

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Diplomarbeit

Vergleich verkehrstechnischer Berechnungsverfahren
zur Dimensionierung innerstädtischer Knotenpunkte

eingereicht von Steffen Täger
Matr.-Nr.: 950765

Reg.-Nr.: B/2007/9

Erstprüfer	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Brannolte
Zweitprüfer	Dipl.-Ing. Heiko Holzberger

Ausgabedatum	9. Mai 2007
Abgabedatum	8. August 2007

Prof. Dr.-Ing. habil. Könke
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Diplomthema: Vergleich verkehrstechnischer Berechnungsverfahren zur Dimensionierung innerstädtischer Knotenpunkte

Mit dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen und der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation stehen zwei Werkzeuge zur Berechnung der Qualität des Verkehrsablaufs innerstädtischer Knotenpunkte zur Verfügung.

Vorteil des HBS ist die einfache Handhabung gegenüber der Komplexität der Erstellung von Simulationsmodellen. Deshalb gibt es Ansätze, durch Bereitstellung weitgehend standardisierter Simulationsmodelle von Knotenpunkttypen den Aufwand und die Fehleranfälligkeit bei der Erstellung der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation zu senken.

Ziel der Diplomarbeit ist die Überprüfung der internetbasierten Online-Simulation www.websimtra.de und www.evlonline.de hinsichtlich Zweckmäßigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Korrektheit. Als Vergleichsmaßstab sollen die Berechnungsverfahren des HBS herangezogen werden.

In einem theoretischen Teil sind die Grundlagen und Ausformungen der Online-Simulation zu prüfen. Dazu sind geeignete Prüfkriterien zu definieren.

In einem empirischen Teil sind Vergleichsrechnungen zu selbst gewählten Knotenpunkten in der Stadt Weimar durchzuführen.

Vor- und Nachteile der Online-Simulation gegenüber bisherigen Berechnungsverfahren sind darzustellen und zu diskutieren.

Im Einzelnen sind folgende Arbeitsschritte zu bearbeiten:

- theoretische Grundlagen zu Berechnungsverfahren HBS und Online-Simulation,
- Definition relevanter Kriterien für die verkehrstechnische Bemessung,
- Diskussion und Auswahl von 10 Knotenpunkten der Stadt Weimar, die für eine Überprüfung des Knotenpunkttyps Kreisverkehr herangezogen werden sollen,
- Durchführung der Vergleichsrechnung HBS vs. Onlinesimulation und
- Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse, Ableitung von Empfehlungen.

Es handelt sich um eine studentische Arbeit, die Ergebnisse sind nicht für Planungen Dritter zu verwenden.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Brannolte

Erstprüfer

Inhaltsverzeichnis

Liste der Abkürzungen	7	
Liste der verwendeten Symbole	8	
0	Einleitung..... 9	
1	Theoretische Grundlagen..... 11	
1.1	Betrachtungsweisen des Verkehrsflusses	11
1.1.1	Makroskopie	11
1.1.2	Mikroskopie.....	12
1.2	Ausgewählte Modelle des Verkehrsflusses	13
1.2.1	Psycho-physisches Modell	13
1.2.2	Warteschlangenmodell	16
1.2.3	Weitere Verkehrsflussmodelle	18
1.3	Bemessungsverfahren.....	19
1.3.1	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen	19
1.3.2	WebSimTra.....	23
1.3.3	EVL-Online	25
2	Kriterienkatalog	27
2.1	Korrektheit.....	27
2.2	Zweckmäßigkeit	28
2.3	Benutzerfreundlichkeit	29
2.4	Zusammenstellung der Prüfkriterien	30
3	Diskussion und Auswahl von 10 Knotenpunkten.....	31
3.1	Vorauswahl	32
3.1.1	Unfallgeschehen	32
3.1.2	Lage im Verkehrsnetz bzw. Stadtraum.....	33
3.2	Zweite Auswahlrunde.....	35
3.2.1	Verkehrsstärke	35
3.2.2	Anzahl querender Fußgänger und Radfahrer.....	36
3.2.3	Anzahl der zu verknüpfenden Knotenarme	36

3.2.4	Richtung der Hauptströme	37
3.3	Auswahl der Knotenpunkte	37
4	Durchführung der Bemessung	40
4.1	Verkehrsdaten	40
4.1.1	Eigene Verkehrserhebung	40
4.1.2	Analysedaten	41
4.1.3	Ausgangswerte für die Bemessung	42
4.2	Bemessung mit HBS	43
4.2.1	Allgemeine Vorgehensweise	43
4.2.2	Durchführung der Bemessung	44
4.3	Bemessung mit WebSimTra	49
4.3.1	Allgemeine Vorgehensweise	49
4.3.2	Durchführung der Bemessung	51
5	Bewertung der Bemessungsverfahren	53
5.1	Vergleich anhand des Kriterienkatalogs	53
5.1.1	Aufgabenangemessenheit	53
5.1.2	Richtigkeit	54
5.1.3	Sensibilität	57
5.1.4	Fehleranfälligkeit, Korrigierbarkeit	59
5.1.5	Reproduzierbarkeit	60
5.1.6	Zeitersparnis	61
5.1.7	Arbeitserleichterung	62
5.1.8	Individualisierbarkeit	63
5.1.9	Benutzerführung und Hilfestellung	64
5.1.10	Zusammenfassung	66
5.2	Diskussion der Ergebnisse	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5.2.1	Mittlere Wartezeiten und Rückstaulängen	67
5.2.2	Reaktionen auf Änderung der Verkehrsdaten	68
5.2.3	Weitere Aspekte	69
5.3	Anregungen und Empfehlungen	72
	Literaturverzeichnis	74

