



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Verkehrsgqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren

Analytic procedure to estimate capacity and level of service at complex uncontrolled intersections

Procédure analytique d'estimation de la capacité et du niveau de service de carrefours sans feux complexes

Dr. Peter Pitzinger,
Beratender Verkehrsingenieur
P. Pitzinger, Dr. techn. dipl. Ing. TU

ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. P. Spacek, dipl. Ing. ETH

**Forschungsauftrag ASTRA SBT / VSS2008/301 auf Antrag des
Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS**

Dezember 2009

1287

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en).
Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes.
Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade.
Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) appointed by the Swiss federal roads authority.
Supply: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Verkehrsgqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren

Analytic procedure to estimate capacity and level of service at complex uncontrolled intersections

Procédure analytique d'estimation de la capacité et du niveau de service de carrefours sans feux complexes

Dr. Peter Pitzinger,
Beratender Verkehrsingenieur
P. Pitzinger, Dr. techn. dipl. Ing. TU

ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. P. Spacek, dipl. Ing. ETH

**Forschungsauftrag ASTRA SBT / VSS2008/301 auf Antrag des
Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Peter Pitzinger

Mitglieder

Peter Spacek

Federführende Fachkommission

VSS Fachkommission 3: Verkehrstechnik

Begleitkommission

VSS Expertenkommission 3.08: Leistungsfähigkeit

Präsident

Thorsten Koy

Mitglieder

Hermann Kaul

Arnd König

Patrick Maillard

Roger Siegrist

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> herunter geladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung, Abstract, Résumé	6
Schlussbericht	7
Anlass	7
Bestehende komplexe Knoten	7
Projekte	7
Entwicklung des analytischen Schätzverfahrens	8
Das analytische Schätzverfahren	9
Unterlagen und Grundlagen	9
Fahrstreifen	9
Verkehrsfrequenzen und Stau	9
Richtwerte für die maximale Sättigung	9
Zeitverluste und Stau	10
Elemente komplexer Knoten	11
Zweirangiger Konflikt	11
Konflikt mit Lichtsignalanlage im Zufluss	13
Konflikt mit Stau im Abfluss	14
Mehrrangiger Konflikt	17
Konflikt mit parallelen Streifen	18
Konflikt mit Mischstreifen	20
Ungesteuerter Abbiegekonflikt bei Lichtsignalanlagen mit Abbiegestreifen	22
Ungesteuerter Abbiegekonflikt bei Lichtsignalanlagen mit Mischstreifen	23
Folgeforschung	23
Beispiele zum Schätzverfahren	24
Normempfehlung	24
Beispiel: Stadt Zürich, Limmatplatz (mit detaillierten Erläuterung zum Vorgehen)	25
Beispiel: Stadt Zürich, Löwenplatz	28
Beispiel: Stadt Zürich, Einmündung Winterthurerstrasse/Riedtlistrasse	29
Beispiel: Stadt Zürich, Rämistrasse - Universitätsstrasse	31
Beispiel: Stadt Zürich, Rigiplatz - Seilbahn Rigiblick	33
Beispiel: Stadt Zürich, Morgental heute	35
Beispiel: Stadt Zürich, Morgental neu	36
Beispiel: Stadt Zürich, Albisriederplatz heute und neu	38
Beispiel: Stadt Zürich, Goldbrunnenplatz heute und neu	41
Beispiel: Stadt Zürich, Hegibachplatz vorher	44
Beispiel: Stadt Zürich, Hegibachplatz neu	46
Beispiel: Stadt Zürich, Lichtsignalgesteuerter Knoten Kanonengasse/Militärstrasse	47
Beispiel: Norm- Einmündung	50
Beispiel: Norm- Kreuzung	50
Beispiel: Norm- Kreisel	51
Beispiel: Norm- Kleinkreisel	52
Literaturverzeichnis	53
Anhänge	55
Anhang 1: Maximale Sättigung Vortrittsberechtigter und Vortrittsbelasteter	55
Anhang 2: Zeitverluste und Stau	59
Anhang 3: Vergleich Leistung Schätzverfahren / Verfahren aus der Fachliteratur	63
Wechsel des Vortrittsverhaltens	
Anhang 4: Mehrrangiger Konflikt ohne und mit Wechsel des Vortrittsverhaltens	67

Zusammenfassung

Es wird ein analytisches Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität von komplexen ungesteuerten Knoten vorgestellt. Unterlagen des analytischen Schätzverfahrens sind die Fahrstreifen, Fussgängerstreifen, Tram- bzw. Bustrassen und Vortrittsverhältnisse des Knotens. Zudem sind die Frequenzen in massgebenden Stunden von Trams und Bussen, von Fussgängern und von Fahrzeugen, und bei Überlastung auch Stau zu erheben. Grundlagen des Schätzverfahrens sind Richtwerte für die maximale Sättigung von Trams, Bussen, Fussgängern, Fahrzeugen, bzw. Formeln für Zeitverluste und Stau.

Auf Grund der Richtwerte und Formeln werden für massgebende Elemente komplexer ungesteuerter Konflikte die Leistungsfähigkeit, der Auslastungsgrad und daraus der Verkehrsablauf abgeschätzt:

- für zweirangige Konflikte ohne und mit Wechsel des Vortrittsverhaltens
- für Konflikte mit Lichtsignalanlagen im Zufluss
- für Konflikte mit Stau im Abfluss
- für mehrrangige Konflikte ohne und mit Wechsel des Vortrittsverhaltens
- für Konflikte mit parallelen Fahrstreifen
- für Konflikte mit Mischstreifen
- für ungesteuerte Konflikte bei Lichtsignalanlagen mit Abbiegestreifen
- für ungesteuerte Konflikte bei Lichtsignalanlagen mit Mischstreifen.

Das analytische Schätzverfahren wird an Hand von Beispielen veranschaulicht - für komplexe ungesteuerte Knoten werden die Elemente zusammengesetzt, Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität abgeschätzt, mit Messungen verglichen, und damit das Verfahren verifiziert.

Abstract

An analytic procedure is presented to estimate capacity and level of service at complex uncontrolled intersections. Inputs to the procedure are the geometrics of the intersection (lanes, shared lanes, flared approaches with additional storage, tram and bus lanes and stops, assignment of right-of-way), the traffic volumes and queues for oversaturated conditions. Basics of the procedure are saturation flow rates for trams, buses, pedestrians and vehicles, and equations for delays and queues, accounting for random departures and arrivals and for oversaturation.

Capacity and level of service are then estimated for elements of uncontrolled intersections:

- for two-rank conflicts without or with changing of right-of-way
- for conflicts with upstream signals
- for conflicts with downstream congestion
- for multi-rank conflicts without or with changing of right-of-way
- for conflicts with parallel lanes
- for conflicts with shared lanes
- for uncontrolled conflicts at signalized intersections with permitted turning from exclusive lanes
- for uncontrolled conflicts at signalized intersections with permitted turning from shared lanes.

The analytic procedure is applied on examples - the elements of uncontrolled intersections are combined, capacity and level of service are estimated, compared with measurements, and the estimation is verified.

Résumé

Une procédure analytique d'estimation de la capacité et du niveau de service de carrefours sans feux complexes est présentée. La procédure d'estimation analytique se base sur les voies de circulation, les passages piétons, les tracés de trams et de bus ainsi que les rapports de priorité du carrefour. Il faut également enregistrer les fréquences, à des heures déterminantes, des trams et des bus, des piétons et des véhicules, et, en cas de saturation, l'embouteillage. Les bases de la procédure d'estimation sont la valeur de référence pour la saturation maximale de trams, bus, piétons et véhicules ainsi que les formules pour les pertes de temps et le bouchon.

Sur la base des valeurs de référence et des formules, la capacité, le degré d'utilisation et l'écoulement du trafic qui en résulte sont estimés pour des éléments déterminants de conflits sans feux complexes:

- pour des conflits à deux positions sans et avec changement de priorité
- pour des conflits avec installations de feux de circulation en afflux
- pour des conflits avec embouteillage en débit
- pour des conflits à plusieurs positions sans et avec changement de priorité
- pour des conflits avec des voies de circulation parallèles
- pour des conflits avec voies mixtes
- pour des conflits sans feux aux installations de feux de circulation avec voies pour obliquer
- pour des conflits sans feux aux installations de feux de circulation avec voies mixtes.

La procédure d'estimation analytique est mise en évidence à l'aide d'exemples - pour les carrefours sans feux complexes, les éléments sont combinés, la capacité et le niveau de service estimés, comparés avec des mesures, la procédure étant ainsi vérifiée.

Schlussbericht

Anlass

Bestehende komplexe Knoten

Ungesteuerte Normknoten sind Einmündungen, Kreuzungen und Kreisel mit Vortritt der Kreisfahrbahn an vortrittsberechtigten Hauptstrassen, primär ausserorts, Fahrzeugverkehr dominiert. Für die Normknoten gibt es Verfahren in der Fachliteratur zum Abschätzen von Leistung und Qualität des Verkehrsablaufs.

Ungesteuerte Knoten in Städten unterscheiden sich von diesen Normknoten in der baulichen Gestaltung, den Vortrittsverhältnissen, und den Verkehrsteilnehmern, die den Ablauf bestimmen. Die bauliche Gestaltung von urbanen Knoten kennt Mischstreifen für Fahrzeuge, Trams, Busse und Haltestellen des öffentlichen Verkehrs, Eigentrasse für den öffentlichen Verkehr, zahlreiche benachbarte Fussgängerquerungen. An Stelle von vortrittsberechtigten Hauptstrassen kann Rechtsvortritt gelten, anstatt dem Vortritt einer Kreisfahrbahn der Vortritt von Trams, von Fussgängerstreifen, und von Fahrzeugverkehr in den Zufahrten zu Kreiseln. Trams auf Eigentrasse haben Vortritt gegenüber allen anderen Verkehrsteilnehmern, ihre Zeitverluste sind klein und entstehen nur im Konflikt untereinander, mit Bussen auf Eigentrasse, bzw. bei belegten Haltestellen. Fussgänger haben Vortritt gegenüber dem Fahrzeugverkehr, ihre Frequenzen sind oft hoch, die Zeitverluste vernachlässigbar. Busse auf Eigentrasse sind zwar vortrittsbelastet gegenüber Fussgängern, aber es wird ihnen Vortritt gewährt. Zeitverluste entstehen nur im Konflikt untereinander oder mit Trams, und sie sind klein. Busse auf gemeinsamen Fahrstreifen mit dem Fahrzeugverkehr erleiden gemeinsame Zeitverluste. Zudem können die komplexen Vortrittsverhältnisse in urbanen Knoten bei hohen Auslastungen noch wechseln. Den Ablauf des Fahrzeugverkehrs bestimmen Trams, Busse und hohe Fussgängerfrequenzen. Der Fahrzeugverkehr ist in werktäglichen Spitzenstunden oft ausgelastet oder überlastet. In komplexen Knoten ist die Unfallzahl oft unterdurchschnittlich und die Unfallschwere gering. Die Verkehrsteilnehmer organisieren sich selbst, es wird mit relativ geringen Geschwindigkeiten und mit Vorsicht gefahren. Subjektiv mögen ungesteuerte Knoten in Städten als gefährlich erscheinen; das objektive Unfallgeschehen zeigt oft eine relativ hohe Verkehrssicherheit.

Wegen dieser Unterschiede sind die analytischen Verfahren zum Abschätzen von Leistung und Verkehrsablauf von Normknoten ausserorts für komplexe urbane Knoten nicht geeignet. Belastung, Leistung, Auslastungsgrad, Zeitverluste und Stau lassen sich allerdings in massgebenden Tagesstunden messen.

Projekte

Bei Projekten für ungesteuerte urbane Knoten sollen primär das Umfeld und die Umweltbelastung das neue Angebot an Verkehrsflächen für die unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer im beschränkten öffentlichen Raum bestimmen. Lärm- und Abgasgrenzwerte, der Ablauf von öffentlichem Verkehr, Velos, und die Trennwirkung der Strasse zählen, nicht die bewältigten Fahrzeugfrequenzen. Den Fussgängern und Trampassagieren dienen zusätzliche Fussgängerstreifen, Querungen nur eines Fahrstreifens, längere breitere und behindertengerechte Haltestellen und Kaphaltestellen auf Fahrstreifen. Velofahrern werden neue Velostreifen angeboten. Dafür werden Überlastungen des Fahrzeugverkehrs ignoriert, bestehende Fahrstreifen abgebaut, Hauptstrassenabschnitte ersatzlos gesperrt, Verkehr oft auf ungeeignete Alternativen umgelagert.

Als flankierende Massnahme werden beim Neu- und Umbau von Strassen die entlasteten Strassen zurückgebaut, die Entlastung soll gesichert und Neuverkehr verhindert werden, neue Strassen sollen saldo- neutral bleiben. Beim Erschliessen von Entwicklungsgebieten soll kein neuer Fahrzeugverkehr entstehen. Das soll mit einer Mindestzahl an Parkplätzen bzw. mit ihrer Bewirtschaftung, und mit hohen Anteilen des öffentlichen, des Velo- und des Fussgängerverkehrs erreicht werden. In Quartierstrassen wird mit Tempo 30 Zonen, Begegnungszonen, Fahrverbotszonen, Fussgängerbereichen der Fahrzeugverkehr beruhigt, der durchgehende Verkehr wird verdrängt und auf Hauptstrassen mit ihren komplexen Knoten kanalisiert, ohne dort bestehende Kapazitätsengpässe und Stauwurzeln aufzulösen.

Im Gegensatz zu bestehenden urbanen Knoten lassen sich bei Projekten Leistung, Auslastungsgrad, Zeitverluste und Stau nicht messen. Kein analytisches Verfahren kann den Nutzen der Projektelemente für Fussgänger, Velos, Trams und Busse, und die Nachteile einer reduzierten Infrastruktur des Fahrzeugverkehrs wie grösseren Stau, höhere Zeitverluste und steigende Abgasemissionen quantifizieren. Busse auf gemeinsamen Fahrstreifen mit dem Fahrzeugverkehr können gemeinsame Zeitverluste erleiden. Sekundär können Stau und Zeitverluste auf Hauptstrassen den Fahrzeugverkehr wiederum in die flächendeckenden, beruhigten Verkehrszonen verdrängen. Notfallachsen und Ausnahmetransport- Routen können überstaut werden. Der Spielraum für Reaktionen auf Baustellen und Störungen auf den Hauptstrassen kann deutlich kleiner werden als heute. Bei Events auf Hauptstrassen können Umleitungsrouten den Fahrzeugverkehr nicht aufnehmen. Projektfolgen sind nur mit mikroskopischen Simulationswerkzeugen abzuschätzen, teuer in der Anschaffung, aufwändig beim zweckmässigen Parametrieren, schwierig beim Interpretieren der Ergebnisse. Es ist deshalb ein analytisches Schätzverfahren für Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität von komplexen ungesteuerten Knoten nötig.

Entwicklung des analytischen Schätzverfahrens

Um Fragen zu Leistungsfähigkeit und Verkehrsablauf von komplexen ungesteuerten Knoten zu beantworten, wurde in den letzten Jahren ein empirischer Ansatz entworfen. Anschliessend wurde dieser Ansatz schrittweise - basierend auf der weiteren Praxis mit Projekten - zu einem analytischen Schätzverfahren weiterentwickelt.

Unterlagen bildeten die heutigen Bedingungen für ungesteuerte Knoten in der Stadt Zürich:

- Die rechtlichen Festlegungen der kantonalen und kommunalen Richtpläne wurden zusammengefasst (Hauptstrassen, Sammelstrassen, übrige kommunale Strassen, durchgängige Quartierstrassen, geplante Strassen, zur Streichung bzw. zur Umklassierung vorgesehen Strassen, übrige kommunalen Strassen, durchgängige Quartierstrassen, Quartierzentren). Zudem die Lichtsignalsteuerung mit koordinierten und isolierten Anlagen, Tramlinien, Buslinien und Haltestellen, Notfallachsen und Ausnahmetransport-Routen. Zusätzlich die Tempo 30 Zonen, Begegnungszonen, Fahrverbotszonen, Fussgängerbereiche und Parkierungsverbots- Zonen.
- Die bestehenden Fahrstreifen, Fussgängerstreifen, Tram- und Bustrassen und Vortrittsverhältnisse wurden in Fahrstreifenplänen dargestellt.
- Die Frequenzen in massgebenden Abendspitzenstunden von Tram und Bus, von Fussgängern, von Fahrzeugen und Fahrzeugstau durch Überlastung wurden erhoben und in Belastungsplänen aufgetragen.
- Der Verkehrsablauf in massgebenden Abendspitzenstunden wurde erhoben und beschrieben. Charakteristiken waren durchschnittliche Zeitverluste von Fussgängern, Tramlinien, Buslinien, des Fahrzeugverkehrs, die Auslastung und der durchschnittliche Stau.

Auf Grund dieser Unterlagen wurden zuerst mit dem empirischen Ansatz Leistung, Auslastungsgrad, Zeitverluste und Stau analytisch abgeschätzt. Ein Vergleich der Messwerte mit den Abschätzungen zeigte für jeden Knoten auf, wie weit die Schätzung den heutigen Verkehrsablauf wiedergab, und wie aus dem Ansatz ein analytisches Schätzverfahren für Leistungsfähigkeit und Verkehrsablauf in komplexen ungesteuerten Knotenpunkten zu entwickeln war.

Dabei wurden zuerst die Grundlagen abgeleitet:

- Richtwerte für die maximale Sättigung von Trams, Bussen, Fussgängern, Fahrzeugen¹
- Formeln für das Abschätzen von Zeitverlusten und Stau auf Grund von Leistung und Auslastungsgrad.

Anschliessend wurden die massgebenden Elemente komplexer Konflikte bestimmt, und für die einzelnen Elemente Leistungsfähigkeit und Verkehrsablauf abgeschätzt:

- für zweirangige Konflikte ohne und mit Wechsel des Vortrittsverhaltens
- für Konflikte mit Lichtsignalanlagen im Zufluss
- für Konflikte mit Stau im Abfluss
- für mehrrangige Konflikte ohne und mit Wechsel des Vortrittsverhaltens
- für Konflikte mit parallelen Fahrstreifen
- für Konflikte mit Mischstreifen
- für ungesteuerte Konflikte bei Lichtsignalanlagen mit Abbiegestreifen
- für ungesteuerte Konflikte bei Lichtsignalanlagen mit Mischstreifen.

Komplexe ungesteuerte Knoten bestehen in der Praxis aus Kombinationen dieser Elemente. Für bestehende Knoten mit bekannten Randbedingungen zu rechtlichen Festlegungen, Fahrstreifen, Verkehrsfrequenzen und Verkehrsablauf wurden die Elemente wieder zusammengesetzt. Stimmt dann Abschätzungen mit den Messungen nicht überein, wurden einzelne Elemente korrigiert. Stimmt sie überein, dann liess sich daraus schliessen, dass das analytische Schätzverfahren für den bestehenden Knoten anwendbar ist.

Neue urbane, ungesteuerte Knoten entstehen selten auf der grünen Wiese, sondern Projekte basieren meist auf bestehenden Knoten. Fahrstreifen und Verkehrsfrequenzen ändern sich mit den Projekten, aber der spezifische Charakter bleibt erhalten. Kann das analytische Schätzverfahren Leistung und Verkehrsablauf für einen bestehenden Knoten korrekt abschätzen, dann trifft das voraussichtlich auch für das Projekt zu.

Allerdings gelten für Projekte mit starker örtlicher Überlastung in Spitzenstunden die Prognosen hoher Zeitverluste, Staus und Abgasemissionen des Fahrzeugverkehrs nicht auf Dauer. Die Verkehrsteilnehmer verteilen ihre Fahrten auf Alternativrouten, verlegen sie auf andere Tageszeiten, benützen andere Verkehrsmittel, oder sie verzichten auf Fahrten. Die zuerst örtliche Überlastung verflacht und wirkt sich dann in einem grösseren räumlichen, zeitlichen und modalen Bereich aus.

¹ Maximale Anzahl von Verkehrsteilnehmern, die während einer Stunde bei günstigen Bedingungen einen Konfliktpunkt queren können

Das analytische Schätzverfahren

Unterlagen und Grundlagen

Streifen

Als Unterlage des analytischen Schätzverfahrens gelten die Fahrstreifen der Fahrzeuge, Fussgängerstreifen, Tram- und Bustrassen und Vortrittsverhältnisse des Knotens.

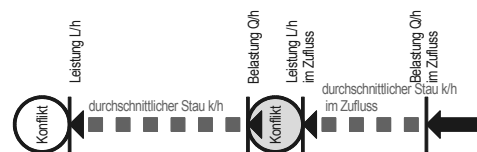
Verkehrsfrequenzen und Stau

Zudem sind die Frequenzen in massgebenden Spitzenstunden von Trams und Bussen, von Fussgängern und von Fahrzeugen, bzw. eventuell Stau zu erheben. Im Zufluss zum Konflikt gelten als Belastung Q/h die Frequenzen am Stauende, der durchschnittliche Stau k/h erstreckt sich vom Konflikt zum Stauende, als Leistung L/h gelten die Frequenzen am Konflikt.



In einem einzelnen Konflikt genügt es, die massgebende Belastung im Zufluss zu messen. Werden anstatt der Belastung die Leistung am Konflikt zusammen mit dem durchschnittlichen Stau im Zufluss erhoben, dann folgt daraus die Belastung als Funktion von Leistung und durchschnittlichem Stau mit der Konstanten $C=1$ für ungesteuerte Konflikte zu:

$$Q(k, L) = k \left(\frac{L}{2C + k} + 2 \right)$$



Bei eng benachbarten Konflikten kann Stau von einem Konflikt in den benachbarten stromaufwärts reichen. Zusätzlich zu der Belastung ist dann durchschnittlicher Stau im Zufluss oder im Abfluss zu messen. Die Leistung am Konflikt folgt aus Belastung und durchschnittlichem Stau mit der Konstanten $C=1$ zu²:

$$L(k, Q) = (Q - 2k) \left(\frac{2C}{k} + 1 \right)$$

Richtwerte für die maximale Sättigung

Eine Grundlage des analytischen Schätzverfahrens sind Richtwerte für die maximale Sättigung:

Maximale Sättigung Vortrittsberechtigter S_{m1}

[maximale Zahl Vortrittsberechtigter, die den Konflikt quert]

Fahrzeuge	1800	Fz/h
Fussgänger	2500	Fg/h
[maximale Zahl von Fussgängern, die den Konflikt für Vortrittsbelastete blockiert]		
Trams auf Eigentrasse	360	T/h
Busse auf Eigentrasse	720	B/h
Öffentlicher Verkehr in Haltestellen	kein Überholen	Überholen
1 Haltestelle	120 T/h, B/h	120 T/h, B/h
2 Haltestellen	180 T/h, B/h	190 T/h, B/h
3 Haltestellen	245 T/h, B/h	255 T/h, B/h
4 Haltestellen	305 T/h, B/h	320 T/h, B/h

Maximale Sättigung Vortrittsbelasteter S_{m2}

[maximale Zahl Vortrittsbelasteter, die den Konflikt quert]

Fahrzeuge	1500	Fz/h
Trams auf Eigentrasse	300	T/h
Busse auf Eigentrasse	600	B/h
Öffentlicher Verkehr in Haltestellen	kein Überholen	Überholen
1 Haltestelle	100 T/h, B/h	100 T/h, B/h
2 Haltestellen	150 T/h, B/h	155 T/h, B/h
3 Haltestellen	205 T/h, B/h	215 T/h, B/h
4 Haltestellen	255 T/h, B/h	265 T/h, B/h

Im Anhang 1 sind die Richtwerte belegt. Wegen zu niedriger Frequenzen können keine Richtwerte für Velos angegeben werden.

Im Rahmen einer Folgeforschung sollten die Richtwerte überprüft und ergänzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität der Verkehrsarten Fussgänger, leichte Zweiräder und strassengebundene öffentliche Verkehrsmittel in den geplanten Forschungsarbeiten VSS 2007/306 und VSS 2007/305 untersucht werden. Diese Ergebnisse können zur Verifizierung der in der vorliegenden Forschungsarbeit angegebenen Richtwerte dienen.

² Die beiden Formeln sind aus den Formeln für das Abschätzen von Zeitverlusten und Stau auf der folgenden Seite abgeleitet.

Zeitverluste und Stau

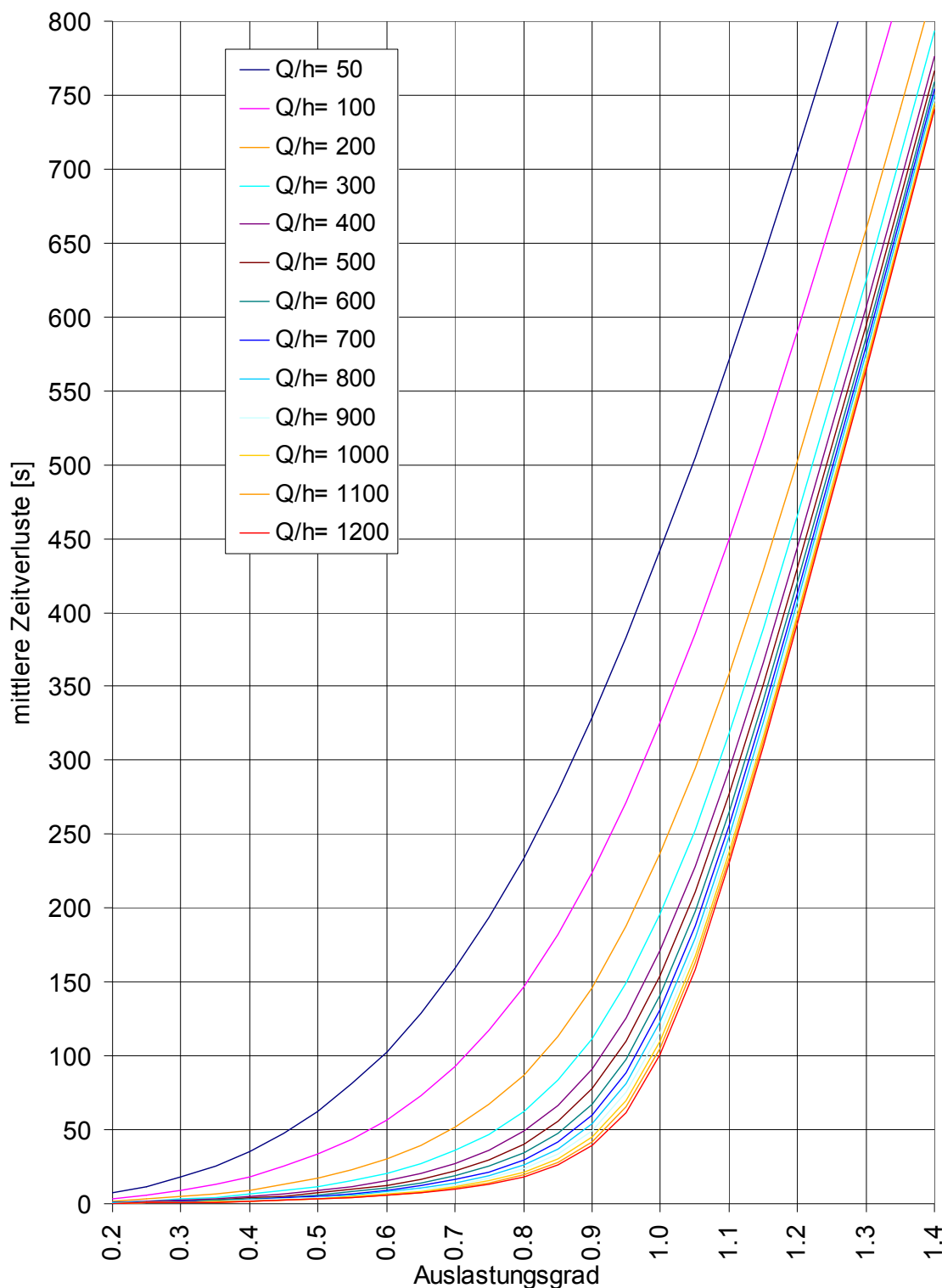
Eine weitere Grundlage ist das Abschätzen der Verkehrsqualität auf Grund von Belastung Q/h , Leistung L/h und Auslastungsgrad $x=Q/L$.

Für durchschnittliche Zeitverluste als Funktion von Auslastungsgrad und Belastung bietet sich dafür die Formel mit der Konstanten $C=1$ an:

$$w(x, Q)[s] = 900 \left[(x-1) - 4Cx/Q + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8C \cdot (x+1+2Cx/Q)}{Q/x}} \right]$$

Für durchschnittlichen Stau gilt

$$k = w[s] \cdot L / 3600$$



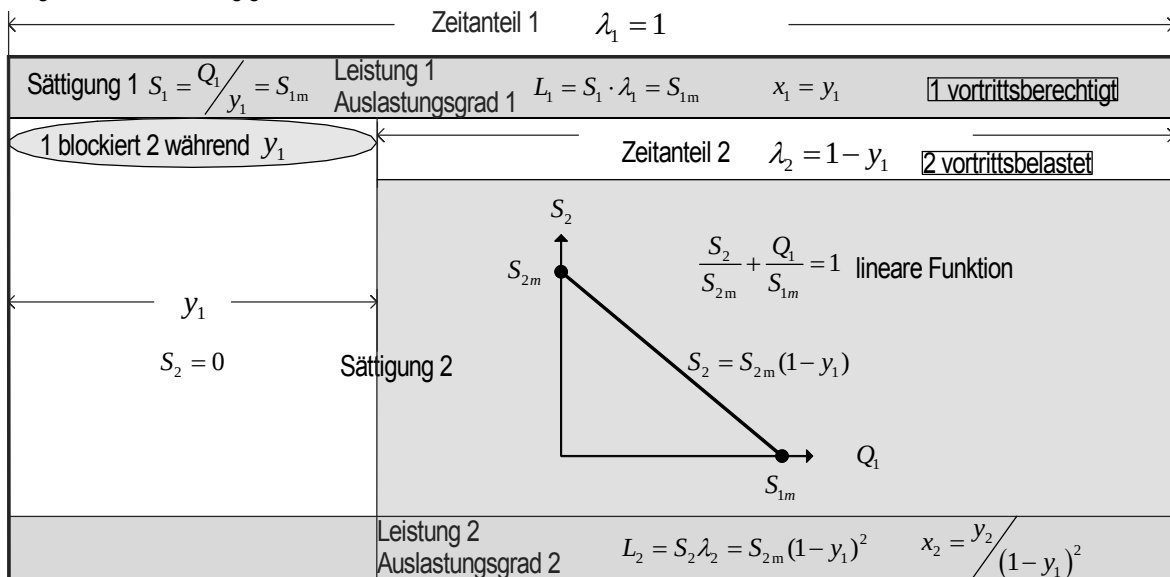
Der Anhang 2 bringt detaillierter Unterlagen zum Abschätzen von Zeitverlusten und Stau.

Elemente komplexer Knoten

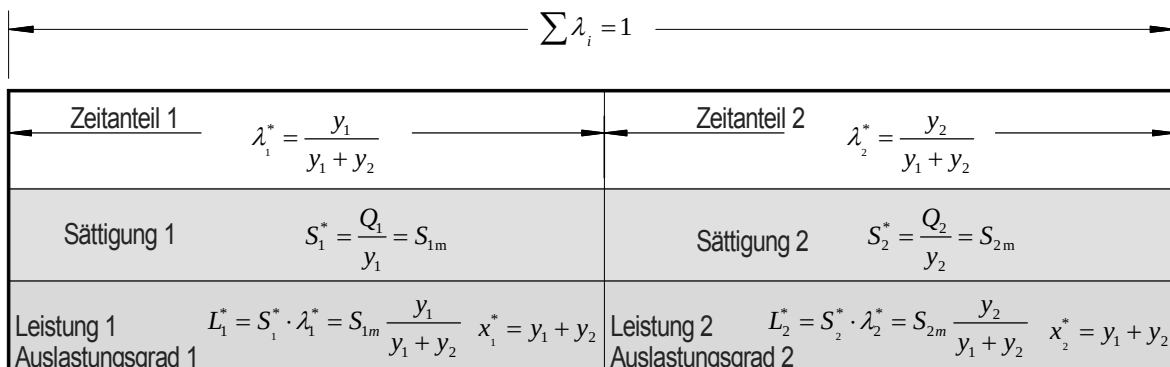
Zweirangiger Konflikt

In einem ungesteuerten Konflikt steht den Vortrittsberechtigten (1) zunächst der gesamte Zeitanteil $\lambda_1 = 1$ zur Verfügung. Die Leistung entspricht mit $L_1 = S_{1m}$ der maximalen Sättigung, der Auslastungsgrad dem Sättigungsgrad $x_1 = y_1$. Vortrittsbelastete (2) sind durch Vortrittsberechtigte während dem Zeitanteil y_1 blockiert (Sättigung $S_2 = 0$), abfließen können sie während dem Zeitanteil $\lambda_2 = 1 - y_1$ mit der Sättigung $S_2 = S_{2m}(1 - y_1)$. Für diese Sättigung wird eine einfache lineare Funktion angenommen $\frac{S_2}{S_{2m}} + \frac{Q_1}{S_{1m}} = 1$. Über den gesamten Zeitanteil $\lambda_1 = 1$ gesehen wird dann die Leistung der Vortrittsbelasteten zu $L_2 = S_{2m}(1 - y_1)^2$ und ihr Auslastungsgrad zu $x_2 = \frac{y_2}{(1 - y_1)^2}$.

