Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

UNIVERSITY OF ARCHITECTURE CIVIL ENGINEERING AND GEODESY

D I P L O M A R B E I T

Master's Thesis

Leistungsfähigkeitsuntersuchung von plangleichen Knoten am Beispiel der Kreuzung „bul. P. K.Yavorov - bul. Dragan Tsankov“ in Sofia

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab
TU Wien
Institut für Verkehrswissenschaften

und

Senior Assist. Prof. Eng. Marin Donchev
Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia
Institut für Bauingenieurwesen

von
Krasiyana Yaneva
E 2997
Bul. Simeonovsko Shose 85 I
1700 Sofia

Sofia, Mai 2014

INHALTSVERZEICHNIS

1. VORWORT 4

2. KURZFASSUNG 5

3. EINLEITUNG, AUFGABESTELLUNG UND ZIELSETZUNG 6

4. ALLGEIMEINE THEORIE DER KNOTENPUNKTE UND KREUZUNGEN 7

4.1 Grundanforderungen an die Kreuzungen und Knotenpunkte: 7

4.1.1 Verkehrssicherheit: 7

4.1.2 Verkehrsablauf: 7

4.1.3 Umweltverträglichkeit: 8

4.1.4 Wirtschaftlichkeit: 8

4.1.5 Raumsicherung: 8

4.1.6 Übereinstimmung mit den benachbarten Knoten: 8

4.1.7 Architekturgestaltung: 8

4.2 Plangleiche Knotenpunkte 8

4.3 Planfreie Knotenpunkte 8

4.4 Unterteilung der Knotenpunkte: 9

4.4.1 Einmündung und Kreuzung: 9

4.4.2 Kreisverkehr 12

5. UNTERSUCHUNG DER BESTEHENDEN SITUATION 14

5.1 Geometrie der Kreuzung 14

5.2 Ausgangsdaten 17

5.3 Phaseneinteilung 22

5.4 Aufgenommene Daten- Umlaufzeit, Grünzeiten, Staulängen 22

5.5 Berechnung 24

5.5.1 Zwischenzeiten 24

5.5.2 Sättigungsverkehrsmenge und Dimensionierungsbelastung 25

5.5.3 Berechnung der Umlaufzeiten und der erforderlichen Grünzeiten 25

5.5.4 Überprüfung und Beurteilung der VLSA- Berechnung 27

5.5.5 Wartezeitberechnung, Zahl der Halte, Staulängen 29

5.5.6 Schlussfolgerung: 31

6. VARIANTENVERGLEICH 32

6.1 Variante A – Berechnung einer VLSA 33

6.1.1 Phasenaufteilung 34

6.1.2 Übergangs - und Zwischenzeiten: 34

6.1.3 Sättigungsverkehrsmenge und Dimensionierungsbelastung 35

6.1.4 Berechnung der Umlaufzeiten und der erforderlichen Grünzeiten 35

6.1.5 Überprüfung und Beurteilung der VLSA- Berechnung 37

6.1.6 Wartezeitberechnung, Zahl der Halte, Staulängen 37

6.1.7 Qualitätstufen des Verkehrsablauf: Knotenpunkte mit LSA: 38

6.1.8 Schlussfolgerung: 38

6.2 Variante B: Umbau der Kreuzung zu Kreisverkehr 39

6.2.1 Bemessungsverkehrsstärken Q_A , Q_E, Q_K : 40

6.2.2 Grundleistungsfähigkeit der Einfahrt G_i: 41

6.2.3 Leistungsfähigkeit der Einfahrt: L_E 42

6.2.4 Sättigung, Staulängen N_{95} , Wartezeit w_i und LOS: 43

6.2.5 Leistungsfähigkeitsreserve R: 44

6.2.6 Mittlere Wartezeit w: 45

6.2.7 Schlussfolgerung: 47
6.3 Ergebnissbeurteilung 48
6.3.1 Kriterium Verkehrsbelastung: 48
6.3.2 Kriterium Verkehrssicherheit und Umwelt: 50
6.3.3 Kriterium Bau- und Unterhalskosten: 51
6.4 Schlussfolgerungen 52
7. ZUSAMMENFASSUNG: 54
8. TABELLENVERZEICHNIS 55
9. ABBILDUNGVERZEICHNIS 56
10. LITERATURVERZEICHNIS 57
11. ANHANGVERZEICHNIS 58

1. VORWORT

Die vorliegende Diplomarbeit wurde im Institut für Verkehrswissenschaften an der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie Sofia im Rahmen des Doppeldiplomprograms zwischen TU Wien und UABG Sofia verfasst. Diese Diplomarbeit bildet den Abschluss meines Bauingenieurstudiums.

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab bedanken. Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herr Univ. Ass. Dipl.-Ing. Marin Donchev für die ausgezeichnete Betreuung meiner Diplomarbeit, seine ständige Diskussionsbereitschaft und die daraus entstehenden Anregungen für meine Arbeit.

Für die Unterstützung meines Studiums bedanke ich mich bei der Fakultät für Straßenbau an der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie – Sofia.

Abschließend danke ich meinen Eltern, welche mir das Bauingenieurstudium ermöglicht haben und mich stets in jeder Hinsicht unterstützen.

2. KURZFASSUNG

Im Rahmen dieser Arbeit ist die Entscheidung zu treffen, welche Art eines Knotenpunktes die bessere Lösung der bestehenden Probleme der Kreuzung “ Boulevard. P. K. Yavorov – Boulevard Dragan Tsankov“ in der Hauptstadt Sofia ist.

Um dieser Entscheidung zu treffen, ist am Anfang die allgemeine Theorie der Knotenpunkte dargestellt. Dieser Punkt umfasst die verschiedene Typen des Knotenpunktes und deren charakteristische Bestandteile. Die Grundanforderungen sind auch da beschrieben, damit es leichter ist, die Vergleichskriterien zwischen die Ideenvarianten zu bestimmen.

Danach werden die bestehende Situation der Kreuzung untersucht und die Problempunkte bezeichnet. Nach Berücksichtigung der bestehende Zustand werden zwei Ideenvariante nach Leistungsfähigkeit, Wartezeiten und Staulängen überprüft.

Die Ergebnisse jeder Variante werden betrachtet und zusammen mit den anderen Kriterien Verkehrssicherheit, Umwelt, Bau- und Unterhaltungskosten werden zwischen einander verglichen.

Zum Schluss ist, nach einer Überlegung der Vor- und Nachteile jeder Variante, einer der beiden Variante gewählt.

3. EINLEITUNG, AUFGABESTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die Hauptstadt der Republik Bulgarien Sofia ist im westlichen Teil des Landes situiert und ist die Stadt mit der größten Bevölkerung. Die territoriale Struktur der Stadt ist monozentrisch. Im zentralen Teil der Stadt ist die nationale Verwaltung zentriert und etwa 40% aller Arbeitsplätze. Die Entwicklung des Straßennetzes, das den Bedürfnissen des Verkehrs entspricht, ist notwendig für die Entwicklung der Verwaltungs-und Geschäftsdienstleistungen in der Peripherie der Stadt und für Erleichterung den bereits zu stark belastete Kreuzungen in dem zentralen Teil.

Die Kapazität des radial gebildeten hochrangigen Straßennetzes bleibt hinter der schnellen Entwicklung der Stadt in den letzten Jahren (neue Wirtschaftsbereiche, neue Geschäftszentren und Logistikanlagen). Es existiert eine Notwendigkeit um neue Errichtung von Schlüsselkreuzungen und Erweiterung der Hauptstraßen und Kreuzungen, die eine konfliktfreie Bewegung des Verkehrs durch die Hauptrichtungen versichern. Nach den durchgeführten Studien und eine Auswertung der Intensität des Verkehrsablaufs, der durch bestimmten Kreuzungen der Stadt durchfährt, ist eine Optimierung der aktuellen Zustand der Kreuzungen notwendig, die eine Belastung der Anlagen mehr als 30 000 Einheiten von Personenkraftwagen (PKW-E/12h) besitzen. Ein Teil von dem primären Straßennetz und mit Notwendigkeit zur Verbessrung der bestehenden Situation ist auch der Knotenpunkt „bul. P. K. Yavorov – bul. Dragan Tsankov“ [1].

Das Hauptziel dieses Diplomprojektes ist die Transportleistung der Knotenpunkt zu verbessern und die Errichtung eine konfliktfreie Überquerung der Hauptverkehrsströme durch einen Umbau der Kreuzung.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden zwei verschiedene Ideenvarianten für die Umformung der Kreuzung verglichen. Die beiden Ideenvarianten müssen nach einigen Merkmalen analysiert und verglichen werden, wobei alle Vor- und Nachteile jeder Variante berücksichtigt werden.
Die Kriterien, die bei dem Vergleich berücksichtigt werden müssen sind:

a) Verkehrsbelastung
   - Leistungsfähigkeit, mittlere Wartezeiten, Staulängen
b) Verkehrssicherheit und Umwelt
   - Konfliktpunkte, Unfallgeschehen, Schadstoffe, Lärm
c) Bau- und Unterhalskosten

Aufgrund einer Analyse und Beurteilungen ist die Entscheidung zu treffen, welche der beiden Ideenvarianten besser ist.

4. ALLGEIMEINE THEORIE DER KNOTENPUNKTE UND KREUZUNGEN

Eine Anlage, die als Verknüpfung zweier oder mehrerer Straßen dient, wird als Knotenpunkt bezeichnet. Die Kreuzung ist ein Knotenpunkt mit mehr als drei Knotenpunktarmen, die mindestens zwei durchgehend befahrbare Straßen bilden [7].

Nach der Art der Ausführung sind verschiedene Formen den Knotenpunkt zu unterschieden:

a) Plangleiche Knoten- eine Kreuzung zwischen Straßen auf gleichen Niveau. Die Verkehrsströme kreuzen sich.
b) Planfreie Knoten- eine Kreuzung auf unterschiedlichen Niveaus
c) Gemischte Knoten- besitzen Elemente der planfreien und der plangleichen Kreuzungen

4.1 Grundanforderungen an die Kreuzungen und Knotenpunkte:

Die Information in diesem Kapitel 4.1 ist aus Quellen [3] und [7] entnommen und zusammengefasst.

Die folgende Anforderungen Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf, Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Raumsicherung, Übereinstimmung mit den benachbarten Knoten und Architekturgestaltung gelten in gleichen Maßen für alle Arten von Verkehrsknoten.

4.1.1 Verkehrssicherheit:

Verkehrssicherheit muss für alle Verkehrsarten versorgt sein.

Rechtzeitige Erkennbarkeit: die Fahrer sehen die erforderlichen Fahrbewegungen rechtzeitig bei Annährung;

Gute Übersichtlichkeit: die wartepflichtige Fahrer sollen die bevorrechtigen Verkehrsteilnehmer rechtzeitig sehen;

Gute Begreifbarkeit: für alle Verkehrsteilnehmer sollen die maßgebenden Handlungen deutlich sein (Einordnen, Abbiegen, Bevorrechtigung);

Ausreichende Befahr- bzw. Begehbarkeit: die fahrdynamischen und fahrgeometrischen Eigenschaften der Fahrzeuge sowie die Anforderungen der Fußgänger sollen erfüllt sein.

4.1.2 Verkehrsablauf:

Für alle Richtungen muss eine ausreichende Leistungsfähigkeit gesichert werden, so dass maximal kurze Wartezeiten und Staulängen zu entstehen.

4.1.3 Umweltverträglichkeit:

Knotenpunkte sind so zu entwerfen, dass das Umfeld so wenig wie möglich beeinträchtigt wird. Zu berücksichtigen sind: das Landschaftsbild, das Stadtbild, Verkehrslärm und Luftverunreinigung, Flächenbedarf.

4.1.4 Wirtschaftlichkeit:

Die Summe des Bau-, Unterhaltungs-, Zeit-, Unfall- und Betriebskosten muss minimal sein.

4.1.5 Raumsicherung:

Der notwendige Raum muss von dem Baubeginn bis zum Bauabschluss gesichert werden. Eine Bequemlichkeit für zukünftige Rekonstruierung muss auch gesichert sein. Bei planfreien Knoten müssen auch plangleiche Reserveverbindungen versichert werden.

4.1.6 Übereinstimmung mit den benachbarten Knoten:

Sowohl anlagemäßig als auch bedarfsmäßig. Es ist auf einen entsprechenden Knotenabstand Bedacht zu nehmen.

4.1.7 Architekturgestaltung:

Es ist empfehlenswert alle Kreuzungen und Knotenkonstruktionen architektonisch gestalten zu sein.

4.2 Plangleiche Knotenpunkte

Der Knotenpunktform ist abhängig von der Art des Verkehrsablaufes und der vorgesehenen Verkehrsregelung. Weitere Einflussgrößen sind:

- gesamte Verkehrsstärke am Knotenpunkt;
- die möglichen bzw. notwendigen Verkehrsbeziehungen;
- die Größe der einzelnen Ströme;
- das Verhältnis der Ströme untereinander;
- die Abwicklung des öffentlichen Personennahverkehrs;
- das Komfort und Sicherheitsansprüche für Radfahrer und Fußgänger;
- die Entwurfsgeschwindigkeit und die Querschnitte der zusammentreffenden Straßen [7];

4.3 Planfreie Knotenpunkte

Planfreie Kreuzungen setzen sich aus den Teilbereichen zusammen:

- Durchgehende Fahrbahnen
- Ausfahrbereiche

- Einfahrbereiche
- Verbindungsfahrbahnen(-rampen)
- Verflechtungsbereiche

Die Gestaltung planfreier Knotenpunkte hängt von folgendes ab: Lage des Knotenpunktes im Netz, Art und der Anzahl der zu verbindenden Straßen, Geometrische Zusammenführung der Verkehrsströme, Art und Führung der Verbindungsrampen und Verkehrsstärken [8].

4.4 Unterteilung der Knotenpunkte:

Die Knotenpunkte können nach der Lage, der Grundform und der Vorfahrtregelung unterteilt werden. Nach der Lage unterscheidet man Knotenpunkte außerorts und innerorts. Die verschiedene Zahl von Knotenpunktarmen führt zu zwei Grundformen der Knotenpunkte Einmündung und Kreuzung. Der Kreisverkehr ist noch eine spezielle Grundform, wo nach RVS 03.05.14 mehrere Straßen sich plangleich in eine richtungsgebundene Kreisfahrbahn einmünden nach der Art der Vorfahrtregelung:

a) ohne Lichtsignalanlage (LSA)
   - rechts vor links- Regelung
   - Vorfahrt nach Verkehrszeichen
b) mit Lichtsignalanlage (LSA)

4.4.1 Einmündung und Kreuzung:

Bei der Einmündung ist Zusammentreffen einer Straße mit einer durchgehenden Straße ohne Fortsetzung. (Abb. 4-1)

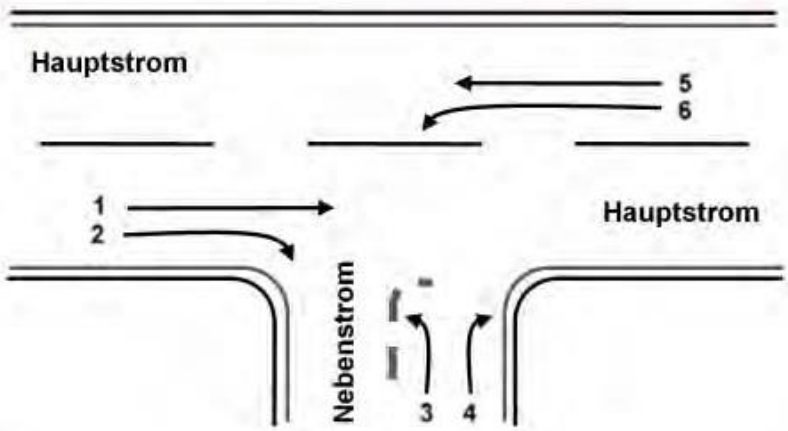


Abb. 4-1: 3-armige (T-Kreuzung) mit allen Verkehrsrelationen [3]

Bei einer Kreuzung überschneiden sich zwei oder mehrere Fahrbahnen verschiedener Straßen(Abb. 4-2).

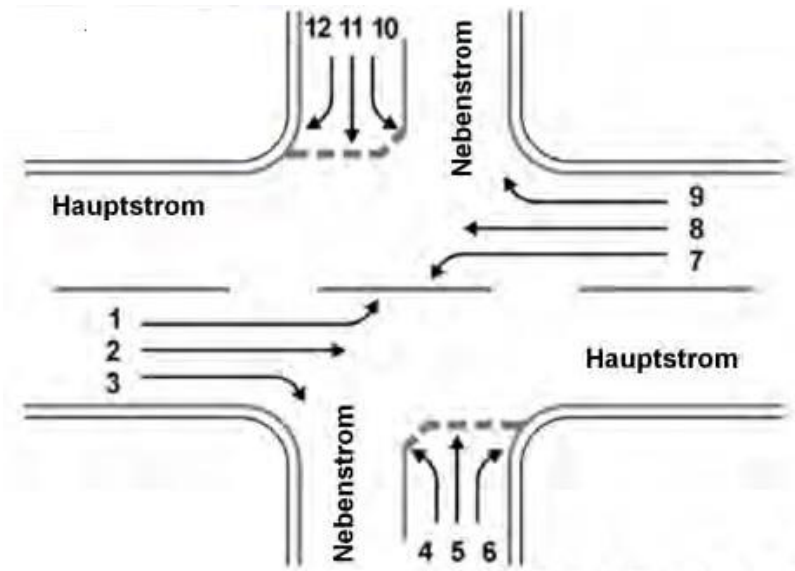


Abb. 4-2: 4-armige Kreuzung mit allen Verkehrsrelationen [3]

<u>Elemente der Knoten:</u>

Die Definitionen der folgenden Elemente sind aus RVS 03.05.12 [3] und Vorlesung Knotenpunkte im Straßennetz [9] entnommen.

a) Durchgehende Fahrstreifen

Im Knoten sollen die Fahrstreifen für den durchgehenden Verkehr die Regelbreite der anschließenden Straßenabschnitte einschließlich einer allenfalls vorhandenen Fahrflächenverbreitung im Bogen gemäß RVS 03.03.23 aufweisen. Um aber das Einbiegen nicht zu erschweren und aus Gründen der Übersichtlichkeit, Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Oberflächenversiegelung soll die gesamte Fahrfläche im Kreuzungsbereich so klein wie möglich gehalten werden.

b) Links- und Rechtsabbiegestreifen

Das Erfordernis von Links- und Rechtsabbiegestreifen muss nach RVS 03.05.12 überprüft werden.

c) Linkseinbiegestreifen

Linkseinbiegestreifen sind aus Gründen der schlechten Begreifbarkeit und der ungünstigen Sicht beim Einordnen in den übergeordneten Hauptverkehrsstrom nur in begründeten Sonderfälle auszuführen.

d) Rechsteinbiegestreifen

Bei zweistreifigen Straßen sind Rechsteinbiegestreifen auf besonders zu begründende Fälle zu beschränken. Wird ein Rechsteinbiegestreifen angeordnet, soll auch ein Dreieckinsel angeordnet werden.

e) Fahrbahnteiler

Fahrbahnteiler dienen der Verbesserung der Verkehrsführung im Knoten. Sie erhöhen die Erkennbarkeit des Knotens (Verdeutlichung des Knotens bei besonderen topographischen Verhältnisse) und bietet Fußgänger und Radfahrern Schutz beim Überqueren der Fahrbahn. Bei einer Anordnung in der übergeordneten Straße dienen sie zusätzlich der Geschwindigkeitsreduktion im Knotenpunktsbereich.

f) Dreieckinsel

Dreieckinseln dienen der Ordnung der Verkehrsströme. Voraussetzung für die Anordnung einer Dreieckinsel ist die Anordnung eines Fahrbahnteilers in der untergeordneten Straße. Die Dreieckinsel ist im Regelfall nur in der Einfahrt in die untergeordnete Straße vorzusehen.

Wenn an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage Verkehrsströme nicht mehr ohne erhebliche Zeitverluste bewältigt werden können, kann eine Lichtsignalanlage in Verbindung mit einer entsprechenden baulichen Gestaltung des Knotenpunkts eine Verbesserung des Verkehrsablaufs bewirken. Die Einrichtung einer Lichtsignalanlage kann auch im Zusammenhang mit Überlegungen erforderlich werden, die im Interesse einer zweckmäßigen Verkehrsführung im Straßennetz über die Betrachtung des Verkehrsablaufs am einzelnen Knotenpunkt hinausgehen.