Verzeichnis der Abbildungen	76
Verzeichnis der Tabellen	77
Anhang A Knotenauswahl	78
A.1 Unfalltypensteckkarten	79
A.2 Grafische Einpassung der Kreisverkehre.....	81
Anhang B Verkehrstärken und Knotenströme	82
B.1 Protokolle der Verkehrserhebungen	83
B.2 Busverkehrsstärken.....	86
B.3 Knotenstrompläne des „Verkehrsmodells“.....	87
B.4 Bemessungsverkehrsstärken	89
Anhang C Bemessungsprotokolle	92
C.1 Formblätter des HBS	93
C.2 Ergebnisblätter WebSimTra	103

Liste der Abkürzungen

FAQ	Frequently Asked Questions (Häufig gestellte Fragen)
FFE	Fahrer-Fahrzeug-Einheit(en)
Fz	Fahrzeug(e)
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
Kfz	Kraftfahrzeug(e)
Krad	Kraftrad/Krafträder
Lkw	Lastkraftwagen
Lz	Lastzug/Lastzüge
Pkw	Personenkraftwagen
QSV	Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs
Rad	Radfahrer
StVO	Straßenverkehrsordnung

Liste der verwendeten Symbole

C	Kapazität
f_f	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung querender Fußgänger
G	Grundkapazität
g	Sättigungsgrad
k	Fahrzeugdichte
N_{95}	95%-Perzentil der Rückstaulänge
n_k	Anzahl der Fahrstreifen in der Kreisfahrbahn
n_z	Anzahl der Fahrstreifen in der Zufahrt
q	Verkehrsstärke
q_k	Verkehrsstärke in der Kreisfahrbahn
q_z	Verkehrsstärke in der Zufahrt
R	Kapazitätsreserve
v	Geschwindigkeit
w	mittlere Wartezeit

0 Einleitung

Für die Bemessung und qualitative Einstufung innerstädtischer Knotenpunkte stehen verschiedene Werkzeuge und Verfahren zur Verfügung. Das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) enthält in diesem Zusammenhang einfach zu handhabende Standardverfahren. Alternativ kann die Bemessung auch mit mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen erfolgen, deren Erstellung jedoch sehr aufwändig und dadurch fehleranfällig ist. Um die nachteilige Komplexität der Simulationsmodelle zu umgehen, sollen standardisierte Modelle zu einer Verringerung des Arbeitsaufwands beitragen.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, inwieweit den neuen Simulationsmodellen wie beispielsweise WebSimTra und EVL-Online mit ihren Vereinfachungen und Beschränkungen trotzdem Zweckmäßigkeit, Korrektheit und Benutzerfreundlichkeit bescheinigt werden kann. Das Ziel der Arbeit besteht in der Herleitung einer nachvollziehbaren Bewertung der Online-Simulation, wobei die Berechnungsverfahren des HBS als Vergleichsgrundlage dienen werden.

Die Prüfung der Online-Simulation hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Korrektheit durch einen Vergleich mit dem Bemessungsverfahren des HBS setzt die Beschäftigung mit den theoretischen Grundlagen beider Verfahren voraus. Aus diesem Grund wird am Beginn der Arbeit ein Überblick über die verschiedenen Verkehrsflussmodelle stehen, auf einzelne Theorien wird detailliert eingegangen. In einem weiteren Abschnitt soll erläutert werden, wie diese theoretischen Modelle in den zu untersuchenden Bemessungsverfahren Anwendung finden. Im Anschluss daran werden Kriterien definiert, die geeignet sind, die Zweckmäßigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Korrektheit der Online-Simulation widerzuspiegeln. Anhand des aus diesen relevanten Kriterien zusammengestellten Katalogs soll am Ende der Arbeit die Bewertung des Bemessungswerkzeugs erfolgen.

Im darauf folgenden Abschnitt werden aus der Vielzahl von Knotenpunkten im Stadtgebiet Weimar zehn ausgewählt, die aufgrund ihrer Eigenschaften für die Untersuchung des Knotenpunkttyps Kreisverkehr geeignet erscheinen. Der sich daran anschließende Abschnitt beinhaltet die Bemessung der Auswahlknoten mit den Verfahren des HBS und der Online-Simulation. Dafür ist in einem ersten Schritt die Beschaffung und Aufbereitung

von Verkehrsstärkezahlen notwendig. Liegen die Knotenstrommatrizen für alle Auswahlknoten vor, erfolgt die eigentliche Bemessung mit beiden Verfahren. Der letzte Abschnitt umfasst die Bewertung der Bemessungsverfahren anhand des Kriterienkatalogs sowie eine Diskussion der erzielten Ergebnisse. Mit Schlussfolgerungen und Empfehlungen endet der Hauptteil der Arbeit.

Im Anhang befinden sich alle Unterlagen, die als Grundlage bei der Auswahl der zu bemessenden Knotenpunkte dienten. Weiterhin sind sämtliche Protokolle in den Anhang aufgenommen worden, die bei der Erhebung von Verkehrsdaten angefertigt wurden, sowie die zur Verfügung gestellten Knotenstrompläne. Die Verkehrsstärken, welche schließlich die Grundlage der Bemessung darstellen, sind ebenfalls aufgeführt. Dem schließen sich die Bemessungsblätter des HBS-Verfahrens an, aus denen sowohl der Rechengang als auch die Ergebnisse hervorgehen. Den Formblättern des HBS werden die Ergebnisblätter der Online-Simulation gegenübergestellt, aufgrund des großen Umfangs jedoch nur auszugsweise.

