOOT gesammelten Daten archiviert werden. Hintergedanke dieser Archivierung ist das Abrufen von Daten um Vergleiche aufstellen zu können und / oder die verschiedenen Verkehrszustände besser analysieren zu können.

INGRID (**I**nte**GR**ated Incident **D**etection) ist ein auf real-time basierendes Unfallerkennungssystem. Das Programm beherbergt zwei Algorithmen, wobei der erste den gegenwärtigen Verkehr auf plötzliche Änderungen in Verkehrsfluss und Stärke untersucht. Der zweite Algorithmus arbeitet mit der ASTRID Datenbank. Der Algorithmus registriert Unfälle, indem die aktuelle Verkehrssituation mit der erwarteten aus der ASTRID Datenbank verglichen wird. Treten dabei folgende Bedingungen ein, wird ein Unfall registriert (Abbildung 8):

- Abnahme des Belegungsgrades und Verkehrsflusses auf dem Stromabwärtsdetektor.
- Zunahme des Belegungsgrades und Abnahme des Verkehrsflusses an dem Stromaufwärtsdetektor .



Abbildung 8 – Bedingungen für Unfallerkennung bei INGRID (www.scoot-utc.com)

Berechnung / Prognose der Emissionen

Durch den ständig ansteigenden Verkehr in den Städten und der damit steigenden Belastung der Luft durch Schadstoffe (CO, CO₂, NO_x, VOC usw.) ist es wichtig, die Entwicklung der Luftbelastung zu berechnen bzw. prognostizieren zu können, um durch richtiges Eingreifen in den Verkehrsablauf die Belastung so gering wie möglich zu halten.

Dieser Ansatz wurde mittlerweile in Scoot mit einbezogen. Damit Scoot seine Berechnungen und Prognosen ausführen kann, werden folgende Daten benötigt:

- Verkehrsdaten (mittlere Geschwindigkeit, Fahrweg, Verzögerung pro Auto)
- Emissions-Koeffizient (Konzentration vom Schadstoff pro Sekunde und Fahrzeugtyp)
- Verschiedene örtliche Parameter (Beschleunigungsspur, usw.)

Tabelle 4 zeigt einige wichtige Parameter und inwieweit Scoot diese Daten selber bereitstellen kann.

Verkehrsparameter	Wichtigkeit für Emissionsberechnungen bzw. Prognose	Potential der aus Scoot erhältliche Daten	Verfügbarkeit von kompatiblen Emissionsdaten
Beschleunigung	Hoch	Niedrig	Nicht alle Fahrzeugtypen
Mittlere Geschwindigkeit	Mittel	Hoch	Hoch
Verzögerung	Mittel	Hoch	Niedrig
Anzahl der Fahrzeuge	Hoch	Hoch	Hoch
Fahrzeugklasse	Hoch	Nicht erhältlich	Mittel
Fahrdistanz	Hoch	Hoch	Hoch

Tabelle 4 – Wichtigkeit und Verfügbarkeit der Daten (BRETHERDON et. al., 1998)

Benutzung vorhandener Haltelinien-Induktionsschleifen

Wie bereits erwähnt, liegt die normale SCOOT-Schleife weit hinten an der Kante, um den Verkehr frühzeitig zu registrieren. Durch die Weiterentwicklung der SCOOT-Logik ist es nun möglich, auch die Detektoren zu benutzen, die in der Nähe (ca. 20m) der Haltelinie eingebaut sind. Dabei ist zu erwähnen, dass bei Benutzung dieser Induktionsschleifen keine Versatzzeit-Optimierung möglich ist. Des weiteren existiert das Problem, dass Warteschlan-

gen nicht erkannt werden können, da die Detektoren zu schnell blockiert werden, um eine zuverlässige Aussage treffen zu können.

Trotzdem ist die Verwendung dieser Schleifen besser als sie unberücksichtigt zu lassen.

Tabelle 5 zeigt eine Kurzcharakteristik des Modells SCOOT

SCOOT	Split, Cycle, Offset Optimisation Technique
Anwendungsbereich	Verkehrsabhängig gesteuerte Straßennetze
Entwickler :	TRL (1973)
Verkehrsteilnehmer :	Kraftfahrzeuge; Radfahrer; ÖPNV mit Busse; Fußgänger (indirekt)
Entwicklungsansatz :	Online Betrieb von TRANSYT Forschungsorientiert
Verkehrsmodell :	Cyclic Flow profiles (CFP) vom Vorknoten mit Pulkdehnung Zufluss-/Abflussmodell zur Warteschlangenberechnung Belegung zur Stauverminderung Performance Index (PI): Länge der Rückstaulänge (ideal Null) Anzahl der Halte nur als Option
Optimierungsverfahren :	Split-Optimiser Offset-Optimiser Cycle Time-Optimiser
Zielgröße :	Netzwarezeit

Tabelle 5 – Kurzcharakteristik SCOOT (SCHLABBACH, 1991)

Fazit

Scoot trifft eine Vielzahl von kleinen Optimierungsentscheidungen. Dabei kann es durchaus vorkommen, dass einzelne Entscheidungen falsch sind, was aber keine nennenswerte Rolle spielt, wenn die Mehrzahl der Entscheidungen richtig sind.

Untersuchungen haben gezeigt, dass mit SCOOT eine Verbesserung im Vergleich zu einer Festzeitsteuerung um 12% erzielt werden kann, vorausgesetzt, dass die Festzeitsteuerung auf aktuelle Daten basiert, ansonsten liegt die Verbesserung bei 20%. Des Weiteren wurde eine Spritersparnis von 6% ermittelt, was zu Kostenersparnis bei den Kraftfahrern und zu einer Entlastung der Umwelt führt. Obwohl mit den Ergebnissen der Feldversuche beachtliche Verbesserungen erreicht wurden, verbleiben folgende Kritikpunkte am Verfahren und insbesondere am Steuerungsmodell:

- Die Ergebnisse des Verkehrsmodells bzw. der Wirkungsanalyse werden ausschließlich für die Optimierung der Versatzzeiten verwendet. Die Umlaufzeit wie die Aufteilung der Freigabezeiten werden im wesentlichen auf der Grundlage der Auslastung berechnet.
- Bei der Optimierung der Versatzzeit wird jeweils ein Knoten in Bezug auf seine unmittelbaren Nachbarn betrachtet, wobei vermutet wird, dass trotz der gegenseitigen Einflussnahme durch die einzelnen Optimierungen auch ein Optimum im Netz erreicht wird. Bezogen auf die „Grüne Welle“ bedeutet dies, dass planerische Vorgaben in Form eines Stadtfahrplans nicht berücksichtigt werden können.
- Durch die Veränderung der Variablen in kleinen Schritten wird ein abrupter Wechsel vermieden und die Entscheidungen auf diese Weise geglättet. Diese auf eine mittelfristige Entwicklung der Verkehrsnachfrage basierende Methode schränkt das Verfahren aber hinsichtlich der erforderlichen schnellen Reaktion auf stochastische Schwankungen sowie auf mikroskopische Ereignisse deutlich ein.
- Die Reaktionszeit ist aufgrund der langen Übertragungswege zu lang, um wirklich „demand responsive“ agieren zu können.

3.4.2 UTOPIA / SPOT

UTOPIA (**U**rban **T**raffic **O**ptimization of **I**ntegrated **A**utomation), (MAURO und Di TARANTO, 1989) ist ein verkehrsabhängiges, real-time-fähiges Steuerungsverfahren, welches momentan in Turin und Amsterdam im Einsatz ist.

Das Ziel ist es : - Priorisierung ausgewählter Verkehrsteilnehmer (Öffentlicher Nahverkehr, Fußgängerverkehr) und

- eine messbare Verbesserung des Verkehrsflusses in jeder verkehrlichen Situation (Rushhour, Engpässe, usw.)

Aufbau

UTOPIA besitzt eine hierarchische, dezentrale Struktur, welche in zwei Ebenen aufgeteilt ist (Abbildung 9):

- ❖ Gebietsebene (UTOPIA)
- ❖ Knotenpunktsebene (SPOT)

Auf der oberen (Gebietsebene) werden die Steuerstrategien auf der Basis von Vorhersagen über die Verkehrssituation im Netz festgelegt, in deren Rahmen auf lokaler Ebene (Knotenpunktebene) die Steuerung entsprechend dem aktuellen Verkehrsparameter optimiert wird.

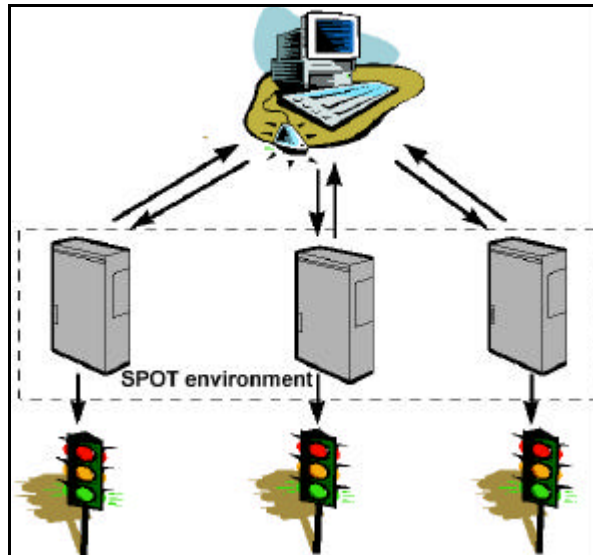


Abbildung 9 – Einteilung in Ebenen (www.peaktraffic.nl)

Jede Ebene besteht aus einer Beobachtkomponente und einer Steuereinheit.

Grundprinzip

Die Lichtsignalsteuerung wird für die einzelnen Kreuzungen auf der Knotenpunktebene optimiert. Die notwendigen Verkehrsdaten wie Verkehrsstärke, Abbiegequoten, Reisezeit und Schlangenlängen vor den Kreuzungen werden mittels Vorhersagen des Beobachtersystems geliefert, welches wiederum mit den Messgrößen von Induktionsschleifen und einem mikroskopischem Modell arbeitet.

Aufgrund dieser Modellberechnung, welches die Verlustzeit, Anzahl der Halte und die maximale Schlangenlänge berücksichtigt, wird mittels eines Optimierungsverfahrens die optimale Lichtsignalsteuerung auf der Knotenebene ermittelt.

Methode

UTOPIA arbeitet mit der Methode des „gleitenden Horizonts“ (rolling horizon, Abbildung 10). Zuerst wird eine optimale Steuerstrategie für den gesamten Zeitraum kT entwickelt. Diese

optimale Strategie wird allerdings nur für den ersten Teil des Abschnittes rT , den gleitenden Horizont, für 6 Sekunden geschaltet. Die notwendigen Daten werden über stromaufwärts liegende Detektoren ermittelt. Für den Rest des Intervalls werden die Fahrzeugankünfte einer Modellrechnung entnommen oder als konstante Durchschnittswerte angesetzt. Nach Ablauf des „rolling horizon“ wird der nächste Zeitabschnitt optimiert.

Die Besonderheit an diesem Verfahren ist, dass die zu optimierenden Zeitabschnitte nicht sequentiell aneinandergehängt werden, sondern dass sie sich für die Zeitdauer $(k-r) \cdot T$ überschneiden [LANDENFELD, 1998].

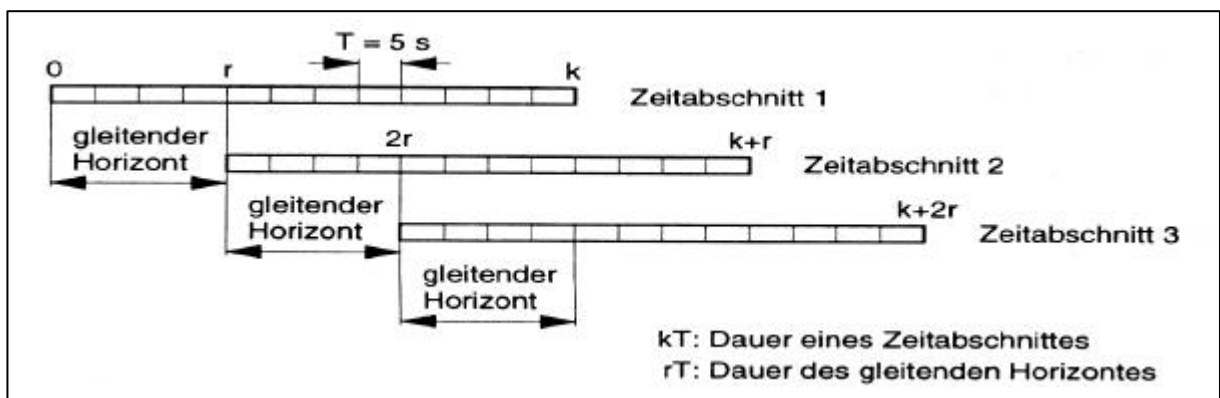


Abbildung 10 – die Methode des „rolling horizon“ (LANDENFELD, 1998)

Damit die getroffenen Entscheidungen nicht nur auf der Knotenpunktebene optimal sind, sondern auch bezüglich des ganzen Netzwerkes, muss jeder Knoten die Ergebnisse seiner Optimierung an den benachbarten Knoten weitergeben, der dann diese Daten in seiner Rechnung mit einfließen lässt (Abbildung 11). Des weiteren müssen Vorgaben der Gebiets-ebene, wie z.B. minimale und maximale Phasenlänge und Phasenfolge, integriert werden.

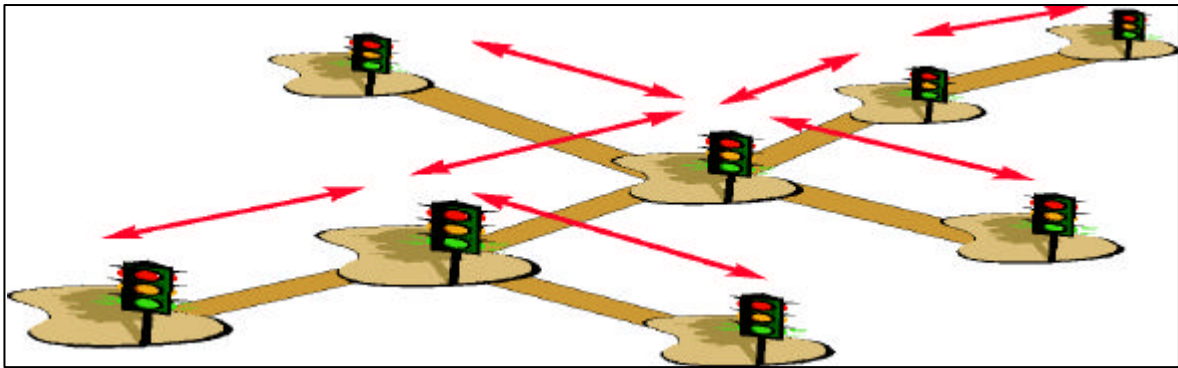


Abbildung 11 – Kommunikation der Lichtsignalanlagen (www.peektraffic.nl)

Die Gebietsebene soll über das gesamte Straßennetz hinweg die am meisten genutzten Hauptrouten und ihre Belastungen vorhersagen. Dabei wird aufgrund der Messwerte der Induktionsschleifen der Verkehrsablauf auf Netzebene mit Hilfe eines makroskopischen Modells dargestellt. Dieses Modell ist orts- und zeitdiskret (d.h. es existiert eine räumliche Zerlegung des gesamten Netzes in Segmente und es werden 3-minütige Zeitschritte betrachtet) und arbeitet mit den Variablen:

- Dichte
- mittlere Geschwindigkeit
- Sättigungsfluss

Auf der Basis dieses Simulationsmodells lässt sich die Reisezeit aller im Netz befindlichen Fahrzeuge bestimmen. Durch die Auswahl der optimalen mittleren Geschwindigkeit und des optimalen Sättigungsflusses soll die Reisezeit minimiert werden. Der Planungshorizont beträgt hierbei 30 Minuten und der örtliche Personennahverkehr darf als Nebenbedingung der Optimierung nicht außer Acht gelassen werden.

In Turin wurde durch UTOPIA eine Verbesserung für den IV von 15% und für den ÖPNV von 28% bezüglich der Durchschnittsgeschwindigkeit erreicht. Die Anzahl der Halte wurde um 30% reduziert.

Fazit

UTOPIA ist ein modernes verkehrsabhängiges Netzsteuerungsverfahren, welches von kleinen (3 bis 10 Kreuzungen) bis zu großen Netzen eingesetzt werden kann. Dabei bestimmt UTOPIA, wie lange die Wartezeit an der Lichtsignalanlage ist, und kann somit die Reisezeit

des ausgewählten Verkehrs optimieren. Des Weiteren führt die Kommunikation der benachbarten Lichtsignalanlagen untereinander zu einem optimalen Ergebnis im Netz.

Hinsichtlich der Systemarchitektur entspricht das Verfahren dem neuesten Stand der Technik. Die Prognose der Fahrzeugankünfte auf lokaler Ebene ist einerseits geschickt, da die Information über die Steuerungsabsichten der benachbarten Knoten genutzt wird, um einen weiten Prognosehorizont zu erreichen. Andererseits ist mit dieser Art der Prognose, im Gegensatz zu einer direkten Messung, ein weiterer Unsicherheitsfaktor verbunden.

3.4.3 SCATS

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), (SIMS und DOBINSON, 1980) ist eines der ältesten verkehrsabhängigen Verfahren. In Sydney wurde es 1964 eingeführt und seit 1972 rechnergestützt eingesetzt.

Grundprinzip

SCATS arbeitet in zwei Ebenen, einer taktischen und einer strategischen Ebene, und bestimmt die Parameter :

- Umlaufzeit
- Phasenaufteilung
- Versatz

Dabei ist die strategische Ebene für die Koordinierung der Knotenpunkte untereinander zuständig, während die taktische Ebene die Parameter auf der Kreuzungsebene ermittelt.

SCATS verwendet kein mathematisches Grundmodell, sondern wird durch ein „Feedback Control System“ unterstützt. Ziel ist es, wie in TRANSYT, einen Güteindex (bestehend aus Anzahl der Halte und Wartezeit) in Abhängigkeit der aktuellen Verkehrslage zu minimieren. Als Parameter hierzu wird lediglich der Sättigungsgrad der Kreuzungszufahrten verwendet, mit dem die drei Steuerparameter Grünzeitaufteilung, Versatzzeit und Umlaufzeit dem aktuellen Verkehr angepasst werden können.

SCATS arbeitet mit einer Datenbasis, welche zu jeder Verkehrsstärke die passende Signalsteuerung für jeden Knotenpunkt einschließlich der Koordinierung der Knotenpunkte un-

tereinander enthält. Dabei ist die Qualität der Vollständigkeit der Datenbasis für die Effizienz des Systems besonders wichtig, was zur Folge hat, dass diese Datenbasis sehr groß sein muss.

Steuerungsprinzip

Das Gesamtnetz wird in Regionalnetze unterteilt, welche wiederum in Subsysteme aufgeteilt sind (bis zu 10 Lichtsignalanlagen). Der strategische Steuerungsalgorithmus wählt in Abhängigkeit von aktuellen Verkehrsdaten vorbereitete Signalpläne aus, modifiziert sie und entscheidet, ob benachbarte Subsysteme miteinander koordiniert werden sollen.

Pro Lichtsignalanlage sind vier Grünzeitaufteilungsschlüssel abgespeichert. Dabei wird zu jedem Subsystem eine kritische Kreuzung herangezogen. Des Weiteren sind fünf Versatzzeitpläne für die externe Koordinierung mit den Nachbareinheiten sowie fünf Versatzzeitpläne für die Subsystem-interne Koordinierung vorhanden.