Ungesteuerter zweirangiger Konflikt ohne Vortrittswechsel

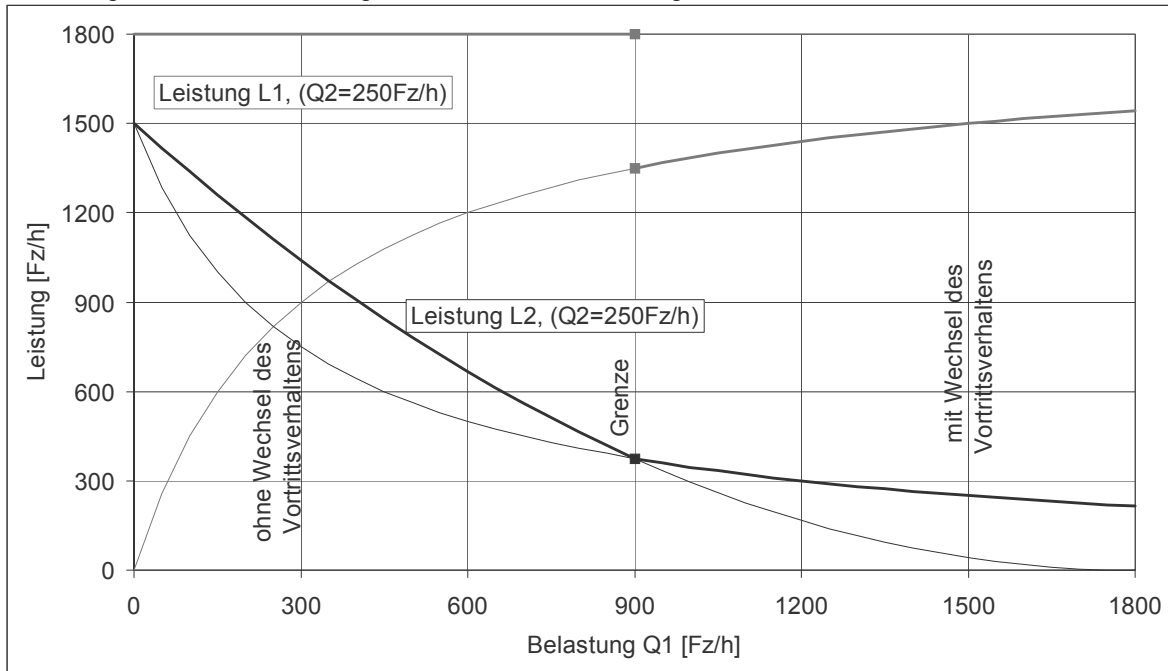


Ab einem Auslastungsgrad x_1^* verzichten Vortrittsberechtigte auf Vortritt, oder Vortrittsbelastete erzwingen ihn. Nach dem Wechsel des Vortrittsverhaltens wird der Auslastungsgrad der Vortrittsberechtigten und Vortrittsbelasteten gleich gross $x_1^* = x_2^* = y_1 + y_2$, die Leistung der Vortrittsberechtigten sinkt auf $L_1^* = S_{1m} \frac{y_1}{y_1 + y_2}$, und die Leistung der Vortrittsbelasteten steigt auf $L_2^* = S_{2m} \frac{y_2}{y_1 + y_2}$.



Anhang 3 vergleicht die Leistung für einen zweirangigen ungesteuerten Fahrzeug- Konflikt mit Verfahren aus der Fachliteratur, und zeigt den Einfluss eines Vortrittswechsels auf Leistung, Auslastungsgrad, Zeitverluste und Stau.

Das Diagramm zeigt für einen zweirangigen Konflikt zwischen Fahrzeugen die Leistung als Funktion einer Belastung der Vortrittsberechtigten Q_1 bei einer Belastung der Vortrittsbelasteten von $Q_2=250\text{Fz/h}$:



Beim Anwenden des Schätzverfahrens kann eine knapp grössere Belastung zu einem Wechsel des Vortrittsverhaltens führen. Mit dem Wechsel wird der Auslastungsgrad gleich gross, Zeitverluste und Stau der Vortrittsberechtigten steigen, Zeitverluste und Stau der Vortrittsbelasteten werden kleiner als ohne Wechsel:

zweirangiger Konflikt Fahrzeuge / Fahrzeuge										C=		1
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L			massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
						Q/h	S/h					
↗	1	Fz	900	1800	0.500	1800	1350	Vortritt 1	1800	0.500	4	2
↘	2	Fz	250	1500	0.167	375	375	Vortritt 1	375	0.667	35	4
					0.667	Stau an Zufahrten						6
↗	1	Fz	900	1800	0.500	1800	1286	Wechsel	1286	0.700	13	5
↘	2	Fz	300	1500	0.200	375	429	Wechsel	429	0.700	36	4
					0.700	Stau an Zufahrten						9

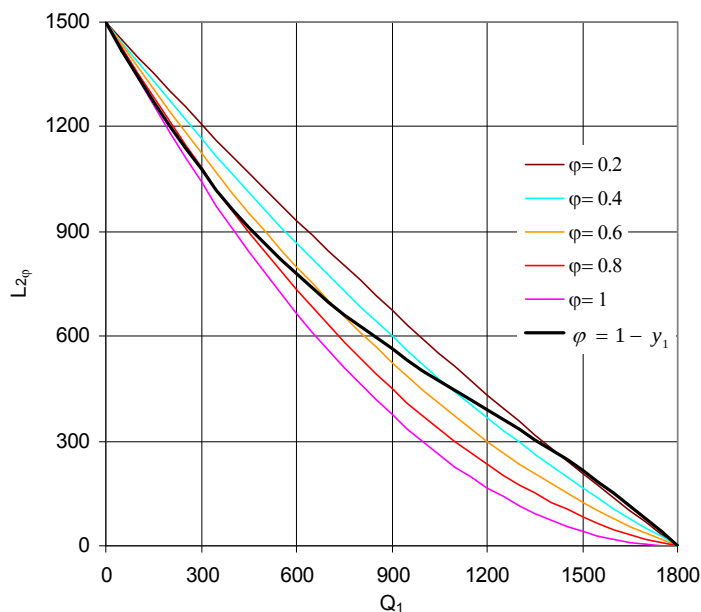
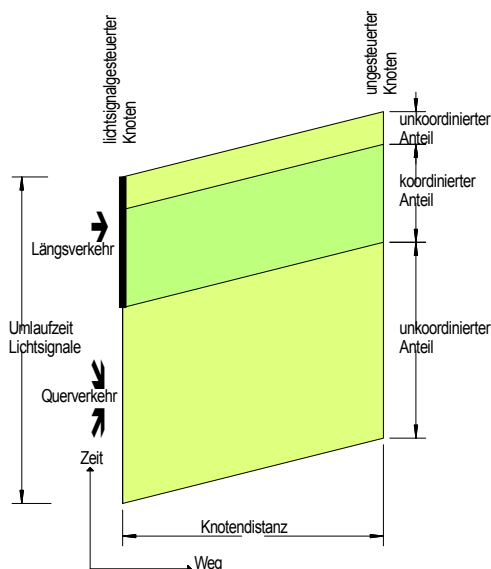
Im Gegensatz zu Fahrzeugen verzichten die vortrittsberechtigten Fussgänger und öffentlichen Verkehrsmittel in zweirangigen Konflikten nicht - oder nur selten - auf ihren Vortritt gegenüber Vortrittsbelasteten:

Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung Q/h	Sättigung S/h	Sättigungsgrad y	Leistung L L/h		massgebende Leistung L/h	Auslastungsgrad x=Q/L	durchschnittlicher Zeitverlust [s]	durchschnittlicher Stau [Fz]
zweirangiger Konflikt Fussgänger / Fahrzeuge										C=	1.0
↔	1	Fg	500	2500	0.200	2500		2500	0.200	1	0
↗	2	Fz	1000	1500	0.667	960		960	1.042	157	42
zweirangiger Konflikt Tram / Fussgänger											
↗	1	T	60	360	0.167	360		360	0.167	4	0
↔	2	Fg	500	2500	0.200	1736		1736	0.288	2	1

Konflikt mit Lichtsignalanlage im Zufluss

Im Allgemeinen sind die Fahrzeuge im Zufluss zu ungesteuerten Konflikten zufällig verteilt, mit dem unkoordiniert zufließenden Anteil $\varphi = 1$. Benachbarte lichtsignalgesteuerte Knoten können die zufließenden Fahrzeuge bündeln und den unkoordiniert zufließenden Anteil senken. Der Anteil der koordinierten Fahrzeuge fließt mit der maximalen Sättigung S_{1m} zu, und lässt sich messen.

Der Anteil der unkoordiniert zufließenden Fahrzeuge kann bis $\varphi = 1 - y_1$ sinken. Die Sättigung der Vortrittsbelasteten steigt unter dieser Randbedingung auf $S_{2\varphi} = S_{2m}(1 - y_1\varphi)$, und ihre Leistung auf $L_{2\varphi} = S_{2\varphi}(1 - y_1) = S_{2m}(1 - y_1)(1 - y_1\varphi)$. Dieser Leistungsgewinn bei Koordination der vortrittsberechtigten Fahrzeuge kann sich nur einstellen, wenn das Vortrittsverhalten nicht wechselt.



Das Anwenden des Schätzverfahrens für einen zweirangigen Konflikt zeigt bei zufällig verteiltem Zufluss der vortrittsberechtigten Fahrzeuge (unkoordiniert zufließenden Anteil $\varphi = 1$) einen Wechsel des Vortrittsverhaltens bei einer Belastung $Q_1 = 900 \text{ Fz/h}$. Der Auslastungsgrad von Vortrittsberechtigten und Vortrittsbelasteten ist dann gleich gross.

Bei einem teilweise koordinierten Zufluss (unkoordiniert zufließenden Anteil $\varphi = 0.8$) bleiben die koordinierten Fahrzeuge vortrittsberechtigt, Auslastungsgrad, Zeitverluste und Stau sowohl der Vortrittsberechtigten wie der Vortrittsbelasteten sind niedriger:

unkoordiniert zufließender Fahrzeuganteil										C=		1	
Zufahrt	Rang	Verkehrst art	Belastung Q/h	maximale Sättigung S/h	Sättigungsgrad y=Q/S	unkoordinierter Fahrzeuganteil φ	Leistung L L/h	Leistung L * L/h		massgebende Leistung L/h	Auslastungsgrad x=Q/L	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
												[s]	[Fz]
➡	1	Fz	900	1800	0.500	1.0	1800	1286	Wechsel	1286	0.700	13	5
⬆	2	Fz	300	1500	0.200		375	429	Wechsel	429	0.700	36	4
					0.700	Stau an Zufahrten					9		

1 ➡

2 ⬆

➡	1	Fz	900	1800	0.500	0.80	1800	1286	Vortritt 1	1800	0.500	4	2
⬆	2	Fz	300	1500	0.200		450	429	Vortritt 1	450	0.667	30	4
					0.700	Stau an Zufahrten					6		

Konflikt mit Stau im Abfluss

In einem Konflikt entsteht nicht nur Stau im Zufluss, sondern auch im Abfluss kann Stau herrschen. Ursache des Staus im Abfluss - und damit auch eines grösseren Staus im Zufluss des betrachteten Konflikts - ist dann ein benachbarter Konflikt stromabwärts. Mit dem Ausbreiten des Staus in Richtung stromaufwärts beeinflussen benachbarte Konflikte einander, und aus Sicht von Leistung und Verkehrsablauf bilden sich kleine Konflikt- Systeme.

Stau im Abfluss eines betrachteten Konflikts bedeutet ein teilweises Blockieren des Verkehrsstroms. Der Sättigungsgrad steigt dadurch an, und Sättigung bzw. Leistung sinken. Für den querenden vortrittsbelasteten Verkehrsstrom bedeutet dieses Blockieren eine zusätzliche Öffnung, der Sättigungsgrad sinkt, und damit steigen Sättigung bzw. Leistung.

Im Vergleich zu einem ungesteuerten zweirangigen Konflikt ohne Blockieren bzw. zusätzliches Öffnen des Abflusses, folgen beim Blockieren bzw. beim zusätzlichen Öffnen des Abflusses Sättigungsgrad, Sättigung und Leistung für Vortrittsberechtigte und Vortrittsbelastete, ohne und mit Vortrittswechsel, zu:



Ungesteuerter zweirangiger Konflikt mit blockiertem / offenem Abfluss
Begriffe

Belastung Q_i maximale Sättigung S_{im} Sättigungsgrad $y_i = \frac{Q_i}{S_{im}}$ Sättigung S_i Leistung L_i

	Sättigungsgrad	1 vortrittsberechtigt		2 vortrittsbelastet	
		y_1	Abfluss blockiert $y_1 + y_{1b}$ Abfluss offen $y_1 - y_{1o} > 0$	y_2	Abfluss offen $y_2 - y_{2o} > 0$ Abfluss blockiert $y_2 + y_{2b}$
ohne Vortrittswechsel	Zeitanteil	$\lambda_1 = 1$		$\lambda_2 = 1 - y_1$	
	Sättigung	$S_1 = S_{1m}$	$S_{1b} = \frac{Q_1}{y_1 + y_{1b}}$ $S_{1o} = \frac{Q_1}{y_1 - y_{1o}}$	$S_2 = S_{2m}(1 - y_1)$	$S_{2o} = \frac{Q_2}{y_2 - y_{2o}}(1 - y_1)$ $S_{2b} = \frac{Q_2}{y_2 + y_{2b}}(1 - y_1)$
	Leistung	$L_1 = S_{1m}$	$L_{1b} = S_{1b}$ $L_{1o} = S_{1o}$	$L_2 = S_{2m}(1 - y_1)^2$	$L_{2o} = \frac{Q_2}{y_2 - y_{2o}}(1 - y_1)^2$ $L_{2b} = \frac{Q_2}{y_2 + y_{2b}}(1 - y_1)^2$
mit Vortrittswechsel	Zeitanteil	$\lambda_1^* = \frac{y_1}{y_1 + y_2}$		$\lambda_2^* = \frac{y_2}{y_1 + y_2}$	
	Sättigung	$S_1^* = S_{1m}$	$S_{1b}^* = \frac{Q_1}{y_1 + y_{1b}}$ $S_{1o}^* = \frac{Q_1}{y_1 - y_{1o}}$	$S_2^* = S_{2m}$	$S_{2o}^* = \frac{Q_2}{y_2 - y_{2o}}$ $S_{2b}^* = \frac{Q_2}{y_2 + y_{2b}}$
	Leistung	$L_1^* = S_{1m} \frac{y_1}{y_1 + y_2}$	$L_{1b}^* = \frac{Q_1}{y_1 + y_{1b}} \cdot \frac{y_1}{y_1 + y_2}$ $L_{1o}^* = \frac{Q_1}{y_1 - y_{1o}} \cdot \frac{y_1}{y_1 + y_2}$	$L_2^* = S_{2m} \frac{y_2}{y_1 + y_2}$	$L_{2o}^* = \frac{Q_2}{y_2 - y_{2o}} \cdot \frac{y_2}{y_1 + y_2}$ $L_{2b}^* = \frac{Q_2}{y_2 + y_{2b}} \cdot \frac{y_2}{y_1 + y_2}$

Das Anwenden der Gleichungen zeigen die beiden folgenden Beispiele.

Die Anwendung des Schätzverfahrens auf ein kleines System geht von zwei einander beeinflussenden Konflikten zwischen vortrittsberechtigten Fussgängern und vortrittsbelasteten Fahrzeugen aus, bei gegebener Belastung im Zufluss und begrenzter Länge des Fahrzeug- Stauraums zwischen den Konflikten.

In solchen kleinen Systemen lassen sich Leistung und Verkehrsablauf nicht wie in unabhängigen Konflikten nur auf Grund der Belastung im Zufluss abschätzen. Der begrenzte Stauraum zwischen den Konflikten könnte den Stau nicht aufnehmen, Stau im Zufluss zum System würde unterschätzt.

Überschätzt würde der Stau im Zufluss zum System, wenn das kleine System zu einem Konflikt zusammengefasst wird. Der Nutzen des Stauraums zwischen den beiden Konflikten (10Fz im Beispiel) würde so vernachlässigt.

Benachbarte unabhängige Konflikte								C=	1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrart	Belastung Q/h	Sättigung S/h	Sättigungsgrad y	Leistung L L/h	Auslastungsgrad x=Q/L	durchschnittlicher Zeitverlust [s]	durchschnittlicher Stau [Fz]
Konflikt 1									
↔	1	Fg	300	2500	0.120	2500	0.120	0	0
↑	2	Fz	1100	1500	0.733	1162	0.947	64	21
Konflikt 2									
↔	1	Fg	350	2500	0.140	2500	0.140	0	0
↑	2	Fz	1100	1500	0.733	1109	0.992	97	30
Stau reicht in Konflikt 2									
51									
Zusammenfassung zu einem Konflikt								C=	1.0
Keine Nutzung des Stauraums zwischen Konflikten									
↔	1	Fg	300	2500	0.120				
↔	1	Fg	350	2500	0.140				
					0.243	parallele Fahrstreifen			
↑	2	Fz	1100	1500	0.733	859	1.280	533	127
127									
Benachbarte Konflikte								C=	1.0
Konflikt 1									
↔	1	Fg	300	2500	0.120	2500	0.120	0	0
↑	2	Fz	997	1500	0.664	1162	0.858	33	10
Konflikt 2									
	1o				0.083	Abfluss offen			
↔	1	Fg	350	2500	0.140				
			350	6140	0.057	6140	0.057	0	0
	2b				0.083	Abfluss blockiert			
↑	2	Fz	1100	1500	0.733				
			1100	1347	0.816	997	1.104	239	66
77									
niedrigere Leistung durch blockierten Abfluss									
höhere Leistung durch offenen Abfluss für Querverkehr									
reduzierte Belastung im stromabwärts liegenden Konflikt									
Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten									

1 Fg	↔	300
2 Fz	↑	
1 Fg	↔	350
2 Fz	↑	1100

1 Fg	↔	300
1 Fg	↔	350
2 Fz	↑	1100

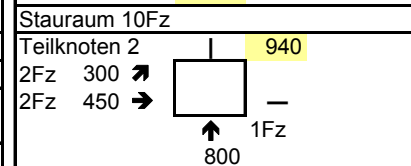
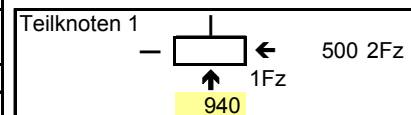
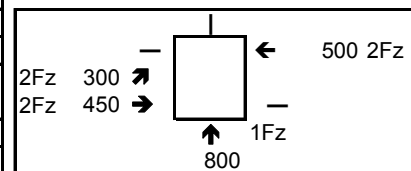
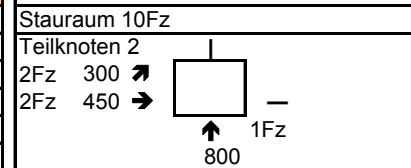
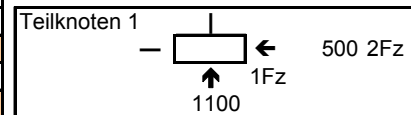
1 Fg	↔	300
2 Fz	↑	997
1 Fg	↔	350
2 Fz	↑	1100

Realistische Werte zu Leistung und Verkehrsablauf ergeben sich mit der Annahme, dass der Abfluss der Fahrzeuge im stromaufwärts gelegenen Konflikt in einem bestimmten Mass blockiert ist. Mit der Blockierung steigt der Sättigungsgrad, die Sättigung und die Leistung im stromaufwärts gelegenen Konflikt sinken. Mit der niedrigeren Leistung reduziert sich die Belastung der Fahrzeuge im stromabwärts liegenden Knoten. Die Fahrzeug- Blockierung wird am einfachsten iterativ bestimmt; sie ist dann korrekt, wenn der Stauraum zwischen den Konflikten nicht überlastet wird.

Der Abfluss der querenden Fussgänger im stromaufwärts gelegenen Konflikt bleibt wegen der Fahrzeug-Blockierung länger offen, der Sättigungsgrad sinkt, die Zeitverluste bleiben vernachlässigbar.

Die Anwendung geht von zwei einander beeinflussenden Konflikten zwischen vortrittsberechtigten und vortrittsbelasteten Fahrzeugen aus, bei gegebener Belastung im Zufluss und begrenzter Länge des Fahrzeug-Stauraums zwischen den Konflikten.

Benachbarte unabhängige Konflikte											C=	1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrssart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L*	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau	
			Q/h	S/h	y=Q/S	L/h	L/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]	
Konflikt 1												
↑	1	Fz	1100	1800	0.611	1800	1165	Wechsel	1165	0.944	62	20
←	2	Fz	500	1500	0.333	227	529	Wechsel	529	0.944	106	16
											0.944	Stau reicht in Konflikt 2
Konflikt 2												
↑	1	Fz	800	1800	0.444	1800	1075	Wechsel	1075	0.744	19	6
→	2	Fz	450	1500	0.300	463	604	Wechsel	604	0.744	32	5
											0.744	
↗	2	Fz	300	1500	0.200	463	466	Wechsel	466	0.644	26	3
											0.644	
											50	
Zusammenfassung zu einem Konflikt											C=	1.0
Keine Nutzung des Stauraums zwischen Konflikten												
↑	1	Fz	1100	1800	0.611	1800	1165	Wechsel	1165	0.944	62	20
←	2	Fz	500	1500	0.333	227	529	Wechsel	529	0.944	106	16
											0.944	
→	2	Fz	450	1500	0.300	227	494	Wechsel	494	0.911	90	12
											0.911	
											0.944	
↗	2	Fz	300	1500	0.200	5	262	Wechsel	262	1.717	1327	97
											1.144	
											145	
Benachbarte Konflikte											C=	1.0
Konflikt 1												
↑	1	Fz	940	1800	0.522	1800	1099	Wechsel	1099	0.856	34	10
←	2	Fz	500	1500	0.333	342	584	Wechsel	584	0.856	58	9
											0.856	Stau reicht nicht in Konflikt 2
Konflikt 2												
1b					0.220	Abfluss blockiert,						
↑	1	Fz	800	1800	0.444							
			800	1204	0.664	1204	719	Wechsel	719	1.113	268	54
					0.220	Abfluss offen						
→	2	Fz	450	1500	0.300							
			450	3000	0.150	926	1209	Wechsel	1209	0.372	4	1
					0.744							
2b					0.220	Abfluss blockiert,						
↗	2	Fz	300	1500	0.200							
			300	714	0.420	220	222	Wechsel	222	1.353	714	44
					0.644						940	
											Stau an Systemzufahrten	118
niedrigere Leistung durch blockierten Abfluss												
höhere Leistung durch offenen Abfluss für Querverkehr												
reduzierte Belastung im stromabwärts liegenden Konflikt												
Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten												



Werden zwei unabhängige Konflikte angenommen, dann wird der Stau im Zufluss zum System unterschätzt. Der begrenzte Stauraum zwischen den Konflikten könnte den Stau nicht aufnehmen.

Wird umgekehrt zu einem Konflikt zusammengefasst, dann wird der Stau im Zufluss zum System überschätzt. Der Nutzen des Stauraums zwischen den Konflikten würde vernachlässigt.

Mit der Annahme einer Blockierung des Abflusses der Fahrzeuge im stromaufwärts gelegenen Konflikt steigt dort der Sättigungsgrad, die Sättigung und die Leistung sinken. Mit der niedrigeren Leistung sinkt auch die Belastung der Fahrzeuge im stromabwärts liegenden Knoten. Die Fahrzeug-Blockierung wird am einfachsten iterativ bestimmt; sie ist dann korrekt, wenn der Stauraum zwischen den Konflikten nicht überlastet wird. Der Abfluss der querenden Fahrzeuge im stromaufwärts gelegenen Konflikt bleibt wegen der Blockierung länger offen, der Sättigungsgrad sinkt, und damit der Stau.

Mehrrangiger Konflikt

In einem ungesteuerten Konflikt mit den Rängen 1 bis k ergeben sich Leistung und Auslastungsgrad ohne Vortrittswechsel zu (Anhang 4):

Ungesteuerter mehrrangiger Konflikt ohne Vortrittswechsel

Sättigung $1 \rightarrow k-1$	$S_{1 \rightarrow k-1} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} Q_i}{\sum_{i=1}^{k-1} y_i} = L_{1 \rightarrow k-1}$	Leistung $1 \rightarrow k-1$	vortrittsberechtigti
k blockiert während $\sum_{i=1}^{k-1} y_i$			k vortrittsbelastet
$S_k = 0$			Zeitanteil k $\lambda_k = 1 - \sum_{i=1}^{k-1} y_i$
Sättigung k $S_k = S_{km}$			$\lambda_k = S_{km} \left(1 - \sum_{i=1}^{k-1} y_i\right)$
$L_k = S_k \lambda_k = S_{km} \left(1 - \sum_{i=1}^{k-1} y_i\right)^2$			Leistung k

Mit Vortrittswechsel werden Leistung und Auslastungsgrad in einem ungesteuerten mehrrangigen Konflikt zu (Anhang 4):

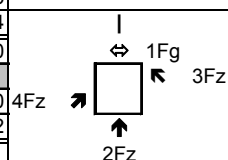
Ungesteuerter mehrrangiger Konflikt mit Vortrittswechsel

Zeitanteil $1 \rightarrow k-1$	$\lambda_{1 \rightarrow k-1}^* = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} y_i}{\sum_{i=1}^k y_i}$	Zeitanteil k $\lambda_k^* = \frac{y_k}{\sum_{i=1}^k y_i}$
Sättigung $1 \rightarrow k-1$	$S_{1 \rightarrow k-1} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} Q_i}{\sum_{i=1}^{k-1} y_i}$	Sättigung k $S_k^* = \frac{Q_k}{y_k} = S_{km}$
Leistung $1 \rightarrow k-1$	$L_{1 \rightarrow k-1}^* = S_{1 \rightarrow k-1}^* \cdot \lambda_{1 \rightarrow k-1}^* = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} Q_i}{\sum_{i=1}^k y_i}$	Leistung k $L_k^* = S_{km} \cdot \frac{y_k}{\sum_{i=1}^k y_i}$

Der Anhang 4 bringt detaillierter Unterlagen zu mehrrangigen Konflikten.

Das Anwenden des Schätzverfahrens auf einen vierrangigen Konflikt zeigt zuerst bei niedrigen Belastungen den Vortritt der jeweils Ranghöheren. Mit höheren Belastungen wechseln die Vortrittsverhältnisse in den tieferen Rängen. So bleiben zwar die Fußgänger im zweirangigen Konflikt vortrittsberechtigti, im drei- und vierrangigen Konflikt tolerieren sie aber Vortrittswechsel:

vierrangiger Konflikt										C=	1
Zufahrt	Rang	Verkehrsmittel	Belastung Q/h	Sättigung S/h	Sättigungsgrad y	Leistung L L/h	Leistung L* L/h	Leistung L/h	Auslastungsgrad x=Q/L	durchschnittlicher Zeitverlust [s]	durchschnittlicher Stau [Fz]
↕	1	Fg	250	2500	0.100	2500	500	Vortritt 1	2500	0.100	0
↑	2	Fz	600	1500	0.400	1215	1200	Vortritt 1	1215	0.494	6
0.500											
↕	1,2	Fg,Fz	850	1700	0.500	1700	1275	Vortritt 1,2	1275	0.667	11
↖	3	Fz	250	1500	0.167	375	375	Vortritt 1,2	375	0.667	35
0.667											
↕	1,2,3	Fg,Fz	1100	1650	0.667	1650	1500	Vortritt 1,2,3	1500	0.733	13
↗	4	Fz	100	1500	0.067	167	136	Vortritt 1,2,3	136	0.733	109
0.733											
Stau an Systemzufahrten											10
↕	1	Fg	250	2500	0.100	2500	500	Vortritt 1	2500	0.100	0
↑	2	Fz	600	1500	0.400	1215	1200	Vortritt 1	1215	0.494	6
0.500											
↕	1,2	Fg,Fz	850	1700	0.500	1700	1214	Wechsel	1214	0.700	13
↖	3	Fz	300	1500	0.200	375	429	Wechsel	429	0.700	36
0.700											
↕	1,2,3	Fg,Fz	1150	1643	0.700	1643	1438	Wechsel	1438	0.800	19
↗	4	Fz	150	1500	0.100	135	188	Wechsel	188	0.800	109
0.800											
Stau an Systemzufahrten											12



Konflikt mit parallelen Streifen

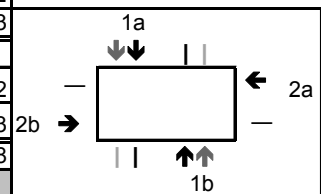
Parallele Streifen können unterschiedlichen Verkehrsarten dienen, unterschiedliche Belastungen Q_a , Q_b , unterschiedliche Sättigungen S_a , S_b , und entsprechend unterschiedliche Sättigungsgrade $y_a = Q_a/S_a$, $y_b = Q_b/S_b$ aufweisen. Weil sich parallele Streifen nicht gegenseitig ausschliessen, ergibt sich

ihr kombinierter Sättigungsgrad zu $y_{a,b} = y_a + y_b - y_a \cdot y_b$, die kombinierte Sättigung wird $S_{a,b} = \sum_a Q / y_{a,b}$.

Die Gleichungen gelten nicht, wenn sich ein Verkehrsstrom der gleichen Verkehrsart auf mehrere Streifen verteilt.

Die Anwendung des Schätzverfahrens geht von einer zweistreifigen vortrittsberechtigten Strasse mit begleitenden Busstreifen aus, eine vortrittsbelastete Strasse quert. Die parallelen vortrittsberechtigten Fahrstreifen werden zuerst schrittweise kombiniert und anschliessend in Konflikt zu den Vortrittsbelasteten gesetzt. Knapp grössere Belastungen führen wiederum zu einem Wechsel des Vortrittverhaltens:

Parallele Fahrstreifen im gleichen Rang										C=	1.0	
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L		massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S/h	y=Q/S	L/h	L/h		L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]
↓	1a	B	20	720	0.028	720	365	Vortritt 1	720	0.028	0	0
↑	1b	B	20	720	0.028	720	365	Vortritt 1	720	0.028	0	0
↕	0.055 parallele Fahrstreifen											
↓	1a	Fz	500	1800	0.278	1800	1141	Vortritt 1	1800	0.278	2	1
↑	1b	Fz	400	1800	0.222	1800	913	Vortritt 1	1800	0.222	1	1
↕	0.438 parallele Fahrstreifen											
↕	0.469 parallele Fahrstreifen											
↕↕↑↑	1	B, Fz	940	2004	0.469	2004	1448	Vortritt 1	2004	0.469	3	2
←	2a	Fz	270	1500	0.180	423	416	Vortritt 1	423	0.638	28	3
0.649												
↕↕↑↑	1	B, Fz	940	2004	0.469	2004	1479	Vortritt 1	2004	0.469	3	2
→	2b	Fz	250	1500	0.167	423	393	Vortritt 1	423	0.591	23	3
0.636 Stau an Systemzufahrten												
8												
↓	1a	B	20	720	0.028	720	365	Vortritt 1	720	0.028	0	0
↑	1b	B	20	720	0.028	720	365	Vortritt 1	720	0.028	0	0
↕	0.055 parallele Fahrstreifen											
↓	1a	Fz	550	1800	0.306	1800	1148	Vortritt 1	1800	0.306	2	1
↑	1b	Fz	450	1800	0.250	1800	939	Vortritt 1	1800	0.250	1	1
↕	0.479 parallele Fahrstreifen											
0.508 parallele Fahrstreifen												
↕↕↑↑	1	B, Fz	1040	2048	0.508	2048	1512	Wechsel	1512	0.688	10	4
←	2a	Fz	270	1500	0.180	364	393	Wechsel	393	0.688	37	4
0.688												
↕↕↑↑	1	B, Fz	1040	2048	0.508	2048	1542	Wechsel	1542	0.674	9	4
→	2b	Fz	250	1500	0.167	364	371	Wechsel	371	0.674	37	4
0.674 Stau an Systemzufahrten												
12												

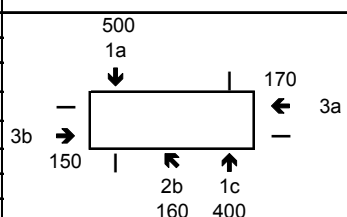


Die Anwendung des Schätzverfahrens zeigt Fahrzeugkonflikte mit separaten Abbiegestreifen für vortrittsbelastete Linksabbieger.

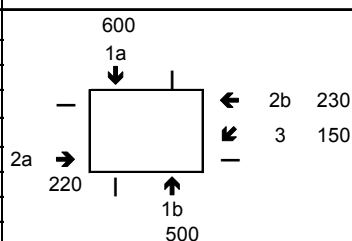
Im oberen Teil sind separate Abbiegestreifen in der vortrittsberechtigten Strasse markiert (2b). Der Konflikt der Linksabbieger mit den Gegengeradeausfahrern (1a), und die anliegenden Geradeausfahrer (1c), gelten als parallele Fahrstreifen. Sie stehen im Konflikt zu den einzelnen vortrittsbelasteten Fahrstreifen (3a, 3b).

Im unteren Teil liegt der separate Abbiegestreifen (3) in der vortrittsbelasteten Strasse. Die vortrittsberechtigten Geradeausfahrer (1a, 1b) fließen in parallelen Fahrstreifen. Die einzelnen vortrittsbelasteten Fahrstreifen stehen im Konflikt zu diesen parallelen Fahrstreifen.