Ein Studium der verfügbaren Literatur im Vorfeld der Bearbeitung brachte die Erkenntnis, dass die zu untersuchenden Online-Simulationen WebSimTra und EVL-Online bisher nicht Gegenstand einer wissenschaftlicher Betrachtung waren. Das Prinzip, komplexe und sehr detaillierte Simulationsmodelle durch Beschränkung ihrer Parametrisierung zu vereinfachen und damit benutzerfreundlicher zu gestalten, wurde jedoch schon in mehreren Schriften besprochen, so u.a. bei [BRANNOLTE 2000] und [HOLZBERGER 2001]. Letzterer benennt auch Schwierigkeiten bei der Durchsetzungsfähigkeit mikroskopischer Simulationen in der Verkehrsplanung und beschreibt die Notwendigkeit vertiefter Untersuchungen vor allem in der Diskussion um Kreisverkehrsplätze und andere Sonderlösungen.

1 Theoretische Grundlagen

Voraussetzung einer Bewertung der Online-Simulationen hinsichtlich Zweckmäßigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Korrektheit im Vergleich zum HBS ist die Kenntnis über die theoretischen Grundlagen dieser Werkzeuge. Auf der Internetseite www.websimtra.de wird unter dem Punkt 4 der FAQ angeführt, das Programm untersuche die Verkehrsqualität mit Hilfe mikroskopischer Verfahren, während die Berechnungsverfahren des HBS makroskopischer Natur seien. Die Unterschiede in der Betrachtungsweise bei der Beschreibung des Verkehrsflusses werden im folgenden Abschnitt aufgezeigt.

1.1 Betrachtungsweisen des Verkehrsflusses

Der Begriff Verkehrsfluss umfasst nach [WIEDEMANN 1974] alle Phänomene, die den räumlich-zeitlichen Verlauf der Ortsveränderung sich bewegender Elemente eines Verkehrssystems prägen. Ein gutes Modell zeichne sich dabei dadurch aus, dass es genau die Teilbereiche aller realen Erscheinungen betrachte, welche dem Untersuchungsthema angemessen seien. In der Verkehrsflusssimulation werden mehrere Ansätze zur Modellierung unterschieden. Es wird insbesondere mit makroskopischen und mikroskopischen, aber auch mit mesoskopischen und kapazitätsabhängigen Verkehrsflussmodellen gearbeitet. Jede dieser Modellierungsformen hat besondere Vor- und Nachteile und kommt somit in verschiedenen Situationen zum Einsatz. Während makroskopische Verkehrsflussmodelle ausschließlich aggregierte Verkehrsströme betrachten, d.h. den Verkehrsfluss in seiner *Gesamtheit* unter Berücksichtigung seiner stochastischen Eigenschaften, ist in mikroskopischen Verkehrsflussmodellen das Fahrverhalten *einzelner* Fahrzeuge grundlegend.

1.1.1 Makroskopie

Die makroskopische Modellierung hat ihren Ursprung in Anleihen aus der Strömungsmechanik. Die Verkehrsstärke q , die lokale Geschwindigkeit v und die Fahrzeugdichte k sind die relevanten Modellgrößen, welche dabei als Durchschnittswerte über einen Bereich mit mehreren Fahrzeugen aufzufassen sind.

Die wichtigste Gesetzmäßigkeit eines makroskopischen Modells ist die Kontinuitätsgleichung:

$$q = v * k$$

Die Kontinuitätsgleichung beschreibt einen stationären Verkehrszustand, der sich bei gleich bleibenden Randbedingungen einstellt. Dass in diesem Zusammenhang die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte gesehen werden muss, geht aus dem Fundamentaldiagramm hervor, welches in [LEUTZBACH 1988] ausführlich beschrieben wird.

Bei makroskopischen Modellen kann zwischen deterministischen und stochastischen Modellen unterscheiden werden. Während in einer deterministischen Modellierung die Erwartungswerte der relevanten Größen betrachtet werden, kommen bei einem stochastischen Ansatz Rauschterme hinzu, die den zufälligen Charakter des Verkehrsgeschehens abbilden. Dies macht genauere Aussagen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der ausschlaggebenden Größen möglich.

1.1.2 Mikroskopie

Mikroskopische Verkehrsflussmodelle basieren auf der Betrachtung einzelner Fahrzeuge, welche nach den Gesetzmäßigkeiten eines Fahrzeugfolgmodells entlang einer Strecke bewegt werden. Dabei beschreibt ein Fahrzeugfolgmodell das Verhalten eines Fahrer-Fahrzeug-Elements in Reaktion auf vorausfahrende Fahrzeuge. Der Fahrer beschleunigt auf seine Wunschgeschwindigkeit, wenn keine vorausfahrenden Fahrzeuge berücksichtigt werden müssen. Aufgrund der Betrachtung aufeinander folgender Fahrzeuge eignen sich diese Modelle überwiegend für den einspurigen Verkehr ab einer mittleren Verkehrsdichte.

Bezug nehmend auf [BRILON 2005] kann die allgemeine Charakterisierung der mikroskopischen Simulationsverfahren nach dem grundlegenden Konzept des jeweiligen Modells über die Folgevorgänge und die Abstandshaltung erfolgen. Brilon unterscheidet:

- kinematische Betrachtungen der Abstände ohne theoretisches Grundkonzept,
- psycho-physische Abstandsmodelle, wie z. B. von Wiedemann aus dem Jahr 1974,
- Fahrzeugfolgetheorien, wie von Reuschel aus dem Jahr 1953 oder Hoefs von 1972,
- Zellularautomaten, z. B. von Nagel und Schreckenberg aus dem Jahr 1992,

- Fuzzy-Logik-Modelle nach Rekersbrink von 1994 sowie
- Ansätze aus der Regelungstechnik, wie sie Bando 1995 verwendete.