Detektoren

Die Detektoren (Induktionsschleifen) sind unmittelbar vor den Haltelinien aller Kreuzungszufahrten angebracht. Hauptaufgabe der Detektoren ist die exakte Zählung der Fahrzeuge sowie die Ermittlung der Nichtbelegungsdauer während der Grünzeit.

Für strategische Zwecke liefern sie Informationen an den lokalen Verkehrsrechner. Als taktische Detektoren erfüllen sie lokale Aufgaben.

Steueralgorithmus

Auf Basis der Informationen der Detektoren kalkuliert der Steueralgorithmus in jedem Umlauf für den nächsten Umlauf die Auswahl des günstigsten

- Grünzeitaufteilungsplans
- Versatzzeitplans innerhalb der Koordinierungseinheit
- Umlaufzeit

Sollte die Umlaufzeit benachbarter Koordinierungseinheiten gleich sein, so wird der Koordinierungsplan zwischen diesen Einheiten ermittelt.

Als Parameter wird, wie oben erwähnt, der Sättigungsgrad der einzelnen Kreuzungszufahrten herangezogen. Dabei wird der Sättigungsgrad als Verhältnis von der effektiv genutzten Grünzeit zur gesamten verfügbaren definiert.

$$X = \frac{G'}{G} = 1 - \frac{(T - t * n)}{G}$$

X ... Sättigungsgrad

G ... gesamte verfügbare Grünzeit

G' ... effektiv genützte Grünzeit

T ... Zeitraum, während dessen Fahrzeuge bei Grün über die Haltelinie fahren

t ... Zeitbedarf eines Fahrzeuges beim passieren der Haltelinie

n ... Anzahl der Lücken

Die Parameter G, T und n werden während der Grünphase ermittelt. Dabei kann über T eine Reduzierung der Grünzeit bei Stauerkennung in die Berechnung des Sättigungsgrades X eingebracht werden.

Umlaufzeit

Die Umlaufzeit wird in jedem Umlauf für den folgenden Umlauf wie folgt berechnet:

$$C'' = C + C' = 60[X - f(C)]$$

C ... im abgelaufenen Zyklus tatsächlich geschaltete Umlaufzeit

C' ... errechnete Umlaufzeit-Änderung für den laufenden Zyklus

C'' ... errechnete Umlaufzeit für den nächsten Zyklus

f(C) ... der für den laufenden Zyklus als höchstzulässig gewählte Sättigungsgrad (Werte sind in einer Tabelle vorgegeben).

Es werden nur Änderungen in 6-Sekunden-Schritten betrachtet.

Grünzeitaufteilung

An jeder Zufahrt wird der Sättigungsgrad X für jeden möglichen Grünzeitaufteilungsplan errechnet. Dabei werden die größten X-Werte als maßgebend ausgewählt. Das Votum erhält

der Plan, der den niedrigsten X-Wert aufweist. Wird innerhalb von drei Umläufen zweimal ein gleiches Votum abgegeben, wird dieser Plan ausgeführt.

Versatzzeit

Die Versatzzeit ist die Differenz zwischen dem Nullzeitpunkt der Bezugszeit und dem Ende einer definierter Phase am Knoten. Der Versatz ist grundsätzlich unabhängig von der Umlaufzeit in den fünf Versatzzeitplänen festgelegt. Um Stau oder Pulkgeschwindigkeiten zu berücksichtigen, kann die Versatzzeit als Funktion der Umlaufzeit modifiziert werden:

$$P' = P [1 + A * g(C)]$$

P ... Versatzzeit

P' ... Versatzzeitänderung

A ... Modifizierfaktor

g(C)... lineare Funktion von der Umlaufzeit

$$g(c) = 0 \text{ für } C=C_{\max} \quad \text{und} \quad g(C)=1 \text{ für } C=0,75C_{\max}$$

Wie bei der Grünzeitaufteilung wird auch bei der Versatzzeit mit einem Votum gearbeitet. Um das Votum zu ermitteln, wird an definierten Kreuzungszufahrten der Verkehrsfluss Q mit einem Parameter A (repräsentiert bestimmte Verkehrssituationen) multipliziert. Der Versatzzeitenplan mit der größten Summe dieser Produkte über alle Knoten erhält das Votum.

Sollen benachbarte Subsysteme miteinander koordiniert werden, erfolgt das auch mittels eines Votums. Dies erfolgt nach folgendem Prinzip:

- Ist die Differenz der beiden Umlaufzeiten kleiner als 9 Sekunden, wird ein positives Votum gebildet und ein Zähler wird um 1 erhöht.
- Ist die Differenz größer als 9 Sekunden wird ein negatives Votum gebildet und der Zähler wird um 1 verringert.
- Die Koordinierung wird aktiviert, sobald der Zähler 4 erreicht.
- Geht der Zähler wieder auf 0 zurück, wird die Koordinierung aufgehoben.

Tabelle 6 zeigt eine Kurzcharakteristik des Modells SCATS

SCATS	Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System
Anwendungsbereich	Verkehrsabhängig gesteuerte Straßennetze
Entwicklungsansatz :	Weltweiter Mangel entsprechend erprobter Verfahren Integration der Mikrocomputertechnologie in die Steuerung Praxisorientiert
Verkehrsmodell :	Stark dezentralisiert Teilnetze bis zu 10 Knoten Induktionsschleifen an den Haltelinien
Kenngößen :	Sättigungsgrad Verkehrsstärke
Optimierungsverfahren :	„green split plans“ (Grünzeitaufteilungsplan) Versatzauswahl Anpassung der Umlaufzeit
Zielgröße :	Netzwarezeit

Tabelle 6 – Kurzcharakteristik SCATS (SCHLABBACH, 1991)

Fazit

Studien haben gezeigt, dass SCATS gegenüber unkoordinierten Steuerungen zu folgenden Verbesserungen führt:

- Reisezeitreduzierung von 23%
- Reduzierung der Anzahl der Halte von 46%
- Reduzierung der Unfallzahlen von 20%
- Kraftstoffeinsparung von 12%

In Tageszeiten mit vorhersehbaren Verkehrsbelastungen liefert SCATS gegenüber TRANSYT-optimierten Festzeitprogrammen zumindest gleich gute Ergebnisse. Treten allerdings unvorhersehbare Verkehrsaufkommen auf, liefert SCATS das bessere Resultat.

SCATS baut auf eine fundierte Kenntnis des Verkehrsgeschehens auf. Dies äußert sich an der Tatsache, dass es notwendig ist, gezielt Messstellen für spezifische Aufgaben einzusetzen, die maßgebende Ströme aussuchen, Parameter festlegen usw.. Durch die Ausnutzung

dieser Detailkenntnisse des zu koordinierenden Gebietes kann die Effektivität der Steuerung gegenüber anderen Systemen erhöht werden.

3.4.4 OPAC

OPAC (**O**ptimisation **P**olicy for **A**daptive **C**ontrol) (GARTNER, 1989) ist ein computergestütztes, dezentrales Steuerverfahren für einzelne Kreuzungen, welches in den USA entwickelt und getestet wurde.

Grundprinzip

Die Gesamtentscheidung der Optimierung wird in Teilentscheidungen unterteilt, wobei die Optimierungspolitik für das Gesamtproblem nicht vergessen wird.

Für die Berechnung wird eine Kombination aus aktuellen Messungen der Fahrzeugankünfte und errechneten Ankünfte gewählt. Bezogen auf einen sich ständig verschiebenden Zeithorizont (rolling horizon, siehe Kapitel 3.4.2, Abb.10) wird der Performance Index für mögliche Schaltungen berechnet.

OPAC benutzt die Methode der „dynamischen Programmierung“, welche, im Gegensatz zu anderen numerischen Methoden, tatsächlich das globale Minimum findet. Hierbei werden nicht die typischen Parameter einer Lichtsignalanlage wie Umlaufzeit und Grünzeitaufteilung neu berechnet, sondern die Umschaltzeitpunkte der Phasen für einen bestimmten Zeitraum festgelegt (LANDENFELD, 1998). Die Dauer der Berechnungsintervalle umfasst in etwa die Fahrzeit, die die Fahrzeuge zwischen der Erfassungsstelle und der Haltelinie am Knotenpunkt benötigen.

Optimierungsmodell

Das Optimierungs- und Steuerungsverfahren „Optimal sequential constrained search method (OSCO)“ nutzt ein azyklisches Modell. Innerhalb des Zeithorizonts (ca. eine Umlaufzeit) sind drei Steuerungsentscheidungen zulässig, wobei die beste aus der Anzahl der möglichen Schaltfolgen mit Hilfe der dynamischen Programmierung ermittelt wird (FRIEDRICH, 1999). Dieses Verfahren basiert auf folgenden grundlegende Annahmen:

- Optimierungsprozess wird in eine Folge von Schritten unterteilt, welche ein Intervall in der Größenordnung einer Umlaufzeit betrachtet.
- Innerhalb eines Intervalls sind maximal drei Entscheidungen zulässig.
- Für jede Schaltfolge wird der Performance-Index errechnet.

$$\Phi_n(t_1, t_2, t_3) = \sum_{i=1}^k (Q_0 + A_i - D_i)$$

- mit Q_0 ... Anfangsstau
- A_i ... Ankünfte im Intervall I
- D_i ... Abflüsse im Intervall I
- t_1, t_2, t_3 ... mögliche Schaltzeiten
- k ... Anzahl der betrachtete Knotenpunktzufahrten

Die Entscheidungen werden unabhängig vom Entscheidungsprozess der vorhergehenden Schritten getroffen. Lediglich der Anfangsstau Q_0 geht als Ergebnis des vorhergehenden Prozesses in die Berechnungen ein (ZACKOR et al., 1991).

Der Optimierungsprozess von OPAC läuft nach folgenden Punkten ab:

- Die Fahrzeugankünfte werden über Messungen und Modellrechnungen prognostiziert.
- Mit OSCO wird die optimale Schaltfolge ermittelt. Die Berechnung bezieht sich auf das gesamte Intervall k . Die Entscheidung fällt aber nur für das Teilintervall.
- Implementierung der gewählten Schaltfolge im Teilintervall.
- Der Bezugshorizont wird um die Länge des Teilintervalls verschoben und der Vorgang wird wiederholt.

Kritikpunkte

- Die Fahrzeugankünfte werden als exakt bekannt vorausgesetzt, obwohl die Detektoren ca. 200m vor der Haltelinie angebracht sind. Hierbei wird die Fahrzeit als konstant angenommen und die Pulkauflösung vernachlässigt
- Die dynamische Optimierung ist sehr Rechenaufwendig
- Keine Berücksichtigung des ÖPNV
- Die Abflussrate wird als konstanter Parameter angenommen
- Besondere Maßnahmen bei Übersättigung sind nicht vorgesehen

Tabelle 7 zeigt eine Kurzcharakteristik des Modells OPAC

OPAC	Optimisation Policy for Adaptive Control
Verkehrsteilnehmer	Kraftfahrzeuge
Entwicklungsansatz :	Bisherige Verfahren der „full-traffic-actuated control“ waren nicht geeignet für Fragestellungen, wo Verkehrsabhängigkeit und Koordinierung gleichzeitig erforderlich sind.

	Grundlagen sind die Signalisierungszustände „Rot“, „Grün“ der Zufahrten sowie die jeweiligen Warteschlangen, unabhängig von allen festzeitorientierten Definitionen von Umlaufzeit und Versatzzeit.
Optimierungsverfahren :	Vereinfachte dynamische Programmierung. Länge des Intervalls 50-100s: währenddessen sind 1–3 Signalwechsel zulässig. Ankunftsverteilung wird durch Anfangslösung ersetzt. Die vereinfachte Optimierungsmethode liefert Abweichungen vom globalen Optimum von weniger als 10%.
Zielgröße :	Verlustzeit
Erfahrungen :	Simulation mit NETSIM: Minderung der Verlustzeit um 30-50% Erhöhung Reisegeschwindigkeit gegenüber Festzeitsteuerungen um 10-20% Minderung der Gesamtwartezeit um 4-16%

Tabelle 7 – Kurzcharakteristik OPAC (SCHLABBACH, 1991)

Beurteilung

Verglichen mit Festzeitsteuerungen erhält man Verbesserungen von 30 – 50% bezüglich der Verlustzeit und 4 – 16% bezüglich der Gesamtwartezeit. Vor allem bei hohen Verkehrsbelastungen sind gute Ergebnisse möglich.

3.5 Zusammenfassung

Die Gemeinsamkeiten der Steuerungsverfahren sind darin begründet, dass sie teilweise parallel in verschiedenen Ländern entwickelt worden sind. Sie verwenden fast alle globale mathematische Optimierungsverfahren, die aufwendig und wenig transparent sowie auf die Vorhersagen der Simulationsmodelle angewiesen sind. In Bezug auf starker Sättigungsercheinung muss gesagt werden, dass die Verfahren nur begrenzt reagieren können, da sie als Messwerte lediglich Schleifendaten verarbeiten, die im gesättigten Fall ihren Informationsgehalt verlieren und somit keinen Rückschluss auf den Verkehrszustand zulassen (LANDENFELD, 1998).

Tabelle 8 zeigt die beschriebenen Online-Modelle mit deren wichtigsten Eigenschaften.

Steu- rungs- verfahren	Makroskopisches Modell	Mikroskopisches Modell	Anzahl der Hierarchieebenen	gleitender Horizont	öffentlicher Nahverkehr	Messtechnische Voraussetzungen	Informationsbasis	Optimierungsverfahren	Besondere Maßnahmen in gessättigten Netzen	Bemerkungen
SCOOT	X	--	1	--	--	Induktionsschleifen am Ende der Kante	Gemessene Verkehrsstärken als Eingangsgrößen für ein Warteschlangen- und Pulk-Auflösungsmodell	Hill-Climbing-Verfahren	Maßnahmen bei vollkommen zugestauten Kanten	Veränderung der Optimierungsparemeter in kleinen Schritten
UTOPIA	X	X	2	X	X	Induktionsschleifen	Mikroskopische und makroskopische Modellvorhersagen	Numerisches Verfahren	Maßnahmen bei lokaler Übersättigung	--
SCATS	X	--	1	--	--	Induktionsschleifen an Haltelinien	Verkehrsflüsse	Auswahl aus Datenbasis	Gering	--

OPAC	X	--	1	X	--	Strom- auf- wärts gele- gene Indukti- onssch- leifen	Verkehrsflüsse und vertikale Warteschlangen	Dy- nami- sche Pro- gram- mie- rung	Keine	Für On- line- Einsatz abge- wandel- tes pseu- dody- nami- sches Verfah- ren
------	---	----	---	---	----	---	---	---	-------	--

Tabelle 8 – Übersicht über die beschriebenen Online-Steuerverfahren [LANDENFELD, 1998]

4. GRUNDLAGEN DER VIDEODETEKTION

4.1 Allgemein

Wie im vorherigen Kapitel näher erläutert, ist im innerstädtischen Bereich die Regelung des Verkehrs durch intelligente Steuerungen für einen reibungslosen Verkehrsablauf unerlässlich. Um die Verkehrsparameter Verkehrsdichte, Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Fahrzeugart, Zeitlücke, Fahrzeug und Liniennummer beim ÖPNV zu erfassen, werden Detektoren benötigt.

Die bisher zur Erhebung der erforderlichen Verkehrsdaten benutzten Methoden reichen von der rein manuellen Zählung über Radar und Infrarot bis hin zu Induktionsschleifen und Lasersensoren. Eine weitere eingesetzte Technik, die Videotechnik, ist bis jetzt überwiegend im Gebiet der Verkehrsüberwachung, dem sog. Monitoring, eingesetzt worden. Das Vorhandensein der Kameras ließ den Gedanken zu, diese auch für die Erhebung der Verkehrsdaten zu nutzen. Inwieweit diese Technik zuverlässig und einsetzbar ist und welche Voraussetzung erfüllt sein müssen, wird in diesem Kapitel erörtert.

4.2 Induktionsschleifen

Der Induktionsschleifendetektor ist der im Kreuzungsbereich am häufigsten benutzte Detektor. Er gehört zu Gruppe der Stationärfelddetektoren. Der Sensor besteht im wesentlichen aus zwei Teilen:

- einer in der Fahrbahn eingelegten Induktionsschleife und
- einem angeschlossenen Detektor,

der die erzeugten Signale interpretiert und in Daten ablegt (LAPIERRE, 1972).

Das physikalische Prinzip beruht darauf, dass, wenn ein Kraftfahrzeug die Induktionsschleife überfährt, Metalle im erzeugten elektromagnetischen Feld bewegt werden, was eine Impedanzänderung zur Folge hat. Diese wird gemessen und durch den Detektor in Daten umgewandelt.

In den Anfängen der Entwicklung wurde dieser Effekt nur dazu benutzt, um die Anzahl der Fahrzeuge zu zählen. Mittlerweile kann auch die Art des Fahrzeuges festgestellt werden. Dies ist möglich, indem die Art der Änderung mit charakteristischen Verläufen verglichen

wird. Ein Bus hat z.B. die große Masse des Motors am hinteren Teil des Fahrzeuges, was zur Folge hat, dass der Spannungsverlauf eine signifikante Änderung am Schluss der Detektion erfährt, während ein LKW den Motor vorne hat und somit einen anderen Spannungsverlauf aufweist.

Im innerstädtischen Bereich (d.h. an der Lichtsignalanlage) ist die Erkennung der Fahrzeugart nicht erforderlich, da dort nur die Zahl der Fahrzeuge und die Belegungsdauer der Schleife von Interesse ist.

Das System hat den Vorteil der Wartungsfreiheit und des einfachen Einbaus. Allerdings ist beim Einbau das Problem, dass dafür die Straße für eine gewisse Zeit gesperrt werden muss, da die Schleifen in den Fahrbahnbelag gelegt werden müssen. Sind sie einmal installiert, können sie nicht mehr entfernt und an anderer Stelle verlegt werden.

4.3 Infrarotdetektoren

Es wird zwischen passiven und aktiven Infrarotdetektoren unterschieden.

Passive Infrarotdetektoren

Die passiven Infrarotdetektoren senden selbst keine Strahlung aus, sondern erkennen nur die Wärmestrahlung von Kraftfahrzeugen, Menschen und Tieren. Entwickelt wurden sie, um bewegte Fahrzeuge zu erkennen. Besonders geeignet sind Infrarotdetektoren, wenn einfache Funktionen, wie z.B. Anforderungen oder Freigabezeitbemessung nach der Zeitlückenmethode, verlangt werden. Die Detektoren reagieren nur auf sich bewegende Verkehrsteilnehmer. Stehende Verkehrsteilnehmer wie z.B. stehende Fußgänger oder stehengebliebene Fahrzeuge werden nicht registriert.

Aktive Detektoren

Die aktiven Infrarotdetektoren strahlen kodierte Infrarotsignale auf eine genau abgegrenzte Detektionszone im Straßenraum aus. Fährt ein Fahrzeug ein, wird die Änderung der Reflexion erkannt und ausgewertet. Durch dieses Registrieren und Identifizieren der Fahrzeuge ergeben sich zusätzliche Einsatzmöglichkeiten wie Geschwindigkeitserkennung oder Stauererkennung.

Der Hauptvorteil der Infrarotdetektoren besteht darin, dass kein baulicher Eingriff in die Fahrbahn notwendig ist. In der Regel sind die Detektoren schnell, einfach und damit kostengünstig zu montieren. Eine optische Justierung der Anlage ist nach der Montage erforderlich,

da dort darauf geachtet werden muss, dass der Erfassungsbereich nicht durch Äste, Sträucher o.ä. beeinträchtigt wird.