Vortrittsberechtigta mit Abbiegestreifen											C=	1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrssat	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L*		massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S _m /h	y	L/h	L/h		L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]
↙	1a	Fz	500	1800	0.278	1800	1301	Vortritt 1	1800	0.278	2	1
↗	2b	Fz	160	1500	0.107	782	416	Vortritt 1	782	0.204	2	1
↖					0.384							
↗	1c	Fz	400	1800	0.222	1800			1800	0.222	1	1
0.607 parallele Fahrstreifen												
↙↗↖	1a,2b;1c	Fz	1060	1747	0.607	1747	1472	Wechsel	1472	0.720	12	5
↖	3a	Fz	170	1500	0.113	232	236	Wechsel	236	0.720	66	4
0.720												
↙↗↖	1a,2b;1c	Fz	1060	1747	0.607	1747	1500	Vortritt 1	1747	0.607	6	3
↗	3b	Fz	150	1500	0.100	232	212	Vortritt 1	232	0.646	50	3
0.707 Stau an Systemzufahrten												13



Vortrittsbelastete mit Abbiegestreifen											C=	1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrssat	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L*		massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S _m /h	y	L/h	L/h		L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]
↙	1a	Fz	600	1800	0.333	1800			1800	0.333	2	1
↗	1b	Fz	500	1800	0.278	1800			1800	0.278	2	1
0.519 parallele Fahrstreifen												
↙↗↖	1	Fz	1100	2121	0.519	2121	1654	Vortritt 1	2121	0.519	4	2
↗	2a	Fz	220	1500	0.147	348	331	Vortritt 1	348	0.633	33	3
0.665												
↙↗↖	1	Fz	1100	2121	0.519	2121	1637	Vortritt 1	2121	0.519	4	2
↖	2b	Fz	230	1500	0.153	348	342	Vortritt 1	348	0.661	37	4
0.672												
↙↗↖	1,2a	Fz	1320	1984	0.665	1984	1725	Wechsel	1725	0.765	13	6
↖	3	Fz	150	1500	0.100	168	196	Wechsel	196	0.765	92	5
0.765 Stau an Systemzufahrten												14



Konflikt mit Mischstreifen

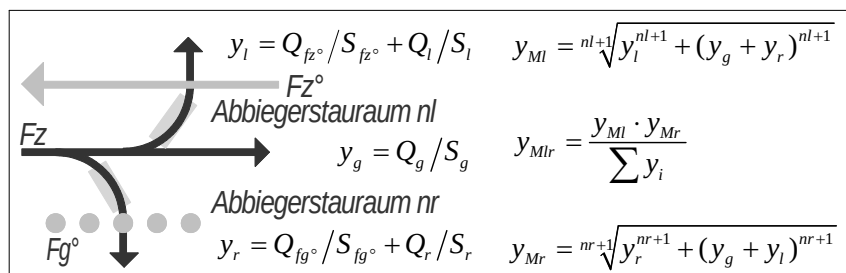
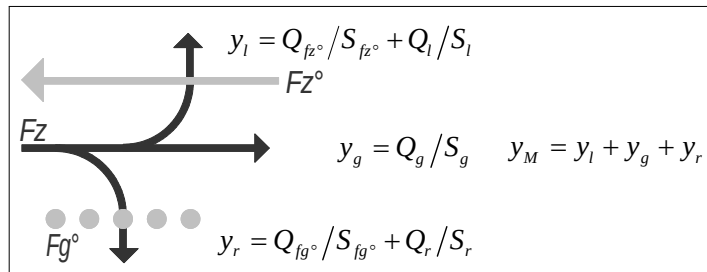
Mischstreifen dienen Teilströmen mit unterschiedlichen Verkehrsarten, Belastungen, Sättigungen und Sättigungsgraden. Die Belastung des Mischstreifens $Q_M = \sum Q_i$ ist die Summe der Teilbelastungen Q_i , der Sättigungsgrad $y_M = \sum y_i$ ist die Summe der einzelnen Sättigungsgrade y_i (weil sich die Teilströme gegenseitig ausschließen), und die Sättigung des Mischstreifens ergibt sich zu $S_M = \sum Q_i / \sum y_i$.

Einzelne Teilströme in Mischstreifen - z.B. nach links oder nach rechts abbiegende Fahrzeuge - können vortrittsbelastet sein. Der Sättigungsgrad dieser einzelnen Teilströme ist jeweils die Summe der Sättigungsgrade der Vortrittsberechtigten und Vortrittsbelasteten. Der Sättigungsgrad des Mischstreifens ist $y_M = y_l + y_g + y_r$.

Ein Stauraum für vortrittsbelastete Linksabbieger (nl) reduziert den Sättigungsgrad des Mischstreifens auf y_{Ml} , ein Stauraum für vortrittsbelastete Rechtsabbieger (nr) auf y_{Mr} , und Stauräume sowohl für vortrittsbelastete Links- wie Rechtsabbieger

auf $y_{Mlr} = \frac{y_{Ml} \cdot y_{Mr}}{\sum y_i}$.

Die Anwendung des Schätzverfahrens auf einen Knoten mit vortrittsberechtigten Fussgängerstreifen und vortrittsbelasteten Fahrzeugen auf einem Mischstreifen zeigt den Nutzen von Abbieger- Stauräumen. Mit Abbieger- Stauräumen ist die Leistung des Mischstreifens wesentlich höher und der Auslastungsgrad ist deutlich niedriger.

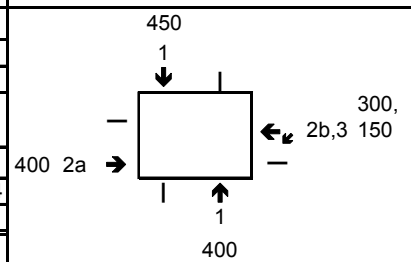
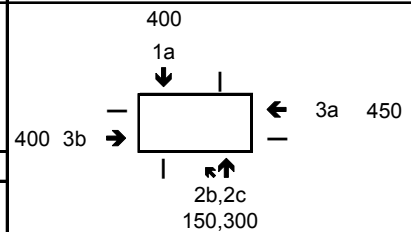


Konflikt mit Mischstreifen											C=	1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung Q/h	Sättigung S/h	Sättigungsgrad y	Leistung L L/h	Leistung L*	Auslastungsgrad massgebende Leistung L/h	x=Q/L	durchschnittlicher Zeitverlust [s]	durchschnittlicher Stau [Fz]	
Teilkonflikt ↖												
↕	1	Fg	250	2500	0.100	2500		2500	0.100	0	0	
↖	2l	Fz	350	1500	0.233							
0.333												
Teilkonflikt ↗												
↕	1	Fg	300	2500	0.120	2500		2500	0.120	0	0	
↗	2g	Fz	600	1800	0.333							
0.453												
Teilkonflikt ↘												
↕	1	Fg	200	2500	0.080	2500		2500	0.080	0	0	
↘	2r	Fz	150	1500	0.100							
0.180												
Mischstreifen ↖↗↘ ohne Abbieger- Stauraum												
↖	2l	Fz	350	1050	0.333							
↗	2g	Fz	600	1324	0.453							
↘	2r	Fz	150	833	0.180							
↖↗↘	2	Fz	1100	1138	0.967	1138		1138	0.967	77	24	
Mischstreifen ↖↗↘ mit Abbieger- Stauraum												
↖	2l	Fz	350	1050	0.333	1	Stauraum nl[Fz]	y _{Ml} =	0.716			
↗	2g	Fz	600	1324	0.453			y _M =	0.597			
↘	2r	Fz	150	833	0.180	1	Stauraum nr[Fz]	y _{Mr} =	0.807			
↖↗↘	2	Fz	1100	1841	0.597	1841		1841	0.597	6	3	

Die Anwendung des Schätzverfahrens zeigt Fahrzeugkonflikte mit Mischstreifen für vortrittsbelastete Linksabbieger. Im oberen Teil sind die Mischstreifen in der vortrittsberechtigten Strasse markiert, im unteren Teil in der vortrittsbelasteten Strasse:

Mischstreifen mit Linksabbiegern auf vortrittsberechtigter Strasse											C=	1.0	
Zufahrt	Rang	Verkehrart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L _h		massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeiterlust	durchschnittlicher Stau	
			Q/h	S _m /h	y	L/h	L/h		L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]	
↙	1a	Fz	400	1800	0.222	1800			1800	0.222	1	1	
↘	2b	Fz	150	1500	0.100								
0.322													
Mischstreifen ↗↑													
↘	2b	Fz	150	466	0.322	2	Abbieger- Stauraum n[Fz]						
↗	2c	Fz	300	1800	0.167								
↗↗	2b,2c	Fz	450	1338	0.336	1338			1338	0.336	3	1	
↙	1a	Fz	400	1800	0.222								
↗↗	2b,2c	Fz	450	1338	0.336								
0.484 parallele Fahrstreifen													
↙↗↗	1,2	Fz	850	1757	0.484	1757	1084	Wechsel	1084	0.784	22	7	
↙	3a	Fz	450	1500	0.300	400	574	Wechsel	574	0.784	40	6	
0.784													
↙↗↗	1,2	Fz	850	1757	0.484	1757	1132	Wechsel	1132	0.751	18	6	
↗	3b	Fz	400	1500	0.267	400	533	Wechsel	533	0.751	37	5	
0.751											Stau an Systemzufahrten		19

Mischstreifen mit Linksabbiegern auf vortrittsbelasteter Strasse											C=	1.0	
Zufahrt	Rang	Verkehrart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L _h		massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeiterlust	durchschnittlicher Stau	
			Q/h	S _m /h	y	L/h	L/h		L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]	
↙	1	Fz	450	1800	0.250	1800			1800	0.250	1	1	
↗	1	Fz	400	1800	0.222	1800			1800	0.222	1	1	
0.417 parallele Fahrstreifen													
↙↗	1	Fz	850	2040	0.417	2040	1244	Wechsel	2040	0.417	3	1	
↗	2a	Fz	400	1500	0.267	510	585	Wechsel	585	0.683	25	4	
0.683													
Teilkonflikt ↙			Q/h	S _m /h	y	Teilkonflikt ↗			Q/h	S _m /h	y		
↙↗	1	Fz	850	2040	0.417	↙↗	1,2a	Fz	1250	1829	0.683		
↙	2b	Fz	300	1500	0.200	↙	3	Fz	150	1500	0.100		
					0.617						0.783		
Mischstreifen													
↙	2b	Fz	300	486	0.617								
↙	3	Fz	150	191	0.783	2	Abbieger- Stauraum [Fz]						
↙↗	3	Fz	450	503	0.894	503			503	0.894	81	11	
0.894											Stau an Systemzufahrten		17



Ungesteuerter Abbiegekonflikt bei Lichtsignalanlagen mit Abbiegestreifen

Bei Lichtsignalsteuerungen können einzelne Konflikte ungesteuert bleiben. Leistung und Verkehrsablauf lassen sich dort mit dem Schätzverfahren angeben. Diese Konflikte spielen sich - Im Gegensatz zu ungesteuerten Knoten - nur während dem Anteil der Grünzeit am Zyklus der Steuerung ab. Zudem ist der ersten Teil der Grünzeit der Vortrittsberechtigten gesättigt, weil sie in der vorangegangenen Rotzeit nicht abfließen konnten.

Die Anwendung des Schätzverfahrens bezieht sich auf einen ungesteuerten Konflikt zwischen geradeausfahrenden, und linksabbiegenden vortrittsbelasteten Fahrzeugen, den Linksabbiegern dient ein separater Streifen. Die gesättigte Grünzeit der Vortrittsberechtigten ist $g_{vs} = \frac{(Z - g_v) \cdot Q_v}{(S_v - Q_v)}$, die ungesättigte Grün-

$$\text{zeit } g_{vu} = g_v - \frac{(Z - g_v) \cdot Q_v}{(S_v - Q_v)}.$$

Leistung und Auslastungsgrad gemäss dem Schätzverfahren sind um den Anteil der Grünzeit am Zyklus zu reduzieren. Die Leistung der Geradeausfahrer wird zu $L_v \rightarrow L_v \frac{g}{Z}$ bzw. $L_{2g} \rightarrow L_{2g} \frac{g}{Z}$, der Linksabbieger zu $L_{2l} \rightarrow L_{2l} \frac{g_{vu}}{Z}$.

Bei Lichtsignalanlagen treten neben Zeitverlusten und Stau durch Zufallseinflüsse und Überlastung auch deterministische Anteile wegen der Grün- und Rotzeiten auf. Der deterministische Anteil an den mittleren

Wartezeiten ist $w_1 = \frac{(Z - g)^2}{2Z(1 - y)}$, der deterministische Anteil am mittleren Stau ist $k_1 = w_1 \frac{Q}{3600}$.

lichtsignalgesteuerter Knoten mit ungesteuertem Teilkonflikt

Abbiegestreifen										Z=	40	Zyklus	C=			1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Grünzeiten	Leistung bezogen auf Grünzeit	Auslastungsgrad	Zeitverlust determin.	Zeitverlust stochast.	durchschnittlicher Zeitverlust	Stau determin.	Stau stochast.	durchschnittlicher Stau	
			Q/h	S/h	y	L/h	[s]	L/h	x=Q/L			w ₁ [s]				w ₂ [s]
↶	V	Fz	600	1800	0.333	1800	24	1080	0.556	5	8	13	1	2	3	
↗	2l	Fz	200	1500	0.133	667	16	267	0.750	8	67	75	0	5	5	
→	2g	Fz	800	1800	0.444	1800	24	1080	0.741	6	18	24	1	5	7	
Stau an Zufahrten															15	
ungesättigte Grünzeit g _{vu}								Leistung auf ungesättigte Grünzeit bezogen								
$g_{vu} = g_v - \frac{(Z - g_v) \cdot Q_v}{(S_v - Q_v)}$								$L_{2l} \rightarrow L_{2l} \frac{g_{vu}}{Z}$		200Fz 2l↗ 800Fz 2g→			↶V 600Fz —			
Leistung auf Grünzeit bezogen								$L_v \rightarrow L_v \frac{g}{Z}$		$L_{2g} \rightarrow L_{2g} \frac{g}{Z}$		$w_1 = \frac{(Z - g)^2}{2Z(1 - y)}$		$k_1 = w_1 \frac{Q}{3600}$		

Ungesteuerter Abbiegekonflikt bei Lichtsignalanlagen mit Mischstreifen

Die Anwendung des Schätzverfahrens geht von einem lichtsignalgesteuerten Knoten mit einem ungesteuerten Konflikt aus, Linksabbieger benutzen zusammen mit Geradeausfahrern einen Mischstreifen. Die vortrittsberechtigten Gegen- Geradeausfahrer und der Mischstreifen haben gleichzeitig Grün. Die gesättigte

Grünzeit der Vortrittsberechtigten ist $g_{vs} = \frac{(Z - g_v) \cdot Q_v}{(S_v - Q_v)}$, Linksabbieger im Mischstreifen können dann nicht

abfließen. Bezogen auf den Umlauf Z wird ihr Sättigungsgrad zu $y_{2l} \rightarrow y_v + y_{2l} (Z / (Z - g_{vs}))$.

Mit dem Sättigungsgrad der Geradeausfahrer im Mischstreifen y_{2g} , und mit einem Abbiege-Stauraum für n linksabbiegende Fahrzeuge wird der Sättigungsgrad des Mischstreifens zu $y_2 = \frac{n+1}{n} \sqrt{y_{2l}^{n+1} + y_{2g}^{n+1}}$.

Leistung und Auslastungsgrad sind um den Anteil der Grünzeit am Zyklus zu reduzieren. Die Leistung der Vortrittsberechtigten wird zu $L_v \rightarrow L_v \frac{g}{Z}$, des Mischstreifens zu $L_2 \rightarrow L_2 \frac{g}{Z}$. Neben Zeitverlusten und Stau

durch Zufallseinflüsse und Überlastung werden der deterministische Anteil an den mittleren Wartezeiten $w_1 = \frac{(Z - g)^2}{2Z(1 - y)}$, der deterministische Anteil am mittleren Stau $k_1 = w_1 \frac{Q}{3600}$.

lichtsignalgesteuerter Knoten mit ungesteuertem Teilkonflikt																		
Mischstreifen										Z=	40	Zyklus		C=	1.0			
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung		Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Grünzeiten	Leistung bezogen auf Grünzeit	Auslastungsgrad	Zeitverlust determin.	Zeitverlust stochast.	durchschnittlicher Zeitverlust	Stau determin.	Stau stochast.	durchschnittlicher Stau		
			Q/h	S/h													y	L/h
←	V	Fz	600	1800	0.333	1800	24	1080	0.556	5	8	13	1	2	3			
							8	gesättigte Grünzeit g _{vs}									$g_{vs} = \frac{(Z - g_v) \cdot Q_v}{(S_v - Q_v)}$	
↗	2l	Fz	200	1500	0.133	32										Grünzeit $Z - g_{vs}$		
↗	2l	Fz	200	400	0.500											$y_{2l} \rightarrow y_v + y_{2l} (Z / (Z - g_{vs}))$		
							Abbieger- Stauraum n[Fz]					1000Fz 2↗ ←V 600Fz						
↗	2l	Fz	200	400	0.500	5	$y_2 = \frac{n+1}{n} \sqrt{y_{2l}^{n+1} + y_{2g}^{n+1}}$											
→	2g	Fz	800	1800	0.444													
↗	2	Fz	1000	1871	0.535	1871	24	1122	0.891	7	42	49	2	13	15			
Stau an Zufahrten															19			
Leistung auf Grünzeit bezogen																		
$L_v \rightarrow L_v \frac{g}{Z} \quad L_2 \rightarrow L_2 \frac{g}{Z} \quad w_1 = \frac{(Z - g)^2}{2Z(1 - y)} \quad k_1 = w_1 \frac{Q}{3600}$																		

Folgeforschung

Für die Umsetzung der Forschungsergebnisse in einer Norm bedarf es einer Folgeforschung. Obwohl die im Schätzverfahren verwendeten Richtwerte der Sättigung auf umfangreichen Erhebungen an Knoten in der Stadt Zürich basieren, sollten sie für die Anwendung an zusätzlichen Knoten verifiziert werden. Zudem fehlen Richtwerte für Velofahrer. Zu diesem Zweck sind an ausgewählten städtischen Knoten und Plätzen entsprechende Messungen durchzuführen.

Bei der angesprochenen Folgeforschung ist zu berücksichtigen, dass die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität der Verkehrsarten Fussgänger, leichte Zweiräder und strassengebundene öffentliche Verkehrsmittel in den geplanten Forschungsarbeiten VSS 2007/306 und VSS 2007/305 untersucht werden. Die Ergebnisse können zur Verifizierung der in der vorliegenden Forschungsarbeit angegebenen Leistungswerte verwendet werden.

Beispiele zum Schätzverfahren

Nachfolgend sind Beispiele von komplexen, ungesteuerten Knoten zusammengestellt:

- sie dienen zuerst zur Entwicklung und Verifizierung des analytischen Schätzverfahrens,
- und sie zeigen schliesslich dessen Handhabung.

Die Beispiele basierten auf Aufträgen der Stadt, Zürich, Dienstabteilung Verkehr, Regelung und Entwicklung.

Beispiel: Stadt Zürich, Limmatplatz (mit detaillierten Erläuterung zum Vorgehen)

Beispiel: Stadt Zürich, Löwenplatz

Beispiel: Stadt Zürich, Einmündung Winterthurerstrasse/Riedtlistrasse

Beispiel: Stadt Zürich, Rämistrasse - Universitätsstrasse

Beispiel: Stadt Zürich, Rigiplatz - Seilbahn Rigiblick

Beispiel: Stadt Zürich, Morgental heute

Beispiel: Stadt Zürich, Morgental neu

Beispiel: Stadt Zürich, Albisriederplatz heute und neu

Beispiel: Stadt Zürich, Goldbrunnenplatz heute und neu

Beispiel: Stadt Zürich, Hegibachplatz vorher

Beispiel: Stadt Zürich, Hegibachplatz neu

Beispiel: Stadt Zürich, Lichtsignalgesteuerter Knoten Kanonengasse/Militärstrasse

Beispiel: Norm- Einmündung

Beispiel: Norm- Kreuzung

Beispiel: Norm- Kreisel

Beispiel: Norm- Kleinkreisel.

Die Abschätzungen zu Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität stimmen mit Messungen überein, damit ist das Schätzverfahren verifiziert. Weil Projekte meist auf bestehenden Knoten basieren und bestehende Knoten mit dem Schätzverfahren korrekt analysiert werden, trifft das mit hoher Wahrscheinlichkeit auch für Projekte zu.

Allerdings können die Abschätzungen ebenso komplex sein, wie es die komplexen Knoten sind.

Anmerkungen zum Veloverkehr

Ungesteuerte Knoten

Bei keinem der Beispiele sind Velostreifen massgebend für Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität. Dazu sind die gemessenen Velofrequenzen zu klein, die Velostreifen liegen parallel zu stark belasteten Fahrstreifen, und es gibt in den ungesteuerten Knoten keine Velostreifen für Abbiegebeziehungen ausschliesslich für Velofahrer. Richtwerte für die maximale Sättigung von Velostreifen sind in den Beispielen zum Abschätzen von Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität nicht nötig.

Lichtsignalgesteuerte Knoten

Es liegen Beispiele zu ausgeführten und projektierten Velostreifen vor. Die lichtsignalgesteuerten sind durchaus mit ungesteuerten Knoten vergleichbar, weil sie ebenfalls ungesteuerte Konflikte aufweisen.

An den untersuchten lichtsignalgesteuerten Knoten gab es Velostreifen auf Kosten von anderen Verkehrstreifen, und Velostreifen für Abbiegebeziehungen ausschliesslich für Velofahrer. Das Schätzverfahren liess sich anwenden, weil grobe Näherungen für Richtwerte über die maximale Sättigung von Velostreifen vorlagen. Es wurden die Näherungen benutzt:

- maximale Sättigung vortrittsberechtigter Velostreifen S_{m1} 2000 Velos/h
- maximale Sättigung vortrittsbelasteter Velostreifen S_{m2} 1600 Velos/h.

Mit Velostreifen auf Kosten von anderen Streifen zeigten sich auf stark belasteten Fahrstreifen Leistungsdefizite bei entsprechend schlechterer Verkehrsqualität. Velostreifen für Abbiegebeziehungen ausschliesslich für Velofahrer schufen zusätzliche Konflikte, und reduzierten damit ebenfalls Leistung und Verkehrsqualität im Knoten. Für die Velofahrer bedeuteten die Velostreifen und die ausschliesslichen Abbiegebeziehungen selbstverständlich Leistungs- und Qualitätsgewinne. Allerdings stand der Nutzen von wenigen Velofahrern den Nachteilen von vielen anderen Verkehrsteilnehmern gegenüber.

Normempfehlung

Mit der Erarbeitung einer Norm zum vorliegenden Forschungsauftrag wird eine Lücke in der VSS- Normgruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ geschlossen.

Infolge der Komplexität des Verfahrens muss bei der Anwendung der geplanten Norm in der Praxis mit Problemen der Nachvollziehbarkeit gerechnet werden. Diese könnten durch das Anbieten eines strukturierten und dialoggeführten Softwarepakets - als Beilage zu VSS- Norm - entschärft werden.

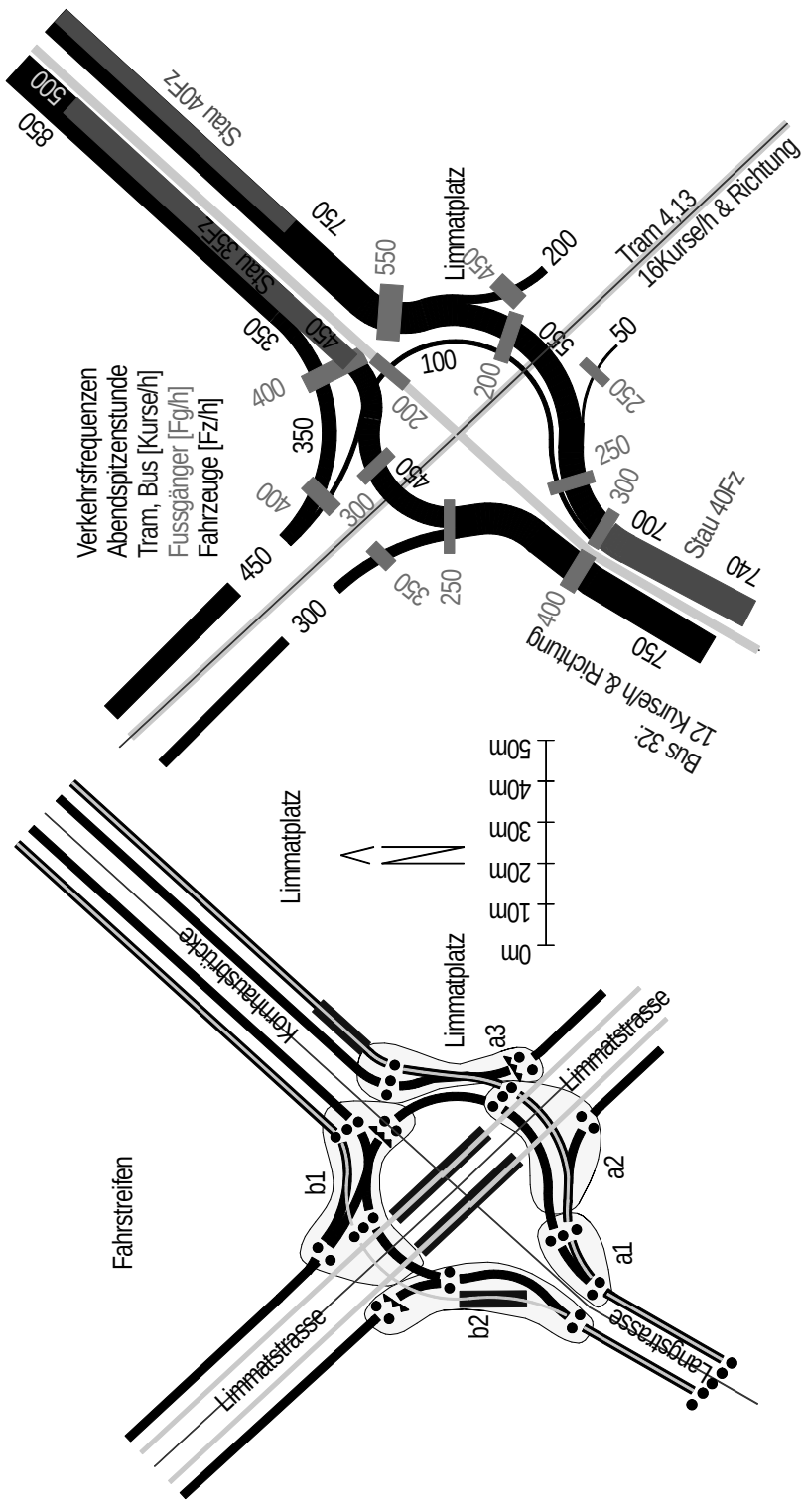
Beispiel: Stadt Zürich, Limmatplatz

(mit detaillierter Erläuterung zum Vorgehen)

Der Limmattplatz hat zwar die Form eines Verkehrskreisels rund um Tramhaltestellen, aber die Beziehung zwischen der Langstrasse und der Kornhausbrücke hat Vorrang. Vortritt gegenüber der Kreiselfahrbahn haben auch die Traminien 4,13 in der Limmattstrasse und 5 Fussgängerstreifen. Fussgängerstreifen queren alle vier Kreiselarme.

Die Trams 4,13 fahren mit 16 Kursen/h und Richtung, die Busse 32 mit 12 Kursen/h und Richtung. Die Fussgängerfrequenzen liegen an den Übergängen zwischen 200 und 550 Fussgängern/h. Die vortrittsberechtigten Trams und die Fussgänger bestimmen weitgehend den Verkehrsablauf am Limmattplatz. Ihre Zeitverluste sind vernachlässigbar klein.

Leistungsfähigkeit und Verkehrsablauf am Limmattplatz werden mit dem Schätzverfahren und seinen Elementen bestimmt. Dazu lässt sich der Limmattplatz in Teilknoten zerlegen, wenn der Stau von einem Teilknoten nicht in den benachbarten stromabwärts reicht. In diesen Teilknoten werden die Zufahrten in der Reihenfolge ihres Rangs in den folgenden Tabellen abgehandelt.



Im südöstlichen Teil des Limmatplatzes kann in der nebenstehenden Tabelle von den Teilknoten a1, a2 und a3 ausgegangen werden. In keinem der Teilknoten kommt es zu einem Wechsel des Vortrittsverhaltens, weil öffentlicher Verkehr und Fussgänger nicht auf ihren Vortritt verzichten.

Der Teilkonflikt a1 umfasst die Zufahrt Langstrasse zum Limmatplatz. Die beiden vortrittsberechtigten Fussgängerstreifen über die Zufahrt mit Belastungen von 300 Fg/h bzw. mit 250 Fg/h stehen im 1. Rang. Weil sie parallel sind, ergibt sich ihr kombinierter Sättigungsgrad zu $y=0.208$. Im zweiten Rang steht der Fahrzeugverkehr in der Zufahrt Langstrasse mit 740 Fz/h. Aus einer 1. Iteration folgt, dass sich unter diesen Randbedingungen die beiden Teilkonflikte a1 und a2 nicht voneinander trennen liessen (die 1. Iteration ist in der Tabelle nicht dokumentiert). Der Abfluss aus der Zufahrt Langstrasse ist deshalb während $y=0.170$ blockiert. Die Leistung im Abfluss sinkt damit auf 700 Fz/h, während der Auslastungsgrad in der Zufahrt Langstrasse steigt auf $x=1.058$, und der Stau resultiert zu 38 Fz. Das entspricht etwa den Messungen (40 Fz).

Der Teilkonflikt a2 umfasst die südöstliche Kreisfahrbahn. Im ersten Rang stehen die Trams, sie fahren auf parallelen Gleisen mit je 16 Kursen pro Richtung ($y=0.249$). Die Trams fahren wiederum parallel zu dem Fussgängerstreifen über die Kreisfahrbahn mit 200 Fg/h, ihr kombinierter Sättigungsgrad wird zu $y=0.309$. Im Konflikt zu den Trams und Fussgängern steht im 2. Rang der Fahrzeugverkehr auf der Kreisfahrbahn, mit 100 Fz/h auf dem inneren und 550 Fz/h auf dem äusseren Fahrstreifen. Der Stau auf diesen Streifen (0 bzw. 6 Fz) überschreitet nicht die Länge des Stauraums, weil der Abfluss vom Teilkonflikt a1 her blockiert ist.

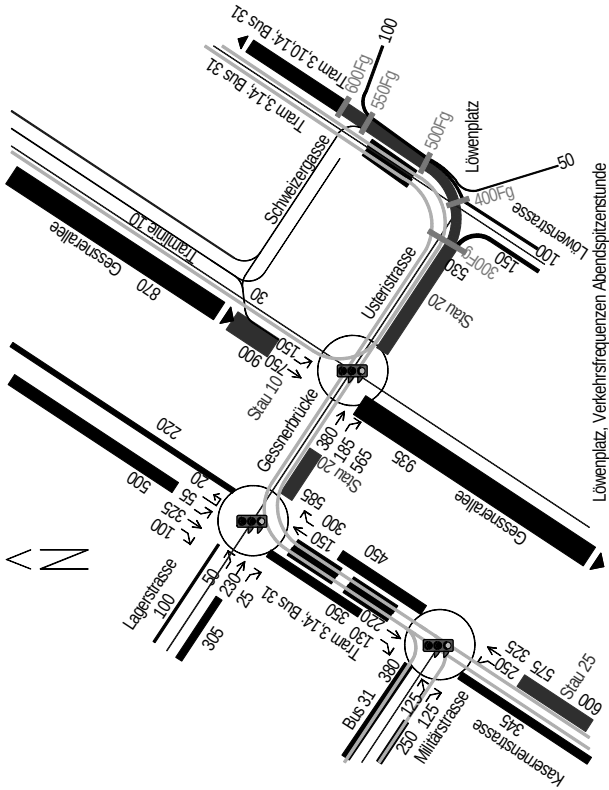
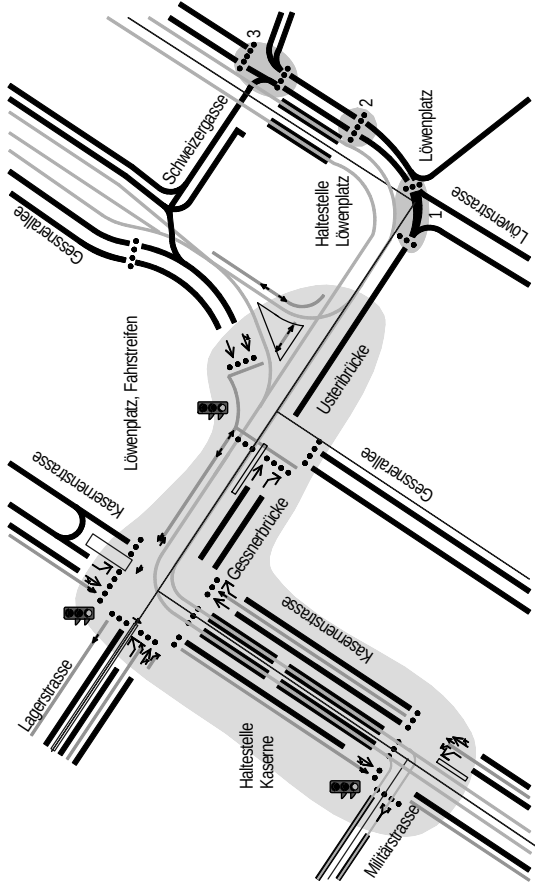
Der Teilkonflikt a3 umfasst den Zusammenfluss von Limmatstrasse und Kreisfahrbahn bzw. die Ausfahrt vom Limmatplatz auf die Kornhausbrücke.

Zuerst münden von der südöstlichen Limmatstrasse 200 Fz/h in die 550 Fz/h auf der Kreisfahrbahn ein. Parallel zu den 550 Fz/h im 1. Rang verläuft ein Fussgängerstreifen mit 450 Fg/h, zusammen resultiert ein Sättigungsgrad von $y=0.481$. Im 2. Rang steht der Fahrzeugverkehr von der südöstlichen Limmatstrasse her mit einem Sättigungsgrad von $y=0.133$. Der Auslastungsgrad im Konflikt liegt bei $x=0.494$.

Anschliessend steht der Fahrzeugverkehr in der Ausfahrt vom Limmatplatz auf die Kornhausbrücke (750 Fz) im Konflikt mit einem Fussgängerstreifen bzw. einer Bushaltestelle. Vor dem Konflikt verzweigt sich der Fahrzeugverkehr in zwei Streifen. Der rechte Streifen mit 200 Fz/h steht im 2. Rang gegenüber der Bushaltestelle und dem parallel ablaufenden Fussgängerstreifen im 1. Rang. Der linke Streifen mit 550 Fz/h steht im 2. Rang nur im Konflikt mit dem Fussgängerstreifen. Beide Fahrstreifen bilden einen Mischstreifen mit einem separaten Stauraum von 2 Fz im rechten Fahrstreifen. Der Stau auf dem Mischstreifen überschreitet nicht die Länge des Stauraums.