Der Verkehrsablauf ist am einzelnen Knotenpunkt als verbesserungsbedürftig anzusehen, wenn

- sich in mindestens einer wartepflichtigen Zufahrt oder durch Linksabbieger in der Hauptrichtung während bestimmter Zeiten regelmäßig ein großer Stau bildet;

- einzelne wartepflichtige Kraftfahrzeuge regelmäßig unzumutbar lange (z. B. länger als zwei bis drei Minuten) warten müssen,

- einzelne Fußgänger und Radfahrer regelmäßig über eine bestimmte Geduldsschwelle (z. B. länger als 60 s) hinaus warten müssen.

<u>Funktionsweise einer LSA:</u>

Zeitlich begrenztes Sperren und versetztes Freigeben von Verkehrsströmen durch Schalten von Signalbilder. Dadurch teilweise für bedingt verträgliche Ströme oder vollständige für nicht verträgliche Ströme – Entflechtung der Konflikte „Kreuzen“ und „Einfädeln“.

Betrachtung aller Verkehrsarten und aller (potenziellen) Konfliktflächen.

<u>Ziel der Einrichtung einer LSA:</u>

Beeinflussung der Sicherheit und / oder der Qualität im Verkehrsablauf Einzelner oder aller Verkehrsarten oder Bewegungsbeziehungen[9].

4.4.2 Kreisverkehr

Die Information im Punkt 4.4.2 ist aus Quelle [6] zusammengefasst.

Ein Kreisverkehr ist eine Form der kreisförmige Kreuzung in denen der Verkehr gegen den Uhrzeigersinn um eine zentrale Insel fährt

Eine Regel ist an allen runden Kreuzungen angenommen, dem zirkulierenden Verkehr eine Vorfahrt zu geben. Diese Regel verhindert eine Blockierung der kreisförmigen Kreuzungen, indem keine Fahrzeuge an der Kreuzung einfahren können, bis es genügend Lücken in zirkulierenden Verkehr gibt. Darüber hinaus wurden kleinere kreisförmige Kreuzungen vorgeschlagen, damit die erforderliche ausreichende horizontale Krümmung des Fahrzeugs, eine langsame Einfahrt und niedrige zirkulierende Geschwindigkeiten zu erreichen.

Kreisverkehre wurden in drei grundlegende Kategorien je nach Größe und Anzahl der Fahrspuren getrennt, um die Diskussion über bestimmte Leistung oder Projektierungsfragen zu erleichtern:

a) Mini-Kreisverkehre,
b) Einspurige Kreisverkehre
c) Mehrspurige Kreisverkehre.

<u>Mehrspurige Kreisverkehre</u>

Mehrspurige Kreisverkehre haben mindestens eine Einfahrt mit zwei oder mehr Spuren. In einigen Fällen kann der Kreisverkehr eine unterschiedliche Anzahl von Fahrspuren auf eine oder mehrere Einfahrten (z. B. zwei-spurige Einfahrten auf der Hauptstraße und einspurige Einfahrten auf der Nebenstraße) haben. Die Geschwindigkeiten am Eingang, auf der Kreisfahrbahn und am Ausgang sind ähnlich oder etwas höher als die für den einspurigen Kreisverkehr. Die geometrische Gestaltung enthält:

- Kreisverkehrsarm - Straße, die in einen Kreisverkehr mündet.
- Einfahrt – Zur Kreisfahrbahn führender Fahrstreifen eines Kreisverkehrsarmes
- Ausfahrt – Von der Kreisfahrbahn wegführender Fahrstreifen eines Kreisverkehrsarmes.
- Kreisfahrbahn – Ein- oder mehrstreifige, annährend kreisförmige Fahrbahn zur Verbindung der Ein- und Ausfahrten eines Kreisverkehrs.
- Mittelinsel – Die Mittelinsel ist die innerhalb der Kreisfahrbahn liegende Fläche, welche – ausgenommen bei Minikreisverkehren- nicht überfahrbar ausgeführt ist.
- Außendurchmesser - Der Außendurchmesser eines Kreisverkehres wird am Außenrand der Kreisfahrbahn gemessen.
- Bypass - Eigener Fahrstreifen für Rechtsabbieger, der von der Kreisfahrbahn getrennt ist.
- Maßbebendes Fahrzeug – Bemessungsfahrzeug, dessen Schleppkurve für die Prüfung der Befahrbarkeit heranzuziehen ist.

Typischen mehrspurigen Kreisverkehr ist in Abb. 4-3 dargestellt:

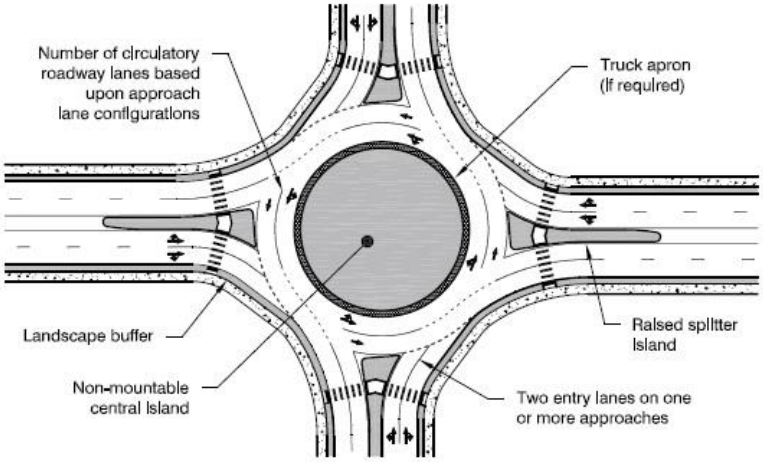


Abb. 4-3: Mehrspurige Kreisverkehr – Bestandteile [6]

Verkehrsbetrieb:

Der Betrieb des Fahrzeugverkehrs an einem Kreisverkehr wird durch Lückenannahme ermittelt. Die eintretenden Fahrzeuge suchen und akzeptieren Lücken in dem zirkulierenden Verkehr. Die niedrigen Geschwindigkeiten von einem Kreisverkehr erleichtern diese Abnahmeprozess der Lücken. Darüber hinaus ist die Betriebseffizienz (Kapazität) von Kreisverkehren größer bei niedrigeren Umlaufgeschwindigkeit wegen der folgenden zwei Phänomene:

1. Je schneller der Verkehr zirkuliert, desto größer sind die Lücken, die eintretenden Verkehr bequem akzeptieren kann. Dies führt zu weniger akzeptabel Lücken und daher mehr Fälle, wo die eintretende Fahrzeuge an der Haltelinie stoppen müssen.
2. Der eintretende Verkehr, der zuerst an der Haltelinie gestoppt wird, erfordert noch größere Lücken in den umlaufenden Verkehr, um sich zu beschleunigen und mit dem zirkulierenden Verkehr zusammenzufahren.

Fahrzeugverzögerung und Warteschlangen Lagerung:

Beim Betrieb im Rahmen ihrer Kapazität funktioniert der Kreisverkehr typischerweise mit geringeren Fahrzeugverzögerungen als andere Kreuzungsformen. Mit einem Kreisverkehr, ist es nicht notwendig für den Verkehr zum Stillstand zu kommen, wenn keine Konflikte vorhanden sind. Die Leistung der Kreisverkehre außerhalb der Spitzenstunden ist besonders gut im Vergleich mit anderen Arten von Knotenpunkten, in der Regel mit sehr niedriger durchschnittlicher Verzögerung.

5. UNTERSUCHUNG DER BESTEHENDEN SITUATION

Die plangleiche Kreuzung „P. K. Yavorov – Dragan Tsankov“ ist vierarmig und mit Ampeln reguliert. Alle Biegerichtungen sind erlaubt und der Ampel ist in vier Phasen (Zyklen) geregelt.

Der Morgenspitzeneingangslast der Kreuzung überschreiten 6200 ELA / h und schafft Warteschlangen mit großen Länge auf alle Branchen. Der unzulässig hohe Verkehrsstau erfordert Regulierung des Zyklus der bestehenden Ampel, die manuell mit Polizeieinsatz durchgeführt wird und engagiert sich täglich teuer und wichtige menschliche Ressource.

In der Nähe der Kreuzung, hinter dem Fernsehturm, auf einer separaten Spur durchfährt eine Straßenbahnlinie, die wie eine Verbindung zwischen die Wohnviertel „Lozenets“ und „Iztok“ dient.

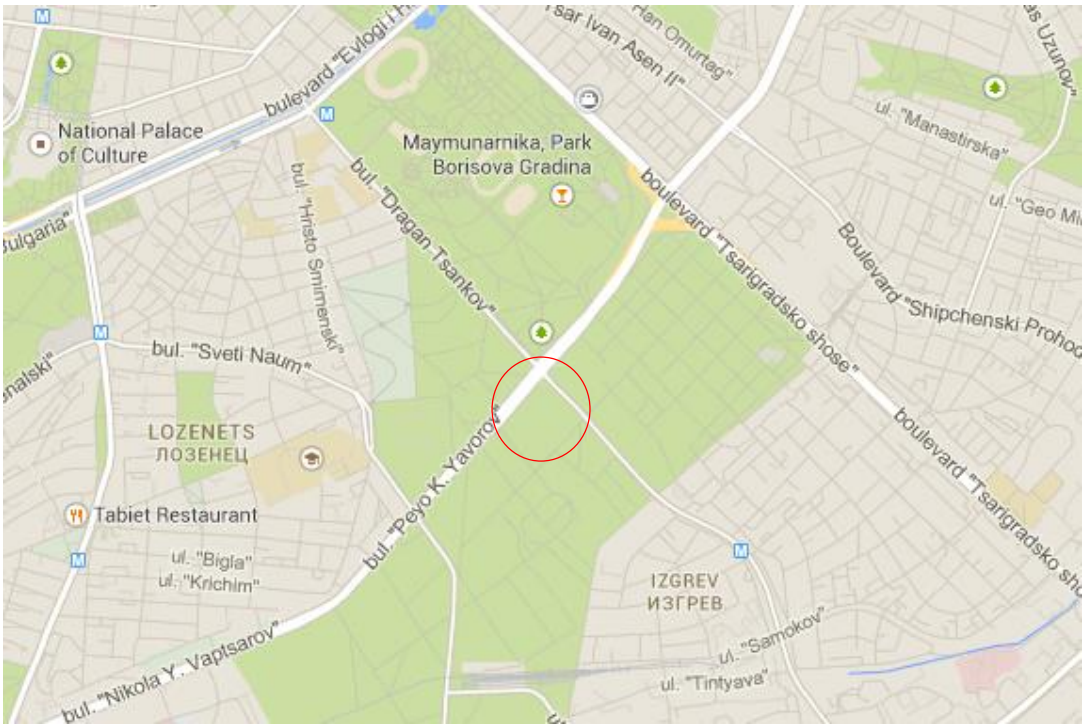


Abb. 5-1: Die Lage der Kreuzung “bul. P. K. Yavorov – bul Dragan Tsankov“ [12]

5.1 Geometrie der Kreuzung

a) Boulevard P. K. Yavorov

Der Boulevard ist ein Teil des primären Straßennetzes (Hauptstraßennetz) von Sofia und ist die Hauptverkehrsader, die den schweren Verkehr vom nordöstlichen Teil der Stadt nach Süden und umgekehrt trägt. Durch den Boulevard durchfahren öffentlichen Verkehrsmitteln, für die im Bereich der Kreuzung Bushaltestellen angebaut sind.

Abb. 5-2: Boulevard P. K. Yavorov [12]

b) Boulevard Dragan Tsankov

Der Boulevard Dragan Tsankov ist ein Teil des Hauptstraßennetzes von Sofia und bietet an die Bewohner den Stadtteilen- „Iztok“, „Musagenitsa“, „Darvenica“, “Mladost“ und „Dianabad“ eine schnelle Verkehrsanbindung mit dem Stadtzentrum.

Abb. 5-3: Boulevard Dragan Tsankov [12]

Auf Abbildung 5-4 ist die Geometrie der Kreuzung schematisch dargestellt.

Der Boulevard “P. K. Yavorov“ besteht aus 3 Bändern jeder Richtung, eine Trennstreife mit einer Breite von 1,60 m bis 2,0 m und angrenzenden Gehweg von 3,0 m.

„Dragan Tsankov" besitzt eine Breite der Fahrbahn von 14,00 Metern, mit zwei Fahrspuren für jede Richtung 2 x 3.50m (ohne Trennstreife). Im südöstlichen Teil des Boulevards gibt es Gehwege mit einer Breite von 3,0 Metern. Nordwesten gibt es keine angrenzenden Gehwege und grenzt der Boulevard direkt mit dem Parkbereich.

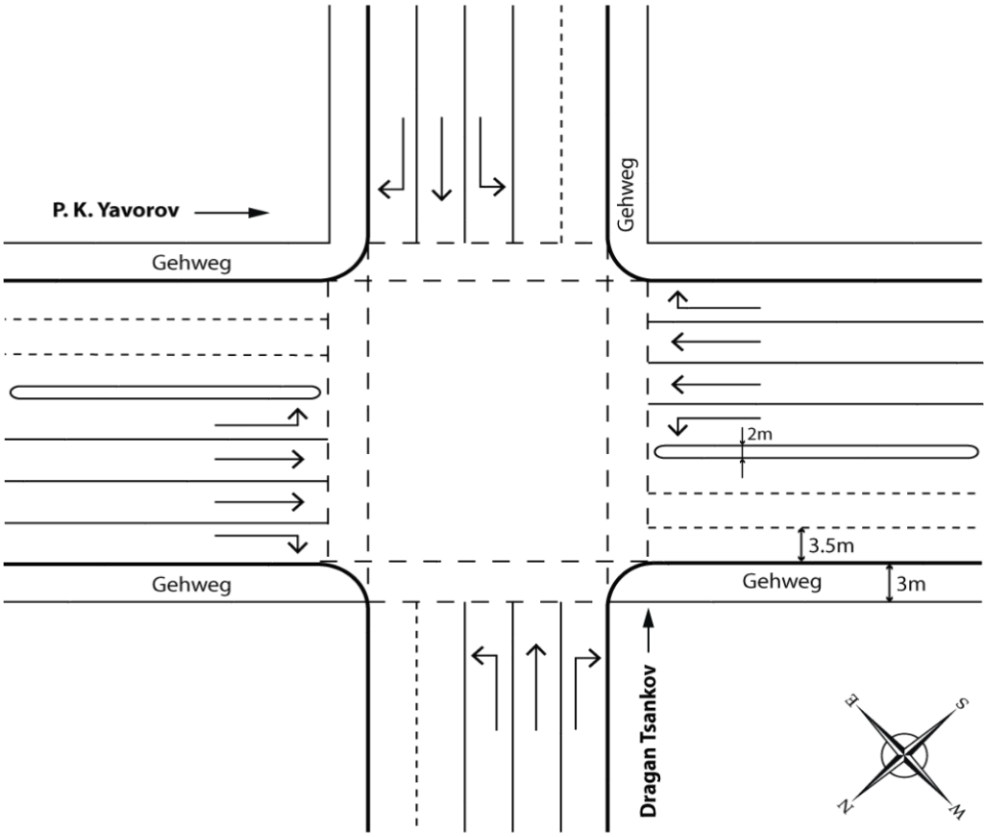


Abb. 5-4: Geometrie der Kreuzung P. K. Yavor – Dragan Tsankov

5.2 Ausgangsdaten

Im Rahmen Punkt 5.2 werden die folgenden Ausgangsdaten betrachtet: Verkehrsbelastung, Umlaufzeit, Grünzeiten und Staulängen.

Die Internationale Beratungsfirma Mott MacDonald Limited (Mott MacDonald Ltd) entwickelt einen Generalplan für die Organisation der Bewegung von Fahrzeugen. Er umfasst Maßnahmen um Verkehrsunfälle zu begrenzen, die Verwaltung von der Geschwindigkeit der Bewegung auf Stadtautobahnen, die Organisation der Verkehr auf belasteten Verkehrskorridore, die Organisation des Verkehrs in belasteten Kreuzungen durch Modellierung und die vorgeschlagene Organisation der Parkplätze in der Stadt. Als Teil des Generalplans wurde Befragung durchgeführt, um Daten über das bestehende Straßenverkehr in der Stadt zu erhalten. Die Verkehrsstudie umfasst 53 Schlüsselkreuzungen, darin geratet der Knotenpuknt P. K. Yavorov - Dragan Tsankov. Die Verkehrsbelastungen am Knotenpunkt wurden im Rahmen einer Verkehrszählung durch 2 verschiedene Tage ermittelt.

Um die maximale Strömungsrate zu bestimmen, werden Verkehrsmessungen in zwei Tagen in der Woche vorgenommen. Einer von ihnen ist von Montag bis Donnerstag und der andere ist Freitag (in den Monaten Mai und Juni). Die Erfassung fand in dem Zeitraum 7:30 bis 19:30 Uhr statt. Ein Teil von den Ergebnissen davon ist in der Tabelle 5-1 dargestellt [1].

Name der Krezung	Kraftwagen	Mini-Van	große Lastwagen	Mitt. LKW	LKW	Busse und Trolleys	Sraßenbahnen	Insgesamt [PKW-E/h]
17. Konstantin Velichkov - Alexandar Stambolijski	22620	951	735	187	177	280	809	53399
18. Konstantin Velichkov- Todor Alexandrov	25550	572	845	152	214	0	623	56332
19. Konstantin Velichkov - Slivnitsa	26041	632	1544	257	46	647	364	60567
20. Kamendelska - 202	13636	614	1046	341	184	292	280	34718
21. Vasil Katchev - Rezbarska	12428	409	1146	691	323	356	0	33352
22. Vladimir Vazov - Vasil Katchev	14611	446	310	276	0	354	0	32270
23. Poduyane	45403	1660	2467	640	85	641	211	102994
24.Geo Milev - Sitnyakovo	64797	541	1248	1084	1	656	211	70436
25. P. K. Yavorov - Dragan Tsankov	36586	625	1164	365	0	263	0	76515
	28367	551	465	247	1620	390	100	66886

Name der Krezung	Kraftw agen	Mini-Van	große Lastw agen	Mitt. LKW	LKW	Busse und Trolleys	Sraßen bahnen	Insgesamt [PKW-E/h]
26. P. K. Yavorov - Simeonovsko shose								
27. Tcherni vrah - Nikola Vaptsarov	20222	356	485	209	102	284	70	43353
28. Tcherni vrah - Srebarna	17377	224	780	126	110	498	0	38730
29. Henrih Ibsen - Kozyak	14721	455	570	92	28	102	0	31369
30. Gotse Delchev - Petko Todorov	54574	1164	1069	584	106	2769	462	65285
31. Gotse Delchev - Bulagaria	28704	676	801	178	42	325	45	60631
32. Tsar Boris III - Gotse Delchev	21291	765	1054	11	5	458	164	48059
33. Nikola Mushanov - Zhitnitsa	18197	664	646	258	271	413	100	42276

Tabelle 5-1: Zählung des Verkehrs – Tages Intensität für 12 Stunden [PKW-E/h] [1]

Mit dem Ergebnis von 76 515 Pkw-E/ 12 Stunden nimmt der Kreuzung „P. K. Yavorov- Dragan Tsankov“ Position Nr. 5 von 53 Knotenpunkten (Abb. 5-5), die in der Verkehrszählung teilgenommen haben. Die Intensität der Kreuzung ist relativ hoch.