Nach [BRILON 2005] ist heutzutage die Anwendung dieser mikroskopischen Simulationsmodelle der Stand der Technik zur Lösung verkehrstechnischer und planerischer Fragestellungen. Dabei räumt er aber auch ein, dass die realistische Wiedergabe des Verkehrsflusses sich für keines der Modelle nachprüfbar nachweisen lässt. Jedoch liefern alle Modelle Ergebnisse mit hinreichender Genauigkeit und ermöglichen u.a. eine unkomplizierte statistische Analyse von Größen, die empirisch nur unter hohem Aufwand zugänglich seien [HELBING 1997]. Problematisch ist nach Auffassung von [BRILON 2005] die mangelnde Dokumentation der Modelle. Dies und die fehlende allgemeine Zugänglichkeit zu den jeweiligen Quellcodes führe dazu, dass keines der Modelle nachprüfbar sei.

[BRANNOLTE 2000] vertritt die Auffassung, dass es trotzdem keiner grundlegenden Neukonzeption von Simulationsmodellen bedarf, da ausreichend viele Modelle in Deutschland Anwendung finden, die einen hohen Abdeckungsgrad bezüglich der häufigsten praxisrelevanten Randbedingungen erreichen. Dabei finde zwar keines dieser Flussmodelle in allen Einsatzbereichen Verwendung, aber das sei auch nicht nötig.

1.2 Ausgewählte Modelle des Verkehrsflusses

Am Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe haben die deutschen Simulationsmodelle für den Straßenverkehrsablauf ihren Ursprung. Dort entwickelten Wiedemann 1974, Hubschneider 1977, Brilon und Brannolte 1977, sowie Brannolte und Holz 1983 ihre Ideen. Im Folgenden soll kurz auf die wichtigsten Modelle eingegangen werden, die auch Berücksichtigung in den zur Untersuchung anstehenden Bemessungsverfahren fanden.

1.2.1 Psycho-physisches Modell

Todosiev sowie Michaels und Cozan führten nach [HELBING 1997] die ersten psycho-physischen Untersuchungen zum Einfluss des Wahrnehmungsvermögens auf das

Fahrverhalten durch. Sie fanden heraus, dass Fahrer nur dann auf Abstandsänderungen oder Geschwindigkeitsdifferenzen reagieren, wenn diese oberhalb einer bestimmten Wahrnehmungsschwelle liegen. Daran anknüpfend erstellte dann Wiedemann sein Interaktionsmodell zur Simulation der Wechselwirkung einzelner Fahrer-Fahrzeug-Einheiten. Die Mehrzahl der heutigen mikroskopischen Modelle basiert laut [BRANNOLTE 2000] auf diesem von Wiedemann entwickelten Ansatz eines psycho-physischen Fahrzeugfolge-modells, das raumkontinuierlich und in diskreten Zeitschritten die Reaktion eines Verkehrsteilnehmers auf den Abstand und die Geschwindigkeitsdifferenz zum Vorausfahrenden abbildet.

[WIEDEMANN 1974] sieht das wesentlichste Merkmal des Straßenverkehrs in der weitgehenden Entscheidungsfreiheit der Fahrer. Dabei sei der von außen beobachtbare Bewegungsablauf eines Fahrer-Fahrzeug-Elements das Ergebnis eines komplexen, in eine Vielzahl von Komponenten eingebetteten Entscheidungsprozesses des Fahrers. Grundsätzlich nimmt Wiedemann an, dass ein betrachteter Fahrer in einem Fahrzeug im Wesentlichen durch das vorausfahrende Fahrzeug beeinflusst wird. Entscheidende Kriterien sind in diesem Zusammenhang der Fahrzeugabstand, die von beiden Fahrer-Fahrzeug-Einheiten gefahrenen Geschwindigkeiten und so genannte Wahrnehmungsschwellen, die im weiteren Verlauf des Textes noch näher erläutert werden. Wiedemann proklamiert, dass nur solche mikroskopischen Modelle des Verkehrsflusses den Anspruch auf wirklichkeitsäquivalente Nachbildung der Realität erheben können, die berücksichtigen, dass Informationen für einen Fahrer überhaupt erst existent sind, wenn sie bei ihm gewisse Reizschwellen überschritten haben [WIEDEMANN 1974].

Wiedemann unterscheidet verschiedene Fahrzustände: unbeeinflusstes Fahren und bewusst bzw. unbewusst beeinflusstes Fahren. Beim unbeeinflussten Fahren richtet sich der Fahrer nach seiner Wunschgeschwindigkeit, da der Fahrzeugabstand größer ist als die von der Differenzgeschwindigkeit abhängige Wahrnehmungsschwelle. Beim bewusst beeinflussten Fahren verringert der Fahrer die Geschwindigkeit seines Fahrzeugs, da er bemerkt, dass er sich dem vorausfahrenden Fahrzeug nähert. Der Betrag der Bremsbeschleunigung wird dabei an den gewünschten Abstand angepasst. Wenn schließlich die Geschwindigkeitsdifferenz so klein ist, dass sie vom Fahrer nicht wahrgenommen wird, versucht der Fahrer beim unbewusst beeinflussten Fahren, dem vorausfahrenden Fahrzeug in konstantem Abstand zu folgen. Er wird die Geschwindigkeit erst wieder anpassen, falls der Fahrzeug-

abstand seine Wahrnehmungsschwelle erreicht. Dadurch entstehen die für diesen Bereich typischen Schwingungen im Abstand. Der Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug muss also zunächst vom Fahrer wahrgenommen werden.