Limmatplatz, südöstlicher Teil						C=		1		
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S/h	y	L/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]
Teilkonflikt a1, Zufahrt Langstrasse										
↔	1	Fg	300	2500	0.120	2500	2500	0.120	0	0
↔	1	Fg	250	2500	0.100	2500	2500	0.100	0	0
					0.208	parallele Streifen				
					0.170	Abfluss offen				
			550	5000	0.110					
					0.170	Abfluss blockiert				
↗	2	Fz	740	1500	0.493	700	700	1.058	194	38
Teilkonflikt a2, südöstliche Kreisfahrbahn.										
↙	1	T	16	120	0.133			120	0.133	9
↘	1	T	16	120	0.133			120	0.133	9
					0.249	parallele Streifen				
↔	1	Fg	200	2500	0.080			2500	0.080	0
					0.309	parallele Streifen				
↗	2	Fz	100	1500	0.067	716	716	0.140	2	0
					0.309					
↗	2	Fz	550	1500	0.367	716	716	0.768	30	6
Teilkonflikt a3										
↗	1	Fz	550	1500	0.367	Kreisel				
↖	1	Fg	450	2500	0.180			2500	0.180	1
					0.481	parallele Streifen				
↖	2	Fz	200	1500	0.133	405	405	0.494	17	2
↔	1	Fg	550	2500	0.220					
↗	1	Bus	12	120	0.100					
					0.298	parallele Streifen				
↗	2	Fz	200	1500	0.133					
					0.431	2 Stauraum				
↔	1	Fg	550	2500	0.220					
↗	2	Fz	550	1500	0.367					
					0.587	Mischstreifen				
↗	2	Fz	750	1143	0.656			1143	0.656	12
										4

Beispiel: Stadt Zürich, Löwenplatz



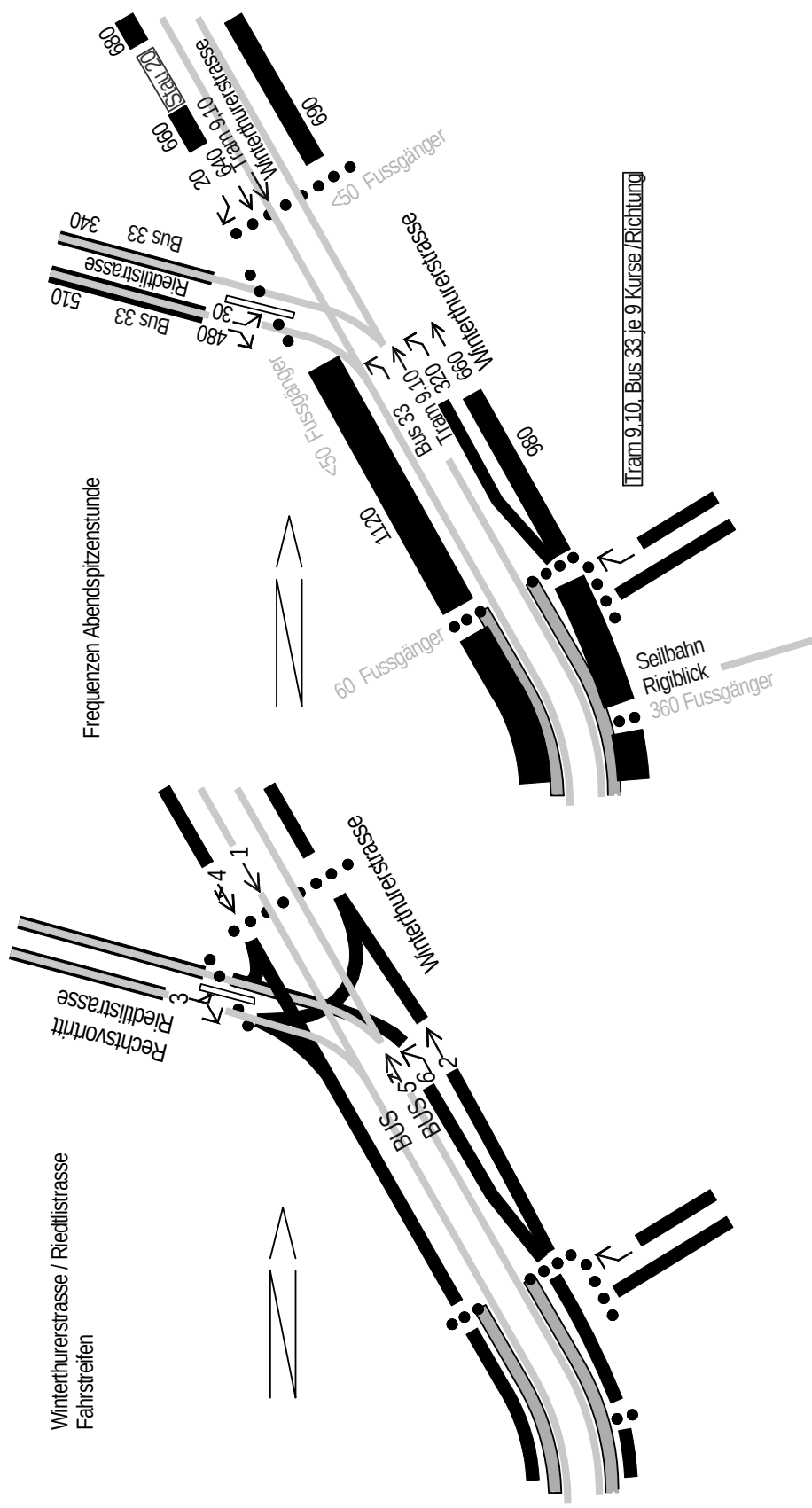
Am Löwenplatz lassen sich fünf benachbarte, stark frequentierte Fussgängerstreifen zu drei Teilkonflikten zusammenfassen. Die Stauräume zwischen den Teilkonflikten können den Stau nicht aufnehmen.

Ist der Abfluss vom ersten Teilkonflikt blockiert, dann genügen zwar die Stauräume zwischen den Teilkonflikten, aber Stau reicht vom Löwenplatz stromaufwärts in die lichtsignalgesteuerten Knoten. Die Hauptstrasse ist wegen der Fussgängerstreifen in Abendspitzenstunden zu ca. 9% überlastet, mit Zeitverlusten von ca. 4Minuten und Stau von ca. 40Fahrzeugen.

Löwenplatz										C=		1
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	S/h	y	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	[s]	[Fz]	
Teilkonflikt 3												
↔		1 Fg	600	2500	0.240	2500	2500	0.240	1	1	1	
↔		1 Fg	550	2500	0.220	2500	2500	0.220	1	1	1	
						0.407	parallele Fussgängerstreifen					
↗		2 Fz	425	1500	0.283	527	0.806	48	7	7	7	
↘		2 Fz	106	1500	0.071	913	0.116	1	0	0	0	
Teilkonflikt 2												
↔		1 Fg	500	2500	0.200	2500	2500	0.200	1	0	0	
↗		2 Fz	425	1500	0.283	960	0.443	6	2	2	2	
↘		2 Fz	106	1500	0.071	960	0.111	1	0	0	0	
Teilkonflikt 1												
↔		1 Fg	400	2500	0.160	2500	2500	0.160	1	0	0	
↔		1 Fg	300	2500	0.120	2500	2500	0.120	0	0	0	
						0.261	parallele Fussgängerstreifen					
						0.210	Abfluss blockiert					
↗		2 Fz	580	1500	0.387							
↘		2 Fz	580	972	0.597	531	1.092	256	38			
Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten												
niedrigere Leistung durch blockierten Abfluss												
in Richtung des stromabwärts liegenden Knotens												

Beispiel: Stadt Zürich, Einmündung Winterthurerstrasse/Riedlistrasse

Im Hauptstrassenknoten Winterthurerstrasse/Riedlistrasse gilt Rechtsvortritt. Dem öffentlichen Verkehr in der Winterthurerstrasse dient ein eigenes Trasse, die Buslinie 33 benutzt in der Riedlistrasse die Fahrstreifen des Fahrzeugverkehrs.



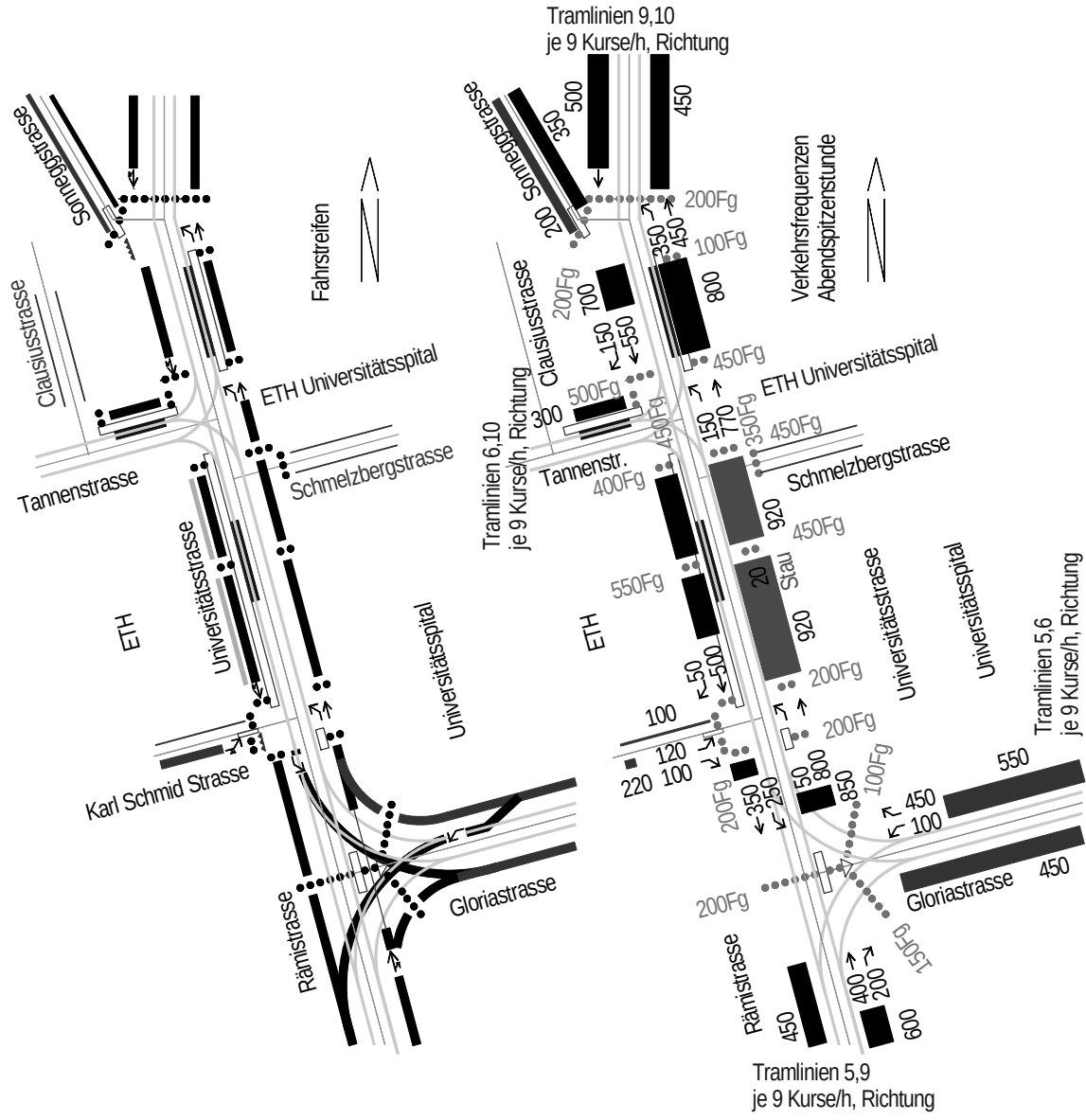
Der Fahrzeugverkehr in der Zufahrt der Winterthurerstrasse stadteinwärts (in Richtung Süd) ist in der Abendspitzenstunde ausgelastet.

Winterthurerstrasse/Riedtlistrasse heute, ungesteuert, Abendspitzenstunde										C=		1.0
Zufahrt	Teilstrom	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'		massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S/h	y	L/h	L/h		L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]
1	←	Tram Winterthurerstrasse einw.	T	18	360	0.050	360	Vortritt 1	360	0.050	1	0
2	→	Fz Winterthurerstrasse ausw. geradeaus	Fz	660	1800	0.367	1800	Vortritt 1	1800	0.367	2	1
Mischstreifen →												
1	←	Tram Winterthurerstrasse einw.	T	18	360	0.050						
5l	↗	Bus Winterthurerstrasse ausw.	B	9	600	0.015						
Bus ausw. links fährt praktisch mit Vortritt gegenüber Fz einwärts												
5l	↗		B	9	138	0.065						
5g	→	Tram Winterthurerstrasse ausw.	T	18	360	0.050						
5	↗	Mischstreifen	T,B	27	235	0.115	235	Vortritt 1	235	0.115	4	0
Teilkonflikt ↗												
1	←	Tram Winterthurerstrasse einw.	T	18	360	0.050						
5	↗	Mischstreifen	T,B	27	235	0.115						
	↗											
4	←	Fz Winterthurerstrasse einw.	Fz	680	1800	0.378						
	↗											
	↗											
6	↗	Fz Winterthurerstrasse ausw. links	T,B,Fz	320	1500	0.213	411	464	Wechsel	464	0.690	32
			Fz	320	1500	0.213	411	464	Wechsel	464	0.690	32
						0.477	411	464	Wechsel	464	0.690	32
						0.690						4
Teilkonflikt ↗												
	←											
	↗											
6	↗	Fz Winterthurerstrasse ausw. links	T,B	320	1500	0.213						
	↗											
	↗											
3l	↗	Fz Riedtlistrasse links	Fz	30	1500	0.020						
						0.393						
Mischstreifen ↗												
3r	↗	Bus Riedtlistrasse rechts	B	9	720	0.013						
3r	↗	Fz Riedtlistrasse rechts	Fz	480	1800	0.267						
						0.279						
3l	↗		Fz			0.393						
3	↗	Mischstreifen	B,Fz	489	1015	0.482	1015	1	Abbieger- Stauraum [Fz]		6	2
Teilkonflikt ↗												
3	↗	Fz Riedtlistrasse	B,Fz			0.482						
4	←	Fz Winterthurerstrasse einw.	Fz	680	1500	0.453	403	727	Wechsel	727	0.935	80
						0.935						16

Beispiel: Stadt Zürich, Rämistrasse - Universitätsstrasse

Die Rämistrasse - Universitätsstrasse, wie die einmündenden Gloriosastrasse und die Einbahnstrassen Karl Schmid Strasse/Tannenstrasse, sind Hauptstrassen im Quartierzentrum Hochschulen. Die Rämistrasse - Universitätsstrasse, Gloriosastrasse und Tannenstrasse grenzen an Tempo 30 Zonen.

Die Tramlinien 5,6,9,10 befahren ein Eigentrasse, die Linien 6,9,10 bedienen die Haltestelle ETH / Universitätsspital. An den fünf knapp benachbarten ungesteuerten Einmündungen haben Trams und Fussgänger Vortritt, für Fahrzeuge gilt Rechtsvortritt, ausgenommen die Zufahrten der Karl Schmid Strasse und Sonneggstrasse.



Fahrstreifen, Verkehrsfrequenzen und die Vortrittsverhältnisse bestimmen den Verkehrsablauf. Zeitverluste des öffentlichen Verkehrs und der Fussgänger sind vernachlässigbar klein.

Der Fahrzeugverkehr in der Universitätsstrasse stadtauswärts (in Richtung Nord) ist vor dem Übergang an den Portalen von ETH/Universitätsspital und vor dem Knoten mit der Tannenstrasse ausgelastet, mit Stau von je ca. 15Fahrzeugen und Zeitverlusten von je ca. 1 Minute. Der Stau reicht nicht in die stromaufwärts liegenden Knoten.

Rämistrasse/Gloriastrasse, Abendspitzenstunde										Universitätsstrasse/Karl Schmid Strasse, Abendspitzenstunde										Universitätsstrasse/Tannenstrasse, Abendspitzenstunde										Universitätsstrasse/Sonneggstrasse, Abendspitzenstunde																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C= 1.0					C				

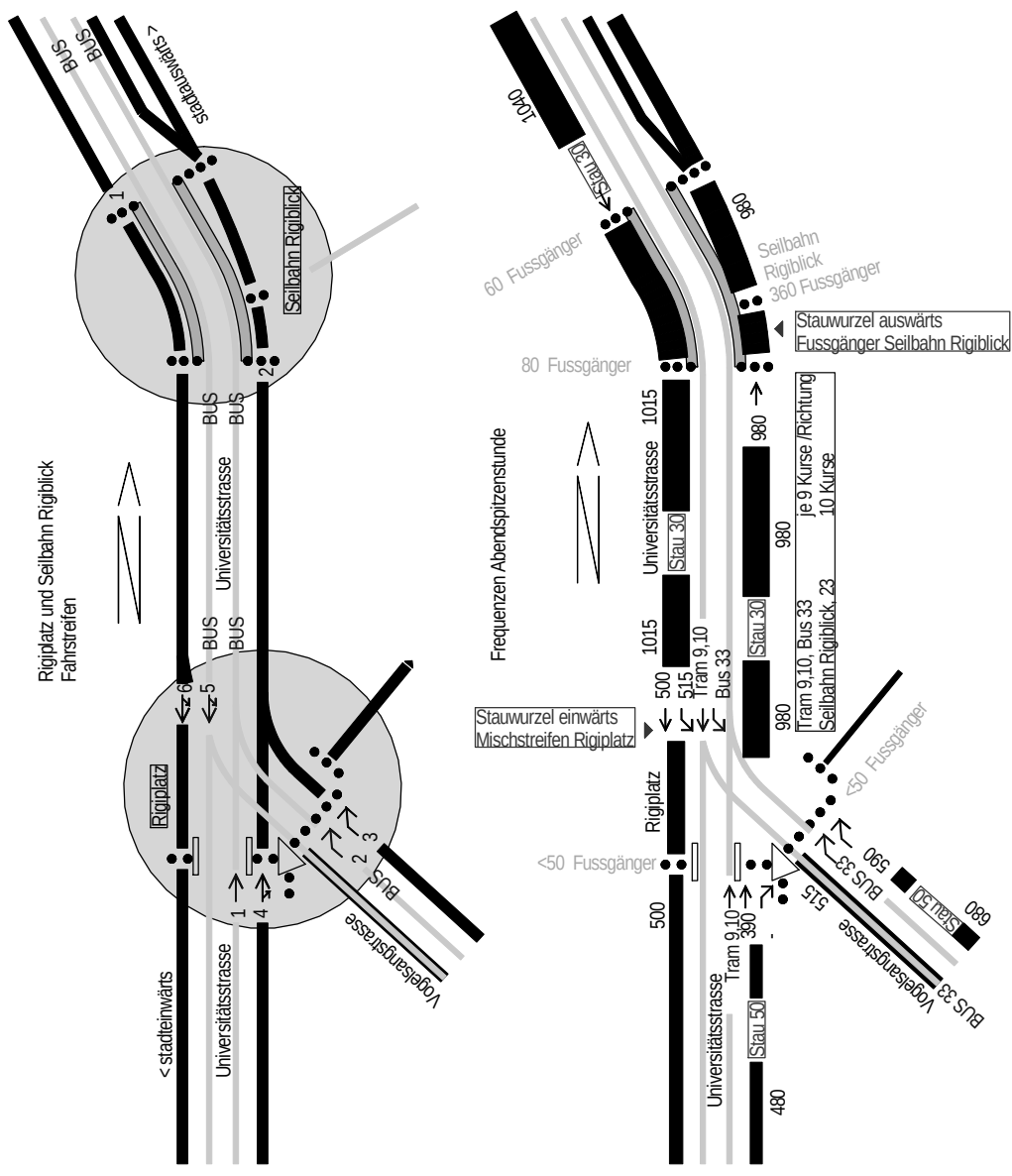
Beispiel: Stadt Zürich, Rigiplatz - Seilbahn Rigiblick

Im Quartierzentrum Rigiplatz fliessen die Hauptstrassen Universitätsstrasse und Vogelsangstrasse zusammen, es gilt Rechtsvorrang. Die Hauptstrassen grenzen an Tempo 30 Zonen. Die Tramlinien 9,10 befahren in der Universitätsstrasse ein Eigentrasse und bedienen zusammen mit der Buslinie 33 die Haltestelle Rigiblick. Die Buslinie 33 in Richtung Rigiplatz fährt auf einem eigenen Busstreifen.

In Abendspitzenstunden ist die Universitätsstrasse vor dem Rigiplatz stadtauswärts (in Richtung Nord) überstaut mit ca. 50Fz, Zeitverlusten von ca. 8 Minuten und einem Leistungsdefizit von ca. 24%, der Stau in der Vogelsangstrasse erreicht ca. 50Fz, die Zeitverluste ca. 5 Minuten und das Leistungsdefizit ca. 15%. Dazu kommt vor dem Fussgängerstreifen bei der Seilbahn Rigiblick ein Stau stadtauswärts von ca. 30Fz und Zeitverluste von ca. 2 Minuten. Die Stauwurzel stadtauswärts ist der stark frequentierte Fussgängerstreifen bei der Seilbahn Rigiblick.

Stadteinwärts (in Richtung Süd) herrschen vor dem Rigiplatz ein Stau von ca. 30Fz, Zeitverluste von ca. 3 Minuten und ein Leistungsdefizit von ca. 3%, die Stauwurzel stadteinwärts ist der Mischstreifen für Geradeausfahrer und Linksabbieger neben den Tramgleisen.

Der Fahrzeugstau am Rigiplatz verdrängt Durchgangsverkehr in benachbarten Quartierstrassen mit Tempo 30 Zonen westlich und östlich der Universitätsstrasse.



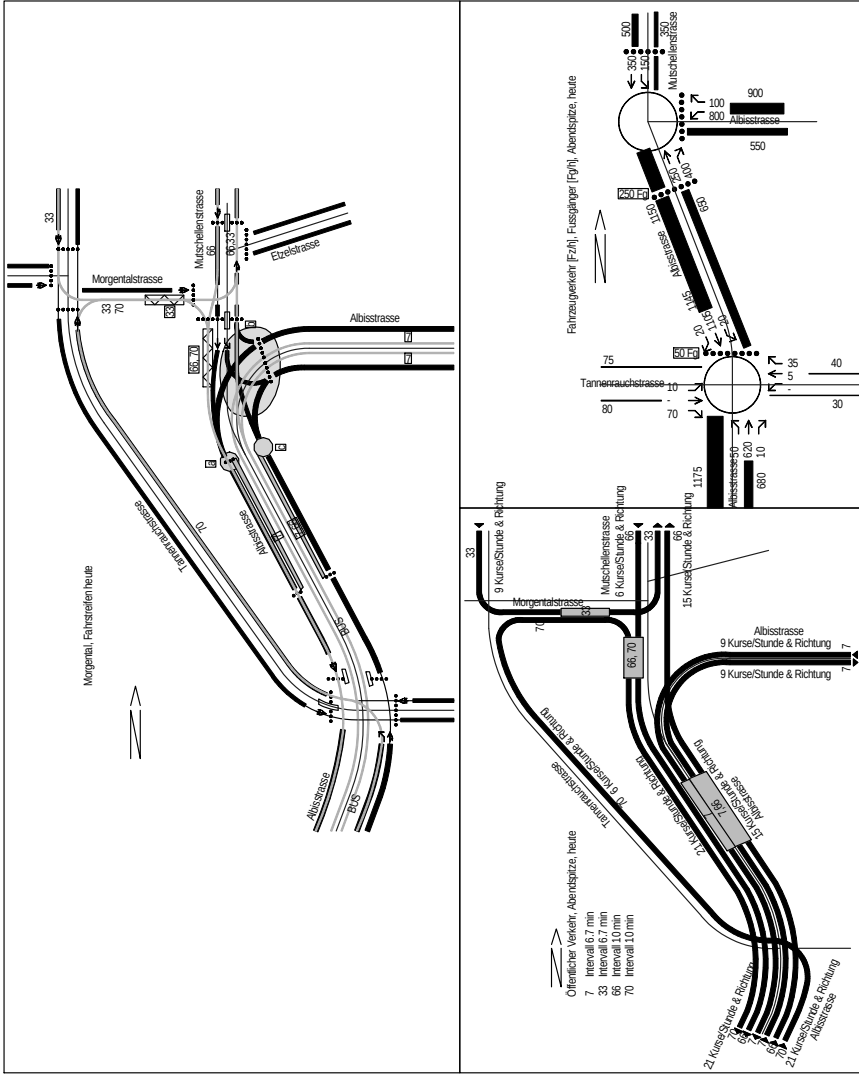
1287 | Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren

Rigipplatz ungesteuert, Abendspitzenstunde														C=				1.0							
Teilstrom		Verkehrsart		Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	massgebende Leistung		Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau	C=		1.0									
Zufahrt				Q/h	S/h	y	L/h	L/h	L/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]												
auswärts																									
2	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360	0.050	360	277	Vortritt 1	360	0.050	1	0	↗	Fg	80	2500	0.032							
																			↘	Fussgänger Haltestelle	60	2500	0.024	0.055	parallele Streifen
1	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt 1	542	0.017	0	↗	Fg	60	2500	0.024								
																		↘	Fussgänger Haltestelle	500	2614	0.191	parallele Streifen		
3	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800	0.378	1800	954	Wechsel	954	0.713	18	5	↗	Fg	360	2500							0.144	
																		↘	Fussgänger Seilbahn Rigiblick	500	2614	0.191	parallele Streifen		
5b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt gegenüber Fz auswärts	542	0.017	0	↗	Fz	1160	1500	0.773							981	981
																		4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500		
1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360	0.050	360	277	Vortritt 1	360	0.050	1	0	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600		
3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800	0.378	1800	954	Wechsel	954	0.713	18	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600		
4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500	0.320	565	655	Wechsel	655	0.732	28	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360		
2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt 1	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800		
4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt gegenüber Fz auswärts	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500		
1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360	0.050	360	277	Vortritt 1	360	0.050	1	0	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600		
3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800	0.378	1800	954	Wechsel	954	0.713	18	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600		
4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500	0.320	565	655	Wechsel	655	0.732	28	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360		
2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt 1	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800		
4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt gegenüber Fz auswärts	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500		
1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360	0.050	360	277	Vortritt 1	360	0.050	1	0	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600		
3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800	0.378	1800	954	Wechsel	954	0.713	18	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600		
4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500	0.320	565	655	Wechsel	655	0.732	28	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360		
2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt 1	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800		
4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt gegenüber Fz auswärts	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500		
1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360	0.050	360	277	Vortritt 1	360	0.050	1	0	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600		
3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800	0.378	1800	954	Wechsel	954	0.713	18	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600		
4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500	0.320	565	655	Wechsel	655	0.732	28	5	↗	Fz	980	1500							0.653	981
																		1	↗	Tram Universitätsstrasse ausw., ger.	T	18	360		
2	↗	Bus Vogelsangstrasse ausw., rechts	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt 1	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		3b	↗	Fz Vogelsangstrasse ausw., rechts	Fz	680	1800		
4b	↗	Bus Universitätsstrasse einw., links	B	9	600	0.015	542	138	Vortritt gegenüber Fz auswärts	542	0.017	0	↗	Fz	980	1500	0.653							981	981
																		4	↗	Fz Universitätsstrasse ausw., ger.	Fz	480	1500		

Beispiel: Stadt Zürich, Morgental heute

Im Quartierzentrum Morgental ist die Albisstrasse eine vortrittsberechtigige Hauptstrasse, die Tannenrauchstrasse und Mutschellenstrasse sind Sammelstrassen. Die Tramlinie 7 befährt ein Eigentrasse in der Albisstrasse, zusammen mit den Buslinien 33,66,70 bedient sie Haltestellen im Morgental mit 21 Kursen pro Stunde und Richtung.

Die Fahrzeugfrequenzen der Abendspitzenstunde in der Albisstrasse erreichen 1150 Fz/h stadtauswärts und ca. 650Fz/h stadteinwärts, über den Streifen an der Tramhaltestelle Morgental queren ca. 250Fussgänger/h die Albisstrasse. Fussgänger und das Tram 7 erleiden keine nennenswerten Zeitverluste im Morgental. Zeitverluste der Busse entstehen auf den gemeinsamen Fahrstreifen mit Fahrzeugen. Der Fahrzeugverkehr im Morgental ist etwa ausgelastet.



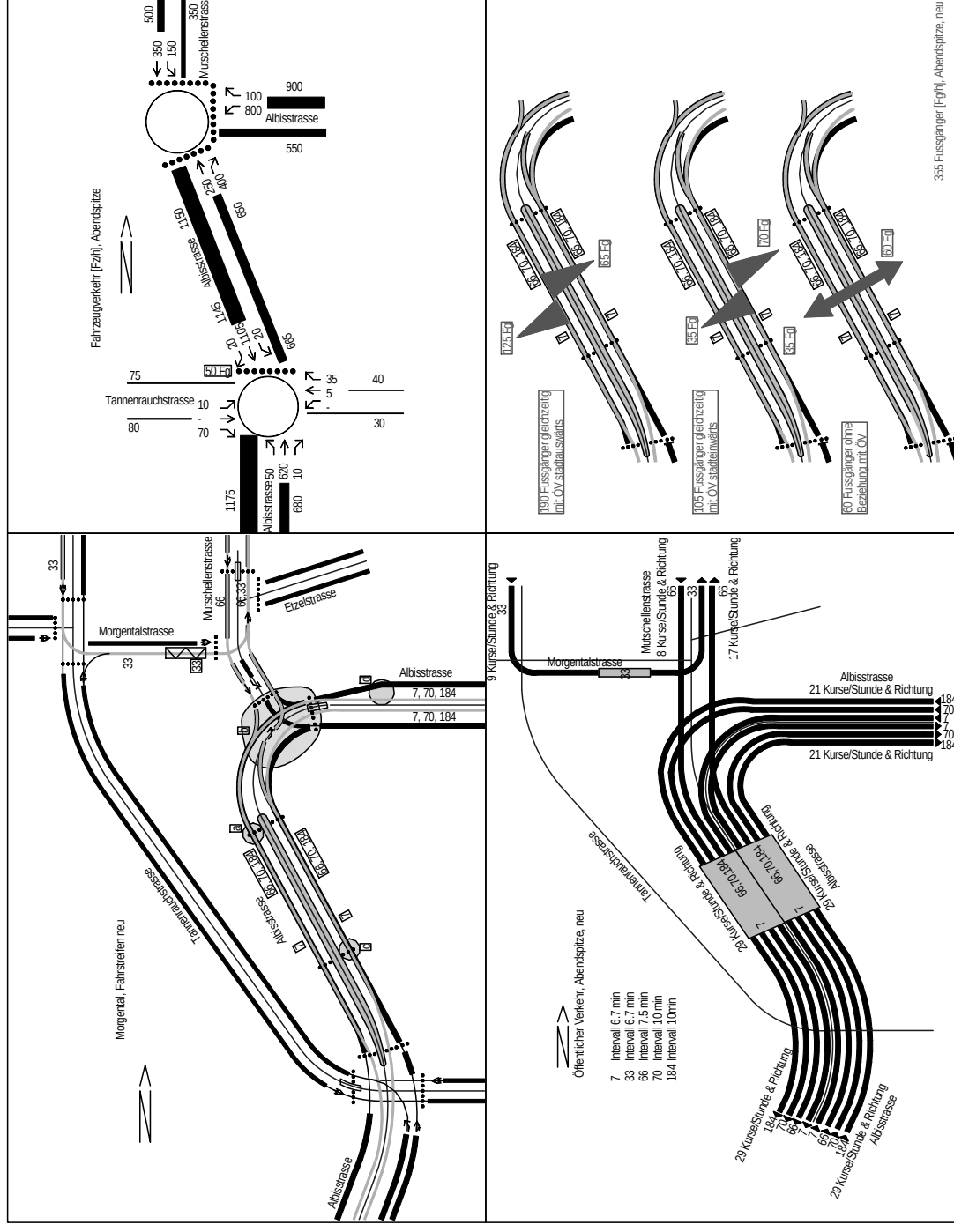
Morgental, heute, ungesteuert, Abendspitzenstunde										C:	
Verkehrsart											
Belastung											
Sättigung											
Sättigungsgrad											
Leistung L											
Leistung L'											
Auslastungsgrad											
massgebende Leistung											
durchschnittlicher Zeitverlust											
durchschnittlicher Stau											
Einzelkonflikte											
Zufahrt											
a	Fg Albisstrasse Nord	Fg	250	2500	0.100	0.100	2500	0.100	0.100	0	0
b	Fz Albisstrasse ausw.	Fz	800	1500	0.533	1215	1215	1215	0.658	11	4
c	Bus Mutschellenstrasse	Bus	12	100	0.120	13	16	Wechsel	16	0.753	454
d	Fz Mutschellenstrasse	Fz	350	1500	0.233	91	355	Wechsel	355	0.967	169
e	Bus 66 einw.	Bus	6	120	0.050	6	120	0.050	6	0.650	10
f	Fz Albisstrasse ausw.	Fz	900	1500	0.600	1354	1354	1354	0.665	10	4
g	Bus 66 einw.	Bus	6	120	0.050	6	120	0.050	6	0.650	10
h	Tram 7 ausw.	T	9	120	0.075	12	16	Wechsel	16	0.753	454
i	Tram 7 einw.	T	9	120	0.075	12	16	Wechsel	16	0.753	454
j	Mischstreifen	T,B	15	103	0.146	103	103	103	0.146	11	0
k	Fz Albisstrasse ausw.	Fz	250	1500	0.167	250	250	250	0.167	11	0
l	Fz Albisstrasse einw.	Fz	250	1500	0.167	250	250	250	0.167	11	0
m	Fz Albisstrasse einw.	Fz	400	1800	0.222	400	400	400	0.222	11	0
n	Mischstreifen	Fz	650	730	0.891	730	730	730	0.891	60	12
o	Mischstreifen	Fz	150	1500	0.100	150	150	150	0.100	140	14
p	Fz Mutschellenstrassen	Fz	150	1500	0.100	150	150	150	0.100	140	14
q	Fg Albisstrasse Süd	Fg	250	2500	0.100	2500	2500	2500	0.100	0	0
r	Fz Albisstrasse einw.	Fz	650	1500	0.433	1215	1215	1215	0.535	7	2

Beispiel: Stadt Zürich, Morgental neu

Öffentlicher und Fahrzeugverkehr in der Albisstrasse sollen neu gemeinsame Fahrstreifen benutzen, dazwischen ist eine breite Mittelinsel geplant. Das Tram 7 und die Buslinien 66, 70, 184 sollen mit 29 Kursen pro Stunde auf den Mischstreifen separate Haltestellen mit unterschiedlich hohen Haltekanten bedienen. Der Fahrzeugverkehr der Abendspitze entspricht dem heutigen. An der neuen Haltestelle Morgental steigen die Fussgänger- Frequenzen von heute 250 Fg/h auf etwa 355 Fg/h an, aber nur etwa 160 Fg/h queren die Mischstreifen, denn der grössere Teil sind Trampassagiere, die von den anliegenden Trottoirs ein und aussteigen.