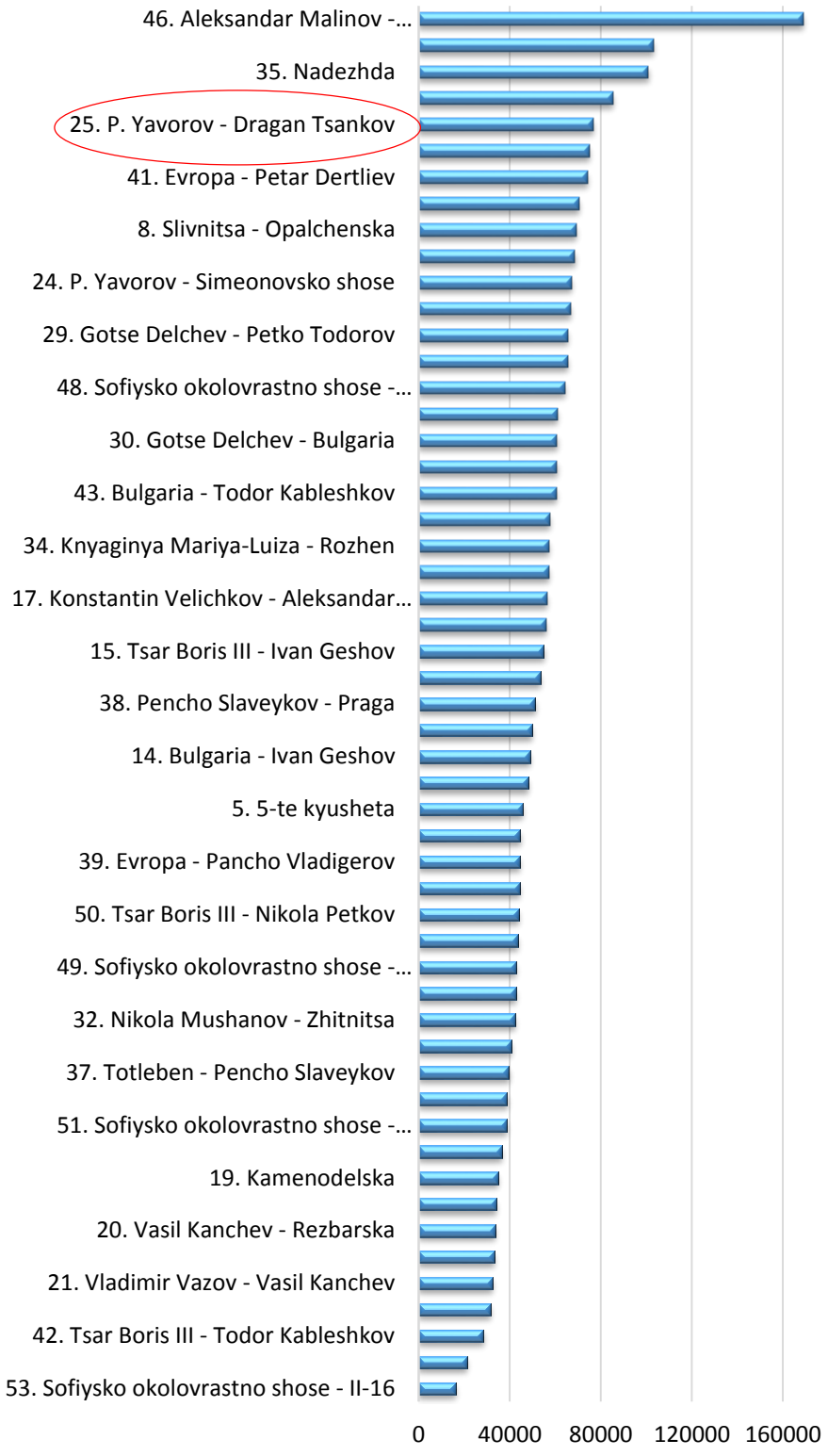


Abb. 5-5: Klassierung der Kreuzungen in Abhängigkeit von der Belastung [1]

Die Verkehrsstärken, die von Verkehrszählung angenommen sind, werden zur Berücksichtigung der Unterschiede bei Fahrzeuglängen, Fahrverhalten und Beschleunigungsvermögen durch Äquivalenzfaktoren aus Tabelle 5-2 in PKW- Einheiten [PKW-E] umgerechnet.

Personenkraftwagen und Lieferwagen	1,0 Pkw-E
Lastkraftwagen und Busse	1,5 Pkw-E
Lkw mit Anhänger und Lastzüge	2,0 Pkw-E
motorisierte Zweiräder	1,0 Pkw-E
Fahrräder	0,5 Pkw-E
Alternativ: Fahrzeuge gesamt	1,1 Pkw-E

Tabelle 5-2: Äquivalenzfaktoren für Umrechnung von Fz-Einheit zu PKW-Einheit [4]

Daraus ergeben sich die in Abb. 5-6 angegebenen Dimensionierungsverkehrsstärken für die einzelnen Ströme der Knotenpunkt.

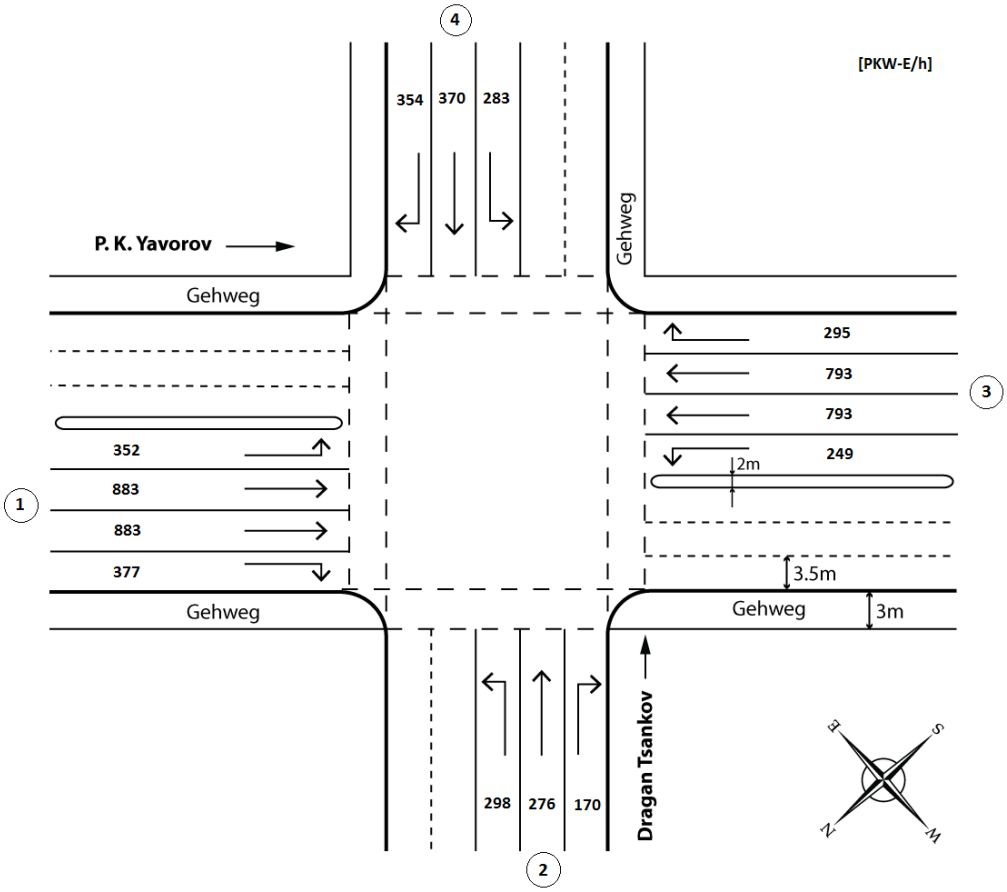


Abb. 5-6: Dimensionierungsverkehrsstärken für die einzelnen Ströme in Pkw-E/h

Die Benennung der Verkehrsströme ist auch in Abb. 5-6 dargestellt. Die Streifen, die deren Fahrzeuge gerade fahren, sind mit der jeweiligen Nummer und dem Kürzel „g" gekennzeichnet. Mit „l" und „r" sind die Streifen für Linksabbieger und Rechtsabbieger gekennzeichnet.

Abbildung 5-7 darstellt die Verteilung der Hauptstrombelastung jeder Richtung. Daraus kann man leicht bemerken, dass die gerade fahrenden Ströme der Richtung P. K. Yavorov deutlich größer als alle anderen Ströme sind. Im Vergleich ist die Verkehrsbelastung des Boulevards Dragan Tsankov ungefähr zweimal niedriger.

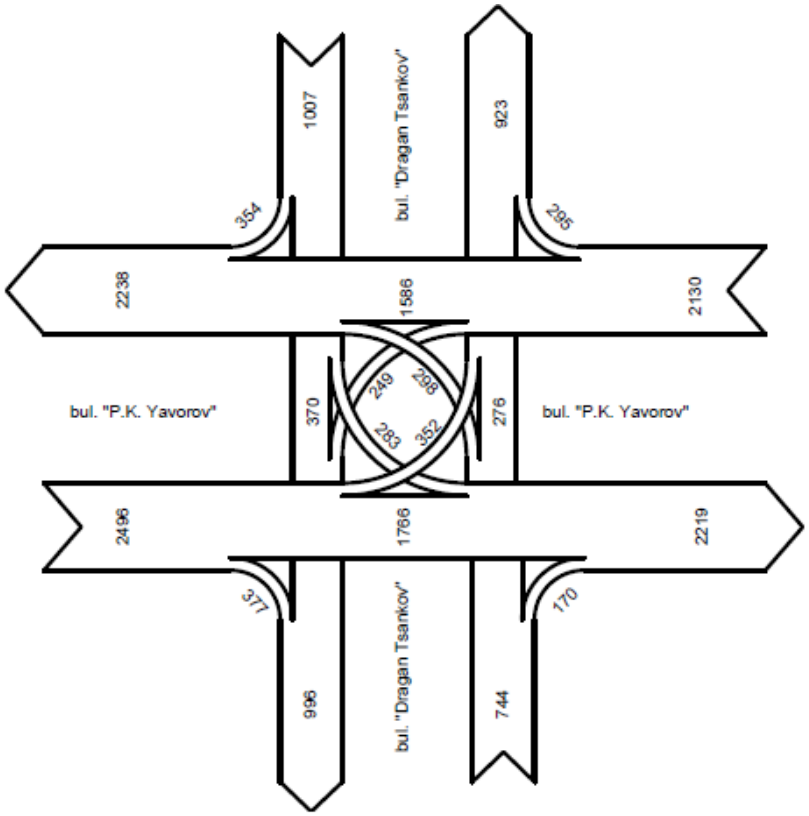


Abb. 5-7: Verteilung der Verkehrsbelastung in Pkw-E/h

Boulevard Dragan Tsankov besitzt eine gleichmäßige Belastung in beiden Richtungen. Die Werte der rechts- und linksabbiegenden Ströme der zwei Boulevards sind auch nahe zwischen einander.

5.3 Phaseneinteilung

Alle Biegerichtungen der Kreuzung sind erlaubt. Die Lichtsignalanlage ist in vier Phasen (Zyklen) geregelt. Die 4-phasingen Steuerung besitzt die Phasenfolge 1-2-3-4-1.

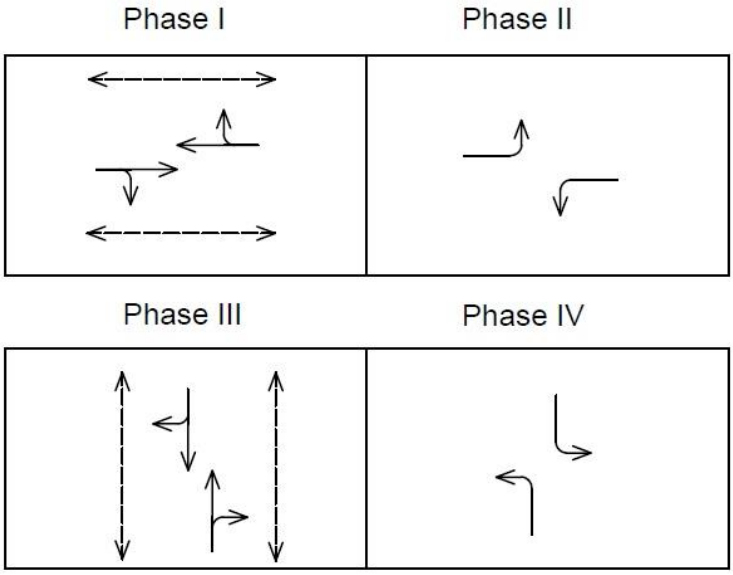


Abb. 5-8: Phaseneinteilung

5.4 Aufgenommene Daten- Umlaufzeit, Grünzeiten, Staulängen

Eine Beobachtung der Kreuzung war auch durchgeführt, um Daten für die vorhandene Umlaufzeit, Grünzeiten und Staulängen zu sammeln. Die bemessene Umlaufzeit ist t_u = 189 s. Dieser Wert überschreitet ziemlich die maximale Umlaufzeit $t_u = 90\ s$ $(\text{in Ausnahmefällen } 120\ \text{s})$ nach den Richtwerten. Abbildung 5-9 darstellt durch ein Signalzeitenplan wie die Grünzeiten jeder Phase verteilt sind.

Abb. 5-9: Signalzeitenplan

Während der Beobachtung werden auch die Daten für die Staulängen jeder Richtung aufgenommen. Jede der beiden gerade fahrenden Ströme bilden Schlagen, die ungefähr 300 - 350 m lang sind. Alle anderen Schlangen sind in den Grenzen von 65 bis 140 m lang. Die

grafische Darstellung darunter (Abb**. 5-10**) zeigt deutlich, dass die gerade fahrenden Richtungen 1g und 3g (P. K. Yavorov) am stärksten belastet sind.

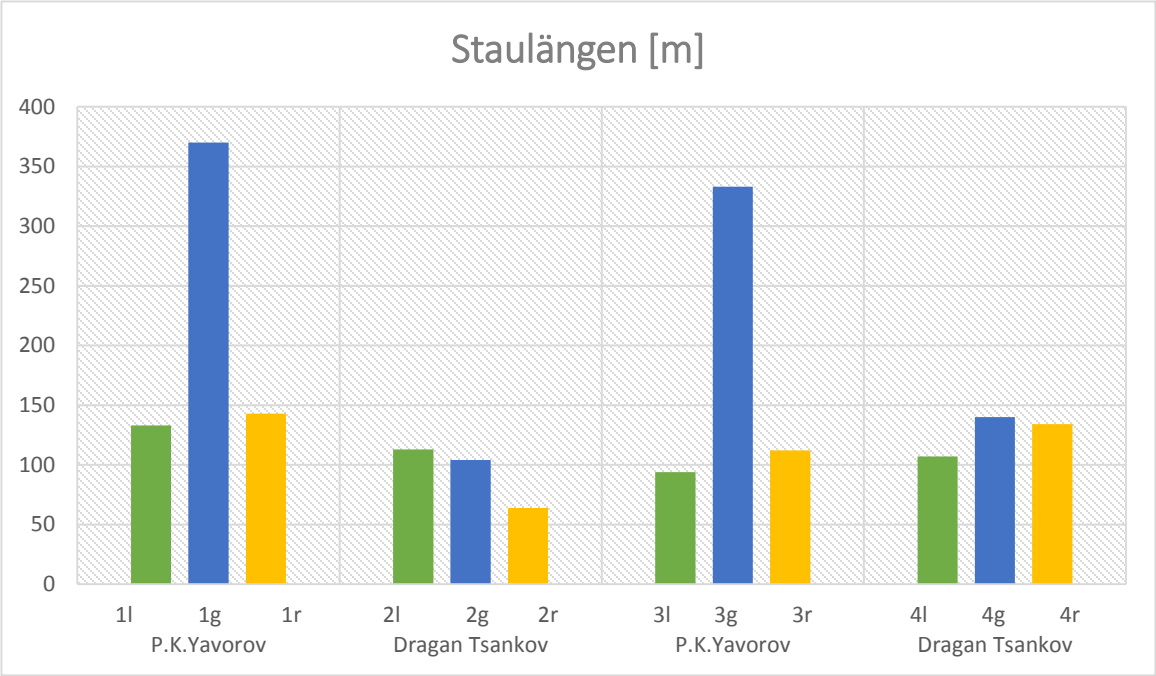


Abb. 5-10: Grafische Darstellung der aufgenommene Daten der Staulängen

Zur Überprüfung der Ergebnisse werden auch Berechnungen gemacht, die man in den folgenden Punkten finden kann. In den Berechnungen sind die offiziellen Ausgangsdaten von der Verkehrszählung gebraucht. (Tabelle 5-1)

5.5 Berechnung

Die Berechnungen sind nach dem Skriptum [5] gemacht.

5.5.1 Zwischenzeiten

Die Zwischenzeiten werden für all Kombinationen nichtverträglicher Verkehrsströme (Ströme, die gemeinsame Konfliktfläche besitzen) ermittelt und in einer Zwischenzeitenmatrix dargestellt. (Anhang Nr. 1)

Die Zwischenzeit t_z hängt von Überfahrtzeit ($t_{ü}$), Räumtzeit (t_r) und Einfahrtzeit (t_e) ab.

$$t_z = t_{ü} + t_r - t_e \qquad \text{Gl. 5-1}$$

Mindestzwischenzeit: t_z min = 4 s

Überfahrtzeit ($t_{ü}$) wurde für alle Berechnungen mit 3 sec angesetzt. ($t_{ü}$ = 3 s bei $V_{zul} \leq$ 60 km/h)

Räumzeit **:**

$$t_r = \frac{S_r}{V_r} \qquad \text{Gl. 5-2}$$

S_r - Räumweg

V_r – Räumgeschwindigkeit ($V_{r,KFZ}$ = 12 m/s)

Einfahrtzeit:

$$t_e = \frac{S_e}{V_e} \qquad \text{Gl. 5-3}$$

S_e – Einfahrweg

V_e – Einfahrgeschwindigkeit ($V_{e,KFZ}$ = 12 m/s)

Die Wege sind aus dem Lageplan zu entnehmen. Die Geschwindigkeit wird mit 12 m/s angenommen.

Anhand dieser Theorie wurde die Zwischenzeitenmatrix erstellt, die man im Anhang Nr. **1** finden kann.

$$\sum t_{zi} = 16\ s$$

5.5.2 Sättigungsverkehrsmenge und Dimensionierungsbelastung

Die Fahrstreifen, die mindestens 3 m breit sind, kann die Sättigungsverkehrsmenge 2200 PKW-E/h angenommen werden.

Das Verhältnis, für die einzelnen Fahrstreifen, zwischen die Dimensionierungsbelastung und die Sättigungsmenge sind in folgende Tabelle ersichtlich:

$M_{maßg}$ – maßgebende Dimensionierungsbelastung für jeden einzelnen Strom

M_s – Sättigungsverkehrsmenge- die maximale Verkehrsmenge, die die Haltelinie eines Fahrstreifens während einer Stunde Freigabezeit passieren kann.

Phase Nr.	Fahrspur	Mmaßg	Ms	Mmaßg/Ms
I	1g	883	2200	0,401
	1g	883	2200	0,401
	1r	377	2200	0,171
	3g	793	2200	0,360
	3g	793	2200	0,360
	3r	295	2200	0,134
II	1l	352	2200	0, 160
	3l	249	2200	0,113
III	2g	276	2200	0,125
	2r	170	2200	0,077
	4g	370	2200	0,168
	4r	354	2200	0,161
IV	2l	298	2200	0,135
	4l	283	2200	0,129

Tabelle 5-3: Dimensionierungsbelastung der Ströme Mmaßg , Sättigungsverkehrsmenge M_s und das Verhältnis dazwischen

5.5.3 Berechnung der Umlaufzeiten und der erforderlichen Grünzeiten

Die Umlaufzeit ist die Zeitdauer für die einmalige Folge aller Phasen eines Signalprogramms.

$$t_u = \frac{\sum t_{z,i}}{1 - \sum \frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}} \qquad \text{Gl. 5-4}$$

t_u – Mindestumlaufzeit für die erforderliche Leistungsfähigkeit

$\sum t_{z,i}$ – Summe der maßgebenden Zwischenzeiten

$\sum \frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}$ – Summe der maßgebenden Verhältnisse zwischen die Dimensionierungsbelastung und die Sättigungsverkehrsmenge

Für jede Phase der LSA werden die maßgebenden Werte für $M_{maßg}/M_s$ angenommen. Alle Werte kann man in Tabelle 5-3 finden und die maßgebenden Zwischenzeiten sind im Punkt 4.5.1 berechnet.

$$t_u = \frac{4+4+4+4}{1-(0{,}401+0{,}160+0{,}168+0{,}135)} = 119\ s$$

Optimale Umlaufzeit: Wegen der längeren Wartezeiten bei Verwendung der Mindestumlaufzeit, ist eine Näherungsformel für $t_{u,opt}$ gegeben, damit die gesamte Wartezeit des fahrenden Verkehrs ein Minimum wird.

$$t_{u,opt} = \frac{1{,}4 * \sum t_{z,i} + 4}{1 - \sum \frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}} \qquad \text{Gl. 5-5}$$

$$t_{u,opt} = \frac{1{,}4 * (4+4+4+4) + 4}{1-(0{,}401+0{,}160+0{,}168+0{,}135)} = 196\ s$$

Die optimale Umlaufzeit wäre also in einem Bereich von 147s bis 294 sec (0,75* $t_{u,opt}$ bis 1,5* $t_{u,opt}$) zu wählen.