Dies kann nach [BRILON 2005] allein über das Auge und dabei auf zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten geschehen: zum einen die Querdissipation, zum anderen die Größenänderung des Abbildes auf der Netzhaut. Unter Querdissipation wird die Fähigkeit des menschlichen Gehirns verstanden, aus den unterschiedlichen Abbildern eines betrachteten Gegenstands auf der Netzhaut beider Augen eine Tiefenwahrnehmung zu erzeugen. Dabei wird auch der Konvergenzwinkel verwendet, den die optischen Achsen der Augen einschließen. Dieser Mechanismus erscheint im konkreten Fall des Abstandes zwischen zwei sich bewegenden Fahrzeugen als wenig zuverlässig und wird deshalb im Modell nicht berücksichtigt. Bei der Größenänderung des Abbildes auf der Netzhaut wird von einem betrachteten Gegenstand ein Abbild auf der Netzhaut erzeugt, dessen Größe vom Abstand zwischen Auge und Gegenstand abhängig ist. Wenn sich diese Abbildungsgröße ändert und damit der von den Sehstrahlen eingeschlossene Winkel, ist dies auf eine Abstandsänderung zurückzuführen, beispielsweise zwischen Fahrzeugen. Ins Verhältnis gesetzt zu der Zeit, in der sich diese Winkeländerung vollzieht, ergibt sich daraus ein direktes Maß für die Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Fahrzeuge. Eine Grundaussage des Modells ist es, dass das menschliche Auge solche Winkelgeschwindigkeiten erst ab einem von Mensch zu Mensch verschiedenen Schwellenwert wahrnehmen kann, der mit 0.0006 rad/s angesetzt wird. Liegen die Werte darunter, bleibt die Abstandsänderung unbemerkt und der Fahrer befindet sich im Bereich des unbewusst beeinflussten Fahrens.

[HELBING 1997] macht darauf aufmerksam, dass das High-Fidelity-Modell von Wiedemann neben der detaillierten Berücksichtigung von Schwellwerteffekten auch Unterschiede der einzelnen Fahrer und Fahrzeuge durch individuelle Parametersätze erfasst, die als normalverteilt angenommen werden. Diese umfassen beispielsweise die verschiedenen Wahrnehmungs- und Reaktionsschwellen, die Wunschgeschwindigkeiten, das Sicherheitsbedürfnis, das Beschleunigungs- und Bremsvermögen des Fahrzeugs, die Steuermöglichkeit des Bremspedals und die Ansprechzeit der Bremslichter. Helbing sieht im Modell von Wiedemann das detaillierteste Mikrosimulationsmodell der Fahrer-Fahrzeug-Dynamik, das es derzeit gebe, auch wenn es wie alle High-Fidelity-Modelle die

Echtzeit-Simulation großer Fahrzeugmengen nicht erlaube. Das psycho-physische Abstandsmodell ist in den Simulationsprogrammen VISSIM und PELOPS eingesetzt [BRILON 2005].

1.2.2 Warteschlangenmodell

Ebenfalls 1974 entwickelte Brilon an der Universität Karlsruhe ein makroskopisches Verkehrsflussmodell, das sich auf Warteschlangenkonzepte bezieht. Solche waren bereits aus der Mathematik bekannt und fanden auch schon verkehrstechnische Berücksichtigung. [KREMSER 1962] entwickelte bereits theoretische Lösungen zur Beschreibung eines Warteschlangensystems an nicht signalgeregelten Knotenpunkten. Diese Konzepte beschreiben, wie sich im Warteraum vor einem Schalter eine Warteschlange aufbaut, deren Elemente auf Abfertigung bzw. Bedienung warten. Parameter dieses Systems sind u.a. die zeitliche Verteilung der Elementankünfte, die Anzahl der Schalter bzw. die Anzahl der gleichzeitig bedienbaren Elemente, die Dauer der Bedienung und wiederum die zeitliche Verteilung der Abfertigungen. Die Zeitspannen zwischen zwei aufeinander folgenden Ereignissen (Ankunfts- und Bedienzeiten) sind unabhängige Zufallsgrößen. Somit unterliegen der Ankunfts- und der Bedienprozess stochastischen Gesetzmäßigkeiten und lassen sich in einem derartigen System beispielsweise mittels der Poisson- und Exponentialverteilung charakterisieren.

[BRILON 1974] übertrug diesen Ansatz auf den Verkehrsfluss und dort insbesondere auf die Überholmöglichkeiten auf Landstraßen. Dabei sind zwei „Zeitlücken“ von besonderer Bedeutung: die Grenzzeitlücke t_g und die Folgezeitlücke t_f . Beide beschreiben den Zeitunterschied zwischen den Durchgängen der Bezugspunkte aufeinander folgender Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms an einem Querschnitt und sind als Äquivalent der Raumlücken zwischen diesen Fahrzeugen zu interpretieren, welche sich im Gegensatz zu den Zeitlücken nur sehr kompliziert messtechnisch erfassen ließen. Die Folgezeitlücke ist die kürzeste Zeitlücke zwischen Fahrzeugen in einem Fahrzeugstrom und annähernd konstant. Die Grenzzeitlücke stellt die Mindestzeitlücke und damit die Mindestraumlücke zwischen Fahrzeugen eines übergeordneten Fahrzeugstroms dar, die für das Einfahren eines Fahrzeugs aus einem untergeordneten Fahrzeugstrom, z.B. an einer Einmündung, vorhanden sein muss. Brilon greift sich aus einem Verkehrsstrom, in dem die Bedingungen