Fussgänger erleiden im Morgental keine nennenswerten Zeitverluste. Die Zeitverluste des öffentlichen Verkehrs sind gross, sie entstehen im Fahrzeugstau auf den Mischstreifen.

Der Fahrzeugverkehr in der Albisstrasse in der Abendspitze ist stadtaus- und stadteinwärts überlastet. Stau breitet sich von einem in den nächsten Teilknoten aus. Das Leistungsdefizit auswärts liegt bei 50%, die Zeitverluste liegen bei 15 Minuten, der Stau bei 150 Fahrzeugen. Stadteinwärts erreicht das Leistungsdefizit ca. 15%, die Zeitverluste ca. 5 Minuten und der Stau ca. 55 Fahrzeuge.



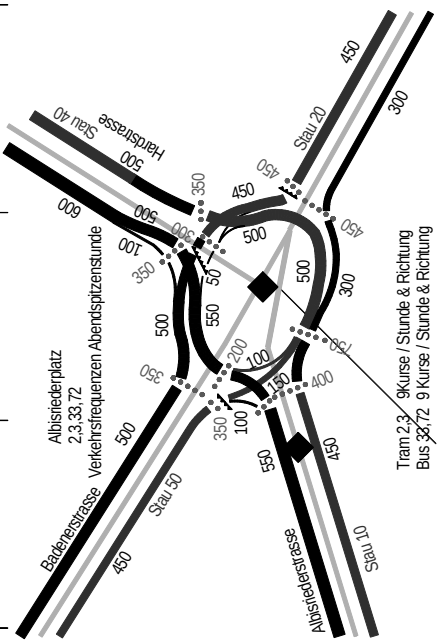
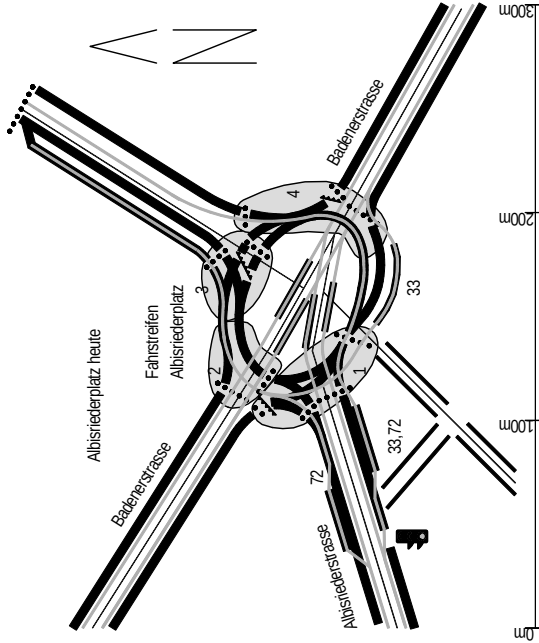
ungesteuerter Knoten Morgental, neu, Abendspitze												C:	1.0
Einzelkonflikte	Zufahrt	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau		
			Q/h	S/h	y	L/h	L'/h	L/h	x	[s]	[Fz]		
a													
↔	Tram 7 ausw.	T	9	180	0.050	Einfluss der Haltestelle							
	Bus 66, 70,184 ausw.	B	20	150	0.133	Einfluss der Haltestelle							
						0.183							
	Fz Albsterrasse ausw.	Fz	1150	1800	0.639								
	Mischstreifen		1179	1434	0.822								
↔	Fg Albsterrasse Nord	Fg	160	2500	0.064	2500				0	0		
	Mischstreifen		1179	1434	0.822	1256				56	20		
Konflikt												0.886	
b													
↔	Tram 7 ausw.	T	9	180	0.050	Einfluss der Haltestelle							
	Bus 70,184 ausw.	B	12	150	0.080	Einfluss der Haltestelle							
			21	162	0.130								
	Fz Albsterrasse ausw.	Fz	900	1800	0.500								
	Mischstreifen		921	1462	0.630								
↔	Bus 66 ausw.	B	8	150	0.053	Einfluss der Haltestelle							
	Fz Mutschellenstrasseausw.	Fz	350	1800	0.194								
	Mischstreifen		358	1445	0.248								
	Mischstreifen		921	1462	0.630	1462	1049	Wechsel	1049	0.878	41		
	Mischstreifen		921	1462	0.630	1462	1049	Wechsel	1049	0.878	41		
↔	Fz Mutschellenstrasse	Fz	358	1445	0.248	198	408	Wechsel	408	0.878	86		
						1049	408	Wechsel	408	0.878	86		
Konflikt												0.878	
↔	Bus 66 einw.	Fz	8	180	0.044	Einfluss der Haltestelle							
	Fz Mutschellenstrasse einw.	Fz	250	1800	0.139								
	Mischstreifen		258	1407	0.183								
	Mischstreifen		921	1462	0.630	1462	1132	Wechsel	1132	0.813	25		
	Mischstreifen		921	1462	0.630	1462	1132	Wechsel	1132	0.813	25		
↔	Bus 70,184 einw.	B, Fz	258	1407	0.183	193	317	Wechsel	317	0.813	76		
						317	317	Wechsel	317	0.813	76		
Konflikt												0.813	
↔	Tram 7 ausw.	T	1179	1450	0.813	Einfluss der Haltestelle							
	Bus 70,184 einw.	T	21	180	0.117	Einfluss der Haltestelle							
	Fz Albsterrasse einw.	Fz	400	1800	0.222								
			421	1345	0.313	parallele Fahrstreifen							
						1.126	parallele Fahrstreifen						
↔	Bus 66 einw.		1600	1421	1.126	1421	1305	Wechsel					
	Fz Mutschellenstrasse	Fz	150	1500	0.100	24	122	Wechsel	122	1.226	575		
Konflikt												1.226	
d													
↔	Tram 7 ausw.	T	9	360	0.025								
	Bus 70,184 ausw.	B	12	720	0.017								
	Mischstreifen		21	504	0.042								
e													
↔	Fz Albsterrasse ausw.	Fz	21	504	0.042	504							
			900	1500	0.600	1378							
Konflikt												0.642	
c													
↔	Tram 7 einw.	T	9	180	0.050	Einfluss der Haltestelle							
	Bus 66, 70,184 einw.	B	20	150	0.133	Einfluss der Haltestelle							
						0.183							
	Fz Albsterrasse einw.	Fz	650	1800	0.361								
	Mischstreifen		679	1247	0.544								
↔	Fg Albsterrasse Süd	Fg	160	2500	0.064	2500				0	0		
	Mischstreifen		679	1247	0.544	1093				11	3		
Konflikt												0.608	

Beispiel: Stadt Zürich, Albisriederplatz heute und neu

Heute wird der Verkehr am Albisriederplatz auf einem einstreifigen Oval rund um Tramhaltestellen geführt, im nördlichen und südlichen Segment ist das Oval zweistreifig. Vortritt gegenüber dem Oval haben die Zufahrten Hardstrasse und Albisriederstrasse, die querenden Tramlinien 2,3 und drei querende Fussgängerstreifen.

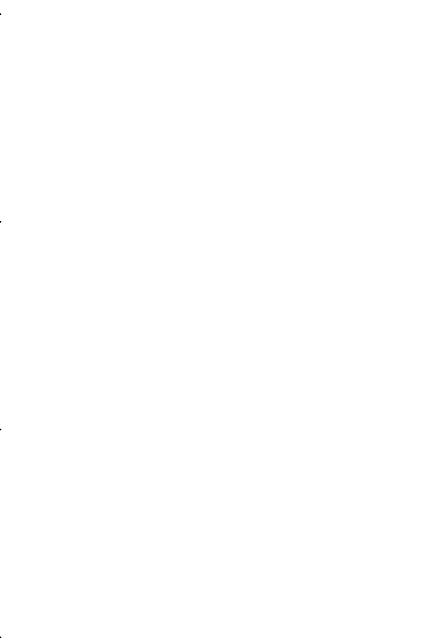
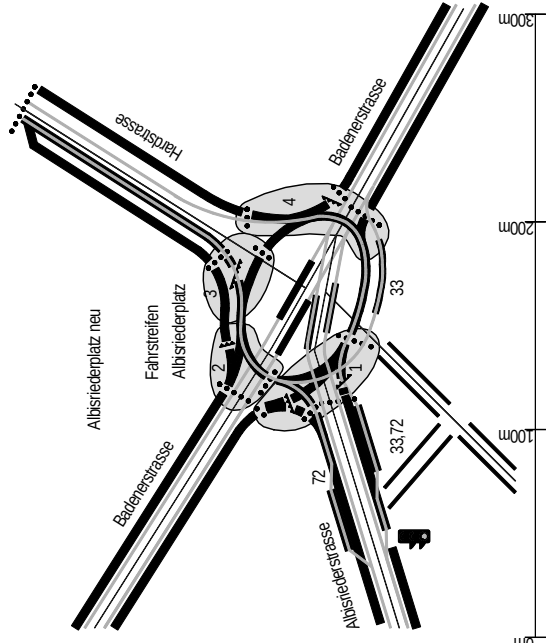
Zeitverluste der Tramlinien und der starken Fussgängerströme sind vernachlässigbar.

Kritisch ist der Konflikt (Überlastung 34%) zwischen dem Fussgängerstreifen (750Fg) und dem Zusammenfluss von Oval, Albisriederstrasse und Badenerstrasse West. Fahrzeugstau entsteht im Oval, in den Zufahrten der Badenerstrasse West (50Fz), Albisriederstrasse (10Fz), Badenerstrasse Ost (20Fz), und im Abfluss in die Hardstrasse. Die Buslinien 33,72 erleiden Zeitverluste zusammen mit dem Fahrzeugverkehr in der Zufahrt der Albisriederstrasse und im Oval.



Neu soll der Verkehr am Albisriederplatz auf einem einstreifigen Oval vortritt-berechtigt gegenüber den Zufahrten, aber vortrittsbelastet gegenüber den querenden Tramlinien 2,3 und drei querenden Fussgängerstreifen geführt werden. Ein Bypass soll von der Hardstrasse zur westlichen Badenerstrasse führen.

Die Zeitverluste der Tramlinien und der starken Fussgängerströme werden vernachlässigbar sein. Wie heute wird der kritische Konflikt im südwestlichen Segment des Ovals liegen (Überlastung 34%). Mit dem Vortritt des Ovals wird dort neuer Stau in der Badenerstrasse West auf 25Fz sinken und in der Albisriederstrasse auf 60Fz steigen. Damit werden die Buslinien 33,72 in der Zufahrt Albisriederstrasse zusammen mit dem Fahrzeugverkehr grössere Zeitverluste als heute erleiden.

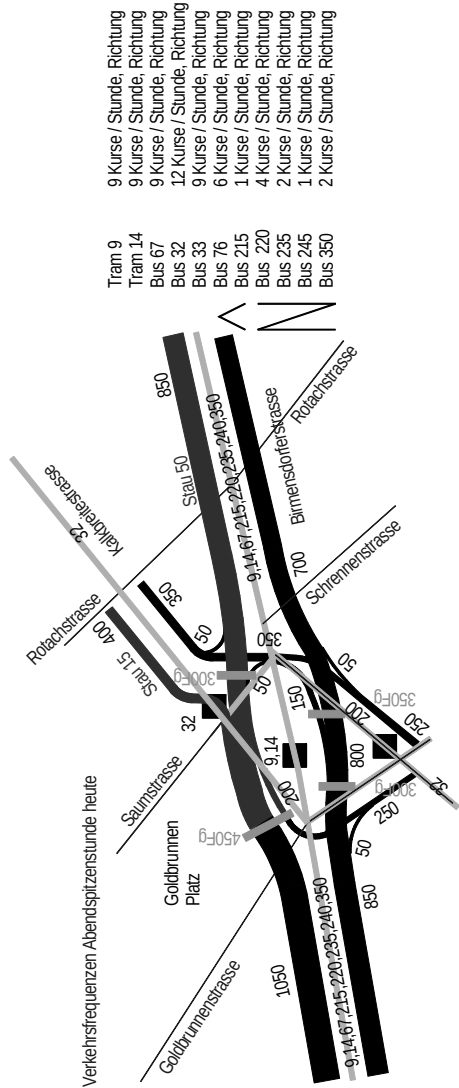
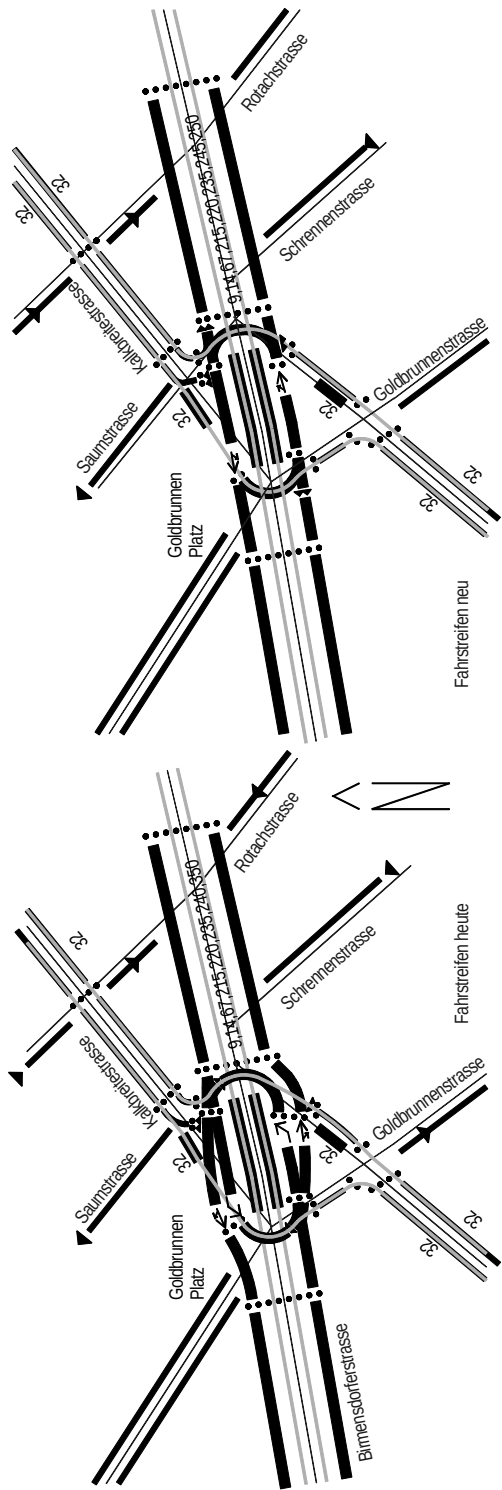


Albriederplatz heute													C=		1	
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L*	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau					
			Q/h	S/h	y	L/h	L/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]					
Teilkonflikt 1																
↕	1	1 Fg	750	2500	0.300			2500	0.300	1	1					
↕	1	1 Fg	400	2500	0.160			2500	0.160	1	0					
												parallele Fahrstreifen				
↗	2	2 Fz	450	1500	0.300	519		519	0.868	68	10					
												0.712				
Teilkonflikt 2																
↘	1	1 T	9	120	0.075	1 Haltestelle										
↗	1	1 T	9	120	0.075	1 Haltestelle										
												0.144				
↘	3	3 Fz	100	1500	0.067	91	121.9				5					
												0.820				
Teilkonflikt 3																
↕	1	1 Fg	350	2500	0.140			2500	0.140							
↕	2	2 Fz	500	1500	0.333	1109		1109								
												0.473				
↕	1	1 Fg	350	2500	0.140			2500	0.140							
↘	2	2 Fz	100	1500	0.067	1109		1109								
												0.207				
												parallele Fahrstreifen				
↕	1	1 Fg	300	2500	0.120			2500	0.120							
												0.632				
↘	3	3 Fz	400	1500	0.267	203	445									
												Stau reicht in stromaufwärts liegenden Knoten				
												0.899				
												0.473				
↕	1	1 Fg	300	2500	0.120			2500	0.120							
												0.485				
↘	3	3 Fz	50	1500	0.033	397	96									
												0.519				
Teilkonflikt 4																
↕	1	1 Fg	350	2500	0.140			2500	0.140							
Teilkonflikt 5																
↘	1	1 T	18	190	0.095	2 Haltestellen		190	0.095	4	0					
↗	1	1 T	18	190	0.095	2 Haltestellen		190	0.095	4	0					
												parallele Fahrstreifen				
												0.180				
												0.295				
												Abfluss blockiert				
↗	2	2 Fz	500	1500	0.333			534	0.936	99	15					
												Stau reicht in stromaufwärts liegenden Knoten				
												0.629				
												0.629				
↕	1	1 Fg	450	2500	0.180			2500	0.180							
												0.809				
												0.163				
												Abfluss offen				
↘	2	2 Fz	450	1500	0.300			487	0.924	98	13					
												0.250				
												1.109				
Teilkonflikt 6																
↕	1	1 Fg	450	2500	0.180			2500	0.180							
↗	3	3 Fz	300	1500	0.200	1009		1009	0.297	3	1					
												Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten				
												Stau reicht in stromaufwärts liegenden Knoten				
												Leistungs- Änderung durch blockierten bzw. offenen Abfluss				

Beispiel: Stadt Zürich, Goldbrunnenplatz heute und neu

Heute hat der ungesteuerte Goldbrunnenplatz zwar die Form eines Kreiseisels rund um Tramhaltestellen, aber die Birmensdorferstrasse hat Vortritt. Vortritt gegenüber der Kreiselfahrbahn haben auch die Tram- und Buslinien in der Birmensdorferstrasse auf dem Eigenraster und vier Fussgängerübergänge, zwei davon queren zwei Fahrstreifen. Fussgängerstreifen queren auch alle vier Kreiselarme.

Neu soll der Fahrzeugverkehr am Goldbrunnenplatz auf einem einstreifigen Oval vortrittsberechtigt gegenüber den Zufahrten, aber vortrittsbelastet gegenüber den Tramlinien und vier querenden Fussgängerstreifen fahren. Alle Fussgängerstreifen sollen nur je einen Fahrstreifen queren - ein potentieller Sicherheitsgewinn für Fussgänger.



1287 | Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren

Heute erleidet am Goldbrunnenplatz die Buslinie 32 auf gemeinsamen Fahrstreifen mit dem Fahrzeugverkehr gemeinsame Zeitverluste, Zeitverluste der Fussgänger an den ungesteuerten Übergängen sind vernachlässigbar.

Die Zufahrt der Birnensdorferstrasse stadtauswärts (in Richtung West) ist in der Abendspitze um ca. 3% überlastet, mit einem Fahrzeugstau von ca. 30Fahrzeugen und Zeitverlusten von ca. 2½Minuten.

Goldbrunnenplatz heute												C=													
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	Leistung L	Leistung L'	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau	C=											
			Q/h	S/h	y	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]												
Birnensdorferstrasse stadtauswärts																									
↓	1	Fg	450	2500	0.180					2500	0.180	1	0												
←	2	Fz	1032	1500	0.688																				
←	1	T. B	52	180	0.289					180	0.289	16	1												
→	1	T. B	52	180	0.289					180	0.289	16	1												
					0.494																				
↓	2	Fz	200	1500	0.133																				
					0.628																				
←	6	Abbieger- Stauraum n[Fz]			0.880																				
←	6	Abbieger- Stauraum n[Fz]			0.880																				
↓	1250	1402	0.891	Mischstreifen Kreisell						1402	0.891	35	14												
↓	1	Fg	300	2500	0.120																				
←	2	Fz	850	1500	0.567					1162		5													
					0.687																				
↓	2	Fz	400	1500	0.267					420	0.953	128	15												
					0.953					1581															
↓	3	Fz	350	1500	0.233					380	0.920	113	12												
					0.687																				
					0.920																				
Birnensdorferstrasse stadteinwärts																									
↓	1	Fg	350	2500	0.140																				
→	2	Fz	650	1500	0.433																				
					0.573																				
←	1	T. B	52	180	0.289					180	0.289	16	1												
→	1	T. B	52	180	0.289					180	0.289	16	1												
					0.494																				
↓	2	Fz	150	1500	0.100																				
					0.594																				
					0.573																				
→	2	Fz	800	1220	0.656					1220	0.656	11	4												
→	3	Fz	250	1500	0.167					304	0.823	82	7												
					0.823																				
↓	1	Fg	300	2500	0.120																				
→	2	Fz	850	1500	0.567					1162		5													
					0.687																				
↓	3	Fz	200	1500	0.133					147.3	1.358	754	31												
					0.687																				
					0.820																				
Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten																									
Stau reicht in stromaufwärts liegenden Knoten																									
Leistungs- Änderung durch blockierten bzw. offenen Abfluss																									

Neu würde am Goldbrunnenplatz das einstreifige Oval ohne Abbiegestreifen und mit Vortritt den Stau in der Birmensdorferstrasse und in der Kalkbreitestrasse stadtauswärts auf je ca. 40Fahrzeuge in der Abendspitze verlängern, bei Zeitverlusten von ca. 3½ bzw. 6Minuten.

Goldbrunnenplatz neu												C=												1											
Zufahrt		Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	Auslastungsgrad		durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau																							
Q/h	S/h	y	L/h	L/h	x=Q/L	s	Fz																												
Birmensdorferstrasse stadtauswärts																																			
↕	1 Fg	450	2500	0.180	1	0																													
↕	2 Fz	1050	1500	0.700																															
				0.880																															
↕	1 T, B	52	180	0.289	16	1																													
↕	1 T, B	52	180	0.289	16	1																													
				0.494																															
↕	2 Fz	200	1500	0.133																															
				0.628																															
↕				0.880																															
↕																																			
↕																																			
↕	3 Fz	350	1500	0.233	1500																														
↕	1 Fg	300	2500	0.120	2500																														
				0.325	parallele Fahrstreifen																														
↕	2 Fz	850	1500	0.567	682.8	952.9																													
				0.892																															
↕	2 Fz	400	1500	0.267	17	345.2																													
				1.159																															
Birmensdorferstrasse stadteinwärts																																			
↕	1 Fg	350	2500	0.140																															
↕	2 Fz	650	1500	0.433																															
				0.573																															
↕	1 T, B	52	180	0.289	16	1																													
↕	1 T, B	52	180	0.289	16	1																													
				0.494																															
↕	2 Fz	150	1500	0.100																															
				0.594																															
↕				0.573																															
↕	2 Fz	800	969	0.826	Mischstreifen Kreisell																														
				0.826																															
↕	3 Fz	250	1500	0.167	46	252																													
				0.992																															
↕	3 Fz	200	1500	0.133	1500																														
↕	1 Fg	300	2500	0.120	2500																														
				0.237	parallele Fahrstreifen																														
↕	2 Fz	850	1500	0.567	872.5	1057																													
				0.804																															
Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten																																			
Stau reicht in stromaufwärts liegenden Knoten																																			

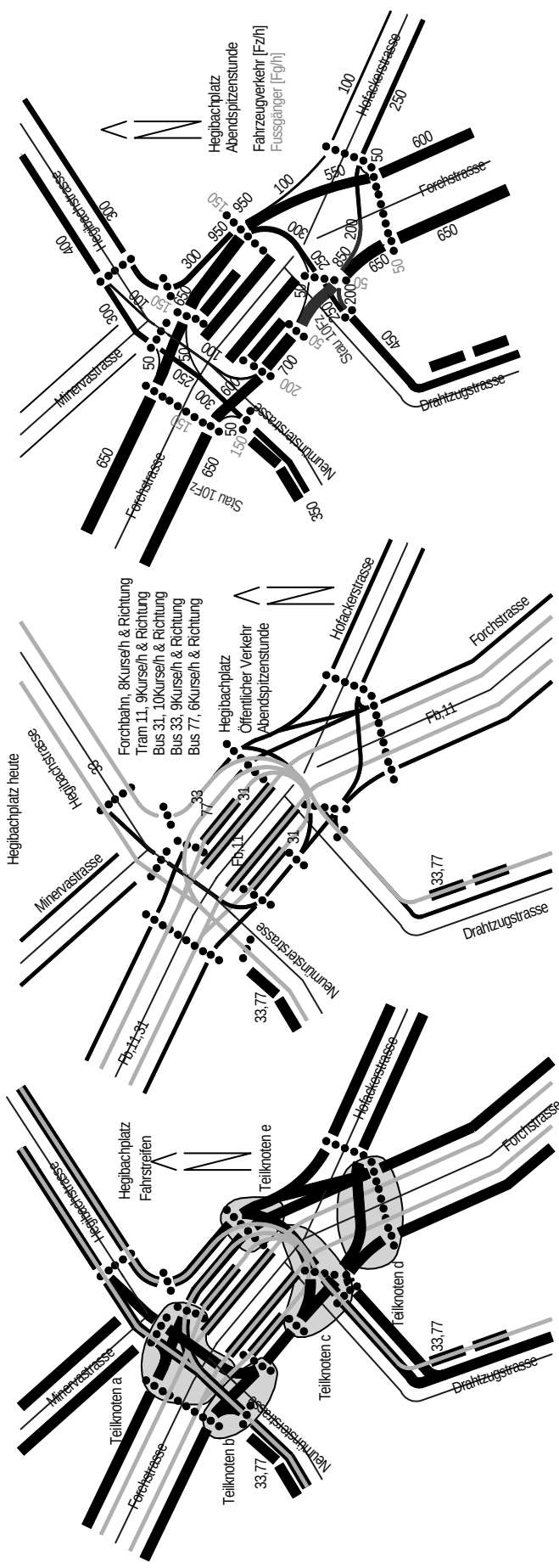
Goldbrunnenplatz neu												C=												1											
Zufahrt		Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	Auslastungsgrad		durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau																							
Q/h	S/h	y	L/h	L/h	x=Q/L	s	Fz																												
Birmensdorferstrasse stadtauswärts																																			
↕	1 Fg	450	2500	0.180	1	0																													
↕	2 Fz	951	1500	0.634																															
				0.814																															
↕	1 T, B	52	180	0.289	zwei Haltestellen	1																													
↕	1 T, B	52	180	0.289	zwei Haltestellen	1																													
				0.494	parallele Fahrstreifen																														
↕	2 Fz	181	1500	0.121																															
				0.615																															
↕				0.814																															
↕																																			
↕																																			
↕	3 Fz	350	1500	0.233	1500																														
↕	1 Fg	300	2500	0.120	2500																														
				0.325	parallele Fahrstreifen																														
↕	2 Fz	850	1500	0.567	0.120	Abfluss blockiert																													
				0.892																															
↕	2 Fz	400	1500	0.267	0.000	Abfluss blockiert																													
				1.159																															
Birmensdorferstrasse stadteinwärts																																			
↕	1 Fg	350	2500	0.140																															
↕	2 Fz	650	1500	0.433																															
				0.573																															
↕	1 T, B	52	180	0.289	zwei Haltestellen	1																													
↕	1 T, B	52	180	0.289	zwei Haltestellen	1																													
				0.494	parallele Fahrstreifen																														
↕	2 Fz	150	1500	0.100																															
				0.594																															
↕				0.573																															
↕	2 Fz	800	969	0.826	Mischstreifen Kreisell																														
				0.826																															
↕	3 Fz	250	1500	0.167	46	252																													
				0.992																															
↕	3 Fz	200	1500	0.133	1500																														
↕	1 Fg	300	2500	0.120	2500																														
				0.237	parallele Fahrstreifen																														
↕	2 Fz	850	1500	0.567	0.000	Abfluss blockiert																													
				0.804																															
Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten																																			
Stau reicht in stromaufwärts liegenden Knoten																																			

Beispiel: Stadt Zürich, Hegibachplatz vorher

Der Hegibachplatz hatte grundsätzlich die Form eines Verkehrskreisels; die Linien S18, 11, 31 (auf eigenem Trasse) und 5 Fussgängerstreifen querten allerdings die Kreiselfahrbahn mit Vortritt, und die Hofackerstrasse war vortrittsbelastet gegenüber der Forchstrasse.

Innerhalb des Kreisels lagen die Haltestellen der Linien S18, 11, 31; die Inseln waren für die Züge der Forchbahn zu kurz. In der Neumünsterstrasse und Drahtzugstrasse waren die Haltestellen der Linien 33,77 markiert. Die Buslinien 31,77 wendeten am Hegibachplatz über die Kreiselfahrbahn, die Buslinie 33 fuhr auf der Achse Hegibachstrasse - Neumünsterstrasse/Drahtzugstrasse zusammen mit dem Fahrzeugverkehr über den Kreisel.

Die Zufahrten der Hegibachstrasse und Drahtzugstrasse zum Hegibachplatz waren zweistreifig, jene der Forchstrasse und Hofackerstrasse einstreifig. Die Kreiselfahrbahn war im Nordteil zweistreifig, im Südteil einstreifig. Die Fussgängerstreifen über zwei Fahrstreifen galten als Unfallrisiko.



Der Verkehrsablauf am Hegibachplatz vorher in einer Abendspitzenstunde:

Fussgänger hatten Vortritt gegenüber Fahrzeugverkehr und Bussen und ihre Zeitverluste waren vernachlässigbar klein.

Die durchschnittlichen Zeitverluste der Linien S18, 11 und 31 auf dem Eigentrasse waren niedrig.

Aus Sicht des Fahrzeugverkehrs waren stadtauswärts die Zufahrten der Forchstrasse am Hegibachplatz zu ca. 85% ausgelastet mit Fahrzeugstau von je ca. 10 Fahrzeugen. Die Summe des durchschnittlichen Fahrzeugstaus am Hegibachplatz erreichte ca. 43 Fahrzeuge.

Die durchschnittlichen Zeitverluste der drei Buslinien 31,33,77 erreichten je ca. 45 Sekunden.