Die maximale Detektionsentfernung beträgt ca. 100m. Durch die dann entstehende Wirkbereichstiefe ist der Infrarotdetektor mit einem Langschleifendetektor (Induktionsschleifendetektor) vergleichbar. Wird der Detektor am Signalgebermast installiert, so ergibt sich, aufgrund des großen Installationswinkels, ein kleiner Wirkbereich, was dazu führt, dass der Detektor ähnlich einem Kurzschleifendetektor funktioniert.

4.4 Radardetektor

Der Radardetektor funktioniert nach dem physikalischen Prinzip der elektromagnetischen Strahlungsfeld-Detektoren. Es handelt sich hierbei um den sogenannten Dopplereffekt. Der Radar-Sensor ist als Sender- und Empfängerkopf ausgebildet.

Prinzip

Ein Schallimpuls wird auf die Fahrbahnoberfläche gesendet. Die reflektierte Welle wird auf die Differenzfrequenz analysiert. Über die unterschiedliche Laufzeit lässt sich erkennen, ob ein Fahrzeug anwesend ist oder nicht. Auch eine Klassifizierung der Fahrzeuge ist möglich. Für Geschwindigkeitsmessungen wird ein weiterer Sensor benötigt, der in Fahrtrichtung im definiertem Abstand zu ersten Detektor angeordnet ist. Über Strecke und Laufzeit lässt sich dann die Geschwindigkeit ermitteln.

Stehende Fahrzeuge erzeugen kein Dopplereffekt und können somit nicht detektiert werden.

4.5 Videotechnologie

Die generelle Aufgabe eines videobasierenden Verkehrserfassungssystems ist die Ermittlung von Verkehrsflussparametern. Dazu ist eine Detektion, Verfolgung und Klassifikation der Fahrzeuge nötig. Dies geschieht mittels einer Kamera, die stationär angebracht ist und den Straßenraum beobachtet. Dazu müssen folgende Anforderungen erfüllt sein :

- Anforderungen aus dem Verkehrswesen
- Autonomer stabiler Einsatz

- Automatische Initialisierung
- Echtzeitbildfolgenverarbeitung
- Bildauflösung

4.5.1 Anforderung aus dem Verkehrswesen

Der Verkehrsingenieur benötigt zur Beschreibung und Steuerung des Verkehrszustandes verschiedene Größen, welche in die Punkte Querschnitts- und Streckenbeobachtungen gegliedert werden können.

Die Querschnittsbeobachtungen dienen lediglich der Verkehrsführung an einem bestimmten Punkt. Hierzu zählen:

- Anzahl der Fahrzeuge
- Klasse (LKW, PKW)
- Geschwindigkeit
- Zeitabstand

Die Streckenbeobachtungen hingegen sollen über einen längeren Streckenabschnitt (20 bis 100m) zusätzliche Daten erfassen:

- Aktuelle Position der einzelnen Fahrzeugen
- Staulänge
- Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsänderung
- Spurwechselverhalten
- Wartezeit an Lichtsignalanlagen
- Abbiegeverhalten an Kreuzungen

4.5.2 Autonomer stabiler Einsatz

Ist das System installiert, sollte es möglich sein, die benötigten Daten ohne weitere Betreuung über einen längeren Zeitraum zu erhalten.

Das System sollte eigenständig auf sich ändernde Licht- /Wetter- und Verkehrverhältnisse reagieren können.

4.5.2.1 Licht-/ Wetterverhältnisse

Da das System über einen längeren Zeitraum eigenständig arbeiten soll, muss es in der Lage sein, die unterschiedlichen Verhältnisse wie z.B. Tag, Nacht, Sonne, Regen, Schnee, Nebel selber zu erkennen, um dann die dazugehörigen Algorithmen zur Verkehrsdatenerfassung zu starten.

4.5.2.2 Verkehrsverhältnisse

Die Fahrzeuge sollen unter verschiedenen Verkehrsbedingungen erfassbar sein. Dazu gehört freier Verkehr bis hin zu dichtem Verkehr und Stauungen. Bei dichtem Verkehr treten vor allem im hinteren Bildbereich Verdeckungen oder partielle Verdeckungen von Fahrzeugen auf. Diese müssen aber dennoch detektiert werden, um die Verkehrssituation bestimmen zu können.

4.5.3 Automatische Initialisierung

Die automatische Initialisierung ist nötig, um einen flexiblen Einsatz des System an die örtlichen Gegebenheiten zu gewährleisten. So soll es nicht vorab fest an eine gegebenen Szene angepasst werden. Die Installation und das Einstellen des Systems darf nicht aufwendig sein. Nach einer groben Einstellung muss das System in der Lage sein, den relevanten Bildbereich selbständig zu finden. Die Beobachtung des gesamten Verkehrsraums, d.h. auch mehrere Spuren gleichzeitig, soll gewährleistet sein.

4.5.4 Echtzeitbildverfolgung

Das Problem hierbei liegt bei der enorm hohen zu verarbeitenden Datenmenge. Die Fahrzeuge sollen zur Bestimmung der Geschwindigkeit und Klassifizierung mindestens 5 mal detektiert und zugeordnet werden können. Durch die hohe Fahrgeschwindigkeit und dem geringen Betrachtungsraum ergibt sich das Problem, dass die Zeitdauer im Aufenthaltsbereich sehr kurz ist und in dieser kurzen Zeit viele Berechnungen gemacht werden müssen.

Die neuen Prozessoren sind aber mittlerweile in der Lage, diese Datenmengen in einer kurzen Zeit zu analysieren.

4.5.5 Bildauflösung

Unterteilt wird die Bildauflösung in horizontale und vertikale Richtung.

Horizontale Richtung

Das entscheidende Kriterium ist die Klassifikation der Fahrzeuge. Dabei kann die Klassifikation anhand der Länge oder der Breite erfolgen.

Vertikale Richtung

Das Entscheidungskriterium ist die Genauigkeit bei den Geschwindigkeiten der Fahrzeuge. Da man diese mit der höchst möglichen Genauigkeit erfassen möchte, wird mit der größtmöglichen vertikalen Ausrichtung gearbeitet.

4.5.6 Zusammenfassung

Der große Vorteil der Videotechnik ist die Reproduzierbarkeit des Verkehrsablaufs. Während alle anderen Detektionsarten nur ein Ergebnis liefern, welches nicht bzw. schwer zu kontrollieren ist, bietet die Videotechnik den Vorteil, dass ein Videoband oder Einzelbilder für spätere Zwecke als Beweismaterial oder zur Nachbearbeitung archiviert werden können. Des Weiteren sind als Vorteile zu nennen:

- Verfolgung und Wiedererkennung einzelner Fahrzeuge im Netz
- Einfache und kostengünstige Installation
- Möglichkeit des temporären Einsatzes
- Einfache und flexible Handhabung
- Einrichtung und Inbetriebnahme, ohne dabei den Verkehr zu beeinträchtigen

Es dürfen aber nicht die Nachteile dieser Technik vergessen werden, welche in der Abhängigkeit von den Witterungs-, Licht- und Umgebungsbedingungen liegen. Auch die noch nicht vollständig ausgereifte Software der Videotechnologie ist ein Grund dafür, dass der Einsatz der konventionellen Technologien bevorzugt wird.

5. DAS SYSTEM CCATS

5.1 Geschichte

Die Entwicklung von CCATS wurde 1982, basierend auf einem Prototyp eines Detektors von der Universität von Luvein, begonnen. Unterstützt wurde die Entwicklung vom Belgischen Ministerium.

1987 wurde der erste erfolgreiche Einsatz von CCATS in Brüssel dokumentiert. Mittlerweile ist CCATS in Belgien, Spanien, Italien, Luxemburg, England, Deutschland, Frankreich und den USA im Einsatz.

5.2 Aufbau des Systems CCATS

Technologie

Das CCATS-System basiert auf :

- Video-Signal-Bearbeitung
- Bild-Bearbeitung

Vorgehensweise

Die Videodaten werden digitalisiert und es wird ein „binäres Bild“ von allen sich bewegenden Fahrzeugen erstellt (Abbildung 12). Diese Binärdaten werden analysiert, um daraus die Verkehrsparameter

- Richtung,
- Zeitpunkt,
- Geschwindigkeit und
- Länge

der verschiedenen Fahrzeuge zu ermitteln.

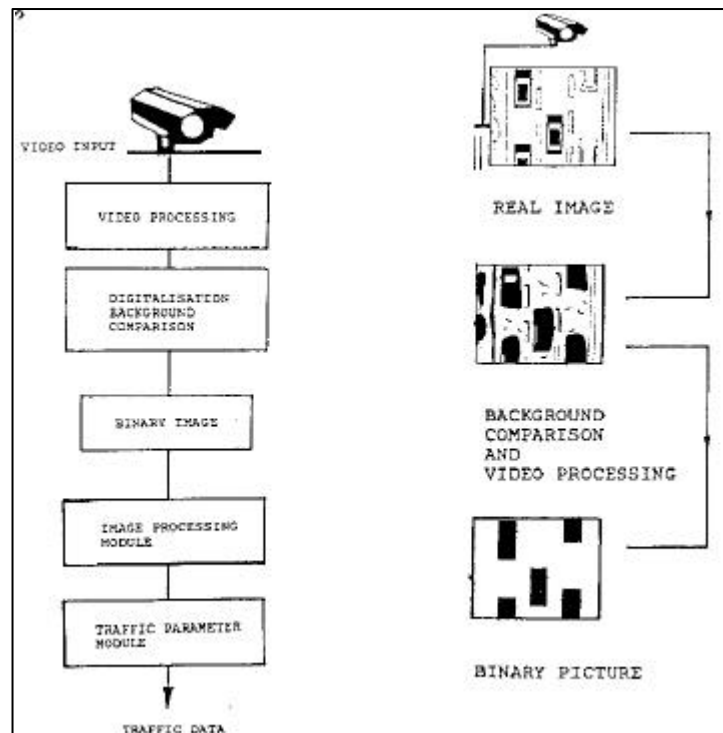


Abbildung 12 – Vorgehensweise von CCATS

Die Ergebnisse werden daraufhin in einer lokalen Datenbank gesammelt, von der sie weitergeleitet oder vor Ort abgegriffen werden können.

Eine besondere Wichtigkeit bei CCATS spielt die Position und Einstellung der Kamera sowie die Umgebungsverhältnisse.

Standort

Über den Standort kann der Inhalt des Videobildes bestimmt werden. Um eine hohe Systemgenauigkeit zu erreichen, muss gewährleistet sein, dass der Ausschlusseffekt und die Verzerrungen des Videobildes minimiert werden.

Der Ausschlusseffekt, auch Okklusion genannt, tritt ein, wenn ein Fahrzeug der Kamera den „Blick“ auf ein anderes Fahrzeug versperrt.

Am günstigsten ist es, die Kamera auf einen über die Straße überspannten Querträger aufzustellen, da dort der Ausschlusseffekt vermieden wird und der Erfassungsbereich (bis zu 4 Spuren auf einer Länge von max. 8m) optimal ist.

Ein weiterer Punkt ist, dass der Standort so gewählt werden muss, dass die auf- bzw. untergehende Sonne sowie die Scheinwerfer der Fahrzeuge nicht das Objektiv blenden und somit das Ergebnis verfälschen (Abbildung A 9.8).

Beleuchtung

CCATS liefert bei Nacht keine befriedigende Ergebnisse. Bedingt durch die Dunkelheit ist die Identifizierung der Fahrzeuge nicht ausreichend. Deshalb muß darauf geachtet werden, dass die Beleuchtungsstärke in Bodennähe mind. 20 Lux beträgt. Am besten zur Ausleuchtung geeignet ist künstliches Weißlicht.

Ist eine Beleuchtungsstärke von 20 Lux auf der Fahrbahn im Erfassungsbereich nicht zu erreichen, so ist die Kamera auf die Scheinwerfer der Fahrzeuge auszurichten. Dies hat zur Folge, dass die Verkehrsparameter

- Anzahl der Fahrzeuge und
- Geschwindigkeit

erfasst werden, die anderen Parameter wie z.B.

- Fahrzeuglänge
- Kategorie

aber nur mit verminderter Genauigkeit festgestellt werden können.

Einbauhöhe

Einfluss auf die Einbauhöhe hat der Standort (Umgebungsbedingungen) und die Größe des Erfassungsbereichs, d.h. wie viele Spuren erfasst werden sollen. Tabelle 9 gibt Richtwerte für den Einbau auf einer Autobahn an.

Anzahl der Fahrspuren	Auf dem befestigten Randstreifen	Mittig über dem Erfassungsbereich	Auf dem Mittelstreifen
2	12 m	8 m	10 m
3	16 m	10 m	14 m
4	18 m	12 m	16 m

Tabelle 9 – Richtwerte für die Einbauhöhe der Kamera im Einsatzgebiet Autobahn (WEISS, 1993)

Stellwinkel

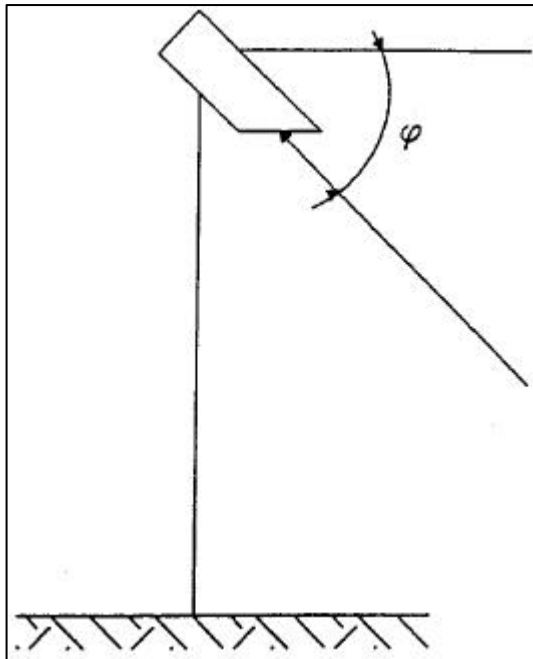


Abbildung 13 – Definition des Stellwinkels φ (WEISS, 1993)

Die besten Ergebnisse liefert ein Stellwinkel von ca. 40°. Zu beachten ist, dass

- der Horizont im Bild nicht erscheinen soll,
- der Erfassungsbereich vollständig im Bild zu sehen ist und
- der Erfassungsbereich im unteren Teil des Bildes sein sollte, da dies der Teil ist, bei dem die Verzerrungen am geringsten sind.

Einsatzgebiete von CCATS

CCATS kann als mobile Einheit eingesetzt werden, um schnell und ohne große Veränderungen im Untersuchungsgebiet an die erforderlichen Verkehrsparameter zu gelangen.

Von größerer Bedeutung ist allerdings ein fest installiertes System, welches dazu benutzt werden kann, über einen größeren Zeitraum die Verkehrsdaten zu sammeln, um damit ein Verkehrsverhalten aufzuzeigen. Des weiteren kann ein fest installiertes System als ein „Warnsystem“ eingesetzt werden, wie im Beispiel Brüssel erläutert wird.

Bsp. Brüssel

In Brüssel ist CCATS am Ausgang des Tunnels „Schuman“ installiert. Dort wird der Verkehr, speziell die Verkehrsdichte und die Entstehung bzw. Länge der Warteschlangen, beobachtet.

Ist die Warteschlange größer als ein bestimmter in CCATS eingegebener Parameter, so wird der Verkehr im Tunnel mittels Anzeigen gewarnt, um Auffahrunfälle am Ausgang des Tunnels zu verhindern. Tabelle 10 zeigt, dass nach Inbetriebnahme des Systems die Zahl der Unfälle zurückging.

Zeitraum	Kollision (Rückstau)	Unfälle	Verletzte
1.87 – 8.87	7	3	5
9.87 – 8.88	2	1	0

Tabelle 10 – Unfalltabelle vor und nach der Installation von CCATS (WEISS, 1993)

5.3 Vergleich von CCATS und Induktionsschleifen

Natürlich ist es sehr wichtig zu wissen, wie genau die Daten von CCATS sind. Deshalb hat das Belgische Ministerium eine Teststrecke errichten lassen, um genau zu dokumentieren, inwieweit man den von CCATS gewonnenen Werte vertrauen kann. Das Ergebnis zeigt, dass die Werte den Verkehrsablauf sehr gut wiedergeben (Anlage 4).

5.4 Zusammenfassung

Die Einsatzmöglichkeiten von CCATS sind:

- Statistische Verkehrsdatenerfassung mit Videoaufzeichnung
- Automatische Warteschlangendetektion
- Automatische Unfalldetektion
- Verkehrsüberwachung

Der Einsatz in vielen Städten Europas zeigt, dass das System stabil arbeitet und eine Alternative zu den teuren Induktionsschleifen darstellt.

5.5 Das System CCATS im Einsatz

In Stuttgart ist CCATS auf der „Neuen Weinsteige“ mit insgesamt 4 Kameras installiert (Anhang 7). Die „Neue Weinsteige“ ist die Verbindungsstraße zwischen der B27 über Degerloch zum Stuttgart-Zentrum.

Hauptaufgabe des installierten Systems ist die statistische Verkehrsdatenerfassung mit Videoaufzeichnung in Verbindung mit der Verkehrsüberwachung (Staudetektion). Ist Stau detektiert, wird eine Meldung an den Zentralrechner abgegeben, der daraufhin den am Anzeigequerschnitt auf der B27 (Abbildung A 9.10) den ankommenden Fahrern anzeigt, dass die „Neue Weinsteige“ überlastet ist, und den Fahrern eine Alternativroute bzw. den P+R-Parkplatz vor Ort empfiehlt.

5.6 Aufbau

Der Aufbau des Systems ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Position der 4 installierten Kameras, ist dem Anhang 8 zu entnehmen..

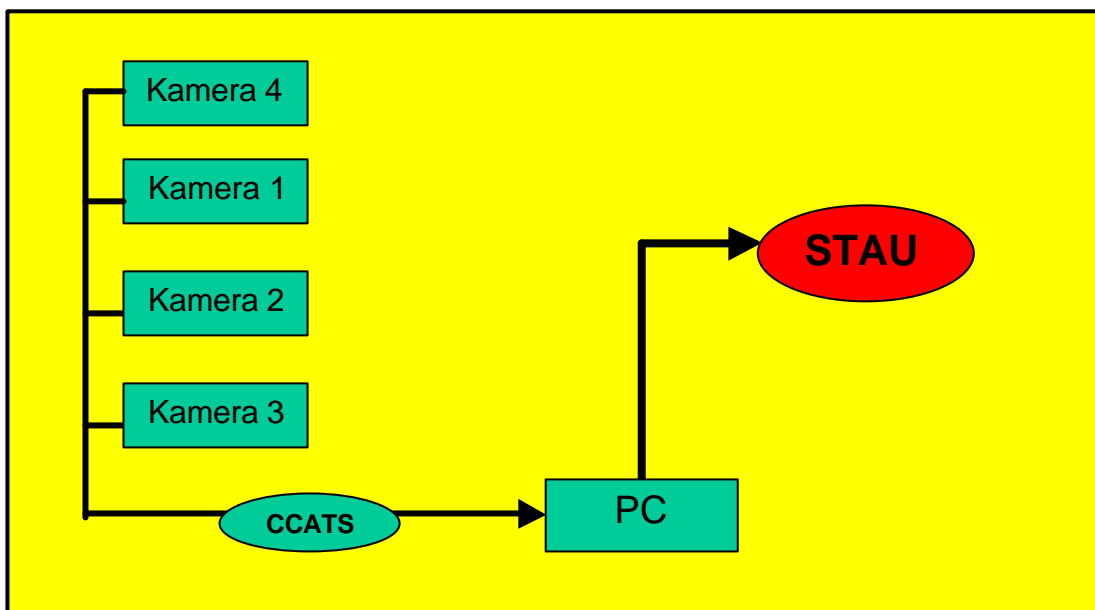


Abbildung 14 – Aufbau des CCATS-Systems auf der „Neuen Weinsteige“

Kamera 1: Erfassung der 2 Fahrspuren in Richtung Stuttgart-Zentrum

Kamera 2: Erfassung des gesamten Querschnittes (4 Fahrspuren)

Kamera 3: Erfassung der 2 Fahrspuren in Richtung Stuttgart-Zentrum

Kamera 4: Erfassung der 2 Fahrspuren in Richtung Stuttgart-Zentrum

Die 4 Kameras sind über das CCATS-System mit einem PC am P+R-Parkplatz in Stuttgart Degerloch verbunden. Der PC läuft unter MS-Dos und ist seit seiner Installation ohne größere Probleme im Einsatz. Die Jahr 2000-Problematik führte dazu, dass die systeminterne Jahreszahl auf 1994 umgestellt wurde, was aber für die Auswertung der Daten und die Zuverlässigkeit des Systems keine Rolle spielt.