Die Umlaufzeit wird auf t_u = 226 Sekunden festgelegt.

Die Formel für die Grünzeiten lautet:

$$t_{gr,i} = \left(t_u - \sum t_{z,i}\right) \frac{\frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}}{\sum \frac{M_{maßg,j}}{M_{s,j}}} \ [s] \qquad \text{Gl. 5-6}$$

t_u – Umlaufzeit

$\sum t_{z,i}$ – Summe der maßgebenden Zwischenzeiten

$\frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}$ – das Verhältnis zwischen die maßgebende Belastung und die Sättigungsmenge jeder Phase

$\sum \frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}$ – Summe der obergenannten Verhältnisse

Phase I:

$$t_{gr,I} = (226-16)\frac{0{,}401}{0{,}401+0{,}160+0{,}168+0{,}135} = 97s$$

Phase II:

$$t_{gr,II} = (226-16)\frac{0{,}160}{0{,}401+0{,}160+0{,}168+0{,}135} = 39s$$

Phase III:

$$t_{gr,III} = (226 - 16)\frac{0{,}168}{0{,}401 + 0{,}160 + 0{,}168 + 0{,}135} = 41s$$

Phase IV:

$$t_{gr,IV} = (226 - 16)\frac{0{,}135}{0{,}401 + 0{,}160 + 0{,}168 + 0{,}135} = 33s$$

Zur Kontrolle, die Umlaufzeit ist die Summe aus Grünzeiten und Zwischenzeiten!

Die erhaltenen Ergebnisse werden wieder durch einen Signalzeitenplan in Abb. 5-11 dargestellt.

Signalzeitenplan:

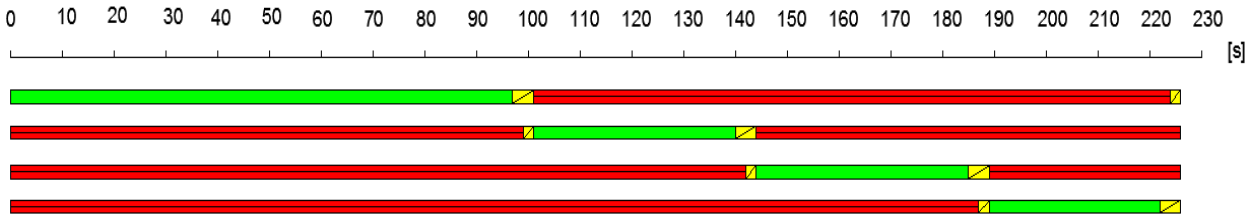


Abb. 5-11: Signalzeitenplan

5.5.4 Überprüfung und Beurteilung der VLSA- Berechnung

Leistungsfähigkeit:

$$L_j = \frac{t_{grj}}{t_u} * M_{sj} \text{ [PKW-E/h]} \qquad \text{Gl. 5-7}$$

$\boldsymbol{t_{grj}}$ - Grünzeit der Phase
$\boldsymbol{t_u}$ - Umlaufzeit
$\boldsymbol{M_{sj}}$ - Sättigungsmenge

Sättigungsgrad:

Durch den Sättigungsgrad ɳ ist die Auslastung einer Zufahrt bestimmt. Darüberhinaus kann die Qualität des Verkehrsablaufs beurteilt werden. Der Sättigungsgrad muss < 1 sein

$$ɳ = \frac{M_{maßgj}}{L_j} \qquad \text{Gl. 5-8}$$

$\boldsymbol{M_{maßg,j}}$ – Maßgebende Werte der Strom
$\boldsymbol{L_j}$ – Leistungsfähigkeit der Fahrstreife

Die Ergebnisse für die Leistungsfähigkeit und die Sättigungsgrad werden in der Tabelle 5-4 zusammengefasst und die Berechnungen sind in der Anhang Nr. 2 dokumentiert.

Phase	Strom	M_s	t_{gr}/t_u	L	$M_{maßg}$	η
I	1g	2200	0,429	944	883	0,935
	1r	2200	0,429	944	377	0,399
	3g	2200	0,429	944	793	0,840
	3r	2200	0,429	944	295	0,312
II	1l	2200	0,173	380	352	0,927
	3l	2200	0,173	380	249	0,656
III	2g	2200	0,181	399	276	0,692
	2r	2200	0,181	399	170	0,426
	4g	2200	0,181	399	370	0,927
	4r	2200	0,181	399	354	0,887
IV	2l	2200	0,146	321	298	0,928
	4l	2200	0,146	321	283	0,881

Tabelle 5-4: Die Ergebnisse für die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifen und den Sättigungsgrad

5.5.5 Wartezeitberechnung, Zahl der Halte, Staulängen

Mittlere Wartezeit eines Fahrzeugs:

$$t_w = \frac{t_u}{2} * \frac{\left(1-\frac{t_{gr}}{t_u}\right)^2}{1-\frac{M_{maßg}}{M_s}} + \frac{\eta^2}{2\frac{M_{maßg}}{3600}(1-\eta)} \text{ [s]} \qquad \text{Gl. 5-9}$$

t_u – Umlaufzeit

t_{gr} – Grünzeit der Phase

$M_{maßg}$ – Dimensionierungsbelastung

M_s – Sättigungsmenge

η - Sättigungsgrad

Zahl der Halte: n = max (n_1 , n_2) Mittlere Zahl der in einem Umlauf zum Stillstand kommenden Fahrzeuge

$$n_1 = M_{maßg} * \frac{t_u - t_{gr}}{3600} \qquad \text{Gl. 5-10}$$

$$n_2 = M_{maßg} * \frac{t_u - t_{gr}}{7200} + \frac{M_{maßg}}{3600} * t_w \qquad \text{Gl. 5-11}$$

Staulänge:

mittlere Staulänge:

$$l_{STAU} = n * l_{FZ} \quad \text{mit} \quad l_{KFZ} = 6\text{m} \qquad \text{Gl. 5-12}$$

Max Staulänge:

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 M_{maßg} \frac{t_u}{3600} * l_{Fz} \qquad \text{Gl. 5-13}$$

l_{FZ} – angenommene Wert der Länge einem Fahrzeug
l_{FZ} = 6m

Zur Einteilung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) A bis F gelten die Grenzwerte der mittleren Wartezeiten für die verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrsarten.

QSV	**Zulässige mittlere Wartezeiten w [s]**				**Prozentsatz der Durchfahrten ohne Halt [%]**
	straßengebundener ÖPNV	Fahrradverkehr	Fußgängerverkehr	Kraftfahrzeugverkehr (nicht koordinierte Zufahrten)	Kraftfahrzeugverkehr (koordinierte Zufahrten)
A	≤ 5	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≥ 95
B	≤ 15	≤ 25	≤ 20	≤ 35	≥ 85
C	≤ 25	≤ 35	≤ 25	≤ 50	≥ 75
D	≤ 40	≤ 45	≤ 30	≤ 70	≥ 65
E	≤ 60	≤ 60	≤ 35	≤ 100	≥ 50
F	> 60	> 60	> 35	> 100	< 50

Tabelle 5-5: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs – Knotenpunkte mit LSA [4]

Stufe A: Die Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer kann ungehindert den Knotenpunkt passieren. Die Wartezeiten sind kurz.

Stufe B: Alle während der Sperrzeit ankommender Verkehrsteilnehmer können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren oder – gehen. Die Wartezeiten sind kurz.

Stufe C: Nahezu alle während der Sperrzeit ankommenden Verkehrsteilnehmer können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren oder –gehen. Die Wartezeiten sind spürbar. Beim Kraftfahrzeugverkehr tritt im Mittel nur geringer Stau am Ende der Freigabezeit auf.

Stufe D: Im Kraftfahrzeugverkehr ist ständiger Reststau vorhanden. Die Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer sind beträchtlich. Der Verkehrszustand ist noch stabil.

Stufe E: Die Verkehrsteilnehmer stehen in erheblicher Konkurrenz zueinander. Im Kraftfahrzeugverkehr stellt sich ein allmählich wachsender Stau ein. Die Wartezeiten sind sehr lang. Die Kapazität wird erreicht.

Stufe F: Die Nachfrage ist größer als die Kapazität. Die Fahrzeuge müssen bis zu ihrer Abfertigung mehrfach vorrücken. Der Stau wächst ständig. Die Wartezeiten sind extrem lang. Die Anlage ist überlastet. [4]

Die Werte für die mittlere Wartezeit, die mittlere Staulänge, die maximale Staulänge und die Qualitätsstufe jeder Strom sind in Tabelle 5-6 zu finden. Die Berechnungen dafür sind in Anhang Nr. 3 dokumentiert.

Strom	t_w [s]	QSV [A bis F]	n_1 [PKW-E/h]	n_2 [PKW-E/h]	n [PKW-E/h]	mitt. L_{stau} [m]	l_{stau} max [m]
1g	88,87	E	31,64	37,62	38	228	399,1
1r	45,67	C	13,51	11,53	14	84	170,4
3g	67,54	D	28,42	29,09	30	180	358,4
3r	43,35	C	10,57	8,83	11	66	133,34
1l	152,08	F	18,28	14,87	19	114	159,1
3l	96,16	E	12,92	13,12	14	84	112,5
2g	96,86	E	14,18	14,55	15	90	124,75
2r	85,5	E	8,74	8,39	9	54	76,84
4g	148,34	F	19,02	24,79	25	150	167,24
4r	126,15	F	18,2	21,46	22	132	160
2l	160,01	F	15,98	21,8	22	132	134,7
4l	136,08	F	15,28	18,34	19	114	127,9

Tabelle 5-6: Wartezeiten, QSV, mitt. Und max Staulänge

Die Berechnungen zeigen, dass das heutige Verkehrsaufkommen meistens mit einer schlechten Qualität des Verkehrsablaufs (QSV E und QSV F) abgewickelt werden kann.

5.5.6 Schlussfolgerung:

Die höchsten Wartezeiten treten mit im Mittel 136 Sekunden für die Linksabbieger auf. Die längsten Schlangen treten bei den gerade fahrenden Strömen 1g und 3g auf. Um diese zwei Hauptprobleme zu vermeiden, kann dieser plangleichen Knotenpunkt zu einem planfreien Knotenpunkt auf zwei verschiedenen Niveaus umgeformt werden. Die Hauptströme 1g und 3g, die die längsten Schlangen verursachen, werden auf einer Ebene unter die bestehende Konstruktion durchgeführt. Für die restlichen Ströme werden im Rahmen den nächsten Punkten des Inhalts zwei verschieden Variante dargestellt und analysiert - Kreuzung mit VLSA und Kreisverkehr.

6. VARIANTENVERGLEICH

Erster Schritt bei der Lösung eines Verkehrsproblems besteht aus der Wahl des am besten geeigneten Straßenverkehrsplans, der im höchsten Maße die Sicherheit, die minimale Bau- und Unterhaltungskosten erfüllen kann. Einige der wichtigsten Kriterien für die Vergleichung von verschiedenen Kreuzungsvarianten sind Leistungsfähigkeit, Wartezeiten, Säulenlänge und Sicherheitsniveau.

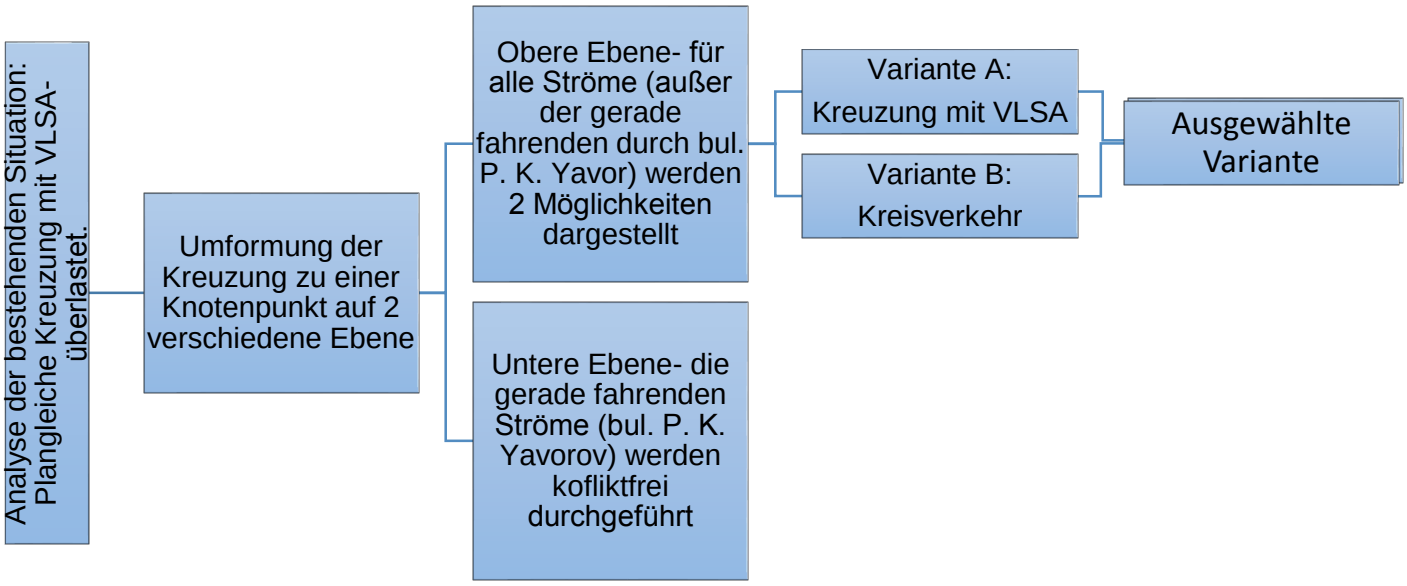


Abbildung 6-1: Schritte bei der Ermittlung einer Lösung der bestehenden Situation der Kreuzung „bul. P. K. Yavorov - bul. DraganTsankov“

Die Verteilung der Verkehrsbelastung (Abb. 6-1) wird für die beiden Ideenvarianten gleich sein. Mit der Hilfe dieser Ausgangsdaten werden die Leistungsfähigkeit, die Sättigung, die Staulängen, die Wartezeiten und die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs sowohl für eine Kreuzung mit VLSA, als auch für den zwei streifigen Kreisverkehr berechnet.

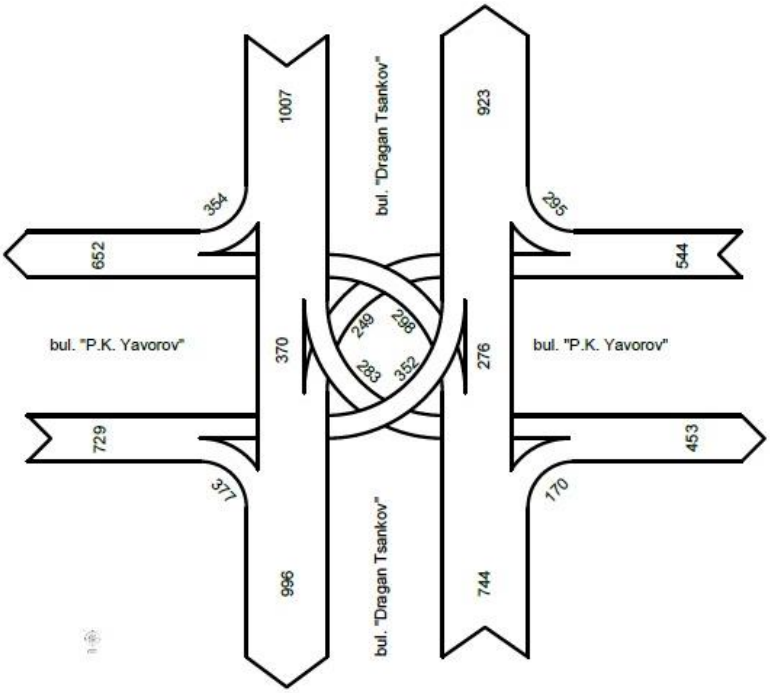


Abb. 6-1: Strombelastungsplan

6.1 Variante A – Berechnung einer VLSA

Variante A enthält die Idee alle restliche Ströme (außer die gerade fahrende 1g und 3g) auf eine zweite Ebene zu durchführen. und durch eine Lichtsignalanlage die Vorfahrt zu regulieren.

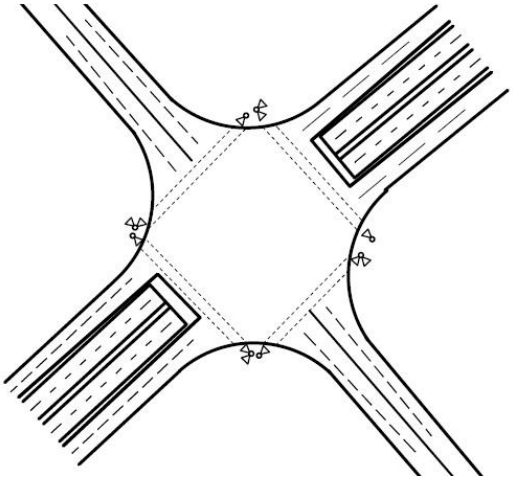


Abb. 6-2: Signallageplan

Im Punkt 6.1 wird eine Überprüfung der Verkehrslichtsignalanlage gemacht, ob die vorgegebene Variante passend für die Situation ist. Die Leistungsfähigkeit, die Wartezeiten und die Staulängen werden berechnet

6.1.1 Phasenaufteilung

Der nächste Arbeitsschritt besteht in der Festlegung einer geeigneten Phaseneinteilung. In einer Phase werden Signalgruppen zusammengefasst, die gemeinsam freigegeben werden sollen. Welche Phaseneinteilungen möglich sind, hängt stark mit der gewählten Phasenanzahl zusammen: Aus Gründen der Verkehrssicherheit sind möglichst viele, aus Gründen der Kapazität möglichst wenige Phasen erwünscht. Zur Festlegung von Phasenanzahl und Phaseneinteilung ist es deshalb sinnvoll, vorab überschlägig die Kapazität [11].

Die Phasenfolge ist 1-2-3-1.

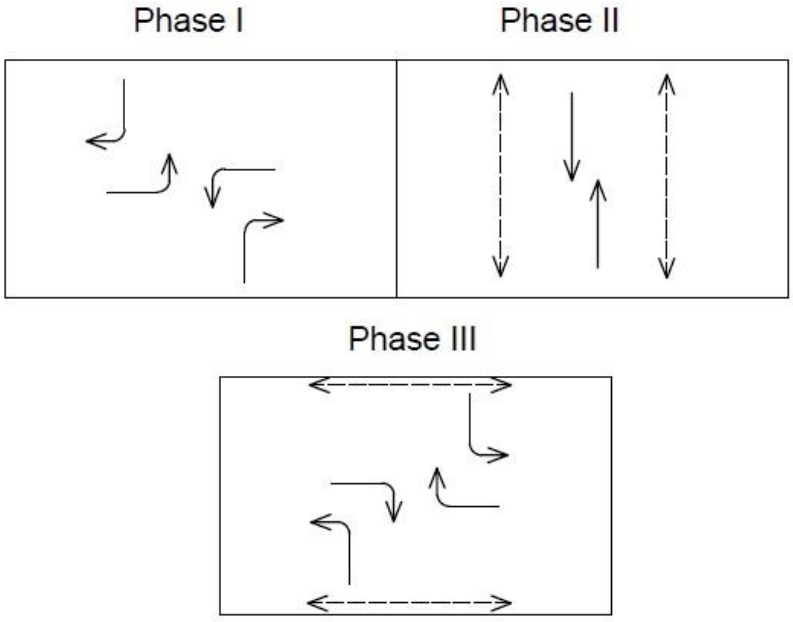


Abb. 6-3: Phasenaufteilung

6.1.2 Übergangs - und Zwischenzeiten:

Der Überfahrtzeit ist wieder mit 3 s bei $V_{zul} \leq 60$ km/h.

Überfahrtzeit:

$t_ü = 3$ s

Die Summe der maßgebenden Zwischenzeiten:

$$\sum t_{zi} = 12\ s$$

Die ganze Zwischenzeitmatrix, von der man die maßgebenden Werte für jede Phase der Lichtsignalanlage annehmen kann, ist in Anhang Nr. 4 zu finden.

6.1.3 Sättigungsverkehrsmenge und Dimensionierungsbelastung

Die Fahrstreifen, die mindestens 3 m breit sind, kann die Sättigungsverkehrsmenge 2200 PKW-E/h angenommen werden.