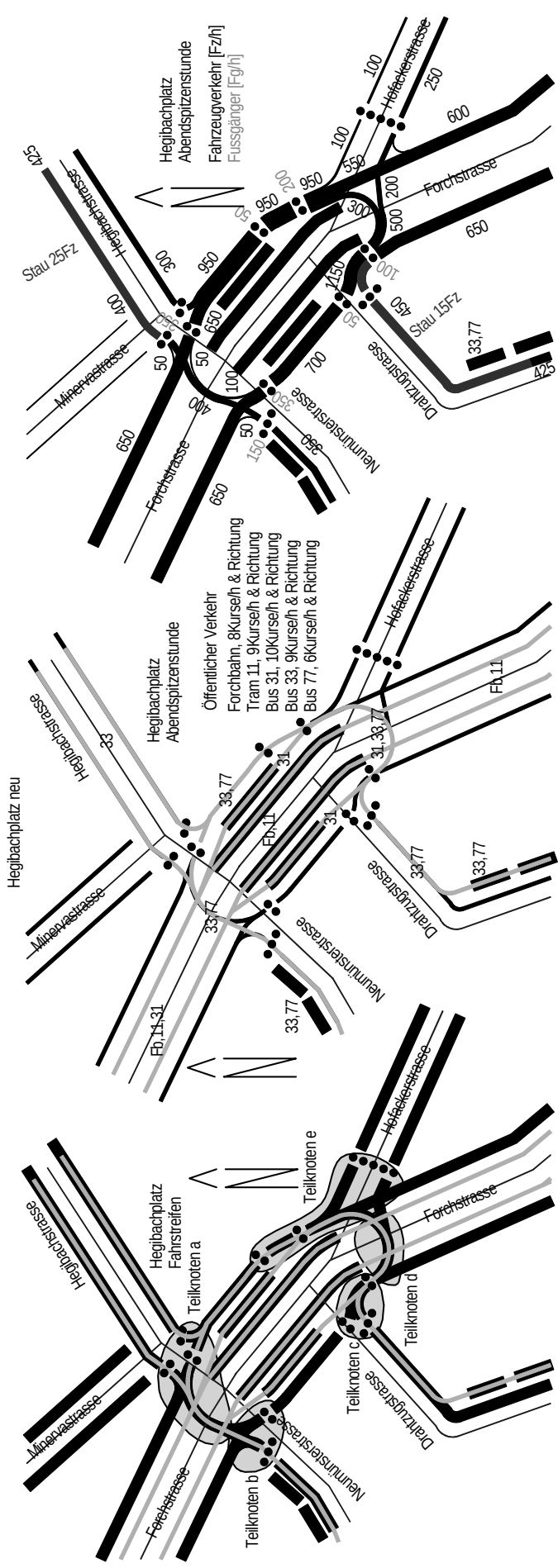
Hegibachplatz heute															C=		1														
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau	Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau								
Teilkonflikt a: Fb.11, 31 Forchstrasse West/Kreisel/Hegibachstrasse																															
↻	1 Fg	150	2500	0.060	0.142	190	0.060	0.060	0.060	0	0	↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0	0							
↻	1 Fg	150	2500	0.060	0.142	190	0.060	0.060	0.060	0	0	↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0	0							
↻	1 Fg	150	2500	0.116	0.116	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	600	1500	0.400	0.516	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	600	1500	0.400	0.516	zwei Haltestellen						↻	1 T, B	27	190	0.142	0.142	zwei Haltestellen													
↻	1 T, B	27	190	0.142	0.142	zwei Haltestellen						↻	1 T, B	27	190	0.142	0.142	zwei Haltestellen													
↻	2 Fz	50	1500	0.264	0.264	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.264	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.033	1/Abbieger- Stauraum n[Fz]						↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.033	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1256	0.517	0.517	Mischstreifen Kreisel						↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.317	2/Abbieger- Stauraum n[Fz]													
↻	2 Fz	650	1256	0.517	0.517	Mischstreifen Kreisel						↻	2 Fz	700	1355	0.516	0.473	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	300	1500	0.200	0.200	418	0.200	0.200	0.200	39	5	↻	2 Fz	50	1500	0.020	0.516	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	300	1500	0.200	0.200	418	0.200	0.200	0.200	39	5	↻	2 Fz	50	1500	0.020	0.516	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	100	1500	0.067	0.067	349	0.067	0.067	0.067	8	1	↻	3 Fz	200	1500	0.133	0.650	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	100	1500	0.067	0.067	349	0.067	0.067	0.067	8	1	↻	3 Fz	200	1500	0.133	0.650	Mischstreifen Kreisel													
Teilkonflikt b: Kreisel/Forchstrasse West																															
↻	1 Fg	150	2500	0.060	0.226	1325	0.226	0.226	0.226	2	1	↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.650	Mischstreifen Kreisel													
↻	2 Fz	300	1500	0.200	0.200	1325	0.226	0.226	0.226	2	1	↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.650	Mischstreifen Kreisel													
↻	1 Fg	200	2500	0.080	0.260	1270	0.079	0.079	0.260	0	0	↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.683	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	100	1500	0.067	0.067	1270	0.079	0.067	0.067	0	0	↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.683	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	100	1500	0.147	0.147	Kreisel, parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	600	1500	0.400	0.453	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	100	1500	0.369	0.369	Kreisel, parallelle Fahrstreifen						↻	3 Fz	200	1500	0.133	0.516	Mischstreifen Kreisel													
↻	1 Fg	150	2500	0.060	0.493	190	0.060	0.060	0.493	6	0	↻	1 T, B	27	190	0.142	0.533	Mischstreifen Kreisel													
↻	5 Fz	650	1500	0.433	0.433	190	0.060	0.060	0.433	6	0	↻	1 T, B	27	190	0.142	0.533	Mischstreifen Kreisel													
↻	5 Fz	650	1500	0.493	0.493	190	0.060	0.060	0.493	6	0	↻	1 T, B	27	190	0.142	0.533	Mischstreifen Kreisel													
↻	5 Fz	650	1500	0.369	0.369	Kreisel, parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1434	0.453	0.797	2/Abbieger- Stauraum n[Fz]													
↻	5 Fz	650	1500	0.493	0.493	Kreisel, parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1434	0.453	0.797	2/Abbieger- Stauraum n[Fz]													
↻	5 Fz	650	1500	0.369	0.369	Kreisel, parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1434	0.453	0.797	2/Abbieger- Stauraum n[Fz]													
↻	5 Fz	650	1500	0.493	0.493	Kreisel, parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1434	0.453	0.797	2/Abbieger- Stauraum n[Fz]													
Teilkonflikt c: Fb.11 Forchstrasse Ost/Kreisel/Drahtzugstrasse																															
↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	0.020	0	0	↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0	0							
↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	0.020	0	0	↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0	0							
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	1 T, B	27	190	0.142	0.142	zwei Haltestellen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	1 T, B	27	190	0.142	0.142	zwei Haltestellen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	50	1500	0.264	0.264	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.264	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.033	1/Abbieger- Stauraum n[Fz]						↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.264	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1256	0.517	0.517	Mischstreifen Kreisel						↻	2 Fz	650	1256	0.517	0.516	Mischstreifen Kreisel													
↻	2 Fz	650	1256	0.517	0.517	Mischstreifen Kreisel						↻	2 Fz	650	1256	0.517	0.516	Mischstreifen Kreisel													
↻	3 Fz	300	1500	0.200	0.200	418	0.200	0.200	0.200	39	5	↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.264	parallelle Fahrstreifen													
↻	3 Fz	300	1500	0.200	0.200	418	0.200	0.200	0.200	39	5	↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.264	parallelle Fahrstreifen													
↻	3 Fz	100	1500	0.067	0.067	349	0.067	0.067	0.067	8	1	↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.264	parallelle Fahrstreifen													
↻	3 Fz	100	1500	0.067	0.067	349	0.067	0.067	0.067	8	1	↻	2 Fz	50	1500	0.033	0.264	parallelle Fahrstreifen													
Teilkonflikt d: Knoten Forchstrasse/Hofackerstrasse																															
↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	0.020	0	0	↻	1 Fg	50	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0.020	2500	0.020	0	0							
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													
↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen						↻	2 Fz	650	1500	0.433	0.433	parallelle Fahrstreifen													

Beispiel: Stadt Zürich, Hegibachplatz neu

Der Hegibachplatz wurde konsequenter zu einem Verkehrskreislauf umgestaltet. Die Linien S18, 11 und 31 (auf eigenem Trasse) und 6 Fussgängerstreifen quer weiterhin die Kreiselfahrbahn mit Vortritt, aber der Knoten Forchstrasse/Hofackerstrasse ist neu in den Kreislauf integriert.

Alle Haltestellen der Linien S18, 11, 31 innerhalb des Kreisel sind ausreichend lang, in der Neumünsterstrasse und Drahtzugstrasse sind die Haltestellen der Linien 33,77 in der alten Lage. Wie vorher wenden die Buslinien 31 und 77 am Hegibachplatz über die Kreiselfahrbahn, die Buslinie 33 auf der Achse Hegibachstrasse - Neumünsterstrasse/Drahtzugstrasse zusammen mit dem Fahrzeugverkehr fährt über den Kreislauf.

Alle Zufahrten zum Kreislauf und die Kreiselfahrbahn sind einstreifig. Das Unfallrisiko auf den Fussgängerstreifen wurde damit kleiner.



1287 | Verkehrsmittel und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren

Der Verkehrsablauf am neuen Hegibachplatz in einer Abendspitzenstunde:

Hegibachplatz neu										C=		1	
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	L/h	L/h	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S/h	y	L/h	L/h				x=Q/L	[s]	[Fz]
Teilkonflikt a: Fb.11.31 Forchstrasse West/Kreisel/Hegibachstrasse													
↕	1 Fg	350	2500	0.140				2500	0.140	0	0		
↔	2 Fz	900	1500	0.600									
				0.740									
Teilkonflikt b: Kreisel/Forchstrasse West													
↕	1 Fg	150	2500	0.060									
↔	2 Fz	300	1500	0.200									
				0.260									
↕	1 Fg	350	2500	0.140									
↔	2 Fz	100	1500	0.067									
				0.207									
↕	2 Fz	300	1154	0.260									
↔		400	1343	0.298									
				0.298									
↕	3 Fz	650	1500	0.433									
				0.731									
Stau reicht in stromaufwärts liegenden Knoten													
Stau reicht nicht in stromaufwärts liegenden Knoten													
Summe durchschnittlicher Stau Fahrzeuge													
durchschnittliche Zeitverluste Bus 31 wendend													
durchschnittliche Zeitverluste Bus 77 wendend													
durchschnittliche Zeitverluste Bus 33 querend													
174													

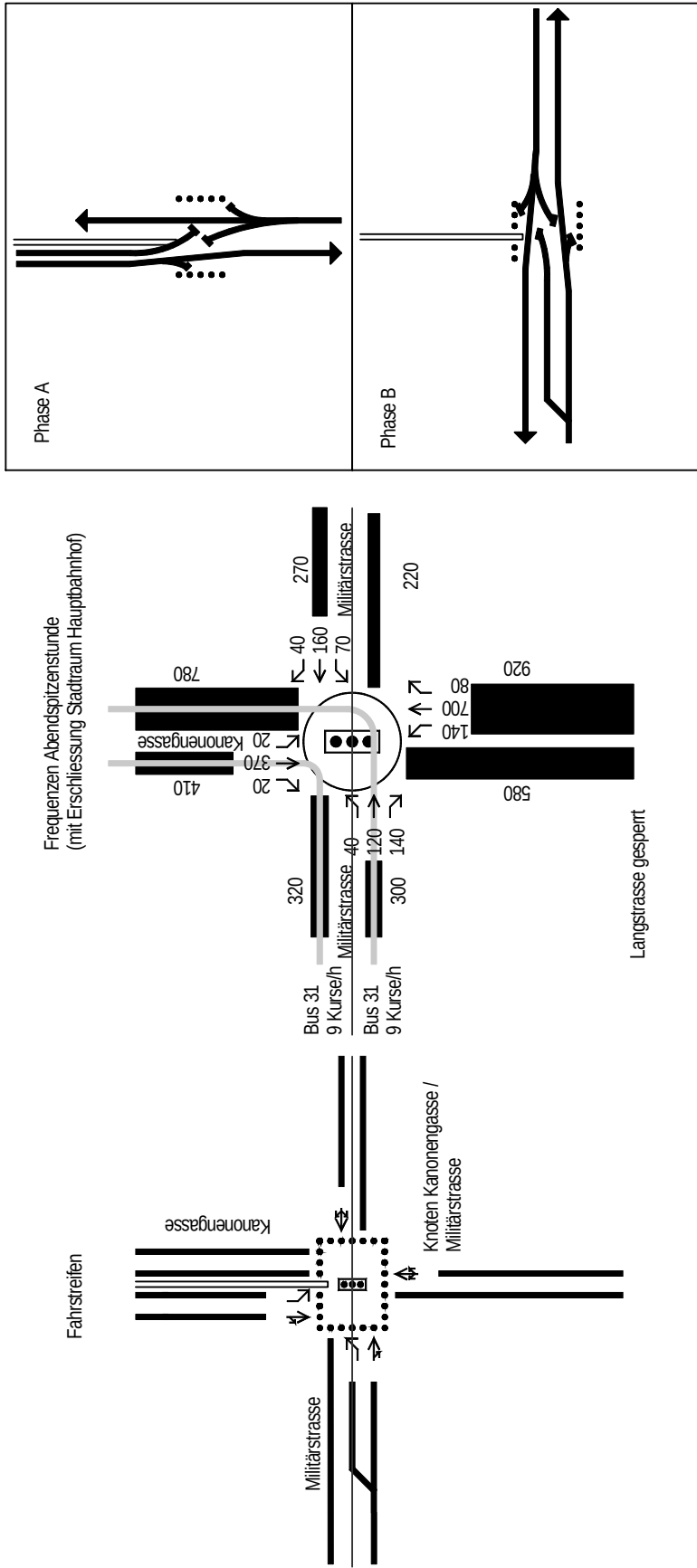
Beispiel: Stadt Zürich, Lichtsignalgesteuerter Knoten Kanonengasse/Militärstrasse

Den Knoten Kanonengasse/Militärstrasse steuert eine Lichtsignalanlage mit zwei Phasen.

Rechtsabbieger in kurzen Stauräumen von Mischstreifen sind zeitlich nicht von Fussgängern getrennt. Fussgängerfrequenzen an den Übergängen sind aber niedrig, diese ungesteuerten Konflikte sind deshalb vernachlässigbar.

Auch Linksabbieger in zwei Abbiegestreifen und in kurzen Stauräumen von zwei Mischstreifen sind zeitlich nicht vom Gegengeradeausverkehr und von Fussgängern getrennt. Die Frequenzen der Linksabbieger sind zwar bescheiden, aber diese ungesteuerten Konflikte sind nicht vernachlässigbar. Die Lichtsignalanlage privilegiert die Buslinie 31.

lichtsignalgesteuerter Knoten Kanonengasse / Militärstrasse



Beim Knoten Kanonengasse/Militärstrasse handelt sich um eine Lichtsignalanlage mit ungesteuerten Teilkonflikten. Diese Konflikte spielen sich nur während dem Anteil der Grünzeit am Zyklus der Steuerung ab.

Die Grünzeiten sind aber nicht fix, sondern die Steuerung passt sie an das Eintreffen von Bussen mit Nachlauf und Vorlauf an. Von der Privilegierung profitieren die gleichzeitig zum öffentlichen Verkehr ablaufenden Grünzeiten, die feindlichen Grünzeiten werden durch die Privilegierung kürzer. Mit Faktoren wird zuerst abgeschätzt, wie sich die Basisgrünzeiten zu mittleren Grünzeiten ändern. Beim analytischen Schätzverfahren sind dann nicht die Basisgrünzeiten, sondern die mittleren Grünzeiten massgebend.

Leistung und Verkehrsablauf lassen sich mit dem Schätzverfahren angeben, getrennt nach Abbiegestreifen und Mischstreifen.

$q_0[Fz/s]$
 $1/q_0$
 $g_p[s]$
 $g_N[s]=Z-g_p-2t_z$
 $g_{min}[s]$
 $g_{zus}[s]$
 25
 10
 $tz[s]$
 $t_N[s]=g_{min}+g_{zus}+2tz$
Belastung des privilegierten öffentlichen Verkehrsintervall der Kursfahrzeuge
zum öffentlichen Verkehr freundliche Basisgrünzeit
zum öffentlichen Verkehr feindliche Basisgrünzeit
Mindestgrünzeit
zusätzliche Grünzeit vor Eintreffen der Kursfahrzeuge
Umlaufzeit
Zwischenzeit
Fahrzeit vom Detektor zur Haltelinie.

Lichtsignalgesteuerter Knoten Kanonengasse / Militärstrasse

Abendspitzenstunde [Fz/h] (Langstrasse gesperrt, Erschliessung Stadtraum HF)

Umlauf [s] 70

annahmen

$g_{min}[s]=g_{min}+g_{zus}+2t_z=$ 5

$g_{zus}[s]$ 25

$t_z[s]$ 10

mittlere Grünzeiten

Buspriorität mit Nachlauf + Vorlauf

Bus 31 ausw. [K/s] 0.0025

Bus 31 einw. [K 0.0025

$t_N[s]=g_{min}+g_{zus}+2tz$

Signalgruppe	Grünzeiten	zum ÖV freundliche Basisgrünzeit g_p	feindliche Basisgrünzeit $g_N=Z-g_p-2t_z$	Faktoren f_p, f_N	zum ÖV freundliche Basisgrünzeit g_p	feindliche Basisgrünzeit $g_N=Z-g_p-2t_z$	Faktoren f_p, f_N	Faktoren- Produkt	mittlere Grünzeiten	Phase
Kanonengasse	↘	43	43	17	1.02	0	60	0.93	0.95	41 A
Kanonengasse	↗	43	43	17	1.02	0	60	0.93	0.95	41
Kanonengasse	↖	43	43	17	1.02	0	60	0.93	0.95	41
Militärstrasse	↗	17	0	60	0.93	17	43	1.17	1.09	18 B
Militärstrasse	↖	17	0	60	0.93	17	43	1.17	1.09	18
Militärstrasse	↘	17	0	60	0.93	17	43	1.17	1.09	18

Zeitverluste, Stau

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Die Privilegierung des öffentlichen Verkehrs modifiziert die Basisgrünzeiten so, dass sie zu einer Funktion des Eintreffens der Kursfahrzeuge werden. Von der Privilegierung profitieren dabei nicht nur der öffentliche Verkehr, sondern auch die zum öffentlichen Verkehr gleichzeitig ablaufenden, freundlichen Grünzeiten g_p . Die zum öffentlichen Verkehr feindlichen Grünzeiten g_N werden durch die Privilegierung der Kursfahrzeuge kürzer. Daraus resultieren die Faktoren f_p bzw. f_N für die Privilegierung des öffentlichen Verkehrs.

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Faktoren zum Bemessen der Grünzeiten

$$f_p = 1 + \frac{q_0}{g_p} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$
$$f_N = 1 - \frac{q_0}{g_N} \cdot (g_N - g_{min}) (g_{min} + t_N)$$

Beispiel: Norm- Einmündung

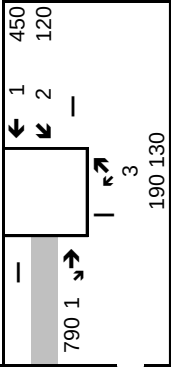
Normknoten sind Einmündungen, Kreuzungen, und Kreisel mit Vortritt der Kreisfahrbahn, an vortrittsberechtigten Hauptstrassen, primär ausserorts, andere Verkehrsarten als Fahrzeuge sind vernachlässigbar. Aus der Sicht des Schätzverfahrens weisen Normknoten mehrrangige Konflikte, parallele Fahrstreifen und Mischstreifen auf.

Das Anwenden des Schätzverfahrens auf eine Norm- Einmündung geht von einer zweistreifigen Hauptstrasse mit separaten Linksabbiegestreifen, und von einem vortrittsbelasteten Mischstreifen mit einem kurzen Stauraum für Linksabbieger aus.

Norm- Einmündung										C=	1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L ⁺	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S _m /h	y	L/h	L/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]
↗	1 Fz	1 Fz	790	1800	0.439	1800	1522	Vortritt 1	1800	0.439	3
↘	2 Fz	2 Fz	120	1500	0.080	472	231	Vortritt 1	472	0.254	5
←	1 Fz	1 Fz	450	1800	0.519	1800	1800		1800	0.250	1

Teilkonflikt ↖					Teilkonflikt ↗				
↖	1 Fz	790	1800	0.439	↗	1 Fz	790	1800	0.439
↘	2 Fz	120	1500	0.080	↖	2 Fz	130	1500	0.087
←	1 Fz	450	1800	0.250					0.526
↖	3 Fz	190	1500	0.127					
				0.766					

Mischstreifen ↖↗					Stau an Systemzufahrten				
↖	3 Fz	190	248	0.766	1 Abbieger- Stauraum n[Fz]				
↗	2 Fz	130	247	0.526					
↖↗	3 Fz	320	345	0.929	345	0.929	127	12	15



Beispiel: Norm- Kreuzung

Das Anwenden des Schätzverfahrens gilt für eine Norm- Kreuzung einer zweistreifigen Hauptstrasse mit separaten Linksabbiegestreifen, die von einer vortrittsbelastete Querstrasse mit kurzen Stauräumen für Links- und Rechtsabbieger gekreuzt wird.

Norm- Kreuzung										C=	1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L ⁺	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau
			Q/h	S _m /h	y	L/h	L/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]
↗	1 Fz	1 Fz	495	1800	0.275	1800	1588	Vortritt 1	1800	0.275	2
↘	2 Fz	2 Fz	55	1500	0.037	788	176	Vortritt 1	788	0.070	1
←	1 Fz	1 Fz	462	1800	0.257	1800	1575	Vortritt 1	1800	0.257	1
↖	2 Fz	2 Fz	55	1500	0.037	829	188	Vortritt 1	829	0.066	1
					0.312						
					0.293						

Teilkonflikt ↖					Teilkonflikt ↗				
↖	1 Fz	495	1800	0.275	↗	1 Fz	495	1800	0.275
↘	2 Fz	55	1500	0.037	↖	2 Fz	55	1500	0.037
				0.312					0.312
				0.293					0.293
				0.514					0.514
				0.675					0.675
				0.015					0.015
				0.690					0.690

Mischstreifen					Abbieger- Stauraum n[Fz]					n!=	
↖	4 Fz	22	32	0.690	1						1.087
↗	3 Fz	22	42	0.528							1.257
↖↗	2 Fz	55	176	0.312	1						1.257
				0.883	111						0.883
				0.219	7						0.219

Teilkonflikt ↖					Teilkonflikt ↗				
↖	1 Fz	495	1800	0.275	↗	1 Fz	495	1800	0.275
↘	2 Fz	55	1500	0.037	↘	2 Fz	55	1500	0.037
				0.312					0.312
				0.293					0.293
				0.514					0.514
				0.675					0.675
				0.015					0.015
				0.690					0.690

Teilkonflikt ↖					Teilkonflikt ↗				
↖	1 Fz	462	1800	0.257	↗	1 Fz	495	1800	0.275
↘	2 Fz	55	1500	0.037	↘	2 Fz	55	1500	0.037
				0.312					0.312
				0.293					0.293
				0.514					0.514
				0.675					0.675
				0.015					0.015
				0.690					0.690

Teilkonflikt ↖					Teilkonflikt ↗				
↖	1 Fz	462	1800	0.257	↗	1 Fz	495	1800	0.275
↘	2 Fz	220	1500	0.043	↘	2 Fz	55	1500	0.037
				0.312					0.312
				0.293					0.293
				0.514					0.514
				0.675					0.675
				0.015					0.015
				0.690					0.690

Mischstreifen $\swarrow \searrow$					Abbieger- Stauraum $n[Fz]$					
$\swarrow$	2 Fz	220	545	0.403	1				$n=$	1.200
$\searrow$	3 Fz	22	42	0.528						
$\swarrow$	4 Fz	55	91	0.602	1				$n=$	1.109
$\searrow$	Fz	297	342	0.868	342			342	0.868	93
										9

Beispiel: Norm- Kreisel

In einem Norm- Kreisel sind die Zu- und Ausfahrten einstreifig, die einstreifige Kreisfahrbahn weist einen genügend grossen Durchmesser für breite Inseln in den Kreiselarmen auf, damit auch für eine ausreichend lange Kreisfahrbahn zwischen Aus- und Zufahrten.

Aus der Sicht des Schätzverfahrens besteht ein Norm- Kreisel aus Teilknoten der Kreisfahrbahn mit den einzelnen Kreiselfzufahrten, in jedem Kreiselarm wird die Zufahrt bei niedrigen Fussgängerfrequenzen unabhängig von der Ausfahrt. Fussgänger queren die Kreiselarme parallel zur Kreisfahrbahn.

einstreifiger Kreisel, breite Inseln in Kreiselarmen										C= 1.0	
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung Q/h	Sättigung S _{max} /h	Sättigungsgrad γ	Leistung L L/h	Leistung L'	massgebende Leistung L/h	Auslastungsgrad x=Q/L	durchschnittlicher Zeitverlust [s]	durchschnittlicher Stau [Fz]
Kreiselarm a (Zufahrt unabhängig von Ausfahrt)											
↕		1 Fg	100	2500	0.040						
←		1 Fz	605	1500	0.403						
					0.443						
↘		1 Fz	440	1800	0.244						
↗			1045	2238	0.467	2238	Mischstreifen	2238	0.467	3	2
↕		1 Fg	100	2500	0.040						
↘		1 Fz	440	1800	0.244						
↗					0.275						
→		2 Fz	715	1500	0.477	789	952 Wechsel	952	0.751	21	6
					0.751						
Kreiselarm b (Zufahrt unabhängig von Ausfahrt)											
↔		1 Fg	200	2500	0.080						
↘		2 Fz	550	1500	0.367						
					0.447						
↗		1 Fz	605	1800	0.336						
↘↗			1155	2297	0.503	2297	Mischstreifen	2297	0.503	3	2
↔		1 Fg	200	2500	0.080						
→		1 Fz	605	1800	0.336						
↔					0.389		parallele Streifen				
→		2 Fz	440	1500	0.293	560	645 Wechsel	645	0.683	23	4
					0.683						
Kreiselarm c (Zufahrt unabhängig von Ausfahrt)											
↕		1 Fg	200	2500	0.080						
→		1 Fz	605	1500	0.403						
					0.483						
↗		1 Fz	440	1800	0.244						
↗↘			1045	2076	0.503	2076	Mischstreifen	2076	0.503	3	2
↕		1 Fg	200	2500	0.080						
↗		1 Fz	440	1800	0.244						
↗↘					0.305		parallele Streifen				
←		2 Fz	660	1500	0.440	725	886 Wechsel	886	0.745	22	5
					0.745						
Kreiselarm d (Zufahrt unabhängig von Ausfahrt)											
↔		1 Fg	100	2500	0.040						
↗		2 Fz	440	1500	0.293						
					0.333						
↖		1 Fz	660	1800	0.367						
↖↗			1100	2489	0.442	2489	Mischstreifen	2489	0.442	2	2
↔		1 Fg	100	2500	0.040						
↖		1 Fz	660	1800	0.367						
↔					0.392		parallele Streifen				
↖		2 Fz	385	1500	0.257	554	594 Wechsel	594	0.649	21	4
					0.649						

Beispiel: Norm- Kleinkreisel

Bei einem kleinen Kreisel- Durchmesser sind die Inseln in den Kreiselar-
men schmal oder sie fehlen, die Kreisfahrbahn zwischen Aus- und Zufahrt
ist kurz. Jede Zufahrt ist abhängig von der Ausfahrt. Kreisfahrbahn, Zu- und
Ausfahrten sind einstreifig.

Der Kleinkreisel besteht aus der Sicht des Schätzverfahrens aus Teilknoten
der Kreisfahrbahn mit den einzelnen Kreiselarmen, mit je einer Ausfahrt
und Zufahrt. Fussgänger queren die Kreiselarme parallel zur Kreisfahrbahn.
Gegenüber einem Normkreisel ist deshalb bei gleicher Belastung die
Leistung eines Kleinkreisels niedriger und der Auslastungsgrad höher:

einstreifiger Kreisel ohne breite Inseln in Kreiselarmen										C=		1.0
Zufahrt	Rang	Verkehrsart	Belastung	Sättigung	Sättigungsgrad	Leistung L	Leistung L'	massgebende Leistung	Auslastungsgrad	durchschnittlicher Zeitverlust	durchschnittlicher Stau	
			Q/h	S _n /h	y	L/h	L'/h	L/h	x=Q/L	[s]	[Fz]	
Kreiselarm a (Zufahrt abhängig von Ausfahrt)												
↕		1 Fg	100	2500	0.040							
←		1 Fz	605	1500	0.403							
					0.443			2 Abbieger- Stauraum nr[Fz]				
↘		1 Fz	440	1800	0.244							
↗		1 Fz	1045	2238	0.467	2238		Mischstreifen	2238	0.467	3	
↕		1 Fg	100	2500	0.040							
↗		1 Fz	440	943	0.467							
↘		↕↗			0.488			parallele Streifen				
↗		2 Fz	715	1500	0.477	393	741	Wechsel	741	0.965	98	
					0.965						20	
Kreiselarm b (Zufahrt abhängig von Ausfahrt)												
↕		1 Fg	200	2500	0.080							
↘		2 Fz	550	1500	0.367							
					0.447			2 Abbieger- Stauraum nr[Fz]				
↗		1 Fz	605	1800	0.336							
↘		↕↗			1155	2297	0.503	2297	Mischstreifen	2297	0.503	
↕		1 Fg	200	2500	0.080						3	
↗		1 Fz	605	1203	0.503						2	
↘		↕↗						parallele Streifen				
↗		2 Fz	440	1500	0.293	314	526	Wechsel	526	0.836	56	
					0.836						8	
Kreiselarm c (Zufahrt abhängig von Ausfahrt)												
↕		1 Fg	200	2500	0.080							
↗		1 Fz	605	1500	0.403							
					0.483			2 Abbieger- Stauraum nr[Fz]				
↘		1 Fz	440	1800	0.244							
↗		↕↗			1045	2076	0.503	2076	Mischstreifen	2076	0.503	
↕		1 Fg	200	2500	0.080						3	
↗		1 Fz	440	874	0.503						2	
↘		↕↗			0.543			parallele Streifen				
↗		2 Fz	660	1500	0.440	313	671	Wechsel	671	0.983	119	
					0.983						22	
Kreiselarm d (Zufahrt abhängig von Ausfahrt)												
↕		1 Fg	100	2500	0.040							
↘		2 Fz	440	1500	0.293							
					0.333			2 Abbieger- Stauraum nr[Fz]				
↗		1 Fz	660	1800	0.367							
↘		↕↗			1100	2489	0.442	2489	Mischstreifen	2489	0.442	
↕		1 Fg	100	2500	0.040						2	
↗		1 Fz	660	1493	0.442							
↘		↕↗						parallele Streifen				
↗		2 Fz	385	1500	0.257	430	534	Wechsel	534	0.721	32	
					0.721						5	

Literaturverzeichnis

Akcelik R.: The Highway Capacity Delay Formula for Signalized Intersections, ITE Journal 1988

Akcelik R.: Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Australian Road Research Board, Research Report ARR 123, Edition 1981

Akcelik R. (1993): Calibrating SIDRA, Australian Road Research Board, Research Report ARR 180, 2nd Edition, Vermont

Borrow Ian: A Note on Traffic Delay Formulas, ITE Journal 1989

Brilon W., Miltner Th. (2005): Verkehrsqualität an vorfahrtgeregelten Innerorts- Knotenpunkten, Strassenverkehrstechnik, 1/2005

Brilon W., Wu N. (1992): Delays at fixed time traffic signals under time dependent traffic conditions, Traffic Engineering and Control 6/92, London

Brilon W., Grossmann M., Blanke H. (1993): Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufs auf Strassen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 669, Bonn-Bad Godesberg

Brilon W.: Intersections without traffic Signals, Proceedings of an International Workshop 1988 in Bochum, Germany, Springer

Brilon W.: Intersections without traffic Signals II, Proceedings of an International Workshop 1991 in Bochum, Germany, Springer Verlag

Catling J (1977): A time dependent approach to junction delays, Department of Transport, Traffic Engineering and Control 11/77, London

Cowan R.: An extension on Tanners results on uncontrolled intersections, Queuing Systems, 1987

Fundamentals of Traffic Engineering, 14th Edition 1996, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley

Golias J.C.: Towards a realistic analytical evaluation of minor stream capacity at priority road junctions, Traffic Engineering and Control, 1986

Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS), Köln 2001, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen

Harders J.: Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstrassen, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, 1976

Highway Capacity Manual (HCM2000), Transportation Research Board (2000): National Research Council, Washington DC

Kimber R.M., Hollis M. (1979): Traffic queues and delay at road junctions, TRRL Laboratory, Report LR 909 Crawthorne

Kimber R.M.: Traffic queues and delay at road junctions, TRRL Laboratory, Report LR 909 Crawthorne

Kimber R.M.: The traffic capacity of roundabouts, TRRL Report LR 942, 1980

Kimber R.M. and M. McDonald and N.B. Hounsell (Southampton University): The prediction of saturation flows for road junctions controlled by traffic signals, Transportation and Road Research Laboratory, Department of Transport, Research Report 67, Crowthorne, Berkshire 1986

Kimber R.M., Coombe R.D.: Traffic capacity of major/minor priority junctions, TRRL Report SR 582, 1980

Leutzbach W.; Introduction to the Theory of Traffic Flow, Springer Verlag, 1988

Miller A.J.: Signalized intersections - capacity guide, Australian Road Research Board Bulletin 4/1968, Research Report ARR 79 1978

Pitzinger P.: Priorität des öffentlichen Verkehrs an Lichtsignalanlagen, Forschungsbericht, Forschungsauftrag 11/98 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, Zürich

Pitzinger P. (1996): Lichtsignalanlagen, Abschätzen der Leistungsfähigkeit, Forschungsbericht Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Forschungsauftrag 31/95 auf Antrag der VSS, Zürich

Pitzinger P. (2000): Lichtsignalanlagen, Koordination des Verkehrs, Forschungsbericht 13/98 im Auftrag der, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, Zürich

Pitzinger P., Spacek P.: Ein neuer Ansatz zum Abschätzen von Leistungsfähigkeit und Verkehrsablauf an ungesteuerten Knotenpunkten, Strassenverkehrstechnik 4, 2007

Pitzinger P.: Unterlagen zum bestehenden Verkehrszustand auf Hauptstrassen an Quartierzentren für das Beurteilen von Projekten und Baustellen, Stadt Zürich, Dienstabteilung Verkehr, 2008

Pline James L.: Traffic Engineering Handbook, Fifth Edition 1999, Institute of Transportation Engineers, Washington D. C.