5.7 Ausgabe

Wie im Kapitel 5.2 bereits erwähnt, ist es mit CCATS möglich, die Verkehrsparameter

- Anzahl der Fahrzeuge (Abbildung A 9.1),
- Belegung der Fahrspuren,
- Zeitabstände zwischen den Fahrzeugen (Abbildung A 9.2),
- Geschwindigkeit (Abbildung A 9.3) und
- Fahrzeugart (Abbildung A 9.4)

zu detektieren. Die Ausgabe kann entweder tabellarisch (Abbildung A 9.7) oder grafisch erfolgen.

5.8 Detektion des Verkehrszustandes

Das Primärziel des hier installierten CCATS-Systems ist die Erkennung von Stau auf der „Neuen Weinsteige“ und die daraufhin folgende Warnung der Fahrer auf der B27. Es soll erreicht werden, dass der Fahrer bei Überlastung der Straße seinen Wagen auf dem P+R-Parkplatz abstellt und mit der Bahn in die Stadt fährt oder eine andere Route wählt, um die „Neue Weinsteige“ zu entlasten (Abbildung A 9.10).

Die Ermittlung des Zustands Stau erfolgt nach folgendem Schema:

- Ermittlung der Kenngrößen Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Belegungsgrad

Verkehrsstärke : $q(i,j) = \sum_j n \text{ Kfz}(i,j)$

Geschwindigkeit : $v(i,j) = [\sum_j v \text{ Kfz}(i,j) * n \text{ Kfz}(i,j)] / \sum_j n \text{ Kfz}(i,j)$

Belegungsgrad : $b(i) = \max (b(i,1), b(i,2))$

mit i = Index für den jeweiligen Meßquerschnitt (1,2,3,4)

j = Index für den jeweiligen Fahrstreifen (1,2)

b = Belegungsgrad in %. Es wird der jeweils höchste Belegungsgrad der einzelnen Fahrstreifen verwendet.

n = Anzahl der Fahrzeuge

- Glättung und Trendprognose der Messdaten

Damit ein häufiges Umschalten aufgrund stark schwankender Messwerte vermieden wird, werden die Messdaten geglättet. Die Trendprognose wird durchgeführt, damit der Zeitraum, bis eine Steuerungsmaßnahme anspricht, verkürzt wird. Die Glättung und Trendprognose sind für die Kenngrößen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit durchzuführen.

- Verkehrsdichte / Verkehrsdichtekriterium

Die Verkehrsdichte wird für jeden Querschnitt i und Fahrstreifen j nach folgender Formel berechnet:

$$D(i,j) = q \text{ Kfz}(i,j) / v \text{ Kfz}(i,j)$$

Mit der Verkehrsdichte erfolgt die Unterscheidung in folgende Verkehrszustände:

Verkehrszustände	Verkehrsbedingungen	Bereich
Z 1	Freier dichter Verkehr	Stabil
Z 2	Gebundener – zähfließender Verkehr	Instabil
Z 3	Stau	---

Tabelle 11 – Unterscheidung in die Verkehrszustände

Für den Übergang von Zustand 1 nach Zustand 2 gelten folgende Bedingungen:

Übergang von – nach	Bedingung
Z1 – Z2	$D(i,j) > D_{1-2}$
Z2 – Z1	$D(i,j) < D_{2-1}$

Tabelle 12 – Übergangsbedingungen von Z1 nach Z2 und umgekehrt

mit D_{1-2} = Grenzwert Dichte für Übergang von Z1 nach Z2; Ersteinstellung: 45 Fz/km

D_{2-1} = Grenzwert Dichte für Übergang von Z2 nach Z1; Ersteinstellung: 40 Fz/km

Im instabilen Bereich wird zwischen den Verkehrszuständen Z2 und Z3 (Stau) unterschieden. Dabei wird außer der Dichte auch noch die Verkehrsstärke in die Bedingungen mitberücksichtigt. Für die Übergänge gelten folgende Bedingungen:

Übergang von – nach	Bedingung
Z2 – Z3	$v \text{ Kfz } (i,j) < v_{2-3} \text{ und } D(i,j) > D_{2-3}$
Z3 – Z2	$v \text{ Kfz } (i,j) > v_{3-2} \text{ und } D(i,j) < D_{3-2}$

Tabelle 13 – Übergangsbedingungen von Z2 nach Z3 und umgekehrt

mit v_{2-3} = Grenzwert Geschwindigkeit für den Übergang von Z2 nach Z3;

Ersteinstellung: 15 Fs/h

v_{3-2} = Grenzwert Geschwindigkeit für den Übergang von Z3 nach Z2;

Ersteinstellung: 25 Fs/h

D_{2-3} = Grenzwert Dichte für den Übergang von Z2 nach Z3;

Ersteinstellung: 100 Fs/km

Es ist möglich, dass ein Wechsel von einem Verkehrszustand in einen beliebigen anderen innerhalb eines Zeitintervalls stattfinden kann. Um Staumeldungen aufgrund von langsamen Fahrzeugen oder Messfehler zu vermeiden, muss zusätzlich ein weiteres Kriterium für das Einschalten des Verkehrszustandes Z3 gelten:

Überschreitet der Belegungsgrad einen Grenzwert b_{\max} (Ersteinstellung bei 80%), wird an diesem Querschnitt auf Stau geschlossen. Erst wenn der Belegungsgrad unter b_{\min} (Ersteinstellung bei 60%) fällt und die Geschwindigkeit über den Grenzwert v_{3-2} liegt, wird davon ausgegangen, dass sich der Stau aufgelöst hat.

6. EINSATZMÖGLICHKEIT VON VIDEODATEN IN NETZSTEUERUNGEN

6.1 Beispiel TRANSYT

Weil es aus Zeit- und Kostengründen nicht möglich war, das verkehrsabhängige System SCOOT zu beschaffen, wurde im weiteren Teil der Diplomarbeit mit dem Programm TRANSYT 7F gearbeitet.

Da SCOOT eine Weiterentwicklung von TRANSYT darstellt (siehe auch Seite 27, Tabelle 3), ist davon auszugehen, dass die für TRANSYT benötigten Daten auch für SCOOT benötigt werden.

6.1.1 Programmstrukturaufbau von TRANSYT

Der Programmablauf wird in TRANSYT mittels Karteikarten gesteuert. Alle Daten werden als ganzzahlige Werte (ohne Buchstaben und Kommas) übergeben. Da das Eingabefeld 5 Stellen umfasst, kann jede Zahl zwischen -9999 und 99999 eingesetzt werden. Wird ein Feld leergelassen und das Programm erwartet dort einen Wert, wird die Leerstelle als Null interpretiert. Einen Überblick über die verschiedenen Kartentypen liefert Anhang 6.

Einige wichtige Kartentypen

Karte Nr. 1: Netzkontrollkarte:

Die Netzkontrollkarte ist für jeden Berechnungslauf erforderlich. Auf ihr werden die wichtigsten Parameter für die Simulation und Optimierung spezifiziert.

Feld 1	Feld 2	Feld 3	Feld 4	Feld 5	Feld 6	Feld 7	Feld 8
5	10	15	20	25	30	35	40
1	Umlaufzeit in Sekunden	Anzahl Schritte in der Umlaufzeit	Allgemeine Gewichtung der Halte	Simulationszeit in Minuten	Rot – Gelb - Zeit	Gelbzeit	Gewichtung der Verlustzeit und Aufruf von STAR

Feld 9	Feld 10	Feld 11	Feld 12	Feld 13	Feld 14	Feld 15	Feld 16
45	50	55	60	65	70	75	80
Marke für die Reisezeit od. Geschwindigkeit	Reduzierter oder vollständiger Output	--	Marke für die Eingabe in Schritten oder Sekunden	--	--	Allgemeiner Zuflussveränderungsfaktor	Anzahl Kopien des Outputs

Tabelle 14 – Netz-Kontrollkarte (PORADA, 1982)

Karte Nr. 2: Knotenkarten

Auf den Knotenkarten stehen die Nummern der zu betrachtenden Knoten. Wird ein im Netz vorhandener Knoten nicht mit auf die Knotenkarte aufgenommen, so werden die Signalstellungen an diesem Knoten auch nicht geändert.

Karte Nr. 6: Bewertungsindexkarte

Mit der Karte kann man verschiedene Einflussgrößen mit Gewichten belegen und damit, je nachdem welchem Aspekt man besondere Bedeutung zuweist, den Wert des Bewertungsindex beeinflussen.

Karte Nr. 31: Netzgeometriekarte

Durch diese Karte wird die Beziehung zwischen einem Verkehrstrom und der Grünzeit an dem Knoten (welche den Abfluss dieses Stromes regelt) spezifiziert.

6.1.2 Erforderliche Daten

Die Dateneingabe kann in folgende Kategorien eingeteilt werden :

- Entwurf des Systems
- Verkehrliche Situation
- Signalsteuerung

Entwurf des Systems

Hier wird der Knoten (das Netz) in seiner Form definiert:

- Einbahnstraße oder Straße mit Gegenverkehr
- Halteliniendefinition
- Anzahl der Fahrstreifen
- Vorzugsfahrbahnen (Busspuren)

Die Ermittlung der erforderlichen Daten erfolgt über Pläne, Zeichnungen, Fotografien und Feldmessungen.

Verkehrliche Situation

Hier wird der Zustand des Knotens / Netzes definiert:

- Sättigungsstärke
- Abbiegeströme
- Verlustzeit
- Geschwindigkeit
- Zeitverluste

Für die Sättigungsstärke wird im Allgemeinen ein Wert zwischen 1500 und 1800 Kraftfahrzeuge pro Stunde und Spur angenommen.

Die Verlustzeit ist die Zeit, die beim Umschalten der Lichtsignalanlage von Rot auf Grün verloren geht, bis der Pulk losfährt. Durchschnittswerte liegen zwischen 2 und 4 Sekunden.

Die Reisezeit ist definiert als die Zeit, welche ein Fahrzeug braucht, um von Haltelinie zu Haltelinie zu gelangen unter der Annahme, dass es auf der Strecke keine Warteschlangen gibt und die Lichtsignalanlage auf Grün geschaltet ist.

Die Ermittlung der Geschwindigkeit kann über zwei Wege erfolgen:

- Testfahrten
- Stichproben

Bei den Testfahrten müssen mehrere Testläufe gemacht werden, welche dann gemittelt werden. Die Stichproben werden mittels Radar-Messungen gemacht.

Signalsteuerung

Hier wird die Festlegung von existierenden Signalzeitplänen und deren Randbedingungen festgelegt:

- Umlaufzeit
- Versatzzeit
- Freigabezeit
- Mindestgrünzeit

Diese Daten werden über die vorhandenen Signalzeitenpläne oder über eigene Berechnungen ermittelt.

Tabelle 10 zeigt zusammengefasst, welche Daten in TRANSYT benötigt werden.

Eingabegrößen	
Geometrie	Verknüpfung der Knotenpunkte Abstand der Haltelinien
Verkehrskenngrößen	Verkehrsstärke Sättigungsverkehrsstärke Geschwindigkeit Fahrzeit Unterscheidung der Fahrzeugart
Signalprogramme	Signalprogramm ohne Versatzzeit Umlaufzeit Phasenanzahl Zwischenzeiten Freigabezeiten Versatzzeiten

Randbedingungen	Maximale Staulänge Maximale Sperrzeit Minimale Freigabezeit
-----------------	---

Tabelle 15 – Eingabegrößen bei TRANSYT (PORADA, 1982)

6.2 Online-Daten

Die Bereiche Geometrie und Signalprogramme werden im folgenden nicht berücksichtigt, da die benötigten Daten für diese Bereiche nicht online erfasst werden können.

Wie im Kapitel 4 schon erwähnt, liefert das System CCATS folgende Parameter:

- Geschwindigkeit
- Anzahl der Fahrzeuge
- Fahrzeugtyp
- Belegungsgrad
- Zeitabstand

6.2.1 Verkehrsstärke

Über die Anzahl der Fahrzeuge in einem definierten Zeitintervall (üblich 1h) kann durch eine Division die Verkehrsstärke bestimmt werden.

$$Q = (\text{Anzahl der Fahrzeuge} / \text{Zeitdauer}) \text{ [Fahrzeuge je Stunde]}$$

6.2.2 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit kann übernommen werden. Dabei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass CCATS bei bestimmten Bedingungen (Nacht, Nebel, schlechte Lichtverhältnisse) zu Fehlmessungen kommen kann. Diese Fehlwerte könnten durch eine Plausibilitätsbetrachtung korrigiert werden.

6.2.3 Fahrzeit

Die Fahrzeit kann über die Parameter Strecke (km) und Geschwindigkeit (km/h) durch eine Division ermittelt werden.

$$t = (\text{Strecke} / \text{Geschwindigkeit} * 3600) \text{ [s]}$$

6.2.4 Fahrzeugtyp

Der Fahrzeugtyp kann ohne Einschränkung übernommen werden.

6.2.5 Sättigungsverkehrstärke

Die Sättigungsverkehrstärke ist nach HCM (Highway Capacity Manuel) definiert als :

$$Q_s = (3600 / t) * N * f_w * f_{hv} * f_g * f_p * f_{pb} * f_{bb} * f_a * f_{rt} * f_{lt}$$

Q_s	...	Fahrzeuge pro Stunde Grünzeit
t	...	Zeitabstand zwischen den Fahrzeugen
N	...	Anzahl der Streifen
f_w	...	Faktor des Streifens
f_{hv}	...	Anteil des Schwerverkehrs
f_g	...	Faktor Gefälle
f_p	...	Faktor Parkplatz
f_{pb}	...	Faktor Parkplatz (blockierende Fahrzeuge)
f_{bb}	...	Faktor ÖPNV
f_a	...	Faktor Gebiet
f_{rt}	...	Faktor Rechtsabbieger
f_{lt}	...	Faktor Linksabbieger

Der Faktor 3600 ist lediglich ein Zeitumrechnungsfaktor (s/h). Wenn man einen optimalen Zeitabstand von $t=0,5$ (s/Fz), 2 Streifen und optimale Randbedingungen mit $f=1$ annimmt, bekommt man eine Sättigungsverkehrstärke Q_s von 3600 (Fz/hGrün). Über CCATS ist der Zeitabstand online abfragbar und somit kann die Sättigungsverkehrstärke online den aktuellen Verkehrsverhältnissen angepasst werden.

Um die Sättigungsverkehrsstärke zu bestimmen, muss der Zeitabstand an den Haltelinie bekannt sein. Da an den Knotenpunkten Induktionsschleifen gelegt sind, könnten diese für die Ermittlung des Zeitabstands herangezogen werden. Der Einsatz einer Videokamera ist daher für diesen Zweck nicht nötig.

6.2.6 Zeitbedarfswert

Der Zeitbedarfswert bestimmt die Zeitdauer die ein Pkw im Mittel benötigt, um über die Haltelinie einzufahren (FGSV, 94). Er entspricht dem Kehrwert der Sättigungsverkehrsstärke.

$$t_b = (1 \cdot 3600 / Q_s) \text{ [s/Fz]}$$

Da Q_s online bestimmbar ist, kann indirekt auch t_b bestimmen werden. Er beträgt im Normalfall für geradeausfließende Verkehrsströme 2 Sekunden.

6.2.7 Verkehrsdichte

Die Verkehrsdichte wird in den Modellen durch Anwendung der Kontinuitätsgleichung ermittelt, so dass der auf diese Weise berechneter Wert ein Näherungswert ist. Eine direkte Bestimmung der Verkehrsdichte aufgrund der Fahrzeuganzahl im aufgenommenen Videobild ist möglich. Notwendige Voraussetzung dafür ist, dass ein ausreichend langer Streckenabschnitt eingesehen werden kann. Die Dichte lässt sich dann ermitteln über:

$$D = \left(\frac{\sum Fz}{l} \right)$$

mit $\sum Fz =$ Anzahl der Fahrzeuge im definierten Abschnitt

$l =$ definierte Länge

6.2.8 Staulänge

Vor den Haltelinien bildet sich während der Sperrzeit ein Stau aus. Bei guten Verkehrsverhältnissen löst sich der Stau während der Freigabezeit auf. In der darauf folgenden Sperrzeit bildet sich der Stau erneut, usw..

Die Anzahl der aufgestauten Fahrzeuge ist bei Ende der Sperrzeit am größten und bei Ende der Freigabezeit am geringsten.

Ein langer Stau wird zum Problem, wenn

- der Stau bis in den stromaufwärtsliegenden Knotenpunkt zurückreicht und diesen für den Querverkehr zeitweise unpassierbar macht und wenn
- der Stau länger ist als der Stauraum für die betroffene Signalgruppe. Dadurch wird verhindert, dass Fahrzeuge aus Strömen anderer Signalgruppen (derselben Zufahrt) die Haltelinie für den für sie vorgesehenen Fahrstreifen erreichen.

Mit CCATS ergibt sich eine Möglichkeit, die Staulängen exakt zu ermitteln. Durch die Erfassung der Anzahl und der Klasse der Fahrzeuge, kann die Summe der Länge aller einfahrender Fahrzeuge ermittelt werden.

Bsp. : In einem Zeitintervall $t=60s$ werden 25 Pkw und 4 Lkw mit der Videokamera detektiert. Dies ergibt eine Gesamtlänge von

$$25 \text{ Pkw} * 6 \text{ m/Pkw} + 4 \text{ Lkw} * 10 \text{ m/Lkw} = 190 \text{ m}$$

An der Lichtsignalanlage kann über Detektoren (Schleifendetektoren mit Fahrzeugunterscheidung oder Videodetektoren) die Anzahl und Klasse der Fahrzeuge erfasst werden, die während der Grünphase die Haltelinien passieren.

Bsp.: In der Grünzeit $G = 40s$ passieren 20 Pkw und 4 Lkw die Haltelinie. Dies ergibt eine Gesamtlänge von

$$20 \text{ Pkw} * 6 \text{ m/Pkw} + 4 \text{ Lkw} * 10 \text{ m/Lkw} = 160 \text{ m}$$

Subtrahiert man nun die Summe der Länge der Fahrzeuge, welche die Haltelinie überquert haben, von der einfahrenden Gesamtlänge, so erhält man die Staulänge bei Grünende.

Bsp.: $190 \text{ m} - 160 \text{ m} = 30 \text{ m}$.

Dieser ermittelte Wert kann nun mit der Randbedingung „Maximale Staulänge“ in TRANSYT (siehe Tabelle 15) verglichen werden. Übertrifft die Staulänge die max. Staulänge, so muss die TRANSYT-Berechnung noch mal durchgeführt werden, da die Randbedingung verletzt und somit ein Fehler aufgetreten ist.

6.2.9 Pulkauflösung

Die Pulkauflösung wird bestimmt, um herauszufinden, wie viele Fahrzeuge am nächsten Knotenpunkt als Pulk ankommen.