Das Verhältnis, für die einzelnen Fahrstreifen, zwischen die Dimensionierungsbelastung und die Sättigungsmenge sind in folgende Tabelle 6-1 ersichtlich:

Nr. der Phase	Fahrspur	$M_{maßg}$	M_s	$M_{maßg}/M_s$
I	1l	352	2200	0,160
	4r	354	2200	0,161
	2r	170	2200	0,077
	3l	249	2200	0,113
II	4g	370	2200	0,168
	2g	276	2200	0,125
III	1r	377	2200	0,171
	2l	298	2200	0,135
	3r	295	2200	0,134
	4l	283	2200	0,129

Tabelle 6-1: Dimensionierungsbelastung, Sättigungsmenge und deren Verhältnis nach der Umformung der Kreuzung

6.1.4 Berechnung der Umlaufzeiten und der erforderlichen Grünzeiten

Die maßgebenden Werte für $M_{maßg}/M_s$ nimmt man aus Tabelle 6-1.

Die maßgebenden Zwischenzeiten findet man im Anhang Nr. 4

Für die Berechnung der Umlaufzeit und die optimale Umlaufzeit benutzen wir wieder Gl. 5-4 und Gl. 5-5.

$$t_u = \frac{\sum t_{z,i}}{1 - \sum \frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}} = \frac{4+4+4}{1-(0{,}161+0{,}168+0{,}171)} = 24\ s \qquad \text{Gl. 5-4}$$

$$t_{u,opt} = \frac{1{,}4 * \sum t_{z,i} + 4}{1 - \sum \frac{M_{maßg,i}}{M_{s,i}}} = \frac{1{,}4\ *(4+4+4)+4}{1-(0{,}161+0{,}168+0{,}171)} = 42\ s \qquad \text{Gl. 5-5}$$

Die optimale Umlaufzeit wäre also in einem Bereich von 31,5 bis 63 sec (0,75* $t_{u,opt}$ bis 1,5* $t_{u,opt}$) zu wählen.

Die Umlaufzeit wird auf t_u = 60 Sekunden festgelegt.

Richtwerte für die Umlaufzeit t_u:

Minimal $t_u = 30\ s$

Normal $t_u = 50\ bis\ 75\ s$

Maximal $t_u = 90\ s\ (in\ Ausnahmefällen\ 120\ s)$

Die Formel Gl. 5-6 für die Grünzeiten :

Phase I:

$$t_{gr,I} = (60 - 12)\frac{0{,}161}{0{,}161 + 0{,}168 + 0{,}171} = 15\ s$$

Phase II:

$$t_{gr,II} = (60 - 12)\frac{0{,}168}{0{,}161 + 0{,}168 + 0{,}171} = 16\ s$$

Phase III:

$$t_{gr,III} = (60 - 12)\frac{0{,}171}{0{,}161 + 0{,}168 + 0{,}171} = 17\ s$$

Signalzeitenplan:

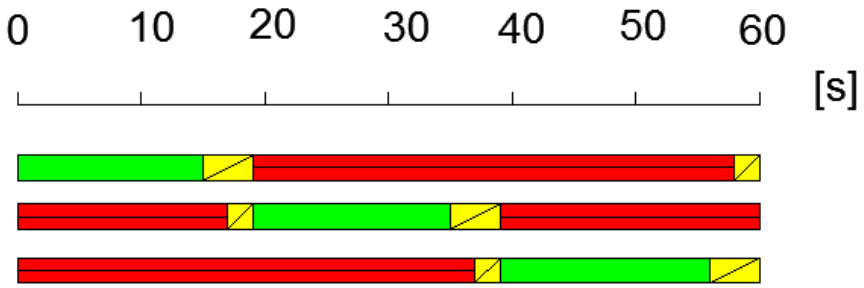


Abb. 6-4: Signalzeitenplan der umgeformte Kreuzung

6.1.5 Überprüfung und Beurteilung der VLSA- Berechnung

Die vollständigen Berechnungen der Leistungsfähigkeit : $L_j = \frac{t_{grj}}{t_u} * M_{sj}$ [PKW-E/h] Gl. 5-7 und die Sättigungsgrad $\eta_j = \frac{M_{maßg,j}}{L_j}$ Gl. 5-8 (Der Sättigungsgrad muss < 1 sein.) findet man in Anhang Nr. 5**.**

Phase	Strom	M_s	t_{gr}/t_u	L	$M_{maßg}$	η
I	4r	2200	0,250	550	354	0,644
	1l	2200	0,250	550	352	0,640
	2r	2200	0,250	550	170	0,309
	3l	2200	0,250	550	249	0,453
II	4g	2200	0,267	587	370	0,631
	2g	2200	0,267	587	276	0,470
III	1r	2200	0,283	623	377	0,605
	2l	2200	0,283	623	298	0,478
	4l	2200	0,283	623	283	0,454
	3r	2200	0,283	623	295	0,473

Tabelle 6-2: Ergebnisse: Leistungsfähigkeit und Sättigungsgrad der umgeformte Kreuzung mit VLSA

6.1.6 Wartezeitberechnung, Zahl der Halte, Staulängen

<u>Mittlere Wartezeit:</u>

$$t_w = \frac{t_u}{2} * \frac{\left(1-\frac{t_{gr}}{t_u}\right)^2}{1-\frac{M_{maßg}}{M_s}} + \frac{\eta^2}{2\frac{M_{maßg}}{3600}(1-\eta)} \quad [s] \qquad \text{Gl. 5-9}$$

<u>Zahl der Halte</u>:

Mittlere Zahl der in einem Umlauf zum Stillstand kommenden Fahrzeuge

n = max (n_1 , n_2)

$$n_1 = M_{maßg} * \frac{t_u - t_{gr}}{3600} \qquad \text{Gl. 5-10}$$

$$n_2 = M_{maßg} * \frac{t_u - t_{gr}}{7200} + \frac{M_{maßg}}{3600} * t_w \qquad \text{Gl. 5-11}$$

<u>Staulänge</u>**:**

mittlere Staulänge:

lSTAU = n * lFZ mit lKFZ = 6m Gl. 5-12

Max Staulänge:

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 M_{maßg} \frac{t_u}{3600} * \ l_{Fz} \qquad \text{Gl. 5-13}$$

6.1.7 Qualitätstufen des Verkehrsablauf: Knotenpunkte mit LSA:

QSV	Zulässige mittlere Wartezeiten w [s]
	Kraftfahrzeugverkehr (nicht koordinierte Zufahrten)
A	≤ 20
B	≤ 35
C	≤ 50
D	≤ 70
E	≤ 100
F	> 100

Tabelle 6-3: Zulässige mittlere Wartezeiten- Knotenpunkte mit LSA [4]

Die Erklärung der QSV ist unter Tabelle 5-5: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs – Knotenpunkte mit LSA zu finden.

Strom	tw [s]	QSV	n_1 [PKW-E/h]	n_2 [PKW-E/h]	n [PKW-E/h]	mitt. L_{stau} [m]	l_{stau} max [m]
4r	26,05	B	4,425	4,77	5	30	42,48
1l	25,89	B	4,4	4,7	5	30	42,24
2r	19,74	A	2,125	1,99	3	18	20,4
3l	21,76	B	3,11	3,06	4	24	29,88
4g	24,64	B	4,52	4,798	5	30	44,4
2g	21,16	B	3,31	3,31	4	24	33,12
1r	23,01	B	4,5	4,67	5	30	45,24
2l	20,45	B	3,55	3,48	4	24	35,76
4l	20,1	B	3,37	3,27	4	24	33,96
3r	20,41	B	3,52	3,43	4	24	35,4

Tabelle 6-4: Wartezeiten, QSV, mitt. und max Staulänge bei den Variante A (Kreuzung mit LSA)

Alle Berechnungen über die Resultate in Tabelle 6-4 findet man im Anhang Nr.6.

6.1.8 Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse für die Leistungsfähigkeit und den Sättigungsgrad zeigen im Vergleich zu der bestehenden Situation eine Verbesserung. Die Leistungsfähigkeit hat sich in den meisten Fällen

erhöht, manchmal auch verdoppelt. Dort wo die Leistungsfähigkeit sich verbessert, reduziert sich auch der Sättigungsgrad. Mit der Verkürzung der Wartezeiten und der Staulängen geraten die Ströme von Qualitätsstufen E und F zu Qualitätsstufen A und B.

6.2 Variante B: Umbau der Kreuzung zu Kreisverkehr

Variante B enthält die Idee alle restliche Ströme (außer die gerade fahrende 1g und 3g) auf eine zweite Ebene zu durchführen. und durch einen Kreisverkehr die Vorfahrt zu regulieren. Ein zwei streifiger Kreisverkehr wird in diesen Punkt betrachtet. In den nächsten Punkten werden wieder die Leistungsfähigkeit, die Wartezeiten, die Staulängen und die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs beurteilt. Der Nachweis ist aus RVS 03.05.14 angenommen.

Alle Ströme werden wieder kürzer gekennzeichnet. Die Benennung der Verkehrsströme ist in Abb. 6-5 ersichtlich.

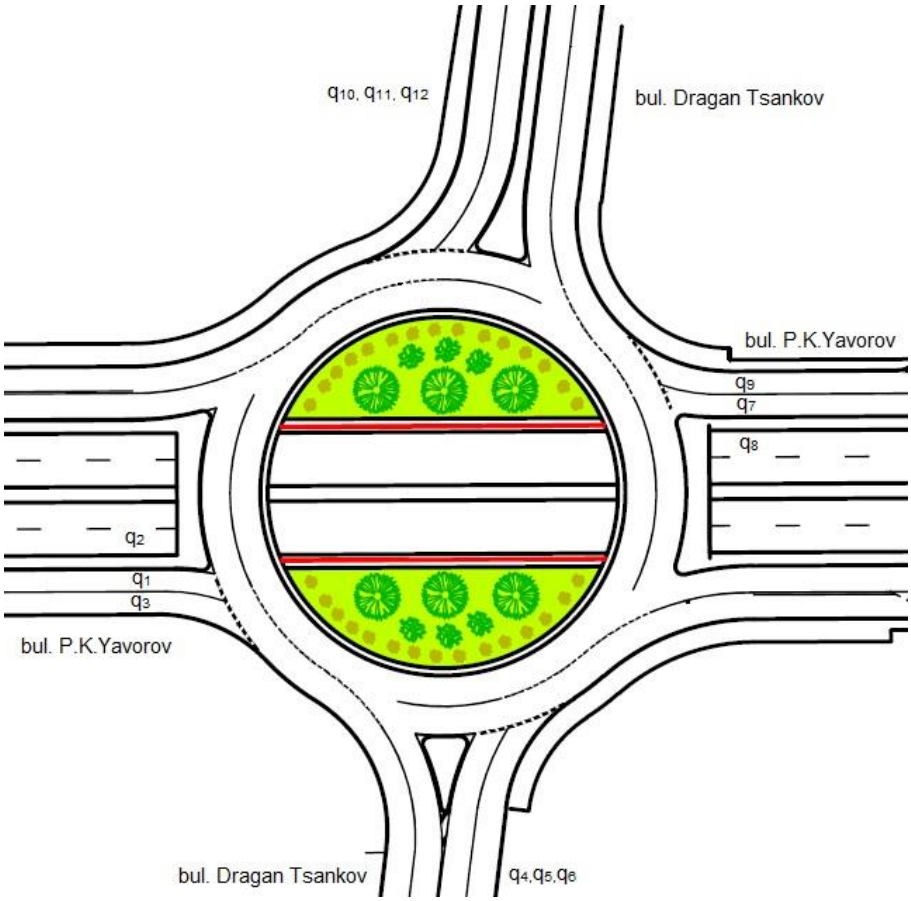


Abb. 6-5: Benennung der Verkehrsströme beim Kreisverkehr

Die maßgebenden Verkehrsstärken q sind aus Abb. 6-1: Strombelastungsplan zu entnehmen.

Eine Bezeichnung der Verkehrsströme eines Kreisverkehrs ist in der Abbildung 6-6 bezeichnet.

Q_E Bemessungsverkehrsstärke der Einfahrt [PKW-E/h]
Q_K Bemessungsverkehrsstärke der Kreisfahrbahn zwischen Ausfahrt und Einfahrt [PKW-E/h]
Q_A Bemessungsverkehrsstärke der Ausfahrt [PKW-E/h]
Q_{FG} Anzahl der querenden Fußgänger am Kreisverkehrsarm [Fg/h]
G_E Grundleistungsfähigkeit der Einfahrt [PKW-E/h]
L_E Leistungsfähigkeit der Einfahrt [PKW-E/h]
L_A Leistungsfähigkeit der Ausfahrt [PKW-E/h]
R Leistungsfähigkeitsreserve des Verkehrsstroms [PKW-E/h]
w mittlere Wartezeit des Verkehrsstromes [s]
N_{95} 95 %-Staulänge [PKW-E]
$L_{St,95}$ 95 %-Staulänge [m]

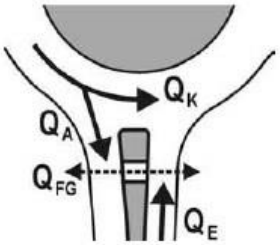


Abb. 6-6: Bezeichnung der Verkehrsströme am Kreisverkehr [3]

6.2.1 Bemessungsverkehrsstärken Q_A , Q_E, Q_K :

Nebenstrom:

Q_{EN} – Bemessungsverkehrsstärken der Einfahrt der Nebenstrom [PKW-E/h]

$$Q_{EN} = q_4 + q_5 + q_6 \qquad \text{Gl. 6-1}$$

Q_{EN} = 298+276+170 = 744 [PKW-E/h]

Q_{AN} - Bemessungsverkehrsstärken der Ausfahrt der Nebenstrom [PKW-E/h]

$$Q_{AN} = q_7 + q_{11} + q_3 \qquad \text{Gl. 6-2}$$

Q_{AN} = 249+370+377 = 996 [PKW-E/h]

Q_{KN} - Bemessungsverkehrsstärken der Kreisfahrbahn zwischen Ausfahrt und Einfahrt der Nebenstrom [PKW-E/h]

$$Q_{KN} = q_{10} + q_1 \qquad \text{Gl. 6-3}$$

Q_{KN} = 283+ 352 = 635 [PKW-E/h]

Hauptstrom:

Q_{EH} – Bemessungsverkehrsstärken der Einfahrt der Hauptstrom [PKW-E/h]

$$Q_{EH} = q_7 + q_9 \qquad \text{Gl. 6-4}$$

Q_{EH} = 249+295 = 544 [PKW-E/h]

Q_{AH} - Bemessungsverkehrsstärken der Ausfahrt der Hauptstrom [PKW-E/h]

$$Q_{AH} = q_{10} + q_6 \qquad \text{Gl. 6-5}$$

Q_{AH} = 283+170 = 453 [PKW-E/h]

Q_{KH} - Bemessungsverkehrsstärken der Kreisfahrbahn zwischen Ausfahrt und Einfahrt der Hauptstrom [PKW-E/h]

$$Q_{KH} = q_1 + q_4 + q_5 \qquad \text{Gl. 6-6}$$

Q_{KH} = 352 +298 + 276 = 926 [PKW-E/h]

6.2.2 Grundleistungsfähigkeit der Einfahrt G_i:

Die Grundleistungsfähigkeit G [PKW-E/h] eines Verkehrsstroms ist die maximale Leistungsfähigkeit für diesen Verkehrsstrom ohne Berücksichtigung der Fußgänger.

$$G_e = 1141 - 0{,}578 * Q_k \qquad \text{Gl. 6-7}$$

für $0 \leq Q_k \leq 1400$

Grundleistungsfähigkeit der Nebenstrom:

G_N = 1141- 0,578 * 635 = 774 [PKW-E/h]

Grundleistungsfähigkeit der Hauptstrom:

G_H = 1141- 0,578 * 926 = 606 [PKW-E/h]

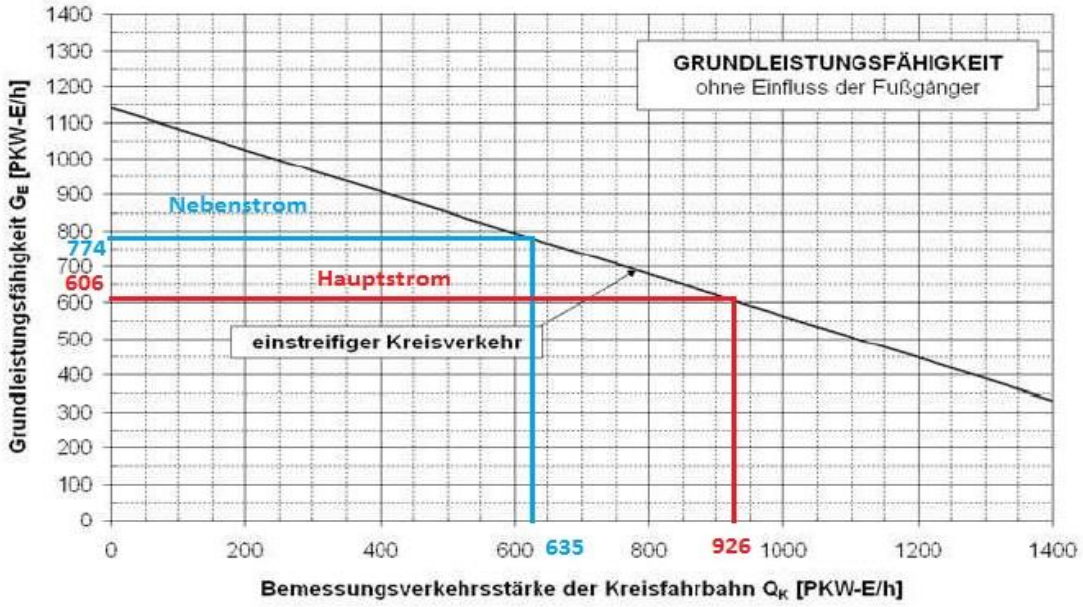


Abb. 6-7: Grundleistungsfähigkeit der Einfahrt bei dem Kreisverkehr [3]

6.2.3 Leistungsfähigkeit der Einfahrt: L_E

Durch stark querende Fußgängerströme verringert sich die Leistungsfähigkeit der Einfahrt und der Ausfahrt. Der Einfluss der querenden Fußgänger auf die Leistungsfähigkeit der Einfahrt wird mit dem Korrekturfaktor f berücksichtigt.

f - Korrekturfaktor zur Berücksichtigung querender Fußgänger

50 Fg/h:

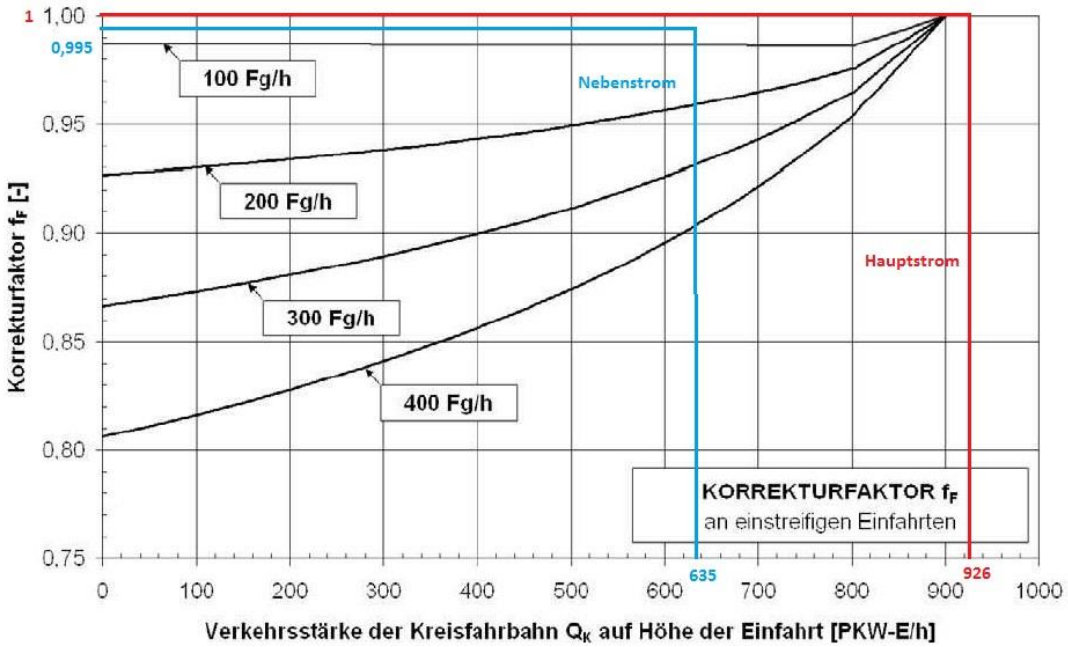


Abb. 6-8: Korrekturfaktor zur Berücksichtigung querender Fußgänger [3]

Die Leistungsfähigkeit für die einzelnen Einfahrten errechnet sich aus der jeweiligen Grundleistungsfähigkeit und dem Korrekturfaktor f.