Schweizer Norm SN 640 022, Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit, Knoten ohne Lichtsignalanlagen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute, 1999, Zürich

Schweizer Norm SN 640 024a, Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit, Knoten mit Kreisverkehr, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute, 2006, Zürich

Schweizer Norm SN 640 835, Lichtsignalanlagen, Abschätzen der Leistungsfähigkeit, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute, 1997, Zürich

Schweizer Norm SN 640 839, Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs an Lichtsignalanlagen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute, 2002, Zürich

Siegloch W.: Die Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, 1973

Tanner J. C.: A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection, Road Research Laboratory, Department of Scientific and Industrial Research, 1962

Troutbeck R.J.: Average delay at an unsignalised intersection with two major streams having a dichotomised headway distribution, Traffic Science, 1986

Wu N.: Rückstaulängen an Lichtsignalanlagen unter verschiedenen Verkehrsbedingungen, Strassenverkehrstechnik 5/1996

Wu N.: Wartezeiten an festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen unter zeitlich veränderlichen (instationären) Verkehrsbedingungen, Strassenverkehrstechnik 3/1996

Anhänge

Anhang 1

Zusammenfassung:

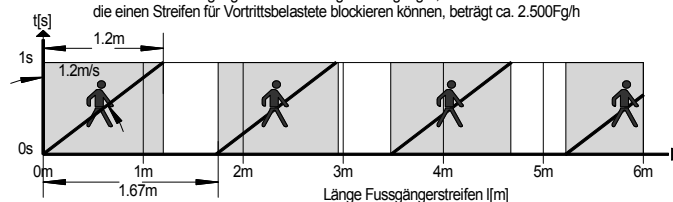
Maximale Sättigung Vortrittsberechtigter S_{m1}

Fahrzeuge pro Fahrstreifen

1800 Fz/h

Fussgänger

Die maximale Sättigung vortrittsberechtigter Fussgänger, die einen Streifen für Vortrittsbelastete blockieren können, beträgt ca. 2.500 Fg/h



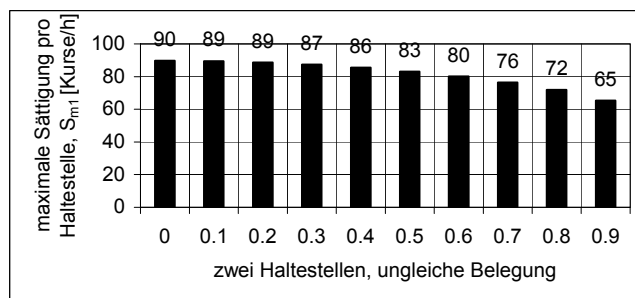
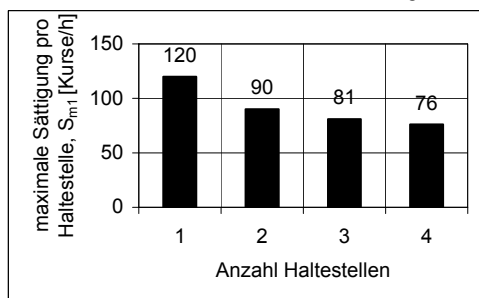
Trams auf Eigentrasse

360 T/h

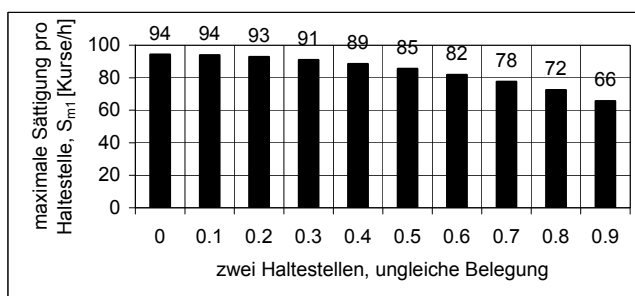
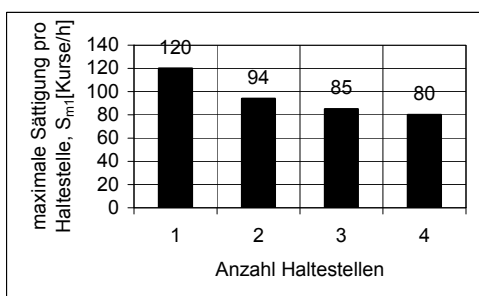
Busse auf Eigentrasse

720 B/h

Öffentlicher Verkehr in Haltestellen ohne Möglichkeit zum Überholen



Öffentlicher Verkehr in Haltestellen mit Möglichkeit zum Überholen



Maximale Sättigung Vortrittsbelasteter S_{m2}

Fahrzeuge

1500 Fz/h

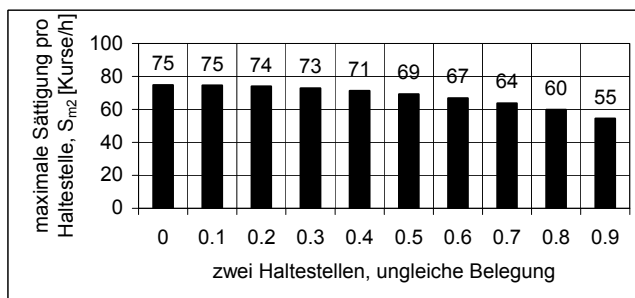
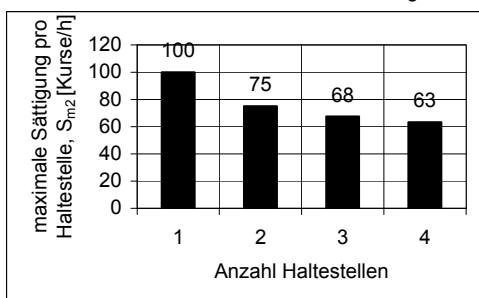
Trams auf Eigentrasse

300 T/h

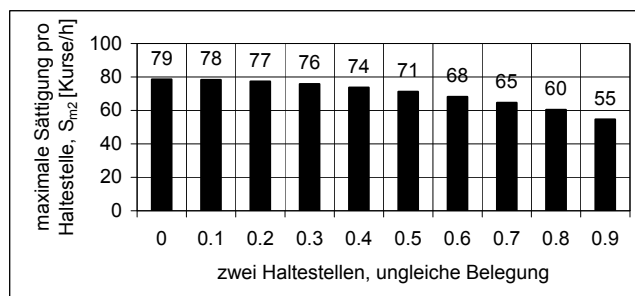
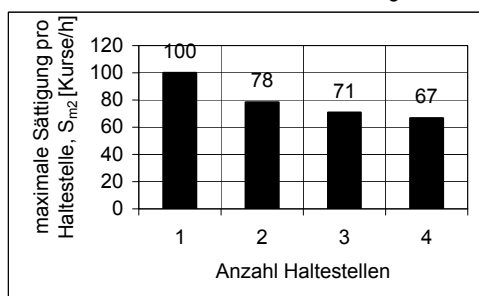
Busse auf Eigentrasse

600 B/h

Öffentlicher Verkehr in Haltestellen ohne Möglichkeit zum Überholen



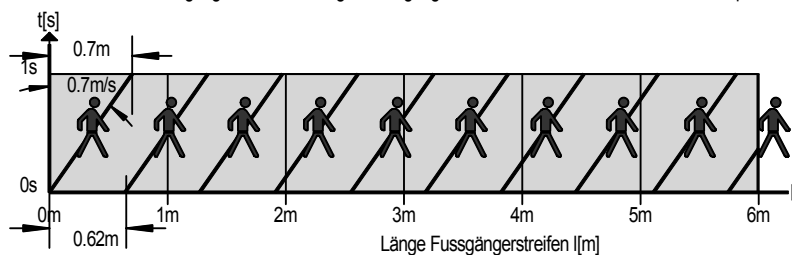
Öffentlicher Verkehr in Haltestellen mit Möglichkeit zum Überholen



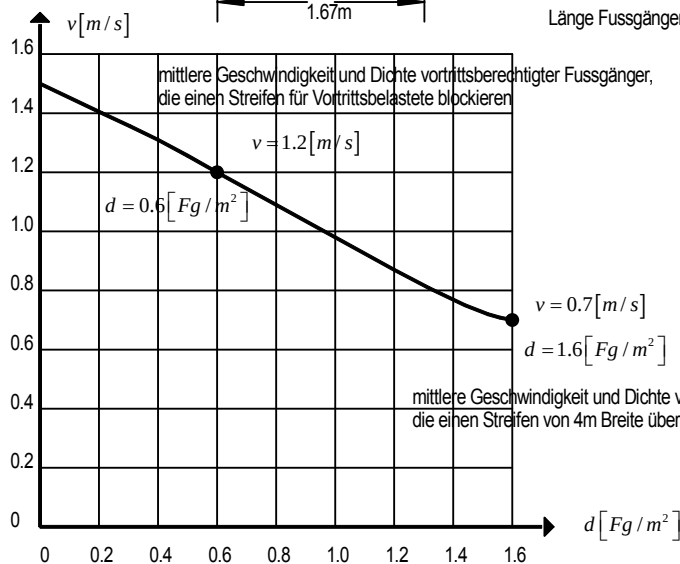
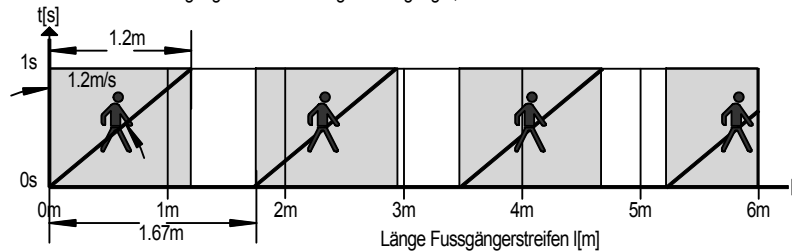
Fussgänger

 $S_{m1}^0 [Fg/h]$

Die maximale Sättigung vortrittsberechtigter Fussgänger, die einen Streifen von 4m Breite überqueren können, beträgt ca. 16.000Fg/h

 $S_{m1} [Fg/h]$

Die maximale Sättigung vortrittsberechtigter Fussgänger, die einen Streifen für Vortrittsbelastete blockieren können, beträgt ca. 2.500Fg/h



Begriffe

 $v[m/s]$

mittlere Geschwindigkeit

 $d[Fg/m^2]$

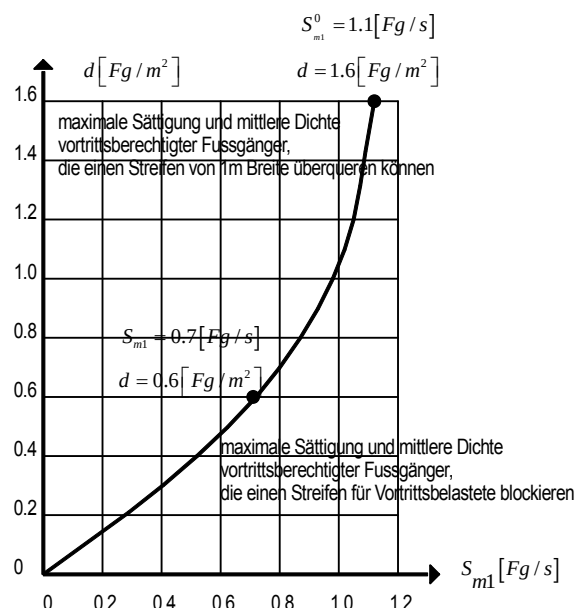
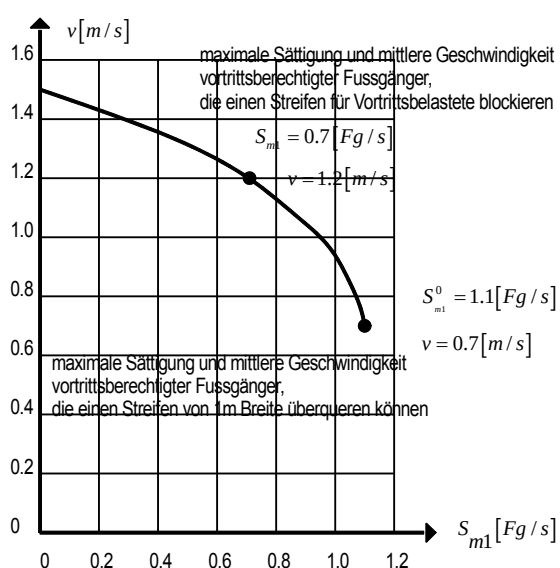
mittlere Dichte

 $b[m]$

Breite Fussgängerstreifen

 $S_{m1} = v \cdot d \cdot b [Fg/s]$

maximale Sättigung pro 1m Streifenbreite



Mehrfachhaltestellen ohne Möglichkeit zum Überholen, maximale Sättigung**Begriffe**

$Q[\text{Kurse/h}]$ Belastung $Sm[\text{Kurse/h}]$ maximale Sättigung $y=Q/Sm$ Sättigungsgrad
 Sm und $y=Q/Sm$ sind abhängig von der Anzahl der Haltestellen und dem Zeitbedarf an Haltestellen.

Aus einer Überlastungs- Wahrscheinlichkeit $p/H=0.5$ (bzw. $p/H=0.25$)

und dem Zeitbedarf an Haltestellen (Einfahren, Halten, Räumen)

Mittelwert $\mu[s]$ 30

Standardabweichung $\sigma[s]$ 15

folgt die Quantile der Standardnormalverteilung zu $z = \frac{t_H - \mu}{\sigma}$

der massgebende Zeitbedarf zu $t_H = \mu + \sigma z$

Die maximale Sättigung pro Haltestelle ergibt sich zu

$$S_m / H [\text{Kurse} / h] = \frac{3600}{\mu + \sigma z}$$

Haltestellen mit gleichem Sättigungsgrad y

Bei einer Haltestelle ist $y=p/H$.

Sind z.B. bei zwei Haltestellen mit gleichem Sättigungsgrad $H1$ oder $H2$ belegt (vorausgesetzt $H1$ ist nicht belegt), oder $H1$ und $H2$ belegt (vorausgesetzt $H1$ ist nicht belegt), folgt $y=p/H$ bei zwei Haltestellen aus:

$$y + \frac{y}{1-y} - \frac{y^2}{1-y} \leq 0.5 \quad \text{---} \quad \text{H2} \quad \text{H1} \quad \text{---} \quad y + \frac{y}{1-y} - \frac{y^2}{1-y} \leq 0.25$$

H	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.5$)
1	0.500	0.000	30.0	120
2	0.250	0.674	40.1	90
3	0.167	0.967	44.5	81
4	0.125	1.150	47.3	76

H	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.25$)
1	0.250	0.674	40.1	90
2	0.125	1.150	47.3	76
3	0.083	1.383	50.7	71
4	0.063	1.534	53.0	68

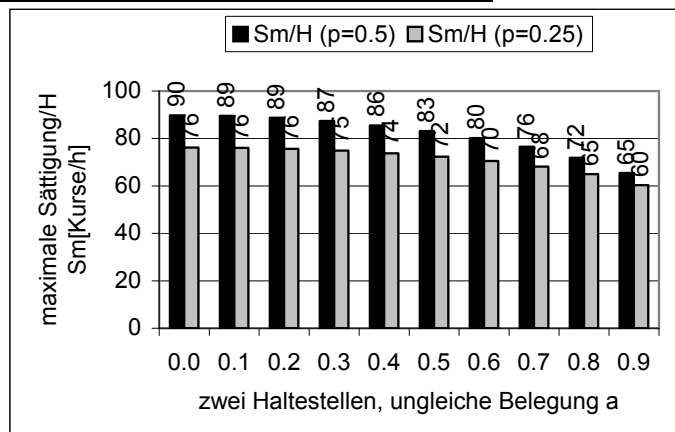
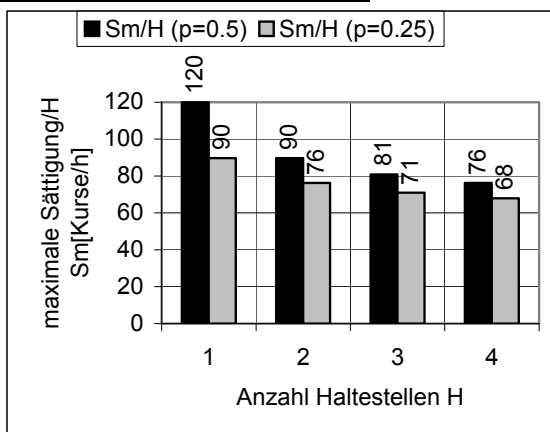
Zwei Haltestellen mit ungleichem Sättigungsgrad $y/(1-a)$, $y/(1+a)$

Sind bei zwei Haltestellen mit ungleichem Sättigungsgrad $H1$ oder $H2$ belegt (vorausgesetzt $H1$ ist nicht belegt), oder $H1$ und $H2$ belegt (vorausgesetzt $H1$ ist nicht belegt), folgt $y=p/H$ aus:

$$\frac{y}{(1+a)} + \frac{y(1+a)}{(1-a)(1+a-y)} - \frac{y^2}{(1-a)(1+a-y)} \leq 0.5 \quad \text{---} \quad \text{H2} \quad \text{H1} \quad \text{---} \quad \frac{y}{(1-a)} + \frac{y(1-a)}{(1-a)(1+a-y)} - \frac{y^2}{(1-a)(1+a-y)} \leq 0.25$$

a	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.5$)
0.0	0.250	0.674	40.1	90
0.1	0.248	0.682	40.2	89
0.2	0.240	0.706	40.6	89
0.3	0.228	0.747	41.2	87
0.4	0.210	0.806	42.1	86
0.5	0.188	0.887	43.3	83
0.6	0.160	0.994	44.9	80
0.7	0.128	1.138	47.1	76
0.8	0.090	1.341	50.1	72
0.9	0.048	1.670	55.0	65

a	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.25$)
0.0	0.125	1.150	47.3	76
0.1	0.124	1.156	47.3	76
0.2	0.120	1.175	47.6	76
0.3	0.114	1.207	48.1	75
0.4	0.105	1.254	48.8	74
0.5	0.094	1.318	49.8	72
0.6	0.080	1.405	51.1	70
0.7	0.064	1.524	52.9	68
0.8	0.045	1.695	55.4	65
0.9	0.024	1.982	59.7	60



Haltestellen mit Möglichkeit zum Überholen, maximale Sättigung**Begriffe**

$Q[\text{Kurse/h}]$... Belastung $Sm[\text{Kurse/h}]$... maximale Sättigung $y=Q/Sm$... Sättigungsgrad
 Sm und $y=Q/Sm$ sind abhängig von der Anzahl der Haltestellen und dem Zeitbedarf an Haltestellen.

Aus einer Überlastungs- Wahrscheinlichkeit $p/H=0.5$ (bzw. $p/H=0.25$)

und dem Zeitbedarf an Haltestellen (Einfahren, Halten, Räumen)

Mittelwert $\mu[s]$ 30

Standardabweichung $\sigma[s]$ 15

folgt die Quantile der Standardnormalverteilung zu $z = \frac{t_H - \mu}{\sigma}$ und der massgebende Zeitbedarf $t_H = \mu + \sigma z$

Die maximale Sättigung pro Haltestelle ergibt sich zu

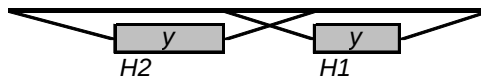
$$S_m / H [Kurse / h] = \frac{3600}{\mu + \sigma z}$$

Haltestellen mit gleichem Sättigungsgrad y

Bei einer Haltestelle ist $y=p/H$.

Sind z.B. bei zwei Haltestellen mit gleichem Sättigungsgrad H1 oder H2 belegt, oder H1 und H2 belegt, folgt $y=p/H$ aus:

$$y + y - y^2 \leq 0.5$$



$$y + y - y^2 \leq 0.25$$

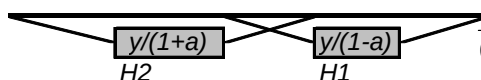
H	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.5$)
1	0.500	0.000	30.0	120
2	0.293	0.545	38.2	94
3	0.206	0.819	42.3	85
4	0.159	0.998	45.0	80

H	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.25$)
1	0.250	0.674	40.1	90
2	0.134	1.108	46.6	77
3	0.091	1.332	50.0	72
4	0.069	1.480	52.2	69

Zwei Haltestellen mit ungleichem Sättigungsgrad $y/(1-a)$, $y/(1+a)$

Sind bei zwei Haltestellen mit ungleichem Sättigungsgrad H1 oder H2 belegt, oder H1 und H2 belegt, folgt $y=p/H$ aus:

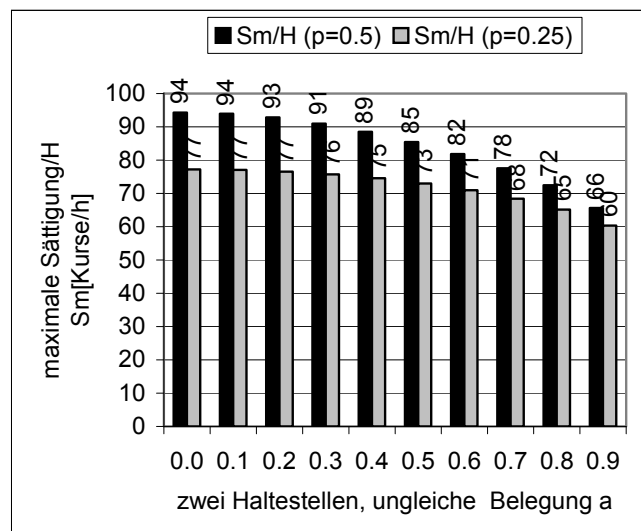
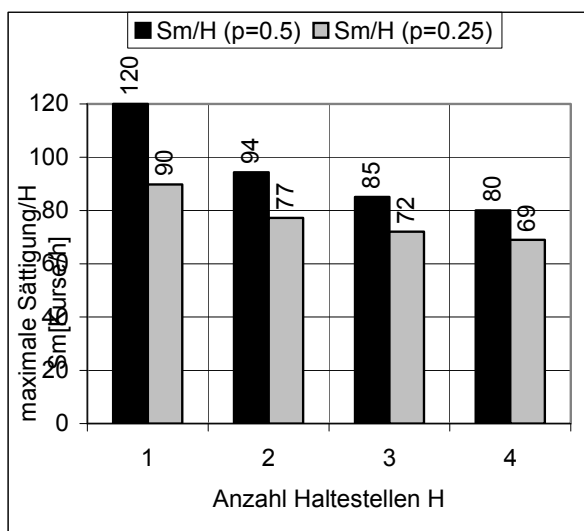
$$\frac{y}{(1+a)} + \frac{y}{(1-a)} - \frac{y^2}{(1-a^2)} \leq 0.5$$



$$\frac{y}{(1+a)} + \frac{y}{(1-a)} - \frac{y^2}{(1-a^2)} \leq 0.25$$

a	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.5$)
0.0	0.293	0.545	38.2	94
0.1	0.289	0.555	38.3	94
0.2	0.279	0.586	38.8	93
0.3	0.262	0.638	39.6	91
0.4	0.238	0.711	40.7	89
0.5	0.209	0.808	42.1	85
0.6	0.175	0.933	44.0	82
0.7	0.137	1.095	46.4	78
0.8	0.094	1.314	49.7	72
0.9	0.049	1.658	54.9	66

a	$y=p/H$	z	t_H	Sm/H ($p=0.25$)
0.0	0.134	1.108	46.6	77
0.1	0.133	1.114	46.7	77
0.2	0.128	1.135	47.0	77
0.3	0.121	1.170	47.5	76
0.4	0.111	1.220	48.3	75
0.5	0.099	1.290	49.3	73
0.6	0.083	1.382	50.7	71
0.7	0.066	1.507	52.6	68
0.8	0.046	1.684	55.3	65
0.9	0.024	1.977	59.7	60



Anhang 2

Zeitverluste und Stau

Durchschnittliche Zeitverluste lassen sich aus stochastischen Zeitverlusten bei stationärem Verkehr, aus deterministischen Zeitverlusten bei instationärem Verkehr, und schliesslich aus deren asymptotischen Transformation ableiten.

Begriffe: Belastung Q/h bzw. q/s , Leistung L/h bzw. l/s , Auslastungsgrad $x=Q/L$.

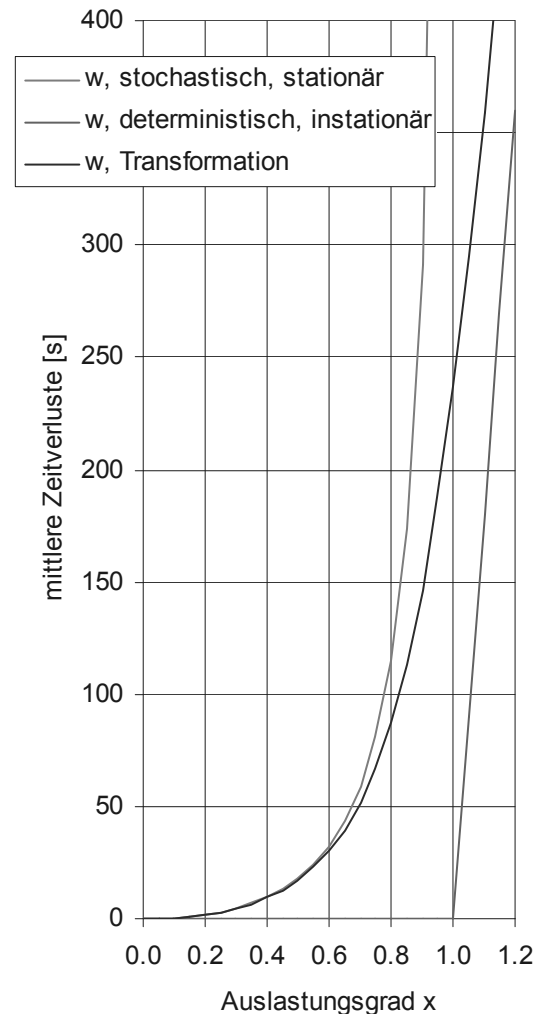
Stationärer Verkehr setzt einen Auslastungsgrad $x \leq 1$ voraus. Bei zufällig verteiltem Zufluss und Abfluss, einer Reihenfolge des Abflusses „first in first out“, und zulässigen unendlich grossen Zeitverlusten, werden die mittleren Wartezeiten z.B. zu $w_s[s] = \frac{C \cdot x}{l \cdot (1-x)}$ für die Konstante $C=1$.

Bei einer deterministischen Betrachtung entstehen Zeitverluste erst bei einem Auslastungsgrad $x \geq 1$. Sie folgen aus der Differenz zwischen den über die Zeit aufgetragenen Zufluss- und Abfluss- Summenlinien. Für eine gleichmässige Zufluss- Ganglinie während einer Stunde gilt für die zeitabhängigen Zeitverluste $w_d[s] = 1800 \cdot (x-1)$.

Realistische Näherungen müssen sowohl die Zufallseinflüsse des Zu- und Abflusses bei $x \leq 1$, wie die Zeitabhängigkeit von Wartezeiten bei $x \geq 1$ berücksichtigen. Sie resultieren aus einer asymptotischen Transformation der stochastischen Zeitverluste bei stationärem Verkehr an die deterministischen Zeitverluste bei instationärem Verkehr. Aus der Transformation folgt die generelle Gleichung für Zeitverluste zu

$$w[s] = 900x^n \left[(x-1) + \alpha + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{m(x+\beta/L)}{L}} \right] \text{ mit}$$

Parameter	n	m	α	β
HCM	2	4	0	0
Australien	0	12	0	-0.67-sg/600
Kanada	0	4	0	0
Transyt 8	-1	4	0	0
HCM Alternative	0	8	0	-0.5
TRRL, low definition	0	4C	-2C/L	1+C/L
TRRL, high definition	0	8C	-4C/L	1+2C/L



Das HBS transformiert die stochastischen Wartezeiten bei stationärem Verkehr nach Miller

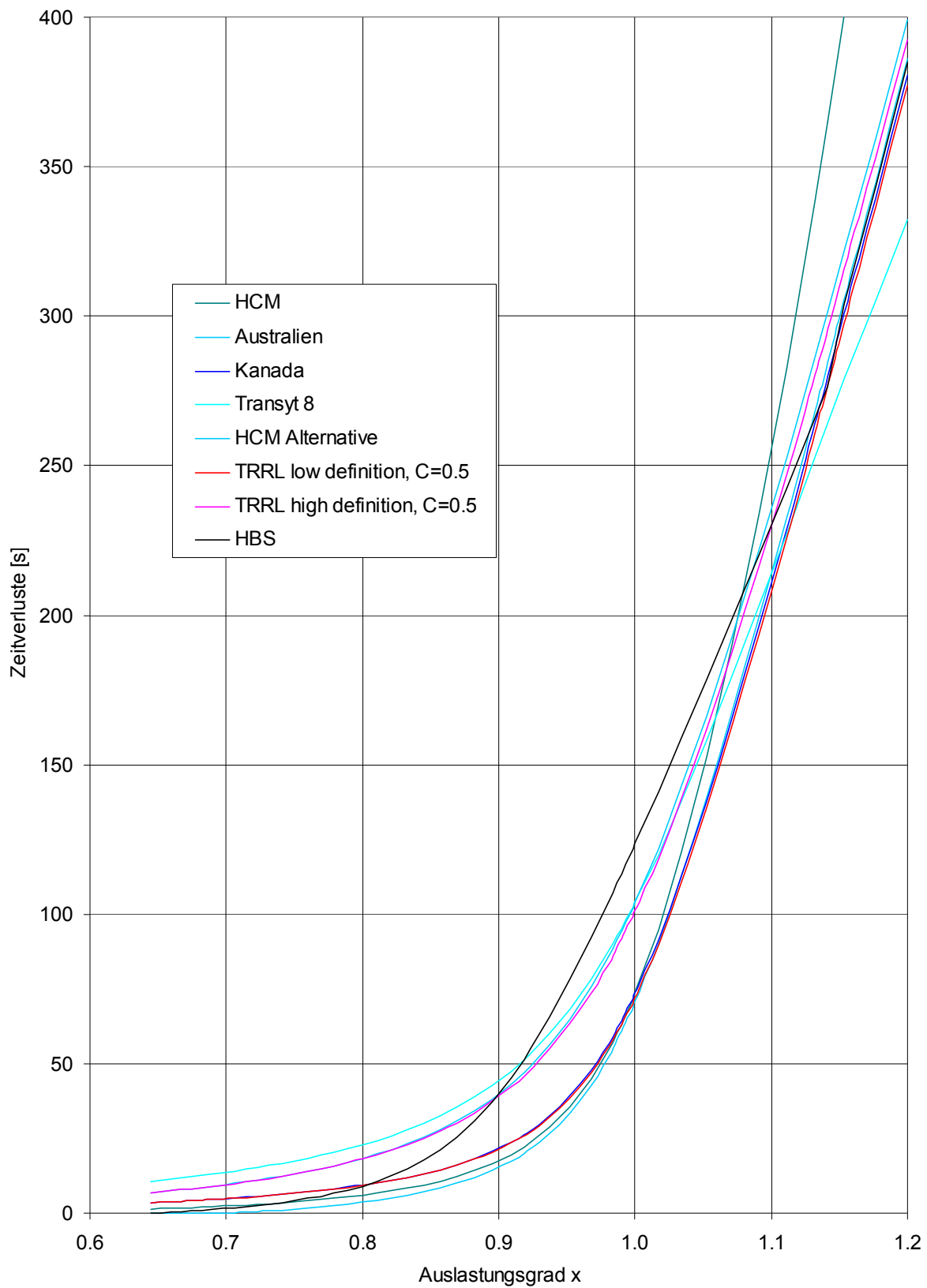
$$w_s = \frac{1-\lambda}{1-\lambda \cdot x} \cdot \frac{1}{q} \cdot \frac{e^{-1.33 \cdot \sqrt{s \cdot \lambda \cdot Z} \cdot \frac{1-x}{x}}}{2 \cdot (1-x)} \text{ asymptotisch an die deterministischen Wartezeiten bei instationärem Verkehr}$$

bei einer parabolischen Zufluss- Ganglinie mit $w_d = 1145.5 \cdot (x-0.92)$ für $0.92 \leq x \leq 1.14$. bzw. $w_d = 1800 \cdot (x-1)$ für $x \geq 1.14$. Es resultieren dann die mittleren Wartezeiten zu:

$$w = 523.8 \left[1.09x - 1 + \sqrt{(1.09x-1)^2 + \frac{(1.09x-x_0)}{174.6 \cdot l}} \right] \text{ für } 0.92 \leq x \leq 1.14,$$

$$\text{bzw. } w = 900 \left[x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{(x-0.92x_0-0.08)}{300 \cdot l}} \right] \text{ für } x \geq 1.14, \text{ mit } x \geq x_0 = 0.67 + \frac{s \cdot \lambda \cdot Z}{600}.$$

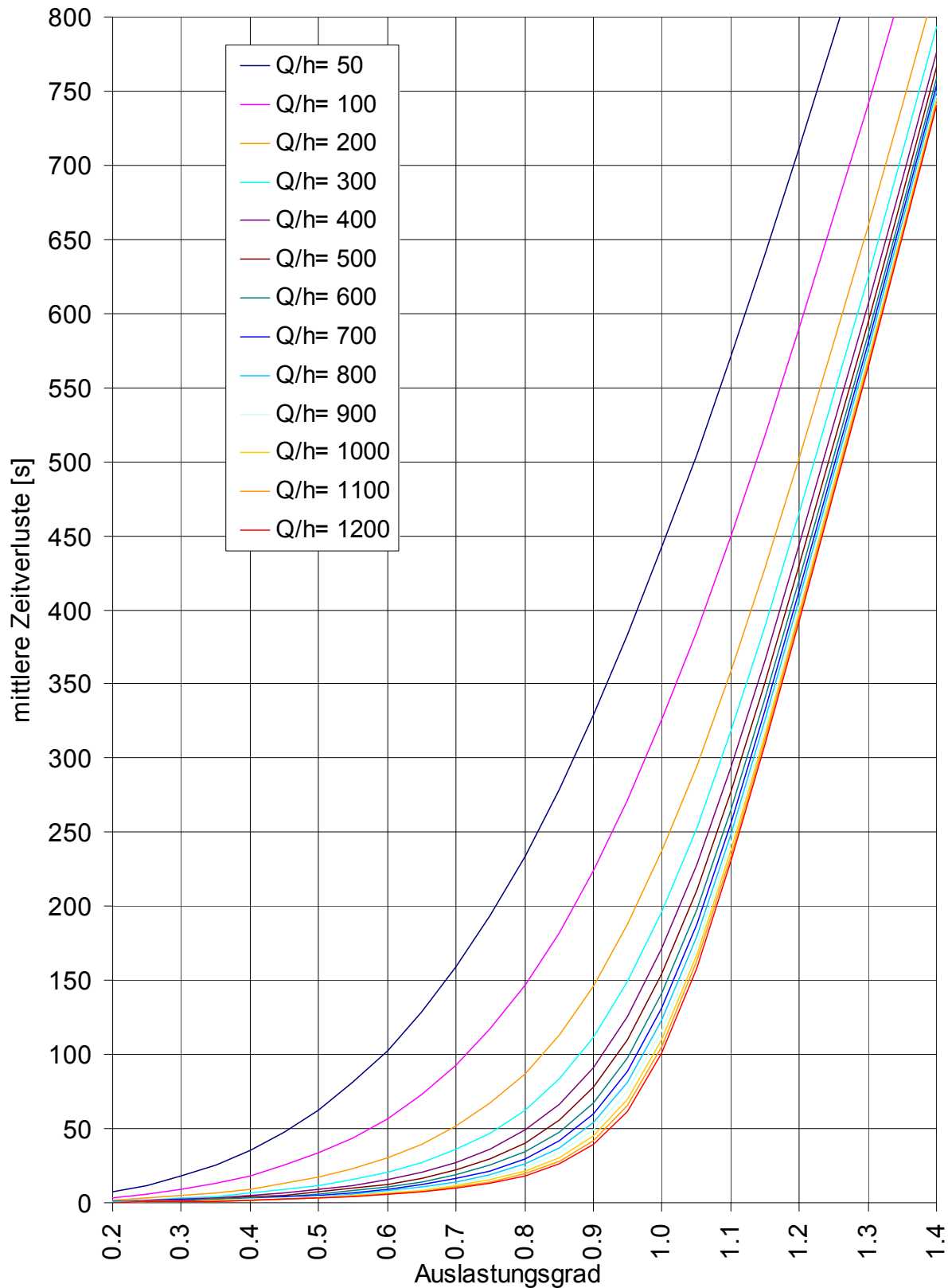
Das Diagramm vergleicht die vielfältigen Näherungen für durchschnittliche Zeitverluste:



Aus vielfältigen Näherungen für durchschnittliche Zeitverluste bietet sich Formel an (TRRL, high definition):

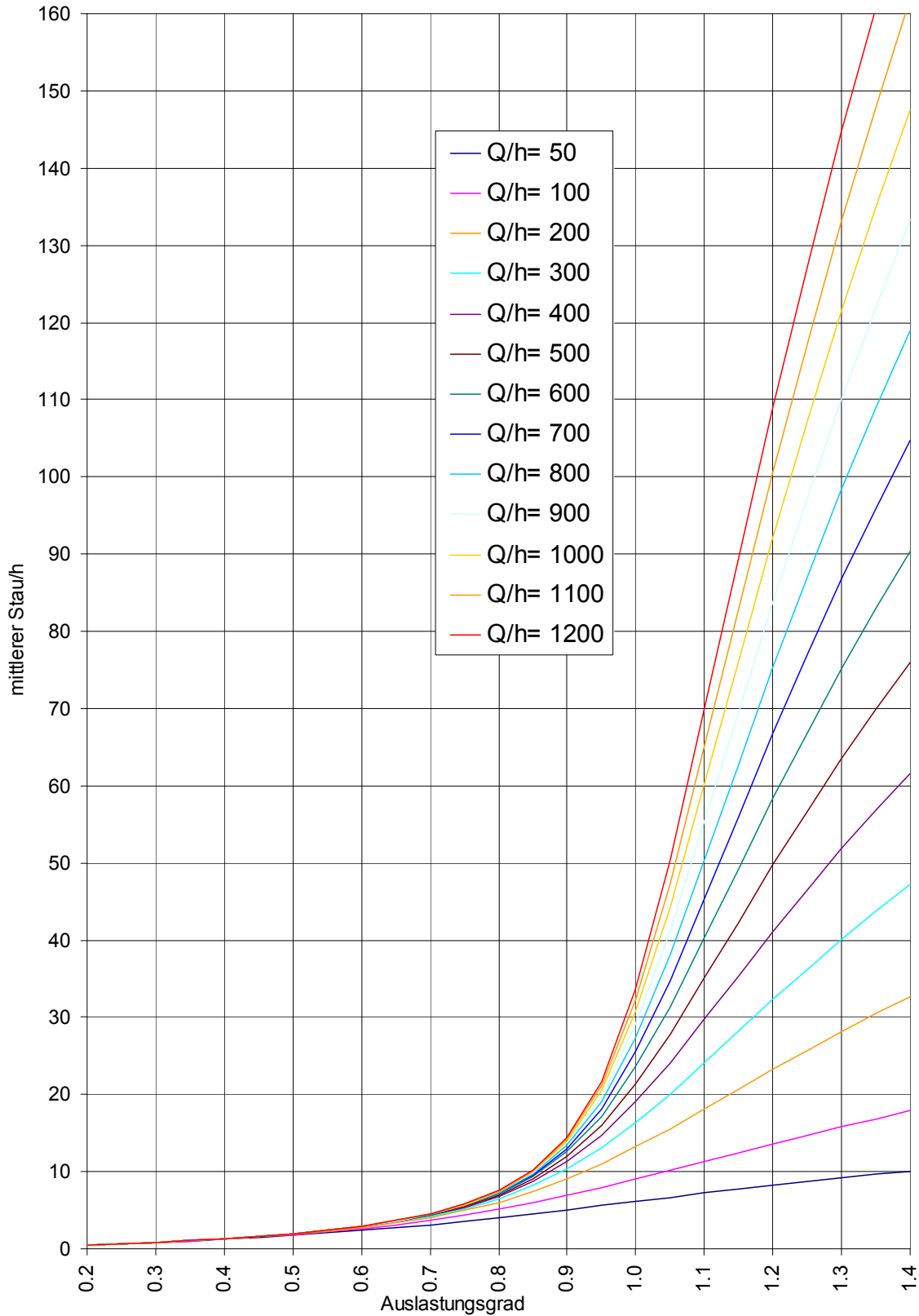
$$w(x, Q)[s] = 900 \left[(x-1) - 4Cx/Q + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8C \cdot (x+1+2Cx/Q)}{Q/x}} \right].$$

Die Formel eignet sich für ungesteuerte Knoten mit der Konstanten $C=1$.