In TRANSYT wird die Pulkauflösung mittels der Rekursionsformel beschrieben:

$$Q_2(i+t) = F * Q_1(i) + (1-F) * Q_2(i+t-1)$$

Q_1	...	Verkehrsstärke am Querschnitt 1
Q_2	...	prognostizierte Verkehrsstärke am Querschnitt 2
i	...	Zeitintervall
$t = \beta * T$...	Ankunftsintervall des ersten Pulkfahrzeugs
T	...	mittlere Pulkfahrzeit zwischen 1 und 2
$F=1/(1+a*t)$...	Dämpfungsfaktor

Sie enthält zwei voneinander abhängige Faktoren a und β . Während β die Geschwindigkeit des Pulkführers auszudrücken hilft, kann das als sogenannter Pulkauflösungsfaktor bezeichnete a als Maß für die Pulkauflösung herangezogen werden. Dabei bedeutet ein a -Wert von Null keine, von Eins eine sehr große Pulkauflösung.

Für β wird aufgrund zahlreicher Untersuchungen ein Wert von 0,8 als Standard vorgeschlagen. Messungen für die Bestimmung von a ergaben eine Bandbreite von $a=0,10$ bis $a=0,63$. Gängige a -Werte liegen im Bereich von $a=0,25$... $0,40$. TRANSYT benutzt einen a -Wert von 0,35.

Es wurde festgestellt, dass man den größten Zusammenhang zwischen der aktuellen und der prognostizierten Kolonnenform durch den Ausdruck $F = (1+0.5*t)^{-1}$ erhält. Abbildung 14 zeigt den Zusammenhang zwischen den Messwerten und die durch F gebildete Kurve (PORADA, 1982).

Ein Problem stellt die Wahl der „richtigen“ Parameter für die Größe der Pulkauflösung dar, welche sehr stark von spezifischen örtlichen Gegebenheiten abhängig ist. Häufig treten die Schwierigkeiten auf, dass die der Berechnung zugrundeliegenden Daten nicht den später tatsächlich eintretenden Verkehrszustand entsprechen.

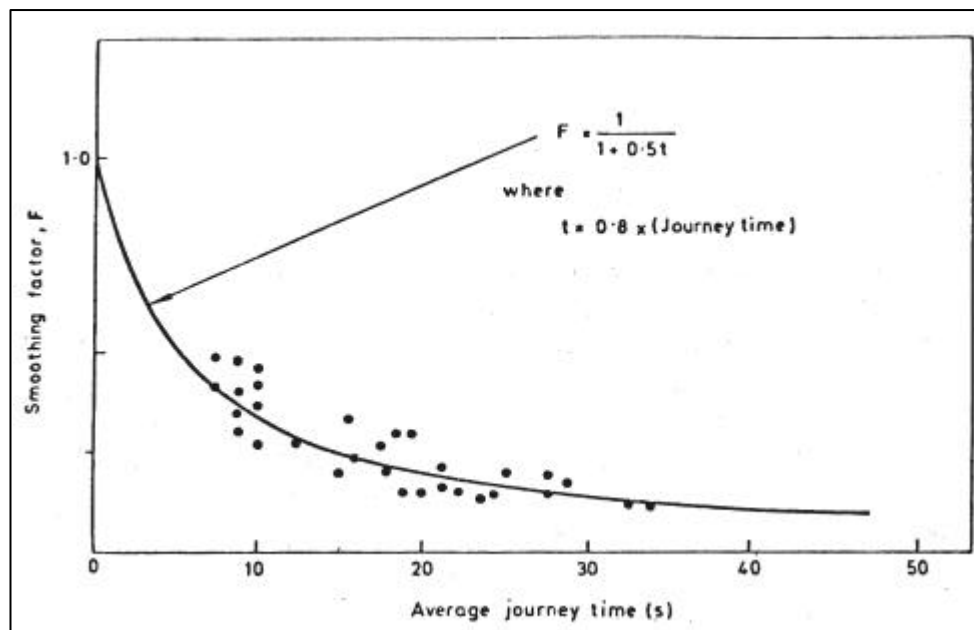
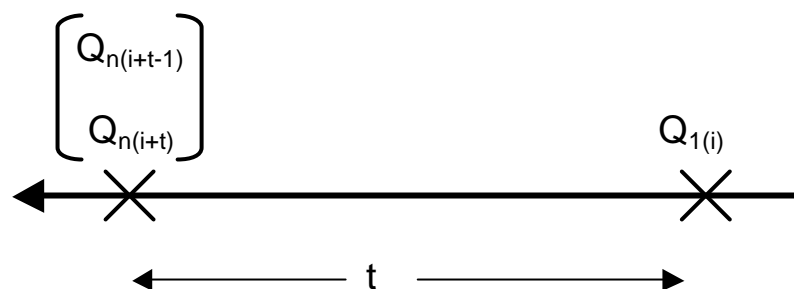


Abbildung 15 – Dämpfungsfaktor F (PORADA, 1982)

Mit CCATS kann dieser über die Reisezeit bestimmter Faktor F exakter, d.h. dem aktuellen Verkehrszustand entsprechend, über die Verkehrsstärke an den Messquerschnitten, errechnet werden.

Bsp. :

$Q_1(i)$ ist die Verkehrsstärke am Querschnitt 1 (siehe Kapitel 6.1.3) im Zeitintervall i . $Q_{n(i+t-1)}$ drückt die Verkehrsstärke im Zeitintervall $(i+t-1)$ aus und $Q_{n(i+t)}$ die Verkehrsstärke im Intervall $(i+t)$. Der Parameter t stellt die Reisezeit dar, welche von Position Q_1 nach Q_n benötigt wird. Durch Umformung der Formel nach F ergibt sich:



$$Q_{n(i+t)} = F * Q_{1(i)} + (1-F) * Q_{n(i+t-1)}$$



$$F = \frac{Q_{n(i+t)} - Q_{n(i+t-1)}}{Q_{1(i)} - Q_{n(i+t-1)}}$$

F ist eine Funktion von T. Mit diesem über die Verkehrsstärke ermittelten F hat man eine Größe, welche das Pulkverhalten wiedergibt.

F kann folgende Werte annehmen:

- $F > 1$

Damit $F > 1$ wird, muss entweder

$$Q_{n(i+t)} > Q_{n(i+t-1)} \quad \text{und} \quad Q_{1(i)} > Q_{n(i+t-1)}$$

oder

$$Q_{n(i+t-1)} > Q_{n(i+t)} \quad \text{und} \quad Q_{n(i+t-1)} > Q_{1(i)}$$

eintreffen. D.h., das entweder die Verkehrsstärke am Querschnitt n im Intervall (i+t) größer als im Intervall vorher und die Verkehrsstärke im Intervall (i+t-1) kleiner ist als am Querschnitt 1 im Intervall i ist, oder, die Verkehrsstärke im Intervall (i+t-1) größer ist, als die Verkehrsstärke an beiden Querschnitten im Intervall i bzw. (i+t). Über die Formel

$$F = \frac{1}{1 + \alpha * (\beta * t)}$$

ist ersichtlich, dass für $F > 1$ der Term $1 + a \cdot (\beta \cdot t) > 1$ sein muss. $(\beta \cdot t)$ drückt die Geschwindigkeit des Pulkführers aus, welche > 0 ist. a kann somit nur negativ sein. Da a die Pulkauflösung ausdrückt, bedeutet dies, dass eine Pulkstauchung vorherrscht.

- $F = 1$

F wird gleich 1, wenn

$$Q_{n(i+t)} = Q_{1(i)}$$

eintritt. Dies bedeutet, dass die Fahrzeuge, die im Zeitintervall i den Querschnitt 1 passieren, in gleicher Formation den Querschnitt n am Zeitpunkt $i+t$ erreichen.

Setzt man für F in die obige Formel eins ein, so erhält man, unter den gleichen Randbedingungen wie oben, dass $a=0$ ist. Wie im Kapitel 6.2.9 beschrieben, bedeutet ein a von 0, dass keine Pulkauflösung vorhanden ist.

- $F < 1$

Die dritte Möglichkeit ist, dass $F < 1$. Dies tritt ein, wenn

$$Q_{n(i+t-1)} > Q_{n(i+t)} \quad \text{und} \quad Q_{n(i+t-1)} < Q_{1(i)}$$

oder

$$Q_{n(i+t-1)} < Q_{n(i+t)} \quad \text{und} \quad Q_{n(i+t-1)} > Q_{1(i)} \quad \text{ist.}$$

D.h., die Verkehrsstärke am Querschnitt n im Intervall $(i+t-1)$ war größer als im Intervall $(i+t)$ und gleichzeitig kleiner als am Querschnitt 1. Oder, die Verkehrsstärke am Querschnitt n im Intervall $(i+t-1)$ war kleiner als im Intervall $(i+t)$ aber größer als am Querschnitt 1 im Zeitintervall i .

Für den Pulkauflöschungsfaktor bedeutet dies, dass damit $F < 1$ werden kann, der Term $1+a*(\beta*t)$ größer eins sein muss und somit a nur positiv sein kann. Ein positiver a -Wert drückt die Pulkauflösung aus.

6.2.9.1 Überprüfung der Überlegung am Beispiel Neue Weinsteige

Wie schon im Kapitel 5 beschrieben, ist die Neue Weinsteige die Verbindung zwischen der B27 und Stuttgart-Zentrum. Für die Überprüfung der Überlegung aus Kapitel 6.2.9 wurden Kamera 1 und Kamera 3 als Bezugspunkte herangezogen.

Randbedingungen

Der Abstand zwischen den zwei Kamerastandorten beträgt 1200m. Das Betrachtungszeitintervall beträgt eine Minute. Das bedeutet, das CCATS die Werte eine Minute lang sammelt um dann die Werte zu mitteln. Geht man von einer mittleren Geschwindigkeit von $v=65$ km/h aus, so ergibt sich eine Fahrzeit für die Strecke von Kamera 1 nach Kamera 3 von 66s. Ein Fahrzeug welches Kamera 1 im Intervall i passiert erreicht somit am Zeitpunkt $(i+t)$ bei idealen Bedingungen Kamera 3.

Die Bedingungen auf dieser Strecke sind nicht optimal, da:

- unmittelbar nach Kamera 1 und vor Kamera 3 eine Lichtsignalanlage positioniert ist, welche den Verkehrsfluss beeinträchtigt, und
- außerdem zwischen Kamera 1 und Kamera 3 eine stationäre Geschwindigkeitsmessung installiert ist, was eine Pulkstauchung verursachen kann.

Vorgehensweise

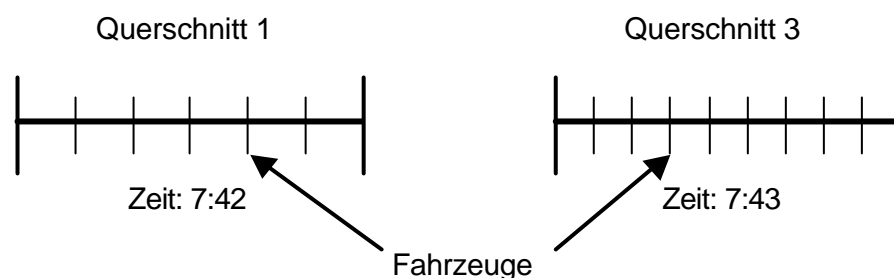
Die CCATS-Werte vom 08.08.2000 wurden kopiert und mit dem Programm „Convert.exe“ in das richtige, d.h. für MS Excel lesbare, Format konvertiert (Anlage10). Die Verkehrsstärke wurde ermittelt, indem die Anzahl der Fahrzeuge im 1-Minuten-Intervall mit 60 multipliziert worden ist. Um die Abbieger und Parker nach Kamera 1 nicht zu vernachlässigen, wurde die ermittelte Verkehrsstärke mit 0,85 multipliziert. Dieser Wert ist eine reine Annahme und wurde nicht über Versuche ermittelt.

Ergebnisse

- | |
|---------|
| $F > 1$ |
|---------|

Uhrzeit	: 07:42
v	: 63 km/h
Faktor F	: 1,26984127
Querschnitt 1 (i = 7:42)	: 1887 Fz/h
Querschnitt 3 (i+t = 7:43)	: 2040 Fz/h
Querschnitt 3 (i+t-1 = 7:42)	: 1320Fz/h

Das Beispiel zeigt, dass mehr Fahrzeuge den Querschnitt 3 im Intervall (i+t) passiert haben, als im Intervall i am Querschnitt 1 eingefahren sind.

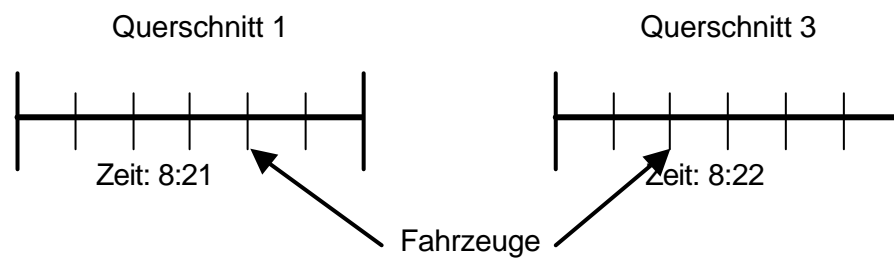


Da mehr Fahrzeuge Querschnitt 3 passiert haben, als in Querschnitt 1 eingefahren sind, muss eine Pulkstauchung stattgefunden haben.

▪ **F = 1**

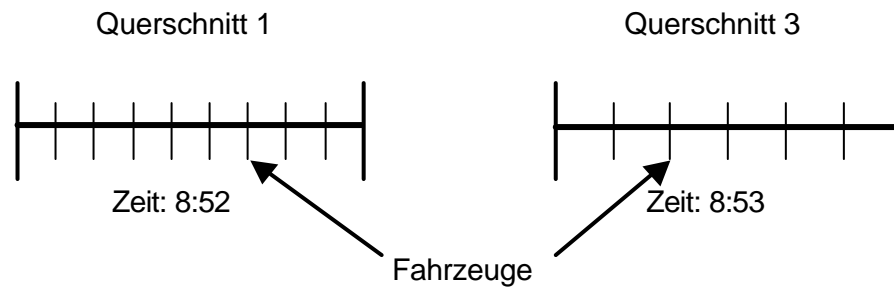
Uhrzeit	: 08:21
v	: 63 km/h
Faktor F	: 1,0
Querschnitt 1 (i = 8:21)	: 2040 Fz/h
Querschnitt 3 (i+t = 8:22)	: 2040 Fz/h
Querschnitt 3 (i+t-1 = 8:21)	: 1020Fz/h

Die Fahrzeuge die um 8:21 Querschnitt 1 passieren, fahren in gleicher Formation eine Minute später an Querschnitt 3 vorbei. Es existiert keine Pulkstauchung bzw. Pulkauflösung.



▪ **F < 1**

Uhrzeit	: 08:52
v	: 61 km/h
Faktor F	: 0,296052
Querschnitt 1 (i = 8:52)	: 2240 Fz/h
Querschnitt 3 (i+t = 8:53)	: 960 Fz/h
Querschnitt 3 (i+t-1 = 8:52)	: 420Fz/h



In diesem Fall fahren im Querschnitt 1 mehr Fahrzeuge ein, als ein Zeitintervall später am Querschnitt 3. Das bedeutet, dass eine Pulkauflösung stattgefunden hat.

Bemerkung

Die hier ermittelten Ergebnisse sind auf Stichproben eines Tages basierend. Es existieren einerseits Ergebnisse, welche die in 6.2.9 erstellten Überlegungen unterstützen, andererseits gibt es aber auch Ergebnisse, die die Theorie in Frage stellen. Eine weitere Untersuchung mit besseren Randbedingungen wäre erforderlich, um herauszufinden, inwieweit die Pulkauflösung bzw. die Pulkstauung über den Faktor F ermittelbar ist.

7. SCHLUSSBETRACHTUNG

Verkehrsabhängige Netzsteuerungen werden in Zukunft immer größere Bedeutung erlangen. Ihr wirtschaftlicher und ökologischer Vorteil gegenüber nicht koordinierter oder Festzeitgeregelter Netze ist zu groß, um darauf verzichten zu können. Allerdings hängt die Wahl des richtigen Netzsteuerungsmodells von den örtlichen und verkehrlichen Gegebenheiten ab.

In bezug auf die Ermittlung von Verkehrsdaten mittels Videotechnik ist zu erwähnen, dass die Qualität der Datenermittlung gut ist und eine echte Alternative zu den konventionellen Technologien darstellt. Nicht zuletzt durch die ständige Weiterentwicklung im Bereich Hard- und Software scheinen die Möglichkeiten der Videotechnik unbegrenzt zu sein.

In dieser Arbeit wurden Ansätze und Möglichkeiten gezeigt (Staulänge, Pulkauflösung), wie die Videotechnik in Netzsteuerungen eingesetzt werden kann. Aufgrund der nicht verfügbaren Geldmittel und der beschränkt zur Verfügung stehender Zeit, war es nicht möglich, diese Überlegungen im Testgebiet zu überprüfen. Eine Stichprobe hat allerdings gezeigt, dass es sich lohnt, die Überlegungen weiter zu verfolgen.

Über das Kosten-Nutzen-Verhältnis lässt sich keine Aussage treffen. In den USA (Minneapolis) wurden die Videodetektoren im SCOOT-Modell wieder durch Induktionsschleifen ersetzt. In Deutschland (München, Projekt Mobinet) ist der Einsatz der Videodetektion geplant. Betrachtet man die neuen Möglichkeiten (exakte Kenntnisse über Staulänge und Pulkauflösung bzw. -stauung), so fällt die Kosten-Nutzen-Analyse zu Gunsten der Videodetektion aus.

Abschließend kann gesagt werden, dass wenn an den Schwachstellen der Videotechnik weitergearbeitet und diese behoben werden, so erscheint der Fortschritt dieser Technik für den Einsatz in verkehrsabhängigen Netzsteuerungen unaufhaltsam.

ANHANG 1 - FACHTERMINOLOGIE

Quellen: FGSV 89; LEHRSTUHL FÜR VERKEHRSPLANUNG UND LEITTECHNIK – Um-
druck zur Vorlesung, 1999 ; LANDENFELD, 1998

Begriff	Erklärung / Definition
Alternativplan	Ein Signalplan, der den zugrundeliegenden Festzeitplan oder einen anderen Alternativplan überlagert.
Bedarfsphase	Phase, die auf Anforderung zu einem geeigneten Zeitpunkt in die gegebene Phasenfolge eingeschoben wird (ÖPNV-Priorisierung).
Belegungsgrad	Fließender Verkehr: Verhältnis der Summe der Verweilzeit der Fahrzeuge im Wahrnehmungsbereich eines Detektors während eines Zeitintervalls zur Länge des Zeitintervalls.
Detektor	Gerät zur automatischen Erfassung von Zuständen oder Zustandsänderungen.
Einzelsteuerung	Steuerung des Verkehrsablaufs mit Hilfe einer Lichtsignalanlage ohne Abstimmung mit anderen Lichtsignalanlagen.
Festzeitsteuerung	Lichtsignalsteuerung mit festgelegten Signalzeiten ohne Einwirkungsmöglichkeit durch Verkehrsteilnehmer.
Freigabezeit	Zeit, in der das Befahren bzw. Betreten einer Verkehrsfläche erlaubt, die in der Regel mind. eine Konfliktfläche enthält.