des freien Verkehrs und der Stationarität erfüllt sind, ein einzelnes Fahrzeug heraus. Dieses eine Fahrzeug soll nur beschränkt überholbar sein. Es existiert ein entgegenkommender, stationärer Verkehrsstrom mit Zeitlücken, die exponentialverteilt sind. Damit kann das Fahrzeug nur dann überholt werden, wenn im Gegenverkehrsstrom ausreichende Lücken bestehen. Somit bildet dieses Fahrzeug einen Bedienungsschalter, dessen Bedienungsmechanismus von der Zeitlückenverteilung im Gegenverkehr bestimmt wird. Den Zustrom zu diesem Schalter dachte sich Brilon poisson-verteilt. Die Warteschlangendisziplin ist „first in - first out“, es überholt also immer das erste Fahrzeug in der Warteschlange, wie es auch in der Straßenverkehrsordnung (StVO) vorgeschrieben ist. Zur Durchführung einer Überholung sollen alle Zeitlücken im Gegenverkehr ausreichen, die größer sind als die Grenzzeitlücke. Wenn mehrere Fahrzeuge innerhalb derselben Zeitlücke überholen wollen, können die nachfolgenden Fahrzeuge ihre Überholung erst nach einer gewissen Vorrückzeit beginnen, die der Folgezeitlücke entspricht. Auf diese Weise ergibt sich für die überholwilligen Fahrzeuge eine Wartezeit.

Durch Beispielsimulationen konnte festgestellt werden, dass der Mittelwert der Wartezeit, die ein Fahrzeug von seiner Ankunft hinter einem langsameren Fahrzeug bis zur nächsten Überholmöglichkeit warten muss, nur in begrenztem Umfang von Veränderungen der Zuflussverteilung des Warteschlangensystems bzw. der Grenzzeitlückenverteilung abhängt [BRILON 1974]. Angewiesen ist dieses Modell jedoch auf die Unabhängigkeit aller betrachteten Warteschlangensysteme, die im realen Verkehrsablauf auf zweispurigen Straßen nicht gegeben ist. Vielmehr sind dort die einzelnen Bedienungsschalter hintereinander angeordnet, somit ist der Output eines Schalters der Input des nächsten. Bei einem solchen System von Bedienungsschaltern ist der Bedienungsschalter mit der geringsten Leistungsfähigkeit maßgebend für die Leistungsfähigkeit des ganzen Systems, sofern die Warteräume bei gegebener Verkehrsstärke ausreichend groß sind. Der mit zunehmender Verkehrsbelastung stattfindende Übergang von der begrenzten Überholmöglichkeit zur verhinderten Überholung ist in das Modell integriert. Entsprechend diesem Modell ist beispielsweise auf zweispurigen Landstraßen bei einer Verkehrsstärke im Gegenverkehr von über 400 Fahrzeugen pro Stunde im Mittel kein Zeitvorteil durch Überholungen zu erwarten [BRILON 1974]. Dieses Warteschlangenmodell mit seinen Grenz- bzw. Folgezeitlücken und mittleren Wartezeiten hat Einzug gehalten in viele verkehrstechnische Richtlinien und eben auch in das HBS.

1.2.3 Weitere Verkehrsflussmodelle

Neben den schon genannten Modellen existieren noch viele weitere Verfahren der Verkehrsflusssimulation, die sich insbesondere hinsichtlich ihrer Abbildungsgenauigkeit unterscheiden. In erster Linie wären dabei die zellularen Automaten zu nennen (CA), die nach Auffassung von [HELBING 1997] die derzeit schnellsten Mikrosimulatoren darstellen. Ihre hohe Rechengeschwindigkeit resultiert in einem stufenweise arbeitenden Algorithmus aus einer *stark vereinfachten* Abbildung des raum- und zeitkontinuierlichen Verkehrsablaufs, was in den frühesten Versionen dazu führte, „dass eine Ähnlichkeit mit der Realität kaum zu erkennen ist.“ [BRILON 2005]. Das Modell eignet sich aufgrund seiner Einfachheit zur Simulation großer Fahrzeugmengen mit bis zu einer Million Fahrzeugen [HELBING 1997].

Bei dem Low-Fidelity-Modell von Nagel und Schreckenberg aus dem Jahre 1992 wird das Straßennetz in kleine Zellen mit einer konstanten Länge von 7,5 Metern zerlegt, welche von einem Fahrzeug mit diskreter Geschwindigkeit besetzt sind oder nicht. Die Zeitdiskretisierung lässt nur ganzzahlige Geschwindigkeiten zwischen 0 und 5 zu und wird dabei so gewählt, dass sich ein Fahrzeug der Geschwindigkeit 1 innerhalb der Zeitdauer von meist einer Sekunde gerade um eine Zelle vorwärts bewegt [HELBING 1997]. Während eines Rechenganges wird jedes Fahrzeug entsprechend seiner Geschwindigkeit bewegt, wenn ausreichend viele Zellen vor ihm unbesetzt sind, anderenfalls wird die Geschwindigkeit abgemindert. Damit ergeben sich Beschleunigungen und Verzögerungen nur aus dem momentanen Abstand zwischen den einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Einheiten, die Geschwindigkeit der FFE hängt nicht von der Geschwindigkeit der jeweils vorausfahrenden FFE ab [BRILON 2005]. Durch die Einbeziehung eines „Trödefaktors“ ist es möglich, makroskopische reale Effekte, wie plötzliche Staubbildungen im dichten Verkehr, abzubilden, wozu andere mikroskopische Simulationsmodelle im Stil von Wiedemann nicht fähig sind [BRILON 2005].