Leistungsfähigkeit der Nebenstrom:

$$L_{EN} = G_{EN} * f \qquad \text{Gl. 6-8}$$

$L_{EN} = G_{EN} * f = 774 * 0{,}995 = 771$ [PKW- E/h]

G_{EN} – Grundleistungsfähigkeit der Einfahrt der Nebenstrom

f- Korrekturfaktor querender Fußgeher

Leistungsfähigkeit der Hauptstrom:

$$L_{EH} = G_{EH} * f \qquad \text{Gl. 6-9}$$

$L_{EH} = G_{EH} * f = 606 * 1 = 606$ [PKW-E/h]

G_{EH} – Grundleistungsfähigkeit der Einfahrt der Hauptstrom
f- Korrekturfaktor querender Fußgeher

Bei zwei streifigen Kreisverkehren erwartet man eine Leistungssteigerung der Einfahrt von 30 bis 50 % im Vergleich zu einstreifigen Kreisverkehren.

L_{EN} + 40 % = 1080 [PKW- E/h]

L_{EH} + 40 % = 848 [PKW- E/h]

6.2.4 Sättigung, Staulängen N_{95} , Wartezeit w_i und LOS:

Eine Bemessung für die Staulänge N_{95} ist in der Regel ausreichend. Damit ist gewährleistet, dass diese Staulänge nur in 5 % des bemessigungsrelevanten Zeitintervalls überschritten wird. Die 95%- Staulänge ist in abhängig von dem Sättigungsgrad g und der Kapazität L.

Sättigungsgrad der Nebenstrom:

$$g_N = \frac{Q_{EN}}{L_{EN}} \qquad \text{Gl. 6-10}$$

Q_{EN} – Bemessungsverkehrsstärken der Einfahrt der Nebenstrom [PKW-E/h]

L_{EN} - Leistungsfähigkeit der Nebenstrom [PKW-E/h]

$$g_N = \frac{744}{1080} = 0{,}689$$

Sättigungsgrad der Hauptstrom:

$$g_H = \frac{Q_{EH}}{L_{EH}} \qquad \text{Gl. 6-11}$$

Q_{EH} – Bemessungsverkehrsstärken der Einfahrt der Hauptstrom [PKW-E/h]

L_{EH} - Leistungsfähigkeit der Hauptstrom [PKW-E/h]

$$g_H = \frac{544}{848} = 0{,}642$$

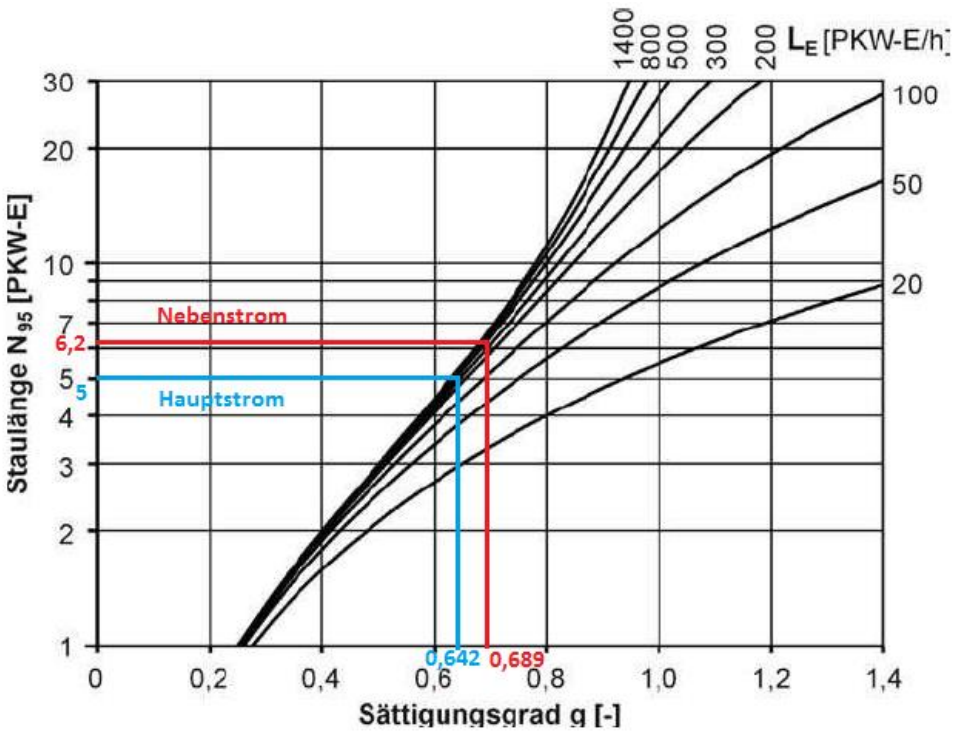


Abb. 6-9: Staulängen N_{95} [3]

abgelesen: $N_{95N} = 6{,}2$

$N_{95H} = 5{,}0$

Die PKW Länge ist gleich 6 m angenommen.

Staulänge der Nebenstrom:

$$L_{st,95\,N} = N_{95N} * 6 \qquad \text{Gl. 6-12}$$

$L_{st,95\,N} = 6{,}2 * 6 = 37{,}2$ m

Staulänge der Hauptstrom:

$$L_{st,95\,H} = N_{95H} * 6 \qquad \text{Gl. 6-13}$$

$L_{st,95\,H} = 5{,}0 * 6 = 30$ m

6.2.5 Leistungsfähigkeitsreserve R:

Nebenstrom:

$$R_N = L_{EN} - Q_{EN} \qquad \text{Gl. 6-14}$$

R_N = 1080 – 744 = 336 [PKW-E/h]

L_{EN} - Leistungsfähigkeit der Nebenstrom [PKW-E/h]
Q_{EN} – Bemessungsverkehrsstärken der Einfahrt der Nebenstrom [PKW-E/h]

Hauptstrom:

$$R_H = L_{EH} - Q_{EH} \qquad \text{Gl. 6-15}$$

R_H = 848 – 544 = 304 [PKW-E/h]

L_{EH} - Leistungsfähigkeit der Hauptstrom [PKW-E/h]
Q_{EH} – Bemessungsverkehrsstärken der Einfahrt der Hauptstrom [PKW-E/h]

6.2.6 Mittlere Wartezeit w:

Die mittlere Wartezeit der Nebenstrom:

$$w_N = \frac{3600}{R} \qquad \text{Gl. 6-16}$$

R – Leistungsfähigkeitsreserve der Nebenstrom

$$w_N = \frac{3600}{336} = 10{,}71\ s$$

Die mittlere Wartezeit der Hauptstrom:

$$w_H = \frac{3600}{R} \qquad \text{Gl. 6-17}$$

R – Leistungsfähigkeitsreserve der Hauptstrom

$$w_H = \frac{3600}{304} = 11{,}84\ s$$

Die mittlere Wartezeit kann auch in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeitsreserve R aus Abb. Entnommen werden.

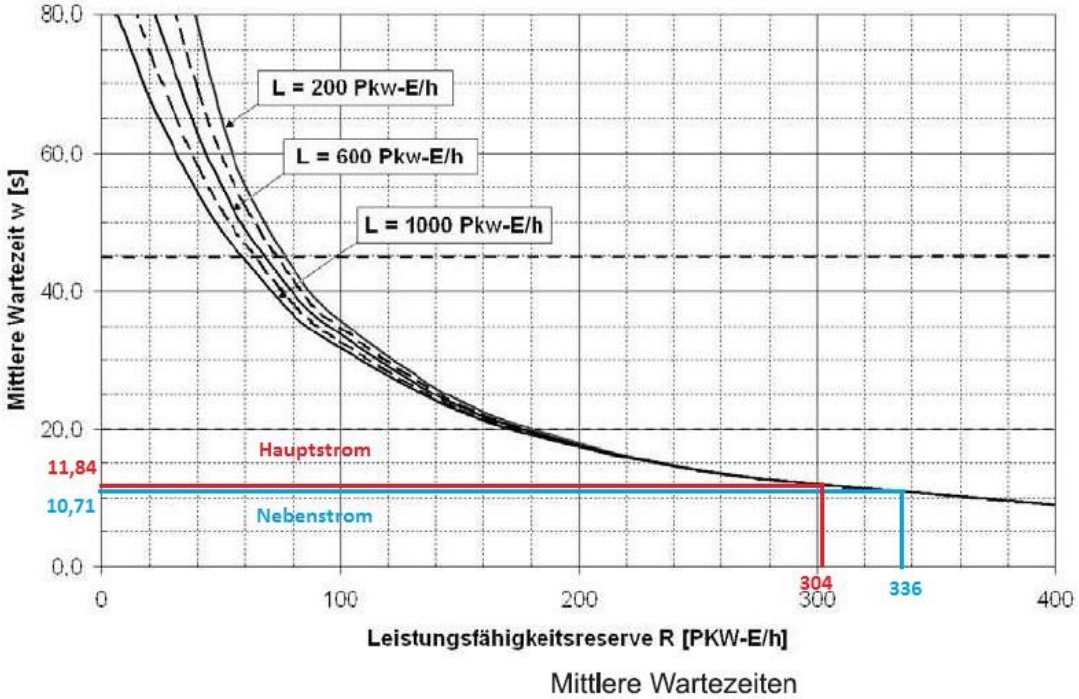


Abb. 6-10: Mittlere Wartezeiten bei dem Kreisverkehr [3]

Nach RVS 03.05.14- Wartezeiten unter 20 s bedeuten eine gute Qualität des Verkehrsablaufs an der Kreisverkehrseinfahrt.

Zur Einteilung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) A bis F gelten die Grenzwerte der mittleren Wartezeiten.

QSV	Mittlere Wartezeit w [s]
A	≤ 10
B	≤ 20
C	≤ 30
D	≤ 45
E	> 45
F	*

(* Die Stufe F ist erreicht, wenn der Sättigungsgrad größer al 1 ist.)

Tabelle 6-5: Mittlere Wartezeit bei dem Kreisverkehr [4]

Stufe A: Die Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer kann nahezu ungehindert den Knotenpunkt passieren. Die Wartezeiten sind sehr gering.

Stufe B: Die Fahrmöglichkeiten der wartepflichtigen Kraftfahrzeugströme werden vom bevorrechtigten Verkehr beeinflusst. Die dabei entstehenden Wartezeiten sind gering.

Stufe C: Die Fahrzeugführer in den Nebenstrom müssen auf eine merkbare Anzahl von bevorrechtigten Verkehrsteilnehmern achten. Die Wartezeiten sind spürbar. Es kommt zur

Bildung von Stau, der jedoch weder hinsichtlich seiner räumlichen Ausdehnung noch bezüglich der zeitlichen Dauer eine starke Beeinträchtigung darstellt.

Stufe D: Die Mehrzahl der Fahrzeugführer muss Haltevorgänge, verbunden mit deutlichen Zeitverlust, hinnehmen. Für einzelne Fahrzeuge können die Wartezeiten hohe Wert annehmen. Auch wenn sich vorübergehend ein merklicher Stau in einem Nebenstrom ergeben hat, bildet sich dieser wieder zurück. Der Verkehrszustand ist noch Stabil.

Stufe E: Es bilden sich Staus, die sich bei der vorhandenen Belastung nicht mehr abbauen. Die Wartezeiten nehmen sehr große und dabei stark streuende Werte an. Geringfügige Verschlechterungen der Einflussgrößen können zum Verkehrszusammenbruch führen. Die Kapazität wird erreicht.

Stufe F: Die Anzahl der Fahrzeuge, die in einem Verkehrsstrom dem Knotenpunkt je Zeiteinheit zufließen, ist über ein längeres Zeitintervall größer als die Kapazität für diesen Verkehrsstrom. Es bilden sich lange, ständig wachsende Schlangen mit besonders hohen Wartezeiten. Diese Situation löst sich erst nach einer deutlichen Abnahme der Verkehrsstärken im zufließenden Verkehr wieder auf. Der Knotenpunkt ist überlastet.

$$w_N = 10{,}71\ s \qquad LOS_N = B$$

$$w_H = 11{,}84\ s \qquad LOS_H = B$$

6.2.7 Schlussfolgerung:

Bei dem Kreisverkehr ist eine erhebliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit zu bemerken. Die Staulängen erreichen auch einen Wert von 40m, der deutlich besser ist als die bestehende Situation. Die Wartezeiten verkürzen sich bis zu rund 12 Sekunden. Im Vergleich sind die Wartezeiten der bestehenden Situation in der Grenze von 44s bis 160s. Daraus folgt, dass eine gute Qualität des Verkehrsablaufs erreicht ist- Qualitätsstufe B.

6.3 Ergebnissbeurteilung

In den Punkten 6.1 und 6.2 werden die zwei Ideenvarianten zur Lösung der bestehenden Situation betrachten. Um leichter eine Entscheidung zu treffen, welche Variante besser ist, müssen wir die Variante nach verschiedenen Merkmalen vergleichen. Bei der Auswahl der Kriterien sind die Grundanforderungen (Punkt 4.1) und RVS 03.05.14 benutzt. In den folgenden Punkten wird ein Vergleich nach der Kriterien Verkehrsbelastung, Verkehrssicherheit, Umwelt, Bau- und Kostenanalyse betrachtet.

6.3.1 Kriterium Verkehrsbelastung:

Die Daten für die einzelnen Ströme werden für eine bessere Sichtbarkeit verallgemeinert. Der Nebenstrom bei der VLSA Variante umfasst die folgende Ströme – 2l, 2g, 2r, 4l, 4g und 4r und der Hauptstrom enthält 1l, 1r, 3l und 3r. Bei der Variante mit dem Kreisverkehr bestehen der Nebenstrom aus q_2, q_4, q_6, q_{10}, q_{11}, q_{12} und der Hauptstrom aus q_1, q_3, q_7, q_9.

Abbildung 6-11, Abbildung 6-12 und Abbildung 6-13 darstellen einen Vergleich zwischen die Leistungsfähigkeit, mittlere Wartezeiten und Staulängen jeder der verallgemeinerte Ströme.

Der Kreisverkehr besitzt deutlich eine höhere Leistungsfähigkeit sowohl bei dem Nebenstrom, als auch bei dem Hauptstrom.

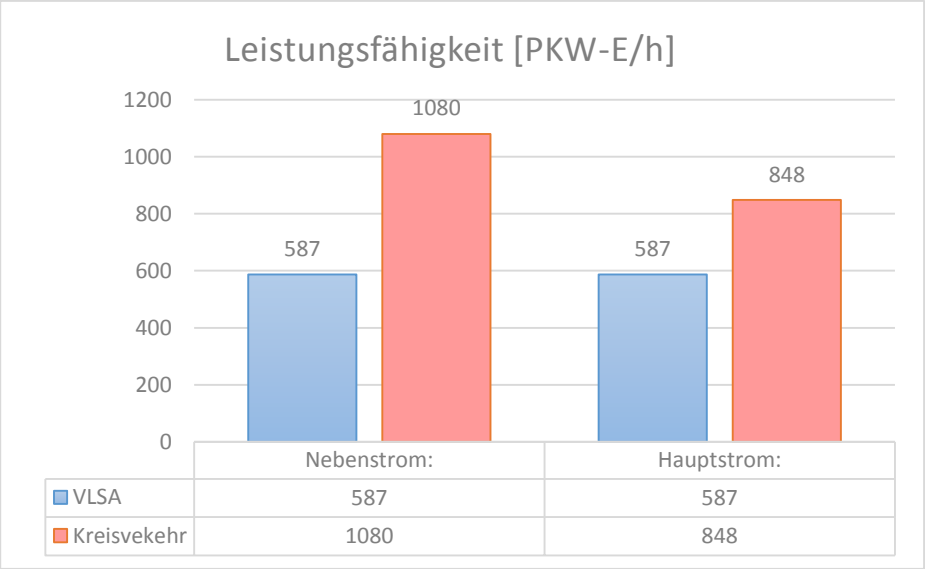


Abb. 6-11: Leistungsfähigkeitsvergleich zwischen Variante A und Variante B

Die mittleren Wartezeiten sind bei der VLSA zweimal größer als bei dem Kreisverkehr. Aber nach dem Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs geraten die beiden Varianten trotzdem in gleichen Qualitätsstufe B.

QSV	Mittlere Wartezeit Kreisverkehr w [s]	Kraftfahrzeugverkehr (nicht koordinierte Zufahrten)
A	≤ 10	≤ 20
B	≤ 20	≤ 35
C	≤ 30	≤ 50
D	≤ 45	≤ 70
E	> 45	≤ 100
F	*	> 100

(* Die Stufe F ist erreicht, wenn der Sättigungsgrad größer al 1 ist.)

Tabelle 6-6: Vergleich zwischen den mittleren Wartezeiten bei einer Kreuzung mit LSA und beim Kreisverkehr [4]

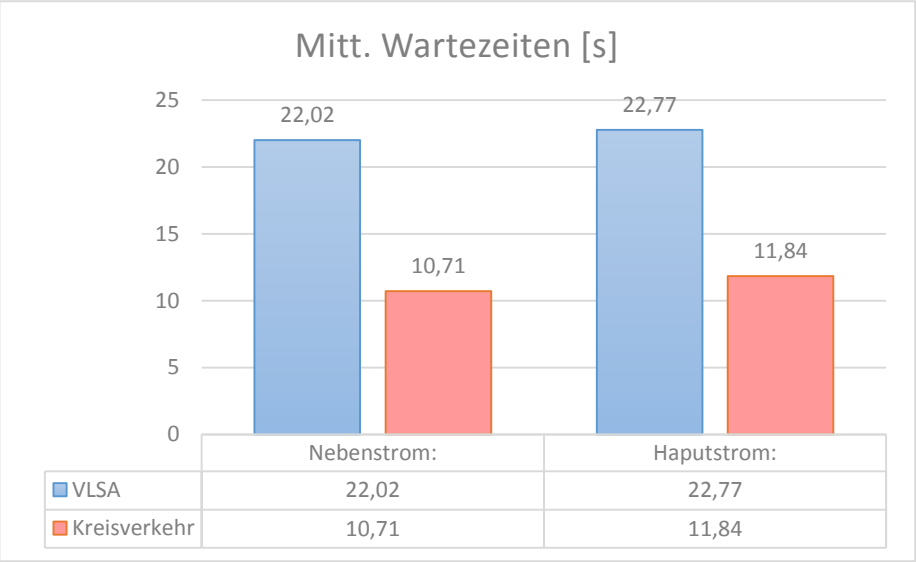


Abb. 6-12: Wartezeitenvergleich zwischen Variante A und Variante B

Die Staulängen besitzen bei dem Nebenstrom und dem Hauptstrom ziemlich nahe Werte. Sie sind aber 3/4 Mal kürzer als diese bei der Situation vor der Umformung des Knotenpunktes.

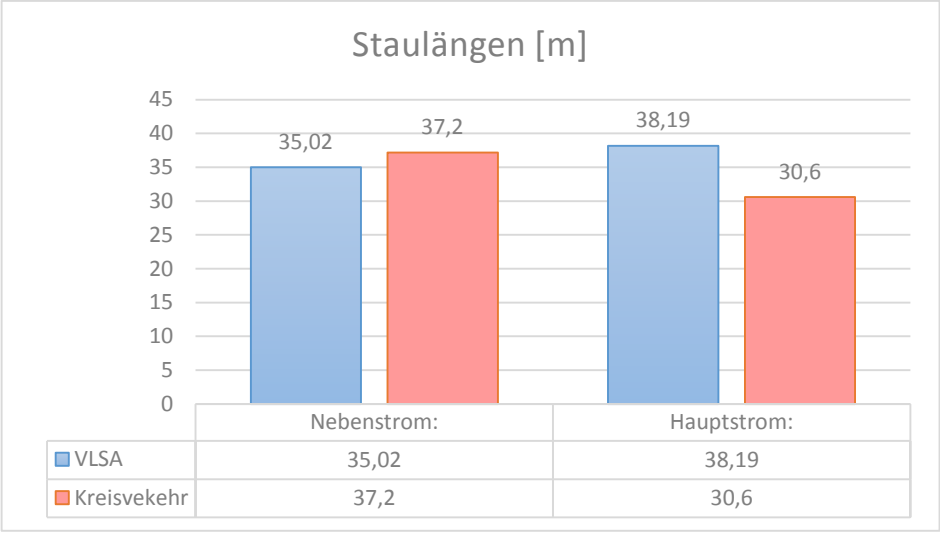


Abb. 6-13: Staulängenvergleich zwischen Variante A und Variante B

6.3.2 Kriterium Verkehrssicherheit und Umwelt:

Das geringere Geschwindigkeitsniveau an Kreisverkehren erleichtert die Kontaktaufnahme der Verkehrsteilenehmer und dadurch eine gegenseitige Abstimmung des Verhaltens. Das hohe Sicherheitsniveau von Kreisverkehren beruht einerseits auf der im Vergleich zu Kreuzungen geringeren Anzahl an Konfliktpunkten. Andererseits wirken sich auch deutlich niedrigen Geschwindigkeiten im Knotenpunktbereich von Kreisverkehren positiv auf das Unfallgeschehen aus. Konfliktsituationen können bei niedrigen Geschwindigkeiten besser erfasst und Unfälle somit leichter verhindert werden. Treten dennoch Unfälle auf, weisen sie eine geringere Unfallschwere auf. Kreisverkehre bieten sich vielfach zur Beseitigung von Unfallhäufungsstellen an Kreuzungen an [6].