Freigabezeitverlängerung	Vom Signalsteuergerät aufgrund von Messdaten bewirkte Verlängerung der Freigabezeit.
Freigabezeitverkürzung	Vom Signalsteuergerät aufgrund von Messdaten bewirkte Verkürzung der Freigabezeit.
Grüne Welle	Die Koordinierung von mind. 2 Knotenpunkte mit dem Ziel, dass die Mehrzahl der Fahrzeuge, unter Einhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit, die Knotenpunkte ohne Halt passieren.
Grünzeit	Zeit, in der die Überquerung der Kreuzung erlaubt ist
Induktionsschleife	Ein Detektor, der durch Veränderung eines elektrischen Wechselfeldes bzw. magnetischen Wechsel- oder Gleichfeldes durch Metallmassen Fahrzeuge erkennt. Es ist auch die Unterscheidung von Fahrzeugarten und die Geschwindigkeitsmessung möglich.
Koordinierung	Abstimmung der Freigabezeit zwischen LSA (meist unter Verwendung von Signalplänen mit gleicher Umlaufzeit) mit dem Ziel, einen gewünschten verkehrstechnischen Zusammenhang zu erreichen, meist eine „Grüne Welle“.
Lichtsignalsteuerung	Planmäßige Beeinflussung des Verkehrsablaufs durch Lichtsignale.
Makroskopische Modelle	Bei den makroskopischen Modelle werden die Fahrzeuge in einem Streckenabschnitt zusammengefasst und durch aggregierte Variablen wie Fahrzeugdichte, mittlere Geschwindigkeit und Verkehrsstärke nachgebildet.

Mesoskopische Modelle	Ist eine Kombination von makroskopischen und mikroskopischen Modelle. Sie versuchen die Vorteile der jeweiligen Modelle zu vereinigen.
Mikroskopische Modelle	Bei den mikroskopischen Modelle wird die Bewegung jedes einzelnen Fahrzeugs nachgebildet. Unter Berücksichtigung der Wunschgeschwindigkeit, des Fahrverhaltens, usw. werden für jedes Fahrzeug die charakteristischen Größen wie Position, Spur, Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet.
Nettozeitlücke	Zeitlücke zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeuge derselben Fahrzeugkolonne.
Phase	Teil eines Signalprogramms, während dessen ein bestimmter Grundzustand der Signalisierung unverändert bleibt.
Umlaufzeit	Ist die Zeitdauer des einmalige Ablaufs des Signalprogramms. Als Richtwerte: minimal 30 s, normal 50 – 75 s, maximal 90 (120) s.
Sättigungsgrad	Verhältnis von der effektiv genutzten Grünzeit zur gesamt verfügbaren.
Sättigungsverkehrsstärke	maximale Verkehrsstärke einer Spur während der Freigabezeit
Stauraum	Fahrbahnfläche, die Fahrzeuge während des Wartens auf Fahrtfreigabe oder Abfertigung zur Verfügung steht.

Steuerungsstrategie	besteht in Auswahl, Priorisierung und Kombination von Steuerungsmaßnahmen im Hinblick auf die Aufgabenstellung.
Steuerungsverfahren	besteht in dem einer Logik zugrundeliegenden Abarbeitungsmechanismus. Beispiele sind: Festzeitsteuerung sowie Formen der Alternativplan-, Phasen- und Signalplansteuerung.
verkehrsabhängige Signalsteuerung	Lichtsignalsteuerung, bei der das Signalprogramm von Verkehrsteilnehmern beeinflusst wird.
Verkehrsstärke	Ist definiert als Anzahl der sich an einer Stelle eines Verkehrsweges (Haltelinie oder Teile davon) in die gleiche Richtung bewegendenden Verkehrselemente (Fahrzeuge) je Zeiteinheit (i.d.R. eine Stunde).
Verkehrsstrom	Auf einem Verkehrsweg in der gleichen Richtung sich bewegendende Verkehrselemente.
Versatz	Ist die Zeitdifferenz zwischen Anfangszeitpunkten der Signalprogrammen zweier Kreuzungen, die auf einen gemeinsamen Nullpunkt normiert sind.
Zeitlücke	Zeitunterschied zwischen den Durchgängen der Bezugspunkte aufeinander folgender Fahrzeuge eines Fahrzeugstromes an einem Querschnitt.

Verzeichnis der Abkürzungen

G	Grünzeit (s)
C	Umlaufzeit (s)
P	Versatzzeit (s)
H	Halte (-)
Q	Verkehrsstärke (Fz/h)
Q _s	Sättigungsverkehrsstärke (Fz/h)
D	Dichte (Fz/km)
X	Sättigungsgrad (-)
b	Belegungsgrad (%)
v	Geschwindigkeit (km/h)
t	Fahrzeit (s)
t _w	Wartezeit (s)
t _b	Zeitbedarfswert (s)

ANHANG 2 - ÜBERSETZUNG DER BEGRIFFE DER ABBILDUNG 5

Begriff	Übersetzung
Actual Queue	tatsächlicher Stau
Back	Ende
Cruise speed	Fahrgeschwindigkeit
Current cyclic traffic flow profile	aktuelle zyklische Zuflussganglinie
Cycle	Umlauf
Detector data	Detektordaten
Distance along a Street (link)	Weg
Flow adds to the back of the queue	Zufluss schießt auf das Stauende
Flow rate	Zufluss
Front	Anfang
Future	Zukunft
Green Time	Grünzeit
Past	Vergangenheit
Predicted Queue at time „now“	prognostizierter Stau zum aktuellen Zeitpunkt
Red time	Rotzeit
Saturation flow rate	Sättigungsabfluss
Time	Zeit
Time now	aktueller Zeitpunkt

ANHANG 3 – MODELLSTRUKTUR VON TRANSYT

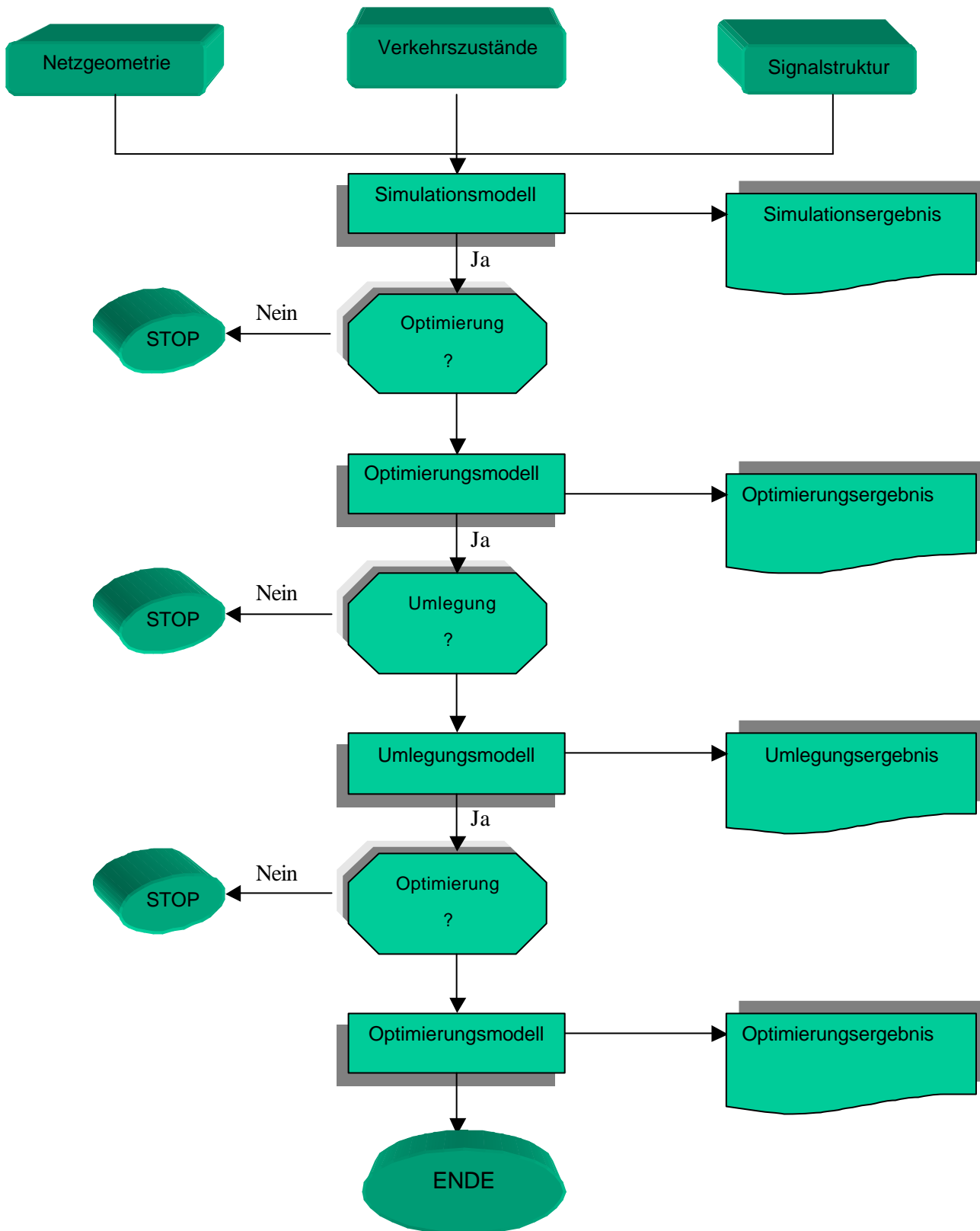


Abbildung A 3.1 – Modellstruktur von TRANSYT (PORADA, 1982)

ANHANG 4 – VERGLEICH VON CCATS-DATEN MIT INDUKTIONSSCHLEIFEN

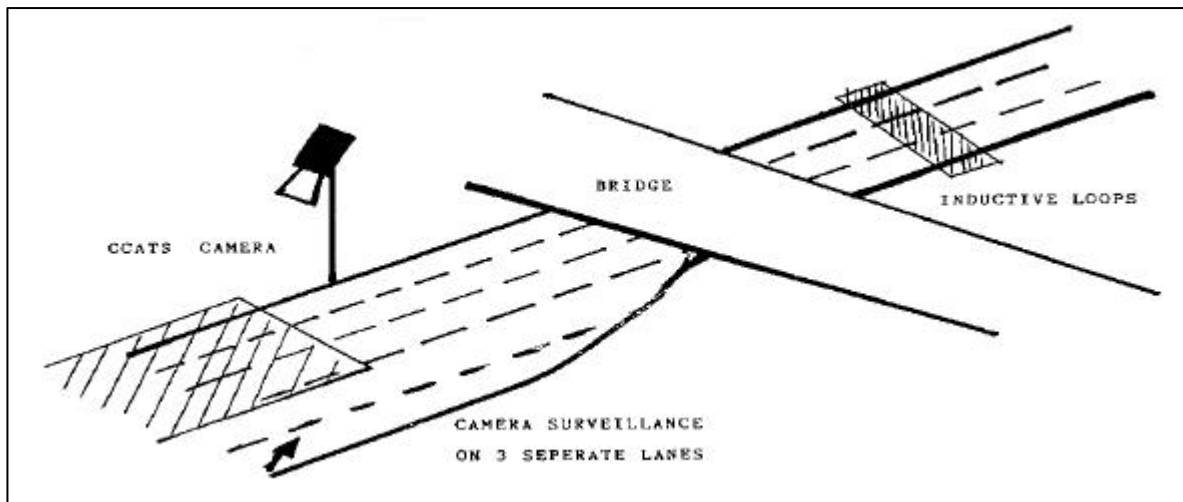


Abbildung A 4.1 – Lageplan des CCATS-Systems und der Induktionsschleife (CYPERS, 1990)

STATISTIC DATA INFORMATION - WEMMEL (CCATS) and MERCHTEM (LOOPS)

Data of 17.06.88

! HOUR !	! CCATS INFORMATION !			! LOOPS MERCHTEM !			! statistical !		! Calibrated !	! Error ratio !	! Traffic !	
	! TOT !	! OCCUP !	! SPEED !	! TOT !	! OCCUP !	! SPEED !	! density on !	! density on !				! CCATS !
! !	! (X) !	! (km/h) !	! (X) !	! (km/h) !	! (X) !	! (km/h) !	! TOT !	! TOT !	! SPEED !	! TOT !	! SPEED !	
! !	! !	! !	! !	! !	! !	! !	! !	! !	! (+.15) !	! (X) !	! (X) !	
0	318	0	76	640	1.6	105	222	540	87	16	18	low
1	174	0	75	336	0.9	103	121	295	86	13	17	low
2	146	0	74	242	0.7	107	102	248	85	-2	21	low
3	101	0	71	191	0.6	110	70	171	81	11	27	low
4	135	0	71	245	0.9	97	94	229	81	7	17	low
5	491	0	78	618	2.1	86	147	638	89	-3	-3	normal
6	1280	2	76	1777	5.7	79	384	1664	87	7	-10	normal
7	3490	6	73	4845	13.1	82	1047	4537	83	7	-1	normal
8	4905	9	67	6141	17.4	74	1471	6376	77	-3	-4	normal
9	3666	7	72	4561	12.1	83	1099	4765	82	-4	2	normal
10	2867	10	47	3631	10.8	33	573	3440	54	6	-63	queue
11	2201	15	20	2965	44.9	20	440	2641	23	12	-15	queue
12	2010	13	18				402	2412	20			
13	2868	10	40				573	3441	46			
14	2220	5	72	! Loop information !			444	2664	82	! Loop information !		
15	3618	5	74	! not available !			723	4341	85	! not available !		
16	3259	11	36				651	3910	41			
17	4124	16	22	6136	22.1	55	824	4948	25	20	55	accident
18	4814	7	67	5322	12.3	85	962	5776	77	-8	10	normal
19	4112	6	70	4138	8.6	95	1233	5345	80	-29	16	normal
20	2689	3	76	2822	5.6	99	806	3495	87	-23	13	normal
21	1337	1	86	1813	3.5	102	401	1738	98	5	4	normal
22	967	1	84	1366	2.7	100	290	1257	96	8	4	normal
23	591	0	78	1164	2.4	96	177	768	89	35	8	normal

Abbildung A 4.2 – Ausdruck der CCATS-Daten im Vergleich mit den Daten der Induktionsschleife (CYPERS, 1990)

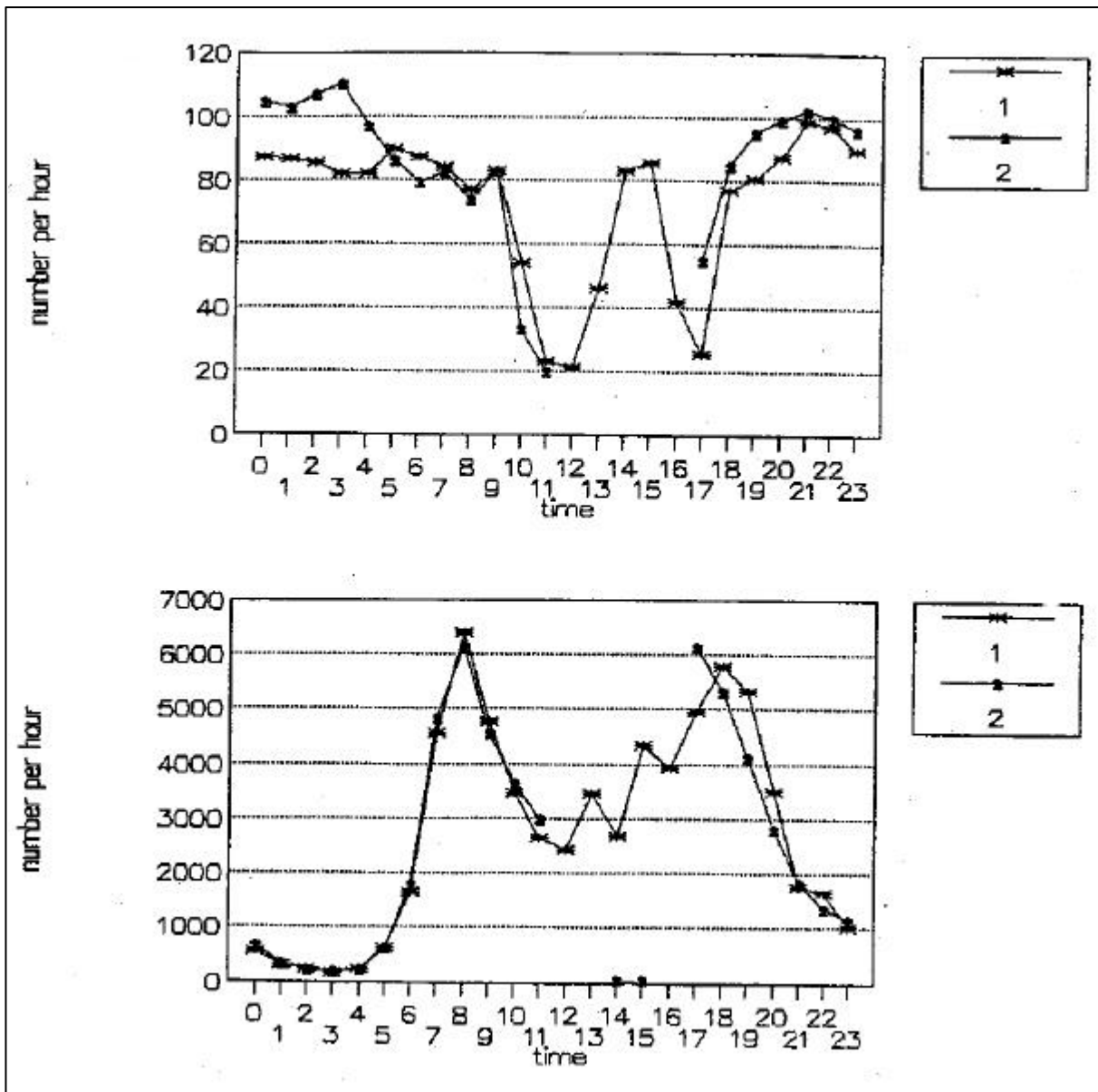
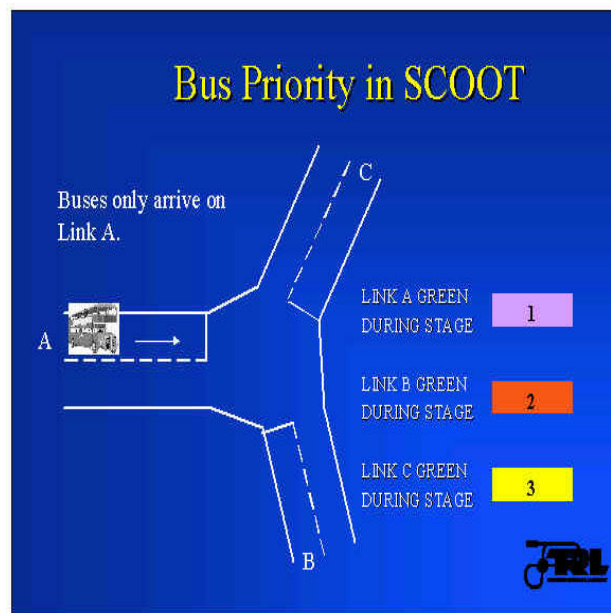
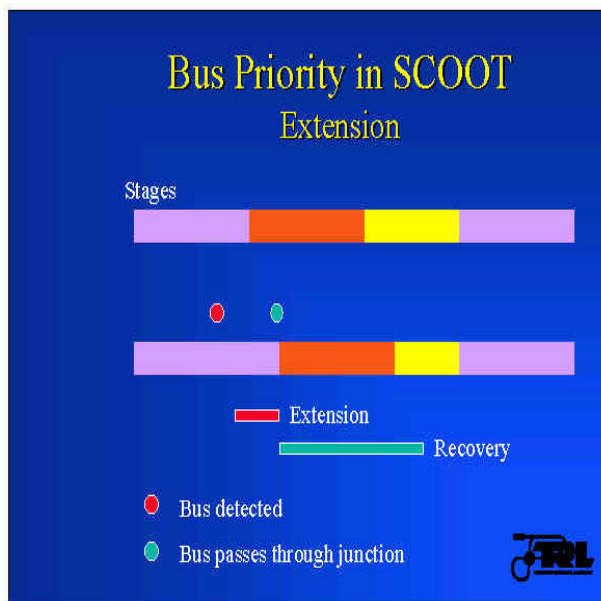


Abbildung A 4.3 – Vergleich von Geschwindigkeit (oben) und Anzahl der Fahrzeuge (unten) zwischen CCATS (1) und Induktionsschleifen (2) (CYPERS, 1990)

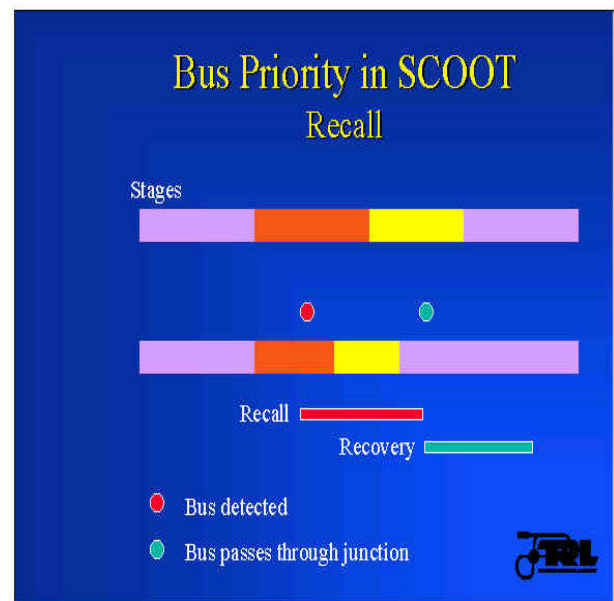
ANHANG 5 – BUS-PRIORISIERUNG IN SCOOT



Bus erreicht Lichtsignalanlage an der Kante A



Der Bus wird kurz vor Ende der Grünphase erkannt und es wird auf Grünzeitverlängerung umgeschaltet.