Ein makroskopisches High-Fidelity-Modell neueren Datums wurde von Helbing auf der Grundlage des sozialen Kräfte Modells entwickelt, bei dem die verschiedenen Parameter zur Charakterisierung einer FFE statistisch variieren. Die Modellformel besteht aus einem Beschleunigungsterm und einem abstoßenden Wechselwirkungsterm, der für die Bremsmanöver verantwortlich ist. Durch geeignete Wahl des Wechselwirkungsterms kann eine

Anpassung an jede empirische Geschwindigkeits-Dichte-Relation erreicht werden. So zeigt das Modell in einem bestimmten Dichtebereich die Selbstorganisation von Stop-and-Go-Verkehr. Spurwechsel- und Überholmanöver werden ebenfalls nachgebildet. Dabei entscheidet ein dynamischer Schwellwert über die Durchführung eines Spurwechsels, der in Abhängigkeit von den benachbarten FFE die begünstigenden und die unterbindenden sozialen Kräfte gegeneinander abwägt. Nach Selbstaussage von [HELBING 1997] besitzt dieses Modell daher „eine gewisse Ähnlichkeit mit den Schwellwertansätzen des High-Fidelity-Modells von Wiedemann“.

1.3 Bemessungsverfahren

Die zuvor beschriebenen Verkehrsflussmodelle bilden theoretische Grundlagen für die Bemessungsverfahren und -algorithmen, welche einerseits im HBS, andererseits in den Online-Simulationen Anwendung finden.

1.3.1 Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen

Das HBS fußt auf den theoretischen Überlegungen von [BRILON 1974] sowie auf den daraus entstandenen Verfahren in [BRILON 1994]. Schon in seiner Dissertation von 1974 empfahl Brilon seine Arbeit zur Verwendung in künftigen Richtlinien.¹ Das Handbuch verfolgt dabei ein generalisiertes Rahmenkonzept, „wie es auch im amerikanischen HCM 1985 verwendet wird [...] Dabei liegt das Augenmerk auf einer vereinheitlichten, praxisgerechten Form“ [BRILON 1994]. Das Handbuch enthält geeignete Rechenverfahren für die Bemessung verschiedener Verkehrsräume, die nach eigener Aussage „von dem Anwender leicht umgesetzt werden können“ [HBS 2005]. Angeboten werden standardisierte Formblätter zur Berechnung verkehrstechnischer Kenngrößen und zur

¹ „Das Bemessungsverfahren [RAL-Q 73, Anm.] wird als vorläufig bezeichnet. Eine Verbesserung erhoffen sich die Autoren der Richtlinie von zukünftig zu erwartenden Forschungsergebnissen. Eines dieser Ergebnisse stellt möglicherweise die vorliegende Arbeit dar. Sie zeigt Wege auf, wie auf theoretischer Basis das vorhandene Bemessungsverfahren, soweit es zweispurige Landstraßen betrifft, überprüft und gegebenenfalls für spätere Richtlinien ergänzt werden kann.“ [BRILON 1974]

Ableitung vordefinierter Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für:

- Autobahnabschnitte,
- Streckenabschnitte von zweistreifigen Landstraßen bzw. Hauptverkehrsstraßen,
- Knotenpunkte (planfrei bzw. plangleich mit oder ohne Lichtsignalanlage),
- straßengebundenen öffentlichen Personennahverkehr und
- Anlagen für Fahrrad-, Fußgänger- und ruhenden Verkehr.

Relevant für die vorliegende Arbeit ist das Bemessungsverfahren für Kreisverkehrsplätze, welches sich im Kapitel 7 zu Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage befindet. Es wird darauf verwiesen, dass dieses Verfahren nur bei solchen Kreisverkehrsplätzen Anwendung finden kann, „bei denen die Fahrzeuge in der Kreisfahrbahn Vorfahrt vor den Fahrzeugen in der Zufahrt haben“, die im Kreis und in den Zufahrten maximal zwei Fahrstreifen aufweisen und die durch eine Mindestgröße von 26 m sicherstellen, dass „die aufeinander folgenden Ein- und Ausfahrten in verkehrstechnischer Hinsicht weitgehend unabhängig voneinander sind“ [HBS 2005]. Das entscheidende Kriterium zur Beschreibung der Qualität des Verkehrsablaufs an solchen Kreisverkehrsplätzen ist die mittlere Wartezeit w der Kraftfahrzeugströme, während die Rückstaulänge erst dann ein Qualitätskriterium darstellt, wenn andere Verkehrsströme dadurch beeinträchtigt werden. Das [HBS 2005] führt aus, dass dies dann der Fall ist, wenn „der zur Verfügung stehende Aufstellraum [...] begrenzt ist“. Dabei sollte im Bezug auf Kreisverkehrsplätze die Länge des Aufstellraumes in den Zufahrten „für die 95 %-Staulänge N_{95} (in Pkw-E) bemessen werden“. Das bedeutet, dass die Aufstellfläche lediglich für 5 % der Zeit während des betrachteten Bemessungsintervalls nicht ausreichen würde. Ein Diagramm zur Bestimmung der 95 %-Rückstaulänge ist in Abbildung 1.1 dargestellt. Eingangsgrößen sind der Sättigungsgrad und die Kapazität eines wartepflichtigen Nebenstroms.