Für durchschnittlichen Stau gilt mit $k = w[s] \cdot l$ und mit $C=1$ für ungesteuerte Knoten:

$$k(x, Q)[s] = \frac{Q}{4x} \left[(x-1) - 4Cx/Q + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8C \cdot (x+1+2Cx/Q)}{Q/x}} \right]$$



Anhang 3**Vergleich Leistung Schätzverfahren / Verfahren aus der Fachliteratur (Tabelle)****Zweirangiger ungesteuerter Fahrzeug- Konflikt**

1	Schätzverfahren	$l_1 = s_{1m}$	
2	Schätzverfahren	$l_1^* = s_{1m} \frac{y_1}{y_1 + y_2}$	$y_1 = \frac{q_1}{s_{1m}} \quad y_2 = \frac{q_2}{s_{2m}}$
3	Schätzverfahren	$l_2 = s_{2m} (1 - y_1)^2$	$y_1 = \frac{q_1}{s_{1m}} \quad \varphi_1 = 1$
4	Schätzverfahren	$l_{2\varphi} = s_{2m} (1 - y_1)(1 - y_1\varphi_1)$	$y_1 = \frac{q_1}{s_{1m}} \quad \varphi_1 = 1 - y_1$
5	Schätzverfahren	$l_2^* = s_{2m} \frac{y_2}{y_1 + y_2}$	$y_1 = \frac{q_1}{s_{1m}} \quad y_2 = \frac{q_2}{s_{2m}}$
Tanner		$l_2 = q_1 \varphi \frac{e^{\left(-\lambda \left(\alpha - \frac{1}{s_{1m}}\right)\right)}}{1 - e^{\left(-\frac{\lambda}{s_{2m}}\right)}}$	$\lambda = \frac{\varphi \cdot q_1}{1 - y_1}$
6	Tanner SIDRA	$l_2 = q_1 \frac{e^{\left(-\frac{q_1}{1-y_1} \left(\alpha - \frac{1}{s_{1m}}\right)\right)}}{1 - e^{-\frac{q_1}{1-y_1} \left(\frac{1}{s_{2m}}\right)}}$	$\lambda = \frac{q_1}{1 - y_1} \quad \varphi_1 = 1$
7	Tanner SIDRA	$l_2 = q_1 (1 - y_1) \frac{e^{\left(-q_1 \left(\alpha - \frac{1}{s_{1m}}\right)\right)}}{1 - e^{-q_1 \left(\frac{1}{s_{2m}}\right)}}$	$\lambda = q_1 \quad \varphi_1 = 1 - y_1$
Siegloch		$l_2 = s_{2m} \cdot e^{-q_1 \left(\alpha - \frac{1}{2s_{2m}}\right)}$	Harders $l_2 = q_1 \frac{e^{-q_1 \left(\alpha - \frac{1}{s_{2m}}\right)}}{e^{\left(\frac{q_1}{s_{2m}}\right)} - 1}$
8	Siegloch HBS	$l_2 = s_{2m} \cdot e^{-q_1 \left(\alpha - \frac{1}{2 \cdot s_{2m}}\right)}$	
9	Harders HCM	$l_2 = q_1 \frac{e^{(-q_1 \alpha)}}{1 - e^{\left(-\frac{q_1}{s_{2m}}\right)}}$	

Definitionen

$\alpha [s]$	Grenzzeitlücke	$q_1 [Fz / s]$	Belastung Vortrittsberechtigter
$s_{1m} [Fz / s]$	maximale Sättigung Vortrittsberechtigter	$q_2 [Fz / s]$	Belastung Vortrittsbelasteter
$s_{2m} [Fz / s]$	maximale Sättigung Vortrittsbelasteter	$1 / s_{1m} [s / Fz]$	Folgezeitlücke Vortrittsberechtigter
φ_1	unkoordiniert zufließender Anteil Vortrittsberechtigter	$1 / s_{2m} [s / Fz]$	Folgezeitlücke Vortrittsbelasteter

Vergleich Leistung Schätzverfahren / Verfahren aus der Fachliteratur (Diagramm)

Zweirangiger ungesteuerter Fahrzeug- Konflikt

Randbedingungen

 $\alpha = 5.5s$

Grenzzeitlücke

 $1/s_{1m} = 2s$

Folgezeitlücke Vortrittsberechtigter

 $q_2 =$ $0.0694Fz/s$

Belastung Vortrittsbelastete

 $1/s_{2m} = 2.4s$

Folgezeitlücke Vortrittsbelasteter

 $\varphi_1 =$

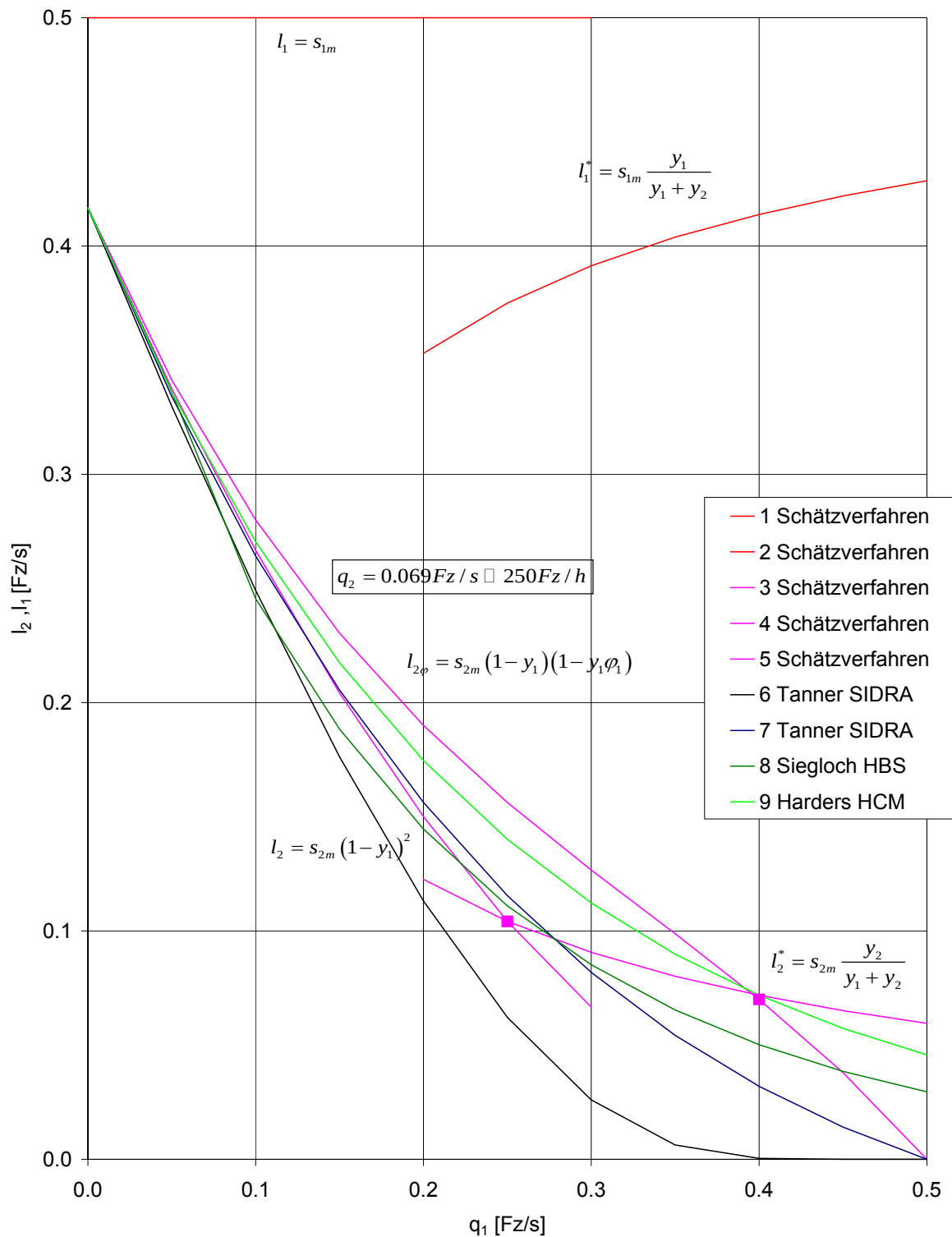
unkoordiniert zufließender Anteil Vortrittsberechtigter

 $s_{1m} = 0.5Fz/s$

maximale Sättigung Vortrittsberechtigter

 $s_{2m} = 0.417Fz/s$

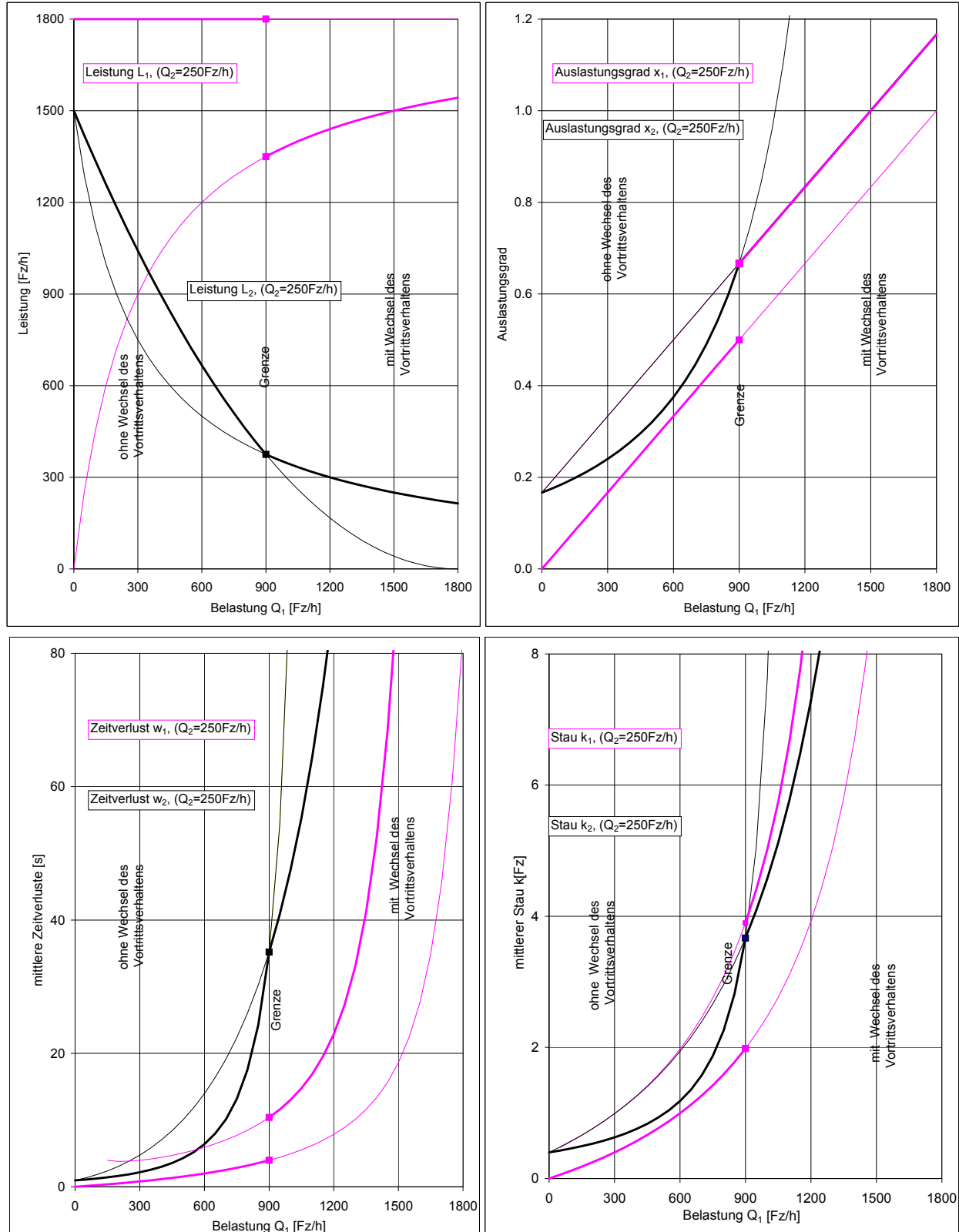
maximale Sättigung Vortrittsbelasteter



Mit dem Wechsel des Vortrittsverhaltens

- sinkt die Leistung der Vortrittsberechtigten
- wird die Leistung der Vortrittsbelasteten grösser als ohne Wechsel,
- wird der Auslastungsgrad der Vortrittsberechtigten und Vortrittsbelasteten gleich gross
- mittlere Zeitverluste und mittlerer Stau der Vortrittsberechtigten steigen
- mittlere Zeitverluste und mittlerer Stau der Vortrittsbelasteten werden kleiner als ohne Wechsel

Die Diagramme zeigen den Einfluss des Vortrittswechsels auf Leistung, Auslastungsgrad, mittlere Zeitverluste und mittleren Stau für eine variable Belastung der Vortrittsberechtigten Q_1 , und eine Belastung der Vortrittsbelasteten von $Q_2=250\text{Fz/h}$



Ungesteuerter mehrrangiger Konflikt ohne Vortrittswechsel

Begriffe Q_i Belastung S_{im} maximale Sättigung L_i Leistung
 S_i Sättigung $y_i = Q_i / S_{im}$ Sättigungsgrad $x_i = Q_i / L_i$ Auslastungsgrad

	Zeitanteil 1 $\lambda_1 = 1$					
zweirangiger Konflikt K=2	Sättigung 1 $S_1 = \frac{Q_1}{y_1} = S_{1m}$		Leistung 1 $L_1 = S_1 \cdot \lambda_1 = S_{1m}$		1 vortrittsberechtigt	
	1 blockiert während y_1		Zeitanteil 2 $\lambda_2 = 1 - y_1$		2 vortrittsbelastet	
	y_1 $S_2 = 0$		Sättigung 2 $S_2 = S_{2m} \lambda_2 = S_{2m} (1 - y_1)$			
			Leistung 2 $L_2 = S_2 \lambda_2 = S_{2m} (1 - y_1)^2$			
dreirangiger Konflikt K=3	Sättigung 1,2 $S_{1,2} = \frac{Q_1 + Q_2}{y_1 + y_2}$		Leistung 1,2 $L_{1,2} = \frac{Q_1 + Q_2}{y_1 + y_2}$		1,2 vortrittsberechtigt	
	1 blockiert während y_1		2 blockiert während y_2		3 vortrittsbelastet	
	$y_1 + y_2$ $S_3 = 0$		Sättigung 3 $S_3 = S_{3m} \lambda_3 = S_{3m} [1 - (y_1 + y_2)]$			
			Leistung 3 $L_3 = S_3 \lambda_3 = S_{3m} [1 - (y_1 + y_2)]^2$			
vierrangiger Konflikt K=4	Sättigung 1,2,3 $S_{1,2,3} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{y_1 + y_2 + y_3}$		Leistung 1,2,3 $L_{1,2,3} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{y_1 + y_2 + y_3}$		1,2,3 vortrittsberechtigt	
	1 blockiert während y_1		2 blockiert während y_2		3 blockiert während y_3	4 vortrittsbelastet
	$y_1 + y_2 + y_3$ $S_4 = 0$		Sättigung 4 $S_4 = S_{4m} \lambda_4 = S_{4m} [1 - (y_1 + y_2 + y_3)]$			
			Leistung 4 $L_4 = S_4 \lambda_4 = S_{4m} [1 - (y_1 + y_2 + y_3)]^2$			
Ungesteuerter mehrrangiger Konflikt ohne Vortrittswechsel						
Sättigung $1 \rightarrow k-1$		$S_{1 \rightarrow k-1} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} Q_i}{\sum_{i=1}^{k-1} y_i} = L_{1 \rightarrow k-1}$		Leistung $1 \rightarrow k-1$		vortrittsberechtigt
k blockiert während $\sum_{i=1}^{k-1} y_i$				k vortrittsbelastet		
$S_k = 0$		Sättigung k		$S_k = S_{km} \lambda_k = S_{km} \left(1 - \sum_{i=1}^{k-1} y_i\right)$		
				Leistung k		

Ungesteuerter mehrrangiger Konflikt mit Vortrittswechsel Vortrittswechsel bei $L_k^* \geq L_k$

Begriffe Q_i Belastung S_{im} maximale Sättigung L_i Leistung
 S_i Sättigung $y_i = Q_i / S_{im}$ Sättigungsgrad $x_i = Q_i / L_i$ Auslastungsgrad

zweirangiger Konflikt k=2
 dreirangiger Konflikt k=3
 vierrangiger Konflikt k=4

$\sum \lambda_i = 1$	
Zeitanteil 1 $\lambda_1^* = \frac{y_1}{y_1 + y_2}$	Zeitanteil 2 $\lambda_2^* = \frac{y_2}{y_1 + y_2}$
Sättigung 1 $S_1^* = \frac{Q_1}{y_1} = S_{1m}$	Sättigung 2 $S_2^* = \frac{Q_2}{y_2} = S_{2m}$
Leistung 1 $L_1^* = S_{1m} \cdot \lambda_1^*$	Leistung 2 $L_2^* = S_{2m} \cdot \lambda_2^*$
Zeitanteil 1,2 $\lambda_{1,2}^* = \frac{y_1 + y_2}{y_1 + y_2 + y_3}$	Zeitanteil 3 $\lambda_3^* = \frac{y_3}{y_1 + y_2 + y_3}$
Sättigung 1,2 $S_{1,2}^* = \frac{Q_1 + Q_2}{y_1 + y_2}$	Sättigung 3 $S_3^* = \frac{Q_3}{y_3} = S_{3m}$
Leistung 1,2 $L_{1,2}^* = S_{1,2}^* \cdot \lambda_{1,2}^*$	Leistung 3 $L_3^* = S_{3m} \cdot \lambda_3^*$
Zeitanteil 1,2,3 $\lambda_{1,2,3}^* = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}$	Zeitanteil 4 $\lambda_4^* = \frac{y_4}{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}$
Sättigung 1,2,3 $S_{1,2,3}^* = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{y_1 + y_2 + y_3}$	Sättigung 4 $S_4^* = \frac{Q_4}{y_4} = S_{4m}$
Leistung 1,2,3 $L_{1,2,3}^* = S_{1,2,3}^* \cdot \lambda_{1,2,3}^*$	Leistung 4 $L_4^* = S_{4m} \cdot \lambda_4^*$
Ungesteuerter mehrrangiger Konflikt mit Vortrittswechsel	
Zeitanteil $1 \rightarrow k-1$ $\lambda_{1 \rightarrow k-1}^* = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} y_i}{\sum_{i=1}^k y_i}$	Zeitanteil k $\lambda_k^* = \frac{y_k}{\sum_{i=1}^k y_i}$
Sättigung $1 \rightarrow k-1$ $S_{1 \rightarrow k-1}^* = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} Q_i}{\sum_{i=1}^{k-1} y_i}$	Sättigung k $S_k^* = \frac{Q_k}{y_k} = S_{km}$
Leistung $1 \rightarrow k-1$ $L_{1 \rightarrow k-1}^* = S_{1 \rightarrow k-1}^* \cdot \lambda_{1 \rightarrow k-1}^* = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} Q_i}{\sum_{i=1}^k y_i}$	Leistung k $L_k^* = S_{km} \cdot \frac{y_k}{\sum_{i=1}^k y_i}$



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am:

4. Januar 2010

Grunddaten

Projekt-Nr.:

VSS 2008/301

Projekttitel:

Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten:
Analytisches Schätzverfahren

Enddatum:

Dezember 2009

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

Es wird ein analytisches Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität von komplexen ungesteuerten Knoten vorgestellt. Auf Grund von empirisch ermittelten Richtwerten und Formeln werden massgebende Elemente entwickelt, welche eine Zerlegung von komplexen ungesteuerten Knoten in einzelne Teilkonflikte ermöglichen:

- für zweirangige Konflikte ohne und mit Wechsel des Vortrittsverhaltens
- für Konflikte mit Lichtsignalanlagen im Zufluss
- für Konflikte mit Stau im Abfluss
- für mehrrangige Konflikte ohne und mit Wechsel des Vortrittsverhaltens
- für Konflikte mit parallelen Fahrstreifen
- für Konflikte mit Mischstreifen
- für ungesteuerte Konflikte bei Lichtsignalanlagen mit Abbiegestreifen
- für ungesteuerte Konflikte bei Lichtsignalanlagen mit Mischstreifen.

Das analytische Schätzverfahren wird an Hand von Beispielen veranschaulicht. Für komplexe ungesteuerte Knoten werden die Elemente zusammengesetzt, Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität abgeschätzt, mit Messungen verglichen, und damit das Verfahren verifiziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnten die Forschungsziele nahezu erreicht werden. Es wurde ein Verfahren entwickelt, mit welchem sich die Leistungsfähigkeit und der Verkehrsablauf an komplexen ungesteuerten Knotenpunkten abschätzen und beurteilen lassen. Dabei werden alle Kombinationen von Konflikten zwischen Fussgängern, Fahrzeugen, Trams und Bussen berücksichtigt, Konflikte zwischen ein- und mehrstreifigen vortrittsberechtigten und vortrittsbelasteten Knotenzufahrten, zwischen ranghöheren und rangtieferen Vortrittsbelasteten sowie Konflikte mit Mischverkehrsstreifen mit unterschiedlichen Teilströmen und kurzen zusätzlichen Stauräumen. Behandelt wurden auch die Änderung des Vortrittsverhaltens bei höheren Auslastungen, Kolonnenverkehr im Zufluss, Behinderungen im Abfluss sowie die Zerlegung von komplexen Knoten in Teilknoten.

Das Verfahren basiert auf einfachen Funktionen. Die Funktionen sind von den Verkehrsstärken Vortrittsberechtigter und Vortrittsbelasteter abhängig sowie von Richtwerten der Sättigung von Fussgängern, Fahrzeugen, Trams und Bussen. Zusätzliche Richtwerte wurden für jene Auslastungen eingeführt, ab welchen sich das Vortrittsverhalten am Konfliktpunkt ändert. Zur Quantifizierung der Verkehrsqualität sind einfache Formeln für die Berechnung von Zeitverlusten und Rückstaulängen angegeben.

Vergleiche zwischen Messungen und auf dem analytischen Schätzverfahren basierenden Berechnungsergebnissen für komplexe ungesteuerte Knoten in der Stadt Zürich zeigten eine sehr gute Übereinstimmung. Damit ist das Verfahren verifiziert und geeignet.

Folgerungen und Empfehlungen:

Nach Verifizieren und Ergänzen der Richtwerte für gesamtschweizerische Verhältnisse in einer Folgeforschung, soll eine Norm über die Abschätzung der Leistungsfähigkeit und die Beurteilung des Verkehrsablaufs von komplexen ungesteuerten Knoten erarbeitet werden.

Es wird angeregt, eine Software zu entwickeln, um die Handhabung des vorliegenden analytischen Schätzverfahrens zu erleichtern. Die Software kann als Beilage zur Norm durch den VSS vertrieben werden.

Publikationen:

Forschungsbericht „Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren“, Dezember 2009

Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:

Das Ziel, ein analytisches Verfahren zum Abschätzen der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität von komplexen ungesteuerten Knoten zu entwickeln, wurde mit der Forschungsarbeit erreicht. Die Forschungsergebnisse sind fundiert und in ihrer Art in der Fachwelt insofern einmalig, als ein alternatives analytisches Schätzverfahren nicht bekannt ist, das in ungesteuerten Knoten mehrere Verkehrsarten und den Wechsel des Vortrittsverhaltens bei hohem Auslastungsgrad berücksichtigt.

Allerdings erscheint das empfohlene Verfahren komplex und lässt sich ohne Qualitätseinbussen kaum vereinfachen. Der Einsatz des Verfahrens in der Praxis setzt deshalb bei den Anwendern fundierte verkehrstechnische Kenntnisse voraus. Bemängelt wird zudem das Fehlen von Angaben zu den Verkehrsqualitätsstufen.

Umsetzung:

Die Notwendigkeit des in dieser Forschungsarbeit erarbeiteten Schätzverfahrens als ein alternatives Hilfsmittel zu den mikroskopischen Simulationsmodellen ist in der Praxis ausgewiesen. Für die Umsetzung der Forschungsergebnisse in einer Norm bedarf es der im nächsten Abschnitt erwähnten Folgeforschungen.

Infolge der Komplexität des Verfahrens muss bei der Anwendung der geplanten Norm in der Praxis mit Problemen der Nachvollziehbarkeit gerechnet werden. Diese könnten durch das Anbieten eines strukturierten und dialoggeführten Softwarepakets - als Beilage zu VSS-Norm - entschärft werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

weitergehender
Forschungsbedarf:

Obwohl die im Schätzverfahren verwendeten Richtwerte der Sättigung auf umfangreichen Erhebungen an Knoten in der Stadt Zürich basieren, sollten sie für die Anwendung an zusätzlichen Knoten verifiziert werden.

Zu überprüfen sind auch die Zusammenhänge zwischen den Leistungswerten der Vortrittsberechtigten und Vortrittsbelasteten, insbesondere für den Auslastungsgrad, ab welchem sich das Vortrittsverhalten an den Konfliktpunkten in Knoten ändert. Zu diesem Zweck sind an ausgewählten städtischen Knoten und Plätzen entsprechende Messungen durchzuführen.

Bei der angesprochenen Folgeforschung ist zu berücksichtigen, dass die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität der Verkehrsarten Fussgänger, leichte Zweiräder und strassengebundene öffentliche Verkehrsmittel in den geplanten Forschungsarbeiten VSS 2007/306 und VSS 2007/305 untersucht werden. Die Ergebnisse können zur Verifizierung der in der vorliegenden Forschungsarbeit angegebenen Leistungswerte verwendet werden.

Einfluss auf
Normenwerk:

Mit der Erarbeitung einer Norm zum vorliegenden Forschungsauftrag wird eine wichtige Lücke in der VSS-Normgruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ geschlossen. Dazu ist der Anwendungsbereich des bisherigen Verfahrens zur Leistungsschätzung von ungesteuerten Knoten (SN 640 022) neu zu umschreiben.

Für die Weiterentwicklung der Normempfehlungen in dieser Normgruppe sind zudem die Empfehlungen aus dem kürzlich abgeschlossenen Forschungsauftrag SVI 2007/005 „Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie“ zu berücksichtigen. Hierbei könnte dem in der vorliegenden Arbeit entwickelten Schätzverfahren, in dem mehrere Verkehrsarten und der Wechsel des Vortrittsverhaltens bei hohem Auslastungsgrad berücksichtigt werden, ein Pilotcharakter zukommen.

Präsident Begleitkommission:

Name:	Koy	Vorname:	Thorsten
Amt, Firma, Institut:	Rapp Trans AG		
Strasse, Nr.:	Hochstrasse 100		
PLZ:	4018	Email:	thorsten.koy@rapp.ch
Ort:	Basel	Telefon:	+41-61-335 78 27
Kanton, Land:	CH	Fax:	+41-61-335 77 00

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Datum
1227	VSS 2004/601	Umweltbauabnahme (UBA) <i>Réception environnementale des travaux (RET)</i>	2008
1228	SVI 2001/508	Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner – eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030? <i>Mobilité des futurs retraités – un défi pour le système des transport en 2030?</i>	2008
1229	SVI 2004/081	Modal Split Funktionen im Güterverkehr <i>Fonctions de répartition modale pour le trafic de marchandises</i>	2008
1230	SVI 2004/090	Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen <i>Monitoring et controlling de l'ensemble du trafic dans les agglomérations</i>	2008
1231	SVI 2004/045	Mobilitätsmanagement in Betrieben – Motive und Wirksamkeit <i>Gestion de la mobilité dans les entreprises – motifs et efficacité</i>	2008
1232	ASTRA 2005/008	Low Power Wireless Sensor Network for Monitoring Civil Infrastructure <i>Drahtloses Sensornetzwerk zur Infrastrukturüberwachung</i>	2009
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten <i>Components durables des couches bitumineux</i>	2009
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen Standardisierte Erhaltungsmassnahmen <i>Mesures d'entretiens standardisées</i>	2008
1236	ASTRA 2008/008_7	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR <i>Analyse Comparative des accents stratégiques et des champs d'action prioritaires de l'OFROU et de l'AIPCR</i>	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz <i>Bases pour eCall en Suisse</i>	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen <i>Sécurité routière pour chantiers de courte durée et aux jonctions dans la zone d'un chantier de route à grand débit</i>	2008
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen <i>Bases de dimensionnement pour le renforcement par géosynthétiques</i>	2009

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Datum
1240	ASTRA 2002/010 & 2005/009	L'acceptabilité du péage de congestion: Résultats et analyse de l'enquête réalisée en Suisse <i>Die Akzeptanz von Gebühren zur Vermeidung von Stau auf Strassen: Resultate und Analysen von Untersuchungen in der Schweiz</i>	2009
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests <i>Amélioration des informations fournies par l'essai d'orniérage LCPC</i>	2009
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: Initialprojekt <i>Recyclage des matériaux bitumeux de démolition dans les enrobés à chaud: projet initial</i>	2007
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen <i>Les coûts de l'entretien courant des routes</i>	2008
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen <i>Bénéfice total - rapport avantages / coûts des mesures d'entretien standardisées</i>	2008
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert <i>Influences et interactions de l'état de surface et de la portance sur la valeur intrinsèque et la valeur d'usage</i>	2009
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen <i>Exigences à l'équipement routier pour l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence</i>	2009
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen <i>Facteurs d'influence sur la résistance au feu de structures en béton</i>	2009
1250	VSS 2005/502	Strassenabwasser Filterschacht <i>Traitement des eaux de routes dans des chambres avec sac en géotextile</i>	2007
1251	VSS 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumeux <i>Auswirkung der gerundeten oder teilweise gerundeten Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit des Asphaltbetons</i>	2008