Buserkennung erfolgt während einer Rotphase. Grünanforderung wird geschaltet.

ANHANG 6 – KARTEIKARTENSTRUKTUR VON TRANSYT

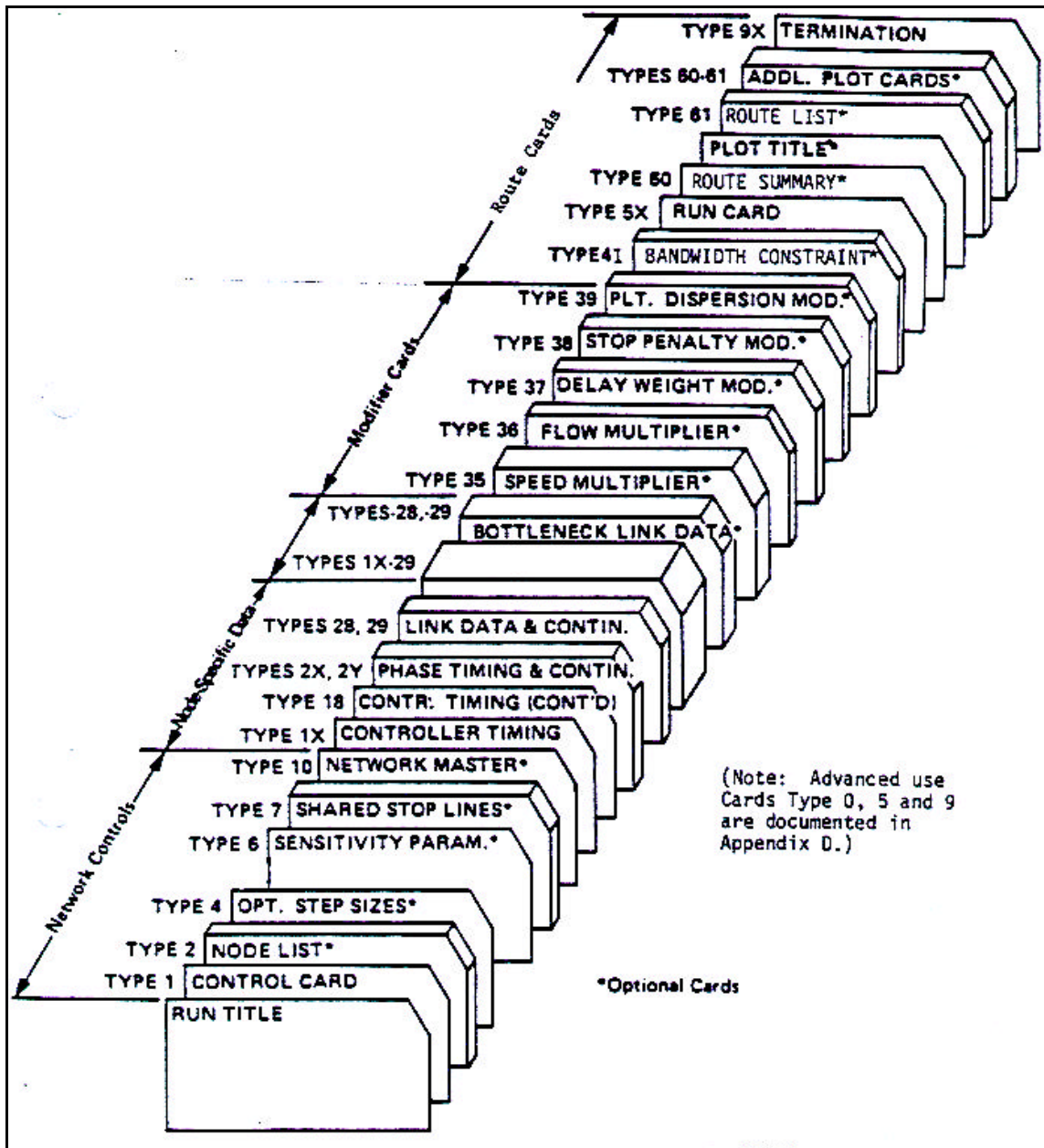


Abbildung A 6.1 – Karteikartenstruktur von TRANSYT

ANHANG 7 – CCATS AUF DER NEUEN WEINSTEIGE

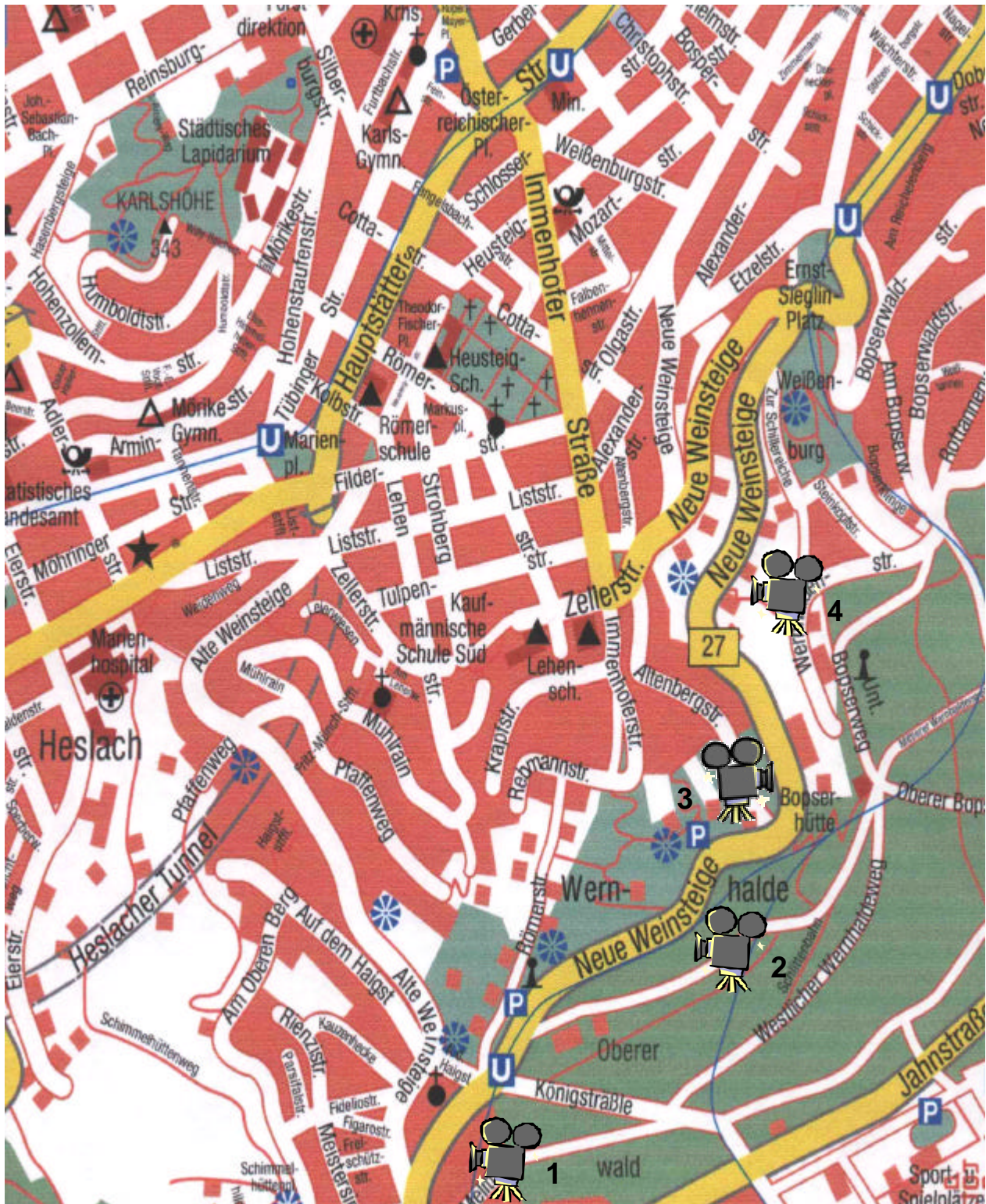
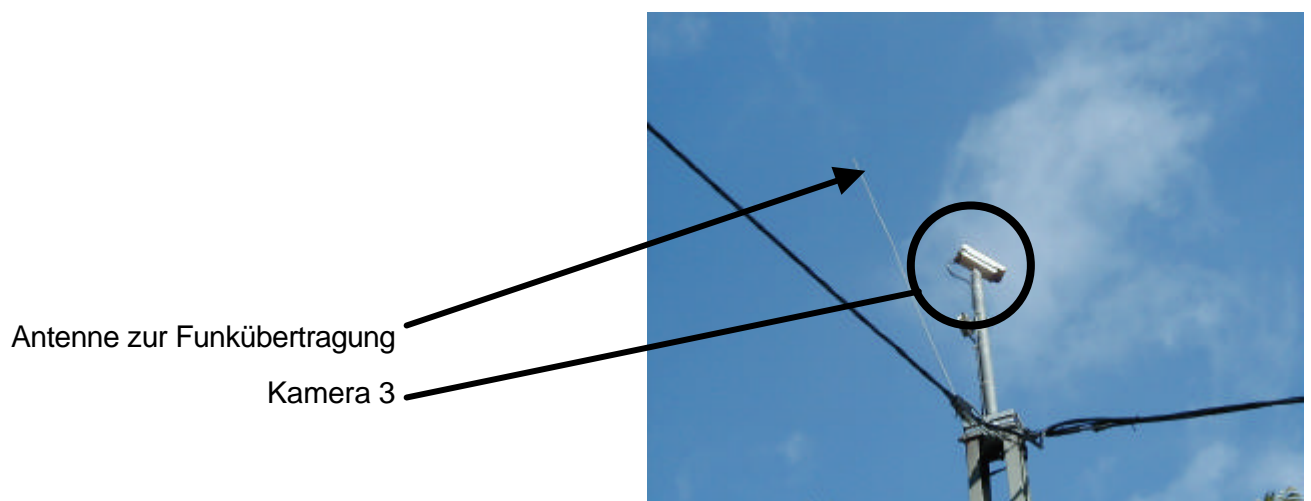
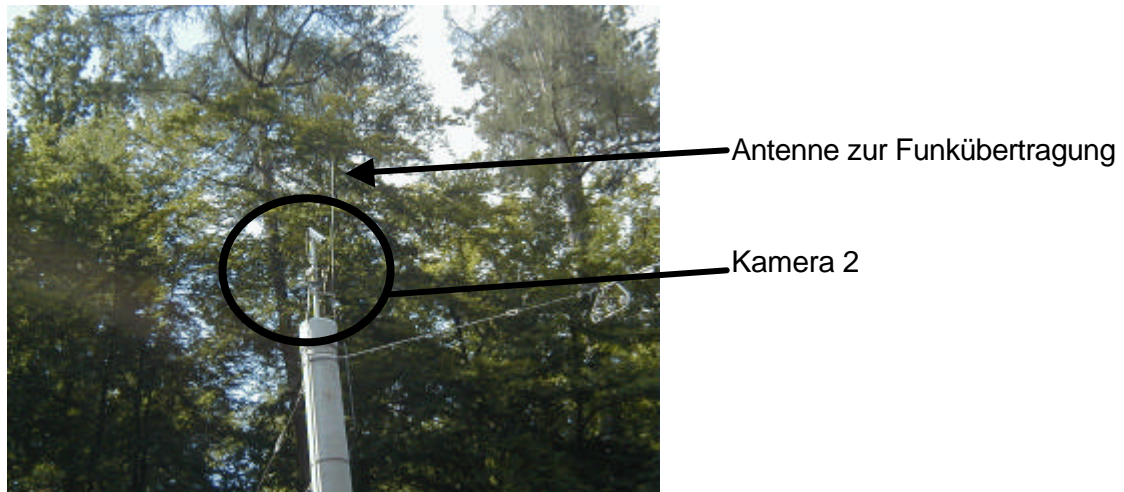