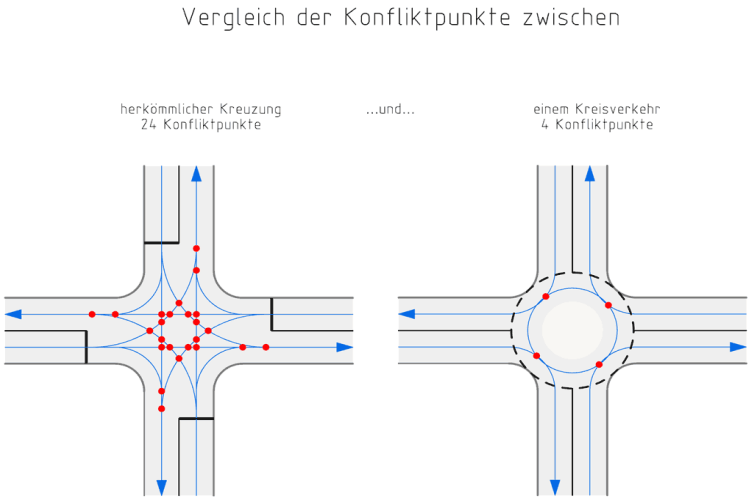


Abb. 6-14: Konfliktpunkte bei einer Kreuzung mit VLSA und Kreisverkehr [10]

Aufgrund der erhöhten Anzahl von Konfliktpunkten, mehrspurige Kreisverkehre können oft nicht das gleiche Sicherheitsniveau wie ihre Verbesserung einspurigen Kollegen erreichen. Fahrer Entscheidungen sind komplexer bei mehrspurigen Kreisverkehren und die wichtigsten sind die richtige Auswahl der Spur vor den Eintritt der Kreuzung. Vor den Fußgänger stehen mehrere potenzielle Bedrohungskonflikte, wenn sie mehr als eine Fahrspur zu einer Zeit überqueren. Sehbehinderte Fußgänger müssen eine erheblich komplexere Umgebung treffen, die die Zugänglichkeit der Kreuzung ohne zusätzliche Behandlungen verringern kann. Radfahrer, die als Fahrzeuge bewegen, müssen die richtige Spur für die Zirkulation auswählen. Wenn Sie als Fußgänger bewegen, treffen sie die gleichen Konflikte wie die anderen Fußgänger. Trotz dieser Herausforderungen die Gesamtsicherheitsleistung von mehrspurigen Kreisverkehre oft besser ist, als signalisierten Kreuzungen, insbesondere im Hinblick auf tödliche Verletzungen und Abstürzen.

Noch einen anderen Punkt, bei dem die Sicherheit im Kreisverkehr erhöht, ist die Wendemöglichkeit.

Durch die Beruhigung des Verkehrs ist die Leistung des PKW-Motors reduziert. Daraus werden auch eine geringere Menge Emissionen produziert. Die niedrigen Geschwindigkeiten haben auch positiv Vorteil bei der Lärmreduktion.

6.3.3 Kriterium Bau- und Unterhalskosten:

Die Totalsumme für den Aufbau einer Kreuzung auf 2 Ebenen ist auf Grundlage von früheren Projekte basiert. Die Summe, rund 10 075 000 Euro, für den Kreisverkehr enthält zusätzlichen Kosten für die Bepflanzung der Mittelinsel und deren Unterhaltung pro Jahr (ungefähr 45 000 Euro). Die Gestaltung der Mittelinsel und die Beleuchtung bei dem Kreisverkehr spielen eine wichtige Rolle für die Erkennbarkeit des Kreisverkehrs. Deshalb sind die Unterhaltungskosten für die ausreichende Beleuchtung des Kreisverkehrs auch ein Teil von der Totalsumme.

Bei einer Kreuzung mit VLSA muss man zu dem Kostenanalyse sowohl die Summe für die Anlage (ungefähr 20 000 Euro), als auch die Kosten für die Unterhaltung des Systems und Regulierung des Zyklus der bestehenden Ampel, die manchmal manuell mit Polizeieinsatz durchgeführt werden (~ 40 000 Euro). Deswegen kann die Totalsumme für den Aufbau einer planfreien Kreuzung mit VLSA etwas höher werden - 10 170 000 Euro.

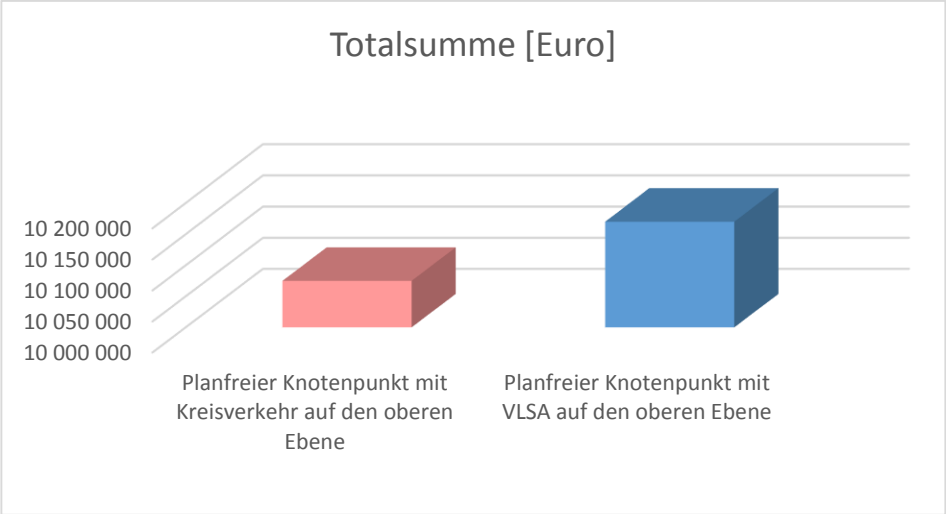


Abb. 6-15: Bau - und Unterhaltungskostenvergleich zwischen Variante A und Variante B

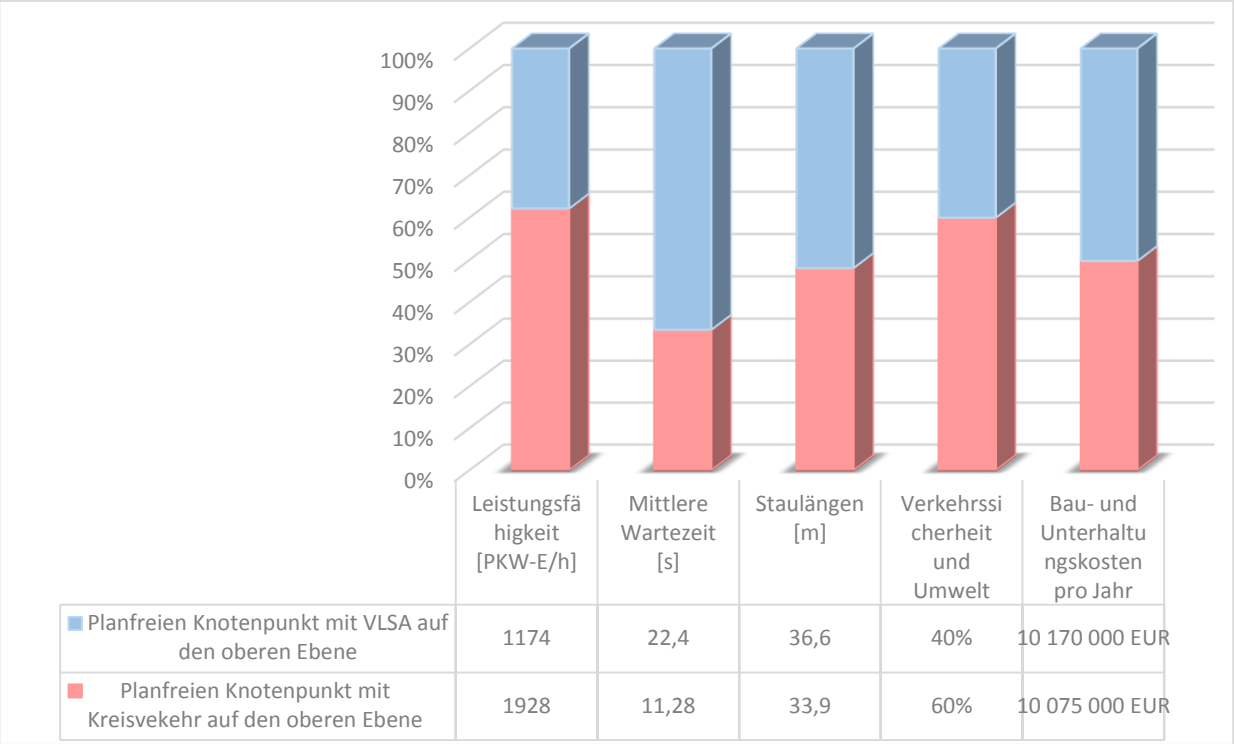
6.4 Schlussfolgerungen

Eine Aufteilung der obergenannten Kriterien in Prozenten wird in Abb. 6-16 präsentiert. Leicht zu sehen ist, dass die Bau- und Unterhaltungskosten sowie die Staulängen in den beiden Vergleichsvarianten fast äquivalent verteilt sind.

Bei der Kreisverkehr ist aber eine hohe Leistungsfähigkeit erreicht. Wenn die zwei Fahrbahnen mit ausreichende Breite sind, können die PKWs leicht parallel zueinander bewegen. Eine passende Breite gibt auch die Möglichkeit, die LKWs und die ÖPNV problemlos zu bewegen und zu manövrieren.

Trotz die Wartezeiten in denselben QSV geraten und die Staulänge etwa gleich sind, müssen wir bewerten, dass diese bei dem Kreisverkehr außer der Spitzenstunden viel kürzer werden können.

Die Verkehrssicherheit wird durch die reduzierten Konfliktpunkte und die niedrigen Geschwindigkeiten erhöht. Beim Kreisverkehr sind auch alle Biegerichtungen erlaubt, sogar auch die Wendemöglichkeit.



	Leistungsfähigkeit [PKW-E/h]	Mittlere Wartezeit [s]	Staulängen [m]	Verkehrssicherheit und Umwelt	Bau- und Unterhaltungskosten pro Jahr
Planfreien Knotenpunkt mit VLSA auf den oberen Ebene	1174	22,4	36,6	40%	10 170 000 EUR
Planfreien Knotenpunkt mit Kreisvekehr auf den oberen Ebene	1928	11,28	33,9	60%	10 075 000 EUR

Abb. 6-16: Vergleich zwischen alle obergenannten Kriterien in Prozenten

Diese Analyse führt zu einer Entscheidung, dass der Kreisverkehr in diesem Fall eine bessere Lösung zur bestehenden Situation ist.

7. ZUSAMMENFASSUNG:

Im Rahmen dieser Diplomarbeit ist die bestehende Situation einer Kreuzung innerhalb der Hauptstadt Sofia „bul. P. K. Yavorov - bul. Dragan Tsankov“ untersucht. Die Problembereiche sind beurteilt und eine Entscheidung dazu ist getroffen.

Mit der Hilfe der Ausgangsdaten wurde eine Berechnung gemacht, um die Leistungsfähigkeit der bestehenden Situation zu überprüfen. Die Ergebnisse davon (auch zusammen mit den aufgenommenen Daten für die Umlaufzeit, Wartezeiten und Staulängen) beweisen, dass die Kreuzung überlastet ist.

Um eine geeignete Lösung der Situation zu finden, wurde am Anfang allgemeine Theorie betrachtet, die die gründliche Formen und Anforderungen eines Knotenpunkts enthält.

Für die Lösung des Problems wurde einen Knotenpunkt auf 2 verschiedenen Ebenen gewählt. Da die am stärksten belasteten Richtungen sind die gerade fahrenden Ströme durch bul. P. K. Yavorov, wurden sie konfliktfrei auf eine neu errichtete untere Ebene durchgeführt. Für die restlichen Ströme, die auf ein oberes Niveau durchgeführt wurden, wurden zwei verschiedene Ideenvarianten dargestellt und überprüft:

- Kreuzung mit Verkehrslichtsignalanlage
- Kreisverkehr

Die Werte der Leistungsfähigkeit, Wartezeiten, Staulängen wurden für beiden Varianten ermittelt. Für den Vergleich wurden die folgenden Kriterien betrachtet und für jede Variante grafisch dargestellt:

a) Verkehrsbelastung:
    - Leistungsfähigkeit
    - Wartezeiten
    - Staulängen
b) Verkehrssicherheit:
    - Konfliktpunkte
    - Wendemöglichkeit
    - Schadstoffen
    - Lärm
c) Bau- und Unterhaltungskosten

Die Ergebnisse wurden nach den obengenannten Kriterien verglichen. Eine Beurteilung wurde gemacht und als Schlussfolgerung wurde Variant B Kreisverkehr gewählt.

8. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 5-1: Zählung des Verkehrs – Tages Intensität für 12 Stunden [PKW-E/h] [1] .. 18

Tabelle 5-2: Äquivalenzfaktoren für Umrechnung von Fz-Einheit zu PKW-Einheit [4] . 20

Tabelle 5-3: Dimensionierungsbelastung der Ströme Mmaßg , Sättigungsverkehrsmenge M_s und das Verhältnis dazwischen 25

Tabelle 5-4: Die Ergebnisse für die Leistungsfähigkeit der Fahrstreifen und den Sättigungsgrad 28

Tabelle 5-5: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs – Knotenpunkte mit LSA [4] 30

Tabelle 5-6: Wartezeiten, QSV, mitt. Und max Staulänge 31

Tabelle 6-1: Dimensionierungsbelastung, Sättigungsmenge und deren Verhältnis nach der Umformung der Kreuzung 35

Tabelle 6-2: Ergebnisse: Leistungsfähigkeit und Sättigungsgrad der umgeformte Kreuzung mit VLSA 37

Tabelle 6-3: Zulässige mittlere Wartezeiten- Knotenpunkte mit LSA [4] 38

Tabelle 6-4: Wartezeiten, QSV, mitt. und max Staulänge bei den Variante A (Kreuzung mit LSA) 38

Tabelle 6-5: Mittlere Wartezeit bei dem Kreisverkehr [4] 46

Tabelle 6-6: Vergleich zwischen den mittleren Wartezeiten bei einer Kreuzung mit LSA und beim Kreisverkehr [4] 49

9. ABBILDUNGVERZEICHNIS

Abb. 4-1: 3-armige (T-Kreuzung) mit allen Verkehrsrelationen [3] 9
Abb. 4-2: 4-armige Kreuzung mit allen Verkehrsrelationen [3] 10
Abb. 4-3: Mehrspurige Kreisverkehr – Bestandteile [6] 13
Abb. 5-1: Die Lage der Kreuzung “bul. P. K. Yavorov – bul Dragan Tsankov“ 14
Abb. 5-2: Boulevard P. K. Yavorov 15
Abb. 5-3: Boulevard Dragan Tsankov 15
Abb. 5-4: Geometrie der Kreuzung P. K. Yavor – Dragan Tsankov 16
Abb. 5-5: Klassierung der Kreuzungen in Abhängigkeit von der Belastung [1] 19
Abb. 5-6: Dimensionierungsverkehrsstärken für die einzelnen Ströme in Pkw-E/h 20
Abb. 5-7: Verteilung der Verkehrsbelastung in Pkw-E/h 21
Abb. 5-8: Phaseneinteilung 22
Abb. 5-9: Signalzeitenplan 22
Abb. 5-10: Grafische Darstellung der aufgenommene Daten der Staulängen 23
Abb. 5-11: Signalzeitenplan 27
Abb. 6-1: Strombelastungsplan 33
Abb. 6-2: Signallageplan 33
Abb. 6-3: Phasenaufteilung 34
Abb. 6-4: Signalzeitenplan der umgeformte Kreuzung 36
Abb. 6-5: Benennung der Verkehrsströme beim Kreisverkehr 39
Abb. 6-6: Bezeichnung der Verkehrsströme am Kreisverkehr [3] 40
Abb. 6-7: Grundleistungsfähigkeit der Einfahrt bei dem Kreisverkehr [3] 41
Abb. 6-8: Korrekturfaktor zur Berücksichtigung querender Fußgänger [3] 42
Abb. 6-9: Staulängen N_{95} [3] 44
Abb. 6-10: Mittlere Wartezeiten bei dem Kreisverkehr [3] 46
Abb. 6-11: Leistungsfähigkeitsvergleich zwischen Variante A und Variante B 48
Abb. 6-12: Wartezeitenvergleich zwischen Variante A und Variante B 49
Abb. 6-13: Staulängenvergleich zwischen Variante A und Variante B 50
Abb. 6-14: Konfliktpunkte bei einer Kreuzung mit VLSA und Kreisverkehr [10] 50
Abb. 6-15: Bau - und Unterhaltungskostenvergleich zwischen Variante A und Variante B 52
Abb. 6-16: Vergleich zwischen alle obergenannten Kriterien in Prozenten 53

10. LITERATURVERZEICHNIS

[1] **Mott MacDonald Limited (Mott MacDonald Ltd)** - Generalplan für die Organisation der Bewegung von Fahrzeugen

[2] **Univ. Ass. Dipl. Ing. Dr. techn. Markus Hoffmann** - Straßenplanung und –projektierung , Institut für Verkehrswissenschaften, TU-Wien – LVA 233.039 (WS 2009-2010)**RVS 03.05.11,**

[3] **RVS 03.05.12, RVS 03.05.13 RVS 03.05.14:**

- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie , Zl. 300.041/0020-II/ST-ALG/2005 RVS 03.05.11. KNOTEN, Wien, am 15. April 2005

- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, GZ BMVIT- 300.041/0015-II/ST-ALG/2007 RVS 03.05.12. PLANGLEICHE KNOTEN- KREUZUNGEN, T-KREUZUNGEN, Wien, am 5. März 2007

- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Zl. 300.041/3-111/1/01 RVS 03.05.13 Gemischte und Planfreie Knoten, Wien, am 13. März 2001

- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 300.041/33- 111/1/01 RVS 03.05.14 Plangleiche Knoten - Kreisverkehr, Wien, am 21. Mai 2001

[4] **HBS Ausgabe 2001** - Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS Ausgabe 2001/ Fassung 2009. FGSV- Nr. 299 Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., April 2010

[5] **Skriptum** – Anleitung zur Berechnung von Verkehrslichtsignalanlagen VLSA, TU Wien, Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, April 1997, corr.