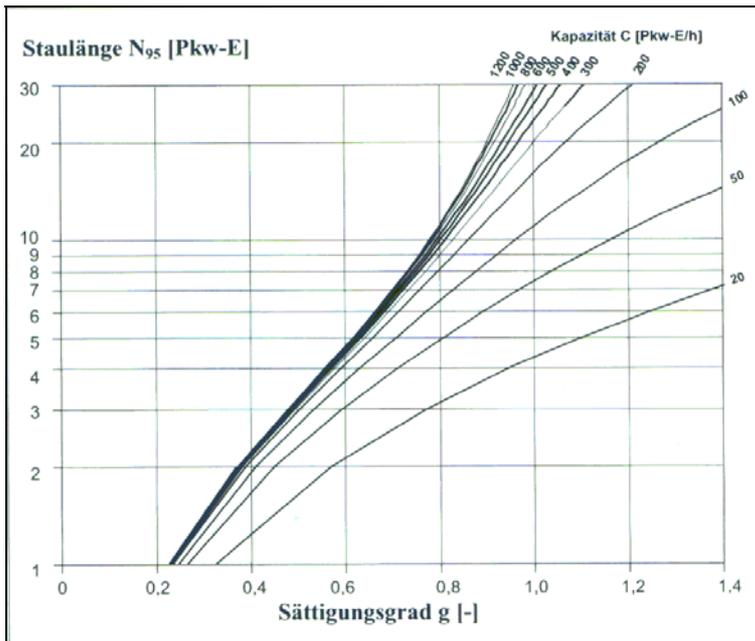


Abbildung 1.1: Rückstaulänge (Diagramm) [HBS 2005]

Zur Einteilung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) werden für die mittlere Wartezeit Grenzwerte festgelegt, die in nachstehender Tabelle 1.1 aufgeführt sind.

Tabelle 1.1: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs [HBS 2005]

QSV	Bedeutung	mittlere Wartezeit w [s]
A	sehr geringe Wartezeiten	≤ 10
B	geringe Wartezeiten	≤ 20
C	spürbare Wartezeiten, kurze Staus bauen sich schnell ab	≤ 30
D	noch stabiler Verkehrszustand, deutliche Zeitverluste	≤ 45
E	Kapazität erreicht, Staus bauen sich nicht mehr ab	> 45
F	Überlastung, immer länger werdende Warteschlangen	-- ¹

Ziel der Bemessung ist die Berechnung der mittleren Wartezeit untergeordneter Verkehrsströme. Diese beruht auf der Annahme, der Kreisverkehr sei eine Aneinanderreihung unabhängiger, T-förmiger Einmündungen mit dem Hauptstrom in der Kreisfahrbahn und dem Nebenstrom in der Zufahrt. Wenn sich im Hauptstrom eine Lücke größer der Grenzzeitlücke anbietet, fährt ein Fahrzeug des Nebenstroms in die Kreisfahrbahn ein. Das HBS rechnet dabei mit unveränderlichen Vorgaben, so werden für die Bemessung folgende

¹ Stufe F impliziert einen Sättigungsgrad größer als 1. Das bedeutet, die Verkehrsstärke in der Zufahrt ist größer als die Kapazität der Zufahrt.

Werte der Zeitlücken verwendet:

- Grenzzeitlücke $t_g = 4,1$ s
- Folgezeitlücke $t_f = 2,9$ s
- Mindestzeitlücke zwischen den Fahrzeugen im Kreis $t_{\min} = 2,1$ s

Die mittlere Wartezeit ergibt sich für jede Zufahrt aus einem funktionalen Zusammenhang zwischen der Kapazität C des Verkehrsstroms in der Zufahrt und der Kapazitätsreserve R dieses Verkehrsstroms. Dabei errechnet sich die Kapazität der Kreisverkehrszufahrt aus ihrer Grundkapazität G , multipliziert mit einem Abminderungsfaktor f_f zur Berücksichtigung querender Fußgänger. [HBS 2005] geht zwar davon aus, dass Fußgänger „in den Zufahrten nach der Straßenverkehrsordnung keinen Vortritt vor dem zufließenden Kraftfahrzeugverkehr“ haben, der Abminderungsfaktor aber trotzdem anzuwenden sei, weil „nach aller Erfahrung an kleinen Kreisverkehren auch ohne Fußgängerüberwege [...] den Fußgängern durch die Kraftfahrer der Vortritt eingeräumt wird“. In den Ausfahrten haben Fußgänger nach der StVO Vorrang vor den ausfahrenden Fahrzeugen, dies kann zu Rückstauerscheinungen in die Kreisfahrbahn führen, zu deren Beurteilung jedoch laut [HBS 2005] noch kein „standardisiertes, einfaches Rechenverfahren“ vorliegt.

Die mit ebendiesem Abminderungsfaktor zu belegende Grundkapazität wiederum ist abhängig von der Verkehrsstärke im Kreis q_k , der Anzahl der Fahrstreifen im Kreis n_k und in der Zufahrt n_z sowie den zuvor genannten Zeitlücken. Aus der Differenz von Kapazität und Verkehrsstärke in der Zufahrt q_z erhält man die Kapazitätsreserve. Während zur Bestimmung der Grundkapazität dem Anwender neben einem Diagramm auch eine Gleichung zur Verfügung gestellt wird und Kapazität bzw. Kapazitätsreserve durch einfache Rechenschritte ermittelt werden können, ist der funktionale Zusammenhang zwischen mittlerer Wartezeit und Kapazität bzw. Kapazitätsreserve nur in Form eines Diagramms