Abbildung A 7.1 – Position der Kameras auf der Neuen Weinsteige

ANHANG 8 – DIE KAMERAS



ANHANG 9 – AUSGABE VON CCATS

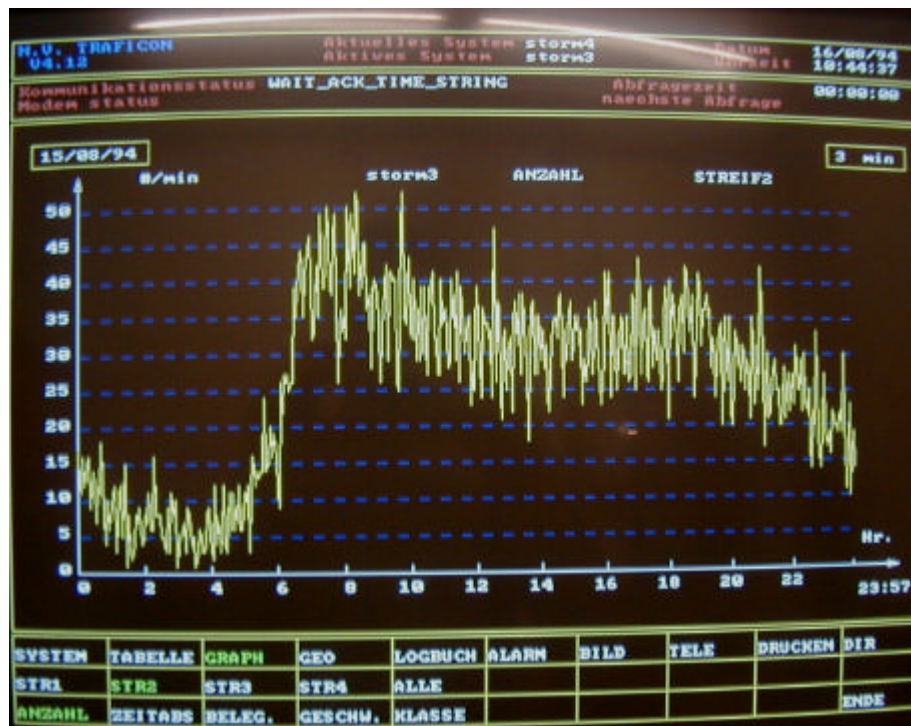


Abbildung A 9.1 – Anzahl der Fahrzeuge

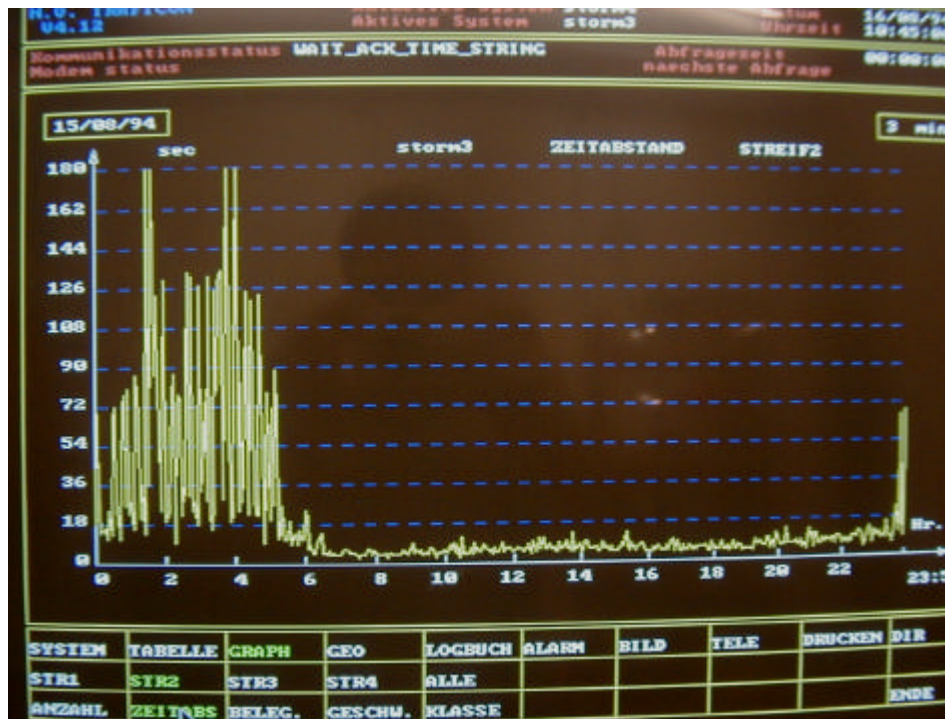


Abbildung A 9.2 – Zeitabstand zwischen den Fahrzeugen in Sekunden

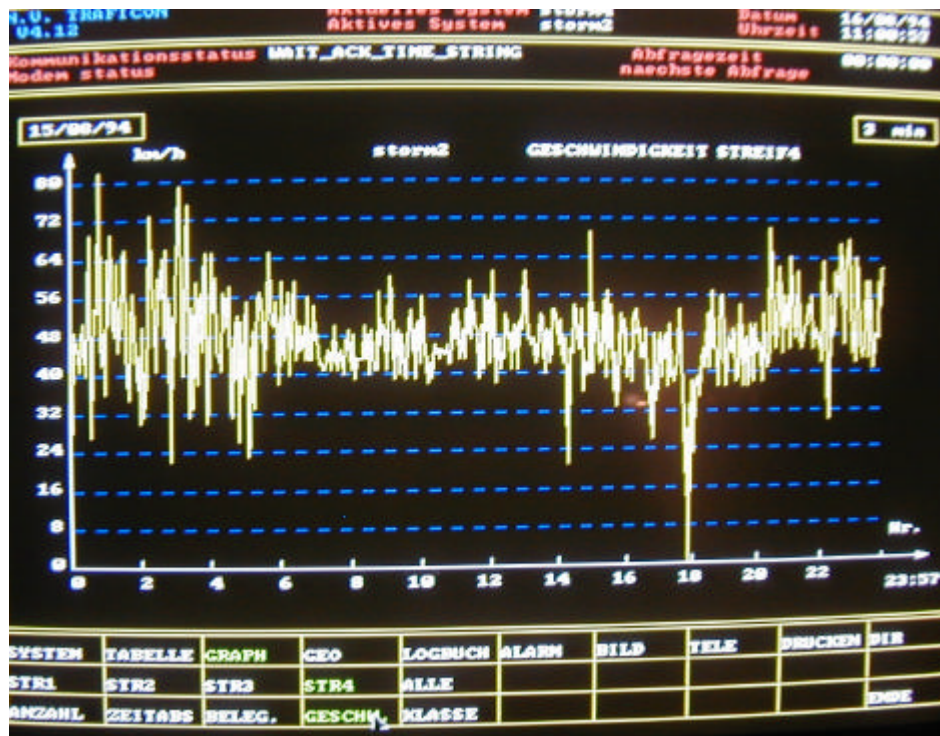


Abbildung A 9.3 – Geschwindigkeit



Abbildung A 9.4 – Klassifizierung

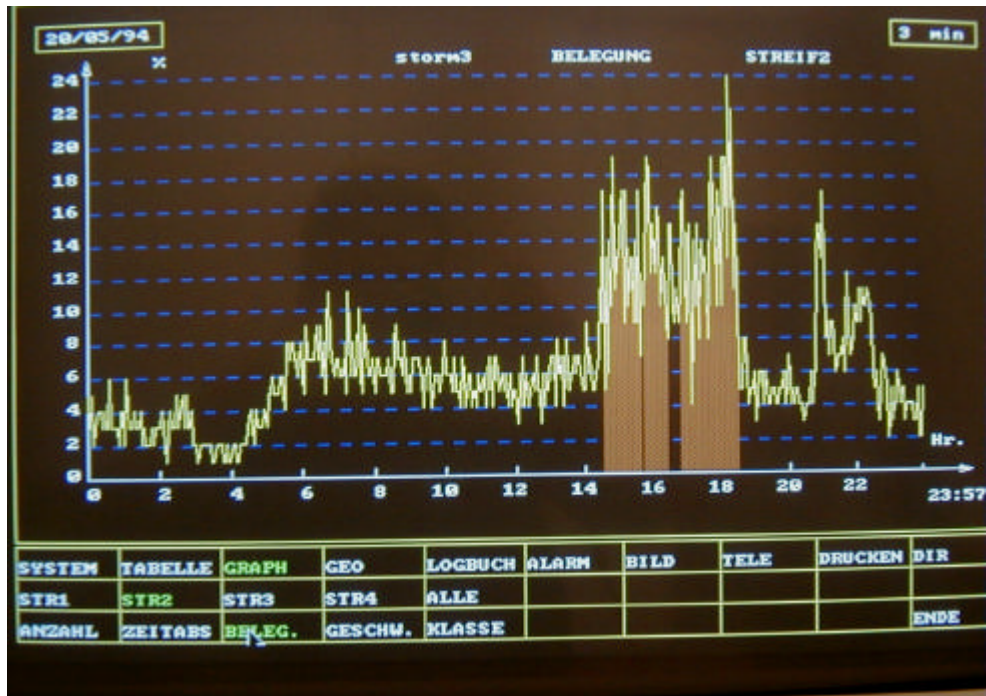


Abbildung A 9.5 – Anzeige vom Stau (Belegung)

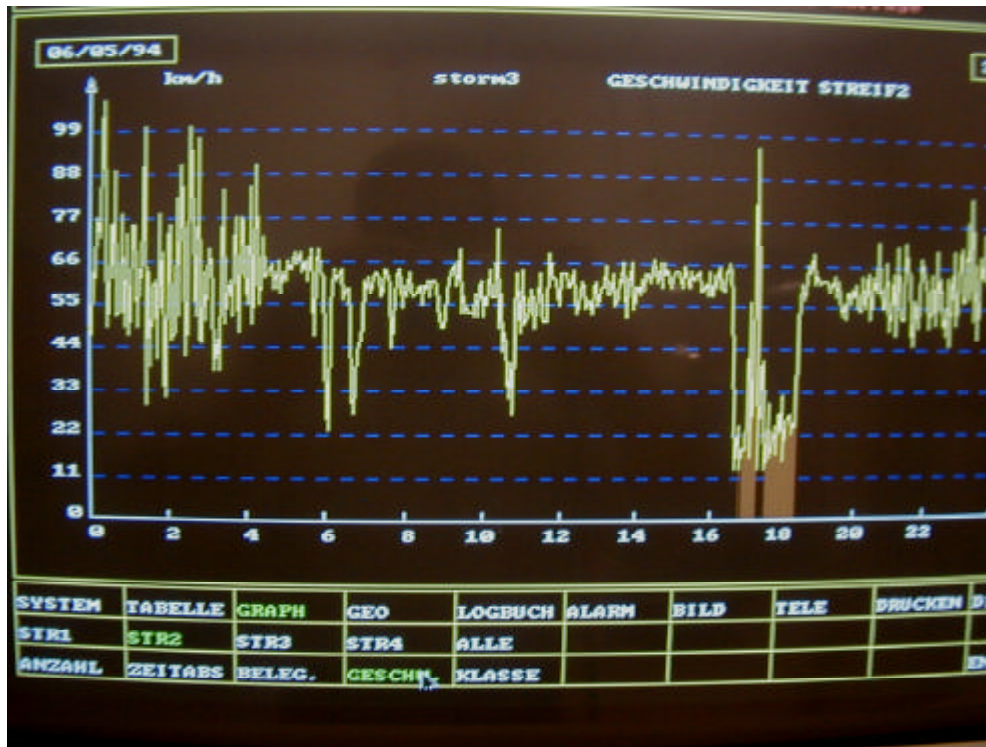


Abbildung A 9.6 – Anzeige von Stau (Geschwindigkeit)

N.9. TRAFICON 04.12		Aktuelles System storm4 Aktives System storm1		Datum 15/08/94 Uhrzeit 09:35:26					
Kommunikationsstatus Modem status		WAIT_ACK_TIME_STRING		Abfragezeit naechste Abfrage 00:00:00					
storm1									
Streifen 1 Streifen 2 ZUSAMMEN									
Anzahl	(#/h)	18	13	31					
Belegung	(%)	11.0	10.0	10.5					
Zeitabstand	(sec)	3.0	7.0	4.7					
Geschw.	(km/h)	62	51	57					
Laenge	(m)	5.3	5.9	5.6					
Klasse	1	15	11	26					
Klasse	2	2	1	3					
Klasse	3	1	1	2					
SYSTEM	TABELLE	GRAPH	GEO	LOGBUCH	ALARM	BILD	TELE	DRUCKEN	DIR
GLOBAL	DETAIL		MIN	STUNDE	TAG				ENDE

Abbildung A 9.7 – Anzeige aller erfassten Daten in tabellarischer Form

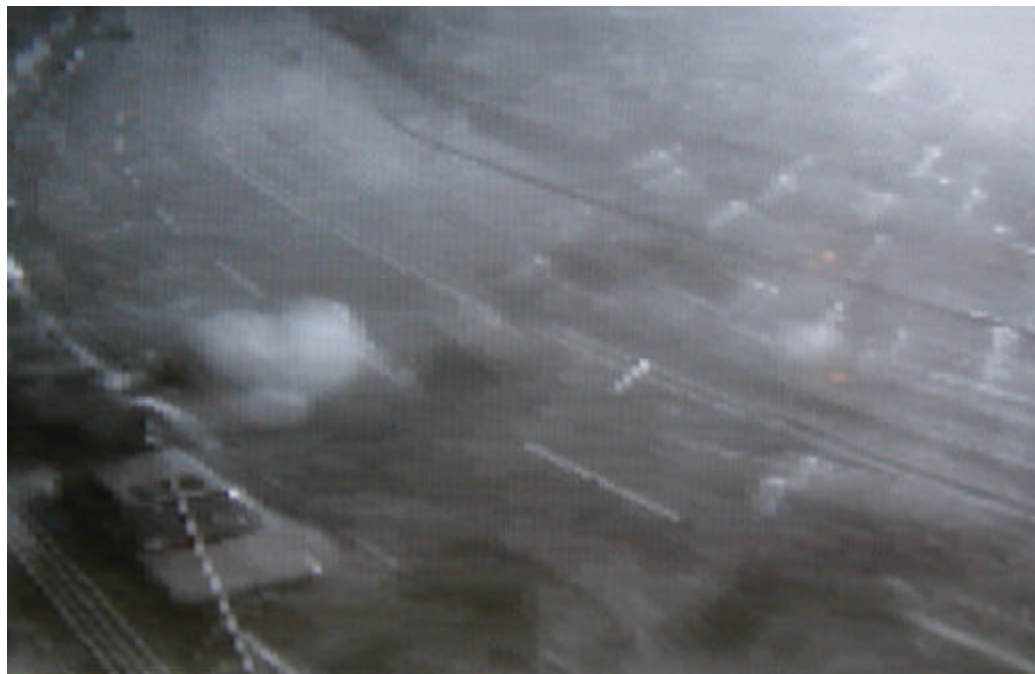


Abbildung A 9.8 – Beispiel für die Problematik Lichteinstrahl bei Videodetektion



Abbildung A 9.9 – Stauanzeige auf der B27 aufgrund der CCATS-Daten

ANHANG 10 – CCATS-DATEN VOM 08.08.2000

Siehe Dokument CCATS-DATEN

Literaturverzeichnis

BERICHTE DER BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN (BAST), VERKEHRSTECHNIK
HEFT V 53:

Video-Technik im Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1998

BIELEFELDT, C.:

Entwicklung von Einsatzkriterien für verkehrsabhängig gesteuerte Einzelsignalanlagen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BVM, Heft 411 (1984)

BRILON, W.:

Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Strassen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BVM, Heft 669 (1994)

BOLTZE, M.:

Optimierung von Umlaufzeiten in der Lichtsignalsteuerung für Straßennetze.
Straßenverkehrstechnik Heft 6, 1989

BOLTZE, M.:

Rechnergestützte Optimierung der Festzeitsteuerung von Lichtsignalanlagen – Wo stehen wir heute?
Straßenverkehrstechnik Heft 3, 1989

BRANNOLTE, U.:

Simulationsmodelle im Verkehrswesen – Analyse und spezifische Weiterentwicklung. Straßenverkehrstechnik Heft 6, 2000

BRETHARDON, R.D.; WOOD, K.; BOWEN, G.T.:

SCOOT Version 4 – new facilities in the enhanced Urban Traffic Control system described by TRL researchers.
Traffic Engineering + Control, 1998

CYPERS, L.; KOLACNY, G.; VERVENNE, P.; LEMAIRE, F.; De JAEGERE, F. :

CCATS : the image processing-based traffic sensor.
Traffic Engineering + Control, 1990

FACHGEBIET VERKEHRSWESSEN UNIVERSITÄT KAISESLAUTERN (GRÜNE REIHE NR.43):

ViVAtraffic – VideoVerkehrsanalyse in der Praxis, Kaiserslautern 1998

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (FGSV):

Richtlinien für Lichtsignalanlagen, Köln 1992

FRIEDRICH, B.:

Ein verkehrsadaptives Verfahren zur Steuerung von Lichtsignalanlagen. Dissertation, Technische Universität München, 1999

FRIEDRICH, B.:

Methoden und Potentiale adaptiver Verfahren für die Lichtsignalsteuerung. Straßenverkehrstechnik Heft 9, 1996

FOX, K.; CLARK, S.; BODDY, R. ; MONTGOMERY, F.; BELL, M.:

Some benefits of a SCOOT UTC system: An independent assessment by micro-simulation. Traffic Engineering + Control, 1998

GARTNER, N. H.:

Prescription for Demand-Responsive Urban Traffic Control. Transportation Research Record Nr. 881, p. 73-76, 1982

GARTNER, N. H.:

OPAC: Strategy for Demand-Responsive Decentralized Traffic Signal Control, in 6th IFAC-IFIP-IFORS Conference on Control, Computers, Communications in Transportation, p. 499-503, Paris, 1989

HECK, H. M.:

SIGMA, Entwicklungen eines heuristischen Modells zur koordinierten Lichtsignalsteuerung. HEUREKA '87, Optimierung in Transport und Verkehr, Tagungsbericht, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1987

HIGHWAY CAPACITY MANUAL (SPECIAL REPORT 209, 3rd EDITION)

Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC. 1997

HUNT, P. B.; ROBERTSON, D. I.; BRETHERDON, R. D.; WINTON, R. I.:

SCOOT- A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals, TRRL Laboratory Report No. 1014, 1981

KILGER, M.:

Architekturkonzept eines adaptiven Systems am Beispiel eines intelligenten videobasierten Verkehrssensors. Dissertation Universität Dortmund, Dortmund 1994

KORDA, C.:

Neue Kriterien für die Bewertung der Sicherheit im Straßenverkehr mit Hilfe der Videoanalyse. Straßenverkehrstechnik Heft 3, 2000

MAURO, V.; Di TARANTO, C.:

UTOPIA, in 6th IFAC-IFIP-IFORS Conference on Control, Computers, Communications in Transportation, p. 575-597, Paris, 1989

MAY, P.:

Transfer der Optimierungsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Straßenverkehrstechnik durch das Programmsystem TRANSYT-1SBAC in die Praxis (B39). Institut für Stadtbauwesen, RWTH, Aachen, 1987

MAY, A. D.:

Traffic Flow Fundamentals. University of California, Berkeley, California, 1990.

MEINERS, H.; STOTTMEISTER, V.:

Umsetzung TRANSYT 6C auf deutsche Verhältnisse (B32). Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen, 1985

LANDENFELD, M.:

Regelstrategien mit Fuzzy-Logik zur Signalisierung in gesättigten Stadtstraßennetzen. Schriftenreihe der Arbeitsgruppe Automatisierungstechnik Technische Universität Hamburg-Harburg, Heft 19, 1998

LAPPIERE, R.:

Merkblatt Detektoren für den Straßenverkehr. Bonn 1972

PORADA, J.:

Das Modell TRANSYT 6C – Zur Optimierung von Lichtsignalanlagen (B23). Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen, 1980

QUINN, D.J.:

A review of queue managements strategies.
Traffic Engineering +Control, 1992

ROBERTSON, D. I. :

TRANSYT, A Traffic Network Study Tool. Road Research Laboratory, RRL Report LR 253, 1969

ROBERTSON, D.I.:

The TRANSYT method of co-ordinating traffic signals.
Traffic Engineering + Control, 1997

ROBERTSON, G. D.;

Handling congestion with SCOOT.
Traffic Engineering + Control, 1987

ROESS, R.P.; McSHANE, W.R.; PRASSAS, E.S.:

Traffic Engineering (Second Edition). Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1998

SCHENK, M.:

Zusammenhang zwischen Verkehrsablauf und Optimierung der Lichtsignalsteuerung in Straßennetzen. Dissertation Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt 1993

SCHLABBACH, K.:

Wirksamkeit der Freigabezeit in Straßennetzen mit Lichtsignalanlage. Dissertation Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt 1991

SCHLABBACH, K.:

Verkehrsbeeinflussung innerorts – Grundlagen und Problemlösungen Band 432. Expertverlag 1993

SIMS, A. G.; DOBINSON, K. W. :

The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCATS) System : Philosophy and Benefits, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 29(2), p. 130-137, 1980

STEIERWALD, G.; LAPPIERE, R.:

Verkehrsleittechnik für den Straßenverkehr, Band I – Grundlagen und Technologien der Verkehrstechnik. Berlin, Heidelberg, New York 1988a

STEIERWALD, G.; LAPPIERE, R.:

Verkehrsleittechnik für den Straßenverkehr, Band II – Verkehrsleittechnik für den innerörtlichen Stadtverkehr. Berlin, Heidelberg, New York 1988b

STEINAUER, B.; KATHMANN, T; STÖPP, T.:

Video – die Zukunft in der Verkehrstechnik?
Straßenverkehrstechnik Heft 9, 1999

TRAFFIC RESEARCH CORP.

SIGOP: Traffic Signal Optimization Program – A Computer Program to Calculate Optimum Coordination I a Grid Network of Synchronized Traffic Signals, New York, 1966

WEISS ELEKTRONIK:

Das System CCATS, Handbuch. Trafficon N.V.; Kortrijk (Belgien), 1993.

WU, N.;

Wartezeit und Leistungsfähigkeit von Lichtsignalanlagen unter Berücksichtigung von Instationarität und Teilgebundenheit des Verkehrs- Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, Heft 8. Bochum, 1990

WUNDER, R.:

Verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung – Steuerungssoftware und Anwendererfahrungen. Straßenverkehrstechnik Heft 10, 1998

ZACKOR, H.; BUSCH, F.; HÖPFL, W.:

Entwicklung eines Verfahrens zur adaptiven koordinierten Steuerung von Lichtsignalanlagen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, BVM, Heft 607, 1991

Linkliste (Stand 11.09.2000)**Hochschulen (Deutschland)**

- RWTH Aachen
www.rwth-aachen.de/isb
- Ruhr-Universität Bochum
www.verkehr.bi.ruhr-uni-bochum.de
- TU Braunschweig
www.tu-bs.de/institute/ivs
- TU Berlin
www.tu-berlin.de/fb10/ISS/index.html
- TU Darmstadt
www.tu-darmstadt.de/fb/bi/esv
- Universität Essen
www.traffic.uni-essen.de
- Technischen Universität Hamburg-Harburg
www.vsl.tu-harburg.de/index
- Universität Hannover
www.ive.uni-hannover.de
- Universität Kaiserslautern
www.transport.arubi.uni-kl.de
- Universität Karlsruhe
www.ifv.uni-karlsruhe.de
- Universität Kassel
www.uni-kassel/fb14/vtec/welcome
www.uni-kassel.de/fb14/verkehrssysteme
- TU München
www.fgv.tum.de

- Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de/isv/vuv
- Gesamthochschule Wuppertal
www.bauing.uni-wuppertal.de/svt

Hochschulen (Ausland)

- Technische Universität Wien
www-ivv.tuwien.ac.at/toc.html
- Universität der Bodenkultur Wien
www.boku.ac.at/verkehr
- Technische Universität Graz
www.tu-graz.ac.at
- Universität Innsbruck
info.uibk.ac.at/c/c8/c811
- ETH Zürich
www.ivt.baum.ethz.ch
- University of California at Berkeley
www.its.berkeley.edu
- University of California, Davis
www.engr.ucdavis.edu/~its

Bibliotheken

- Elektronische Hochschulschriften der Universität Stuttgart
<http://elib.uni-stuttgart.de/opus>
- Stuttgarter Online Katalog
www.ub.uni-stuttgart.de
- Bibliothekservice-Zentrum Baden-Württemberg
www.bsz-bw.de

- Karlsruher Virtueller Katalog
www.ubka.uni-karlsruhe.de/kvk.html
- Gemeinsamer Bibliotheksverbund der Länder
www.gbv.de
- Bibliothek der Universität Bielefeld
www.ub.uni-bielefeld.de

Forschungseinrichtungen

- Forschungsverbund Verkehrs- und Transportsysteme
www.forverts.de
- Bundesanstalt für Straßenwesen
www.bast.de
- Transport Research Laboratory (UK)
www.trl.co.uk
- Transportation Research Board (USA)
www4.nationalacademies.org/trb/homepage.nsf

Firmen / Hersteller

- Balance
www.transver.de
- UTOPIA
www.peaktraffic.nl/en/product/UTS_Utopia.htm
- SCOOT
www.scoot-utc.com
- TRANSYT
<http://www.trlsoftware.co.uk>
<http://www.trl.co.uk>
<http://uftrc.ce.ufl.edu/mctrans/>
<http://ftp-mclink.ce.ufl.edu/demis>