[6] **Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition** – National Cooperative Highway Research Program, in cooperation with U.S. Department of transportation, Federal Highway Administration, NCHRP, Report 672. Transportation Research Board of The National Academy

[7] http://www.uvt.bme.hu/targyak/se_II/str_II_la/str_II_la_1.pdf - Straßen und Eisenbahnwesen, Vorlesung 1, Univ. Doc. Agnes Lindebach, PhD

[8] http://www.uvt.bme.hu/targyak/se_II/str_II_la/str_II_la_2.pdf - Straßen und Eisenbahnwesen, Vorlesung 1, Univ. Doc. Agnes Lindebach, PhD

[9] http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/svt/lehre/download/studium_generale/Planung-II-Knotenpkte-stud.pdf -Knotenpunkte im Straßennetz: Kreuzungen, Einmündungen, Kreisverkehre, Technische Universität Dresden, Univ. Prof.Dr.Ing. Reinhold Maier

[10] http://www.nuernberg.de/internet/verkehrsplanung/kreisverkehr.html - Artikel, Verkehrsplanung Nürnberg

[11] http://www.dietmar-bosserhoff.de/download/Handbuch_4-5_Bosserhoff.pdf- Dr.-Ing. Dietmar Bosserhoff, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Follmann Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen

[12] https://www.google.com/maps/place/Sofia - Straßenkarte von Sofia

11. ANHANGVERZEICHNIS

Anhang Nr. 1: Zwischenzeitenmatrix der bestehenden Situation 59

Anhang Nr. 2: Berechnung der Leistungsfähigkeit und den Sättigungsgrad der bestehenden Situation 60

Anhang Nr. 3: Berechnung der Wartezeiten und der Staulängen der bestehenden Situation 62

Anhang Nr. 4: Zwischenzeitenmatrix (Variante A: Kreuzung mit VLSA) 66

Anhang Nr. 5: Berechnung der Leistungsfähigkeit und den Sättigungsgrad (Variante A: Kreuzung mit VLSA) 68

Anhang Nr. 6: Berechnung der Wartezeiten und der Staulängen (Variante A:Kreuzung mit VLSA) 70

Anhang Nr. 1

In diesem Anhang ist die Zwischenzeitenmatrix (berechnet mit der Hilfe der Gleichungen Gl. 5-2 und Gl. 5-3 und die aufgenommene Phasenfolge) dargestellt, die man um die maßgebende Zwischenzeiten zu beurteilen braucht.

Die folgende Zwischenzeitenmatrix ist für die bestehende Situation der Kreuzung errichtet.

		E	I	N	F	A	H	R	E	N		
	t_z	1l	1g	1r	2l	2g	2r	3l	3g	3r	4l	4g	4r
	1l					4s						4s	
	1g							4s					
	1r							4s					
R	2l		4s						4s				
Ä	2g										4s		
U	2r										4s		
M	3l					4s						4s	
E	3g	4s											
N	3r	4s											
	4l		4s						4s				
	4g				4s								
	4r				4s								

Zwischenzeitenmatrix der bestehenden Situation

Anhang Nr. 2

Anhang Nr. 2 enthält die Berechnung der Leistungsfähigkeit und die Sättigungsgrad jeder Streife. Die Leistungsfähigkeitswerte zusammen mit der Dimensionierungsverkehrsbelastung sind notwendig um den Sättigungsgrad jeder Streife zu beurteilen. Der Sättigungsgrad muss kleiner als 1 sein.

Die Berechnungen sind für die bestehende Situation gültig.

Die Folge der Ströme ist nach der Phase der LSA unterteilt.

$$L_j = \frac{t_{grj}}{t_u} * M_{sj} \text{ [PKW-E/h]}$$

$$\eta = \frac{M_{maßgj}}{L_j}$$

Phase I

Strom 1g:

$L_{1g} = \frac{97}{226} * 2200 = 944 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{883}{944} = 0{,}935$

Strom 1r:

$L_{1r} = \frac{97}{226} * 2200 = 944 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{377}{944} = 0{,}399$

Strom 3g:

$L_{3g} = \frac{97}{226} * 2200 = 944 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{793}{944} = 0{,}840$

Strom 3r:

$L_{3r} = \frac{97}{226} * 2200 = 944 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{295}{944} = 0{,}312$

Phase II

Strom 1l:

$L_{1l} = \frac{39}{226} * 2200 = 380 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{352}{380} = 0{,}927$

Strom 3l:

$L_{3l} = \frac{39}{226} * 2200 = 380 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{249}{380} = 0{,}656$

Phase III

Strom 2g:

$L_{2g} = \frac{41}{226} * 2200 = 399 \ \ [\mathrm{PKW} - \mathrm{E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{276}{399} = 0{,}692$

Strom 2r:

$L_{2r} = \frac{41}{226} * 2200 = 399 \ \ \left[\mathrm{PKW} - \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{h}}\right]$ $\qquad$ $\eta = \frac{170}{399} = 0{,}426$

Strom 4g:

$L_{4g} = \frac{41}{226} * 2200 = 399 \ \ [\mathrm{PKW} - \mathrm{E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{370}{399} = 0{,}927$

Strom 4r:

$L_{4r} = \frac{41}{226} * 2200 = 399 \ \ [\mathrm{PKW} - \mathrm{E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{354}{399} = 0{,}887$

Phase IV

Strom 2l:

$L_{2l} = \frac{33}{226} * 2200 = 321 \ \ [\mathrm{PKW} - \mathrm{E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{298}{321} = 0{,}928$

Strom 4l:

$L_{4l} = \frac{33}{226} * 2200 = 321 \ \ [\mathrm{PKW} - \mathrm{E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{283}{321} = 0{,}881$

Anhang Nr. 3

Im Anhang Nr. 3 sind die Berechnungen der Wartezeiten, mitt. und max Staulänge jedes einzelnen Stroms der bestehenden Situation zu finden.

Die Folge der Ströme ist wieder nach der Phase der LSA unterteilt.

Phase I

Strom 1g

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}429)^2}{1-0{,}401} + \frac{0{,}935^2}{2\frac{883}{3600}(1-0{,}935)} = 88{,}87\ s$$

$$n_1 = 883 * \frac{226-97}{3600} = 31{,}64 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$n_2 = 883 * \frac{226-97}{7200} + \frac{883}{3600} * 88{,}87 = 37{,}62 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow n_{1g} = 38$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 38 * 6 = 228 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 883 \frac{226}{3600} * 6 = 399{,}1\ m$$

Strom 1r

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}399)^2}{1-0{,}171} + \frac{0{,}399^2}{2\frac{377}{3600}(1-0{,}399)} = 45{,}67\ s$$

$$n_1 = 377 * \frac{226-97}{3600} = 13{,}51 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$n_2 = 377 * \frac{226-97}{7200} + \frac{377}{3600} * 45{,}67 = 11{,}53 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow n_{1r} = 14$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 14 * 6 = 84 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 377 \frac{226}{3600} * 6 = 170{,}4\ m$$

Strom 3g

$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}429)^2}{1-0{,}360} + \frac{0{,}840^2}{2\frac{793}{3600}(1-0{,}840)} = 67{,}54\ s$

$n_1 = 793 * \frac{226-97}{3600} = 28{,}42$ [PKW- E/h]

$n_2 = 793 * \frac{226-97}{7200} + \frac{793}{3600} * 67{,}54 = 29{,}09$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{3g} = 30$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 30 * 6 = 180 m

$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 793 \frac{226}{3600} * 6 = 358{,}4\ m$

Strom 3r

$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}429)^2}{1-0{,}134} + \frac{0{,}312^2}{2\frac{295}{3600}(1-0{,}312)} = 43{,}35\ s$

$n_1 = 295 * \frac{226-97}{3600} = 10{,}57$ [PKW- E/h]

$n_2 = 295 * \frac{226-97}{7200} + \frac{295}{3600} * 43{,}35 = 8{,}83$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{3r} = 11$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 11 * 6 = 66 m

$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 295 \frac{226}{3600} * 6 = 133{,}34\ m$

Phase II

Strom 1l

$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}173)^2}{1-0{,}160} + \frac{0{,}927^2}{2\frac{352}{3600}(1-0{,}927)} = 152{,}08\ s$

$n_1 = 352 * \frac{226-39}{3600} = 18{,}28$ [PKW- E/h]

$n_2 = 352 * \frac{226-39}{7200} + \frac{352}{3600} * 152{,}08 = 14{,}87$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{1l} = 19$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 19 * 6 = 114 m

$$L_{STAU\,max} = 1{,}2 * 352 \frac{226}{3600} * 6 = 159{,}1\,m$$

Strom 3l

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}173)^2}{1-0{,}113} + \frac{0{,}656^2}{2\frac{249}{3600}(1-0{,}656)} = 96{,}16\,s$$

$n_1 = 249 * \frac{226-39}{3600} = 12{,}92$ [PKW- E/h]

$n_2 = 249 * \frac{226-39}{7200} + \frac{249}{3600} * 96{,}16 = 13{,}12$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{3l} = 14$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 14 * 6 = 84 m

$$L_{STAU\,max} = 1{,}2 * 249 \frac{226}{3600} * 6 = 112{,}5\,m$$

Phase III

Strom 2g

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}181)^2}{1-0{,}125} + \frac{0{,}692^2}{2\frac{276}{3600}(1-0{,}692)} = 96{,}86\,s$$

$n_1 = 276 * \frac{226-41}{3600} = 14{,}18$ [PKW- E/h]

$n_2 = 276 * \frac{226-41}{7200} + \frac{276}{3600} * 96{,}86 = 14{,}55$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{2g} = 15$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 15 * 6 = 90 m

$$L_{STAU\,max} = 1{,}2 * 276\frac{226}{3600} * \ 6 = 124{,}75 \text{ m}$$

Strom 2r

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}181)^2}{1-0{,}077} + \frac{0{,}426^2}{2\frac{170}{3600}(1-0{,}426)} = 85{,}50\ s$$

$$n_1 = \ 170 * \frac{226-41}{3600} = 8{,}74 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$n_2 = 170 * \frac{226-41}{7200} + \frac{170}{3600} * 85{,}50 = 8{,}39 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow n_{2r} = \ 9$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 9 * 6 = 54 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 170\frac{226}{3600} * \ 6 = 76{,}84\ m$$

Strom 4g

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}181)^2}{1-0{,}168} + \frac{0{,}927^2}{2\frac{370}{3600}(1-0{,}927)} = 148{,}34\ s$$

$$n_1 = \ 370 * \frac{226-41}{3600} = 19{,}02 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$n_2 = 370 * \frac{226-41}{7200} + \frac{370}{3600} * 148{,}34 = 24{,}79 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow n_{4g} = \ 25$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 25 * 6 = 150 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 370\frac{226}{3600} * \ 6 = 167{,}24\ m$$

Strom 4r

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}181)^2}{1-0{,}161} + \frac{0{,}887^2}{2\frac{354}{3600}(1-0{,}887)} = 126{,}15\ s$$

$$n_1 = \ 354 * \frac{226-41}{3600} = 18{,}20 \text{ [PKW- E/h]}$$

$n_2 = 354 * \frac{226-41}{7200} + \frac{354}{3600} * 126{,}15 = 21{,}46$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{4r} = 22$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 22 * 6 = 132 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 354 \frac{226}{3600} * 6 = 160\ m$$

Phase IV

Strom 2l

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}146)^2}{1-0{,}135} + \frac{0{,}928^2}{2\frac{298}{3600}(1-0{,}928)} = 167{,}01\ s$$

$n_1 = 298 * \frac{226-33}{3600} = 15{,}98$ [PKW- E/h]

$n_2 = 298 * \frac{226-33}{7200} + \frac{298}{3600} * 167{,}01 = 21{,}8$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{2l} = 22$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 22 * 6 = 132 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 298 \frac{226}{3600} * 6 = 134{,}7\ m$$

Strom 4l

$$t_w = \frac{226}{2} * \frac{(1-0{,}146)^2}{1-0{,}129} + \frac{0{,}881^2}{2\frac{283}{3600}(1-0{,}881)} = 136{,}08\ s$$

$n_1 = 283 * \frac{226-33}{3600} = 15{,}28$ [PKW- E/h]

$n_2 = 283 * \frac{226-33}{7200} + \frac{283}{3600} * 136{,}08 = 18{,}34$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{4l} = 19$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 19 * 6 = 114 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 283 \frac{226}{3600} * 6 = 127{,}9\ m$$

Anhang Nr. 4

Die Zwischenzeitmatrix bei der Variante A: Kreuzung mit VLSA

Mit der gewählten Phasenfolge sieht die Zwischenzeitenmatrix so aus:

		I		N		F		A	H		E	N			
	tz	1l	1r	2l	2g		2r	3l		3r	4l		4g		4r
	1l					4s							4s		
	1r								4s						
R	2l	4s							4s						4s
Ä	2g									4s		4s			
U	2r														
M	3l					4s							4s		
N	3r	4s													
	4l	4s						4s	4s						
	4g		4s	4s											
	4r														

Zwischenzeitenmatrix der bestehenden Situation

Anhang Nr. 5

Anhang Nr. 5 enthält die Berechnung der Leistungsfähigkeit und die Sättigungsgrad jeder Streife. Die Leistungsfähigkeitswerte zusammen mit der Dimensionierungsverkehrsbelastung sind notwendig um den Sättigungsgrad jeder Streife zu beurteilen. Der Sättigungsgrad muss kleiner als 1 sein.

Die Berechnungen sind für die Variante A Kreuzung mit VLSA gültig.

Die Folge der Ströme ist nach der Phase der LSA unterteilt.

$$L_j = \frac{t_{grj}}{t_u} * M_{sj} \text{ [PKW-E/h]}$$

$$\eta = \frac{M_{maßgj}}{L_j}$$

Phase I

Strom 4r:

$L_{4r} = \frac{15}{60} * 2200 = 550 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{354}{550} = 0{,}644$

Strom 1l:

$L_{1l} = \frac{15}{60} * 2200 = 550 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{352}{550} = 0{,}640$

Strom 2r:

$L_{2r} = \frac{15}{60} * 2200 = 550 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{170}{550} = 0{,}309$

Strom 3l:

$L_{3l} = \frac{15}{60} * 2200 = 550 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{249}{550} = 0{,}453$

Phase II

Strom 4g:

$L_{4g} = \frac{16}{60} * 2200 = 587 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{370}{587} = 0{,}631$

Strom 2g:

$L_{2g} = \frac{16}{60} * 2200 = 587 \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\eta = \frac{276}{587} = 0{,}470$

Phase III

Strom 1r:

$L_{1r} = \frac{17}{60} * 2200 = 623 \ \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{377}{623} = 0{,}605$

Strom 2l:

$L_{2l} = \frac{17}{60} * 2200 = 623 \ \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{298}{623} = 0{,}478$

Strom 4l:

$L_{4l} = \frac{17}{60} * 2200 = 623 \ \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{283}{623} = 0{,}454$

Strom 3r:

$L_{3r} = \frac{17}{60} * 2200 = 623 \ \ [\mathrm{PKW-E/h}]$ $\qquad$ $\eta = \frac{295}{623} = 0{,}473$

Anhang Nr. 6

Dieser Anhang enthält die Berechnungen der Wartezeiten, mitt. und max Staulänge jedes einzelnen Stroms, die man bei der Überprüfung der Variante A Kreuzung mit VLSA braucht.

Die Folge der Ströme ist wieder nach der Phase der LSA unterteilt.

Phase I

Strom 4r

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}25)^2}{1-0{,}161} + \frac{0{,}644^2}{2\frac{354}{3600}(1-0{,}644)} = 26{,}05\ s$$

$$n_1 = 354 * \frac{60-15}{3600} = 4{,}425 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$n_2 = 354 * \frac{60-15}{7200} + \frac{354}{3600} * 26{,}05 = 4{,}77 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow n_{4r} = 5$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 5 * 6 = 30 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 354\frac{60}{3600} * 6 = 42{,}48\ m$$

Strom 1l

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}25)^2}{1-0{,}160} + \frac{0{,}640^2}{2\frac{352}{3600}(1-0{,}640)} = 25{,}89\ s$$

$$n_1 = 352 * \frac{60-15}{3600} = 4{,}4 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$n_2 = 352 * \frac{60-15}{7200} + \frac{352}{3600} * 25{,}89 = 4{,}7 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow n_{1l} = 5$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 5 * 6 = 30 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 352\frac{60}{3600} * 6 = 42{,}24\ m$$

Strom 2r

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}25)^2}{1-0{,}077} + \frac{0{,}309^2}{2\frac{170}{3600}(1-0{,}309)} = 19{,}74\ s$$

$n_1 = 170 * \frac{60-15}{3600} = 2{,}125$ [PKW- E/h]

$n_2 = 170 * \frac{60-15}{7200} + \frac{170}{3600} * 19{,}74 = 1{,}99$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{2r} = 3$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 3 * 6 = 18 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 170\frac{60}{3600} * 6 = 20{,}4\ m$$

Strom 3l

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}25)^2}{1-0{,}113} + \frac{0{,}453^2}{2\frac{249}{3600}(1-0{,}453)} = 21{,}76\ s$$

$n_1 = 249 * \frac{60-15}{3600} = 3{,}11$ [PKW- E/h]

$n_2 = 249 * \frac{60-15}{7200} + \frac{249}{3600} * 21{,}76 = 3{,}06$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{3l} = 4$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 4 * 6 = 24 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 249\frac{60}{3600} * 6 = 29{,}88\ m$$

Phase II

Strom 4g

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}267)^2}{1-0{,}168} + \frac{0{,}631^2}{2\frac{370}{3600}(1-0{,}631)} = 24{,}64\ s$$

$n_1 = 370 * \frac{60-16}{3600} = 4{,}52$ [PKW- E/h]

$n_2 = 370 * \frac{60-16}{7200} + \frac{370}{3600} * 24{,}64 = 4,79$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{4g} = 5$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 5 * 6 = 30 m

$$L_{STAU\,max} = 1{,}2 * 370 \frac{60}{3600} * 6 = 44{,}4\,m$$

Strom 2g

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}267)^2}{1-0{,}125} + \frac{0{,}470^2}{2\frac{276}{3600}(1-0{,}470)} = 21{,}156\,s$$

$n_1 = 276 * \frac{60-16}{3600} = 3{,}31$ [PKW- E/h]

$n_2 = 276 * \frac{60-16}{7200} + \frac{276}{3600} * 21{,}156 = 3,31$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{2g} = 4$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 4 * 6 = 24 m

$$L_{STAU\,max} = 1{,}2 * 276 \frac{60}{3600} * 6 = 33{,}12\,m$$

Phase III

Strom 1r

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}283)^2}{1-0{,}171} + \frac{0{,}605^2}{2\frac{377}{3600}(1-0{,}605)} = 23{,}01\,s$$

$n_1 = 377 * \frac{60-17}{3600} = 4{,}5$ [PKW- E/h]

$n_2 = 377 * \frac{60-17}{7200} + \frac{377}{3600} * 23{,}01 = 4,67$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{1r} = 5$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 5 * 6 = 30 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 377 \frac{60}{3600} * \ 6 = 45{,}24\ m$$

Strom 2l

$$t_w = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}283)^2}{1-0{,}135} + \frac{0{,}478^2}{2\frac{298}{3600}(1-0{,}478)} = 20{,}45\ s$$

$$n_1 = \ 298 * \frac{60-17}{3600} = 3{,}55 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$n_2 = \ 298 * \frac{60-17}{7200} + \frac{298}{3600} * 20{,}45 = 3{,}48 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow n_{2l} = \ 4$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 4 * 6 = 24 m

$$L_{STAU\ max} = 1{,}2 * 298 \frac{60}{3600} * \ 6 = 35{,}76 \text{ m}$$

Strom 4l

$$\mathrm{t_w} = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}283)^2}{1-0{,}129} + \frac{0{,}454^2}{2\frac{283}{3600}(1-0{,}454)} = 20{,}10 \text{ s}$$

$$\mathrm{n_1} = \ 283 * \frac{60-17}{3600} = 3{,}37 \text{ [PKW- E/h]}$$

$$\mathrm{n_2} = \ 283 * \frac{60-17}{7200} + \frac{283}{3600} * 20{,}10 = 3{,}27 \text{ [PKW- E/h]}$$

$\rightarrow \mathrm{n_{4l}} = \ 4$ [PKW- E/h]

l_{STAU} = 4 * 6 = 24 m

$$\mathrm{L_{STAU\ max}} = 1{,}2 * 283 \frac{60}{3600} * \ 6 = 33{,}96 \text{ m}$$

Strom 3r

$$\mathrm{t_w} = \frac{60}{2} * \frac{(1-0{,}283)^2}{1-0{,}134} + \frac{0{,}473^2}{2\frac{295}{3600}(1-0{,}473)} = 20{,}41 \text{ s}$$

$$\mathrm{n_1} = \ 295 * \frac{60-17}{3600} = 3{,}52 \text{ [PKW- E/h]}$$

$n_2 = 295 * \frac{60-17}{7200} + \frac{295}{3600} * 20{,}41 = 3,43$ [PKW- E/h]

$\rightarrow n_{3r} = 4$ [PKW- E/h]

$l_{STAU} = 4 * 6 = 24$ m

$L_{STAU\,max} = 1{,}2 * 295 \frac{60}{3600} * 6 = 35{,}4\ \mathrm{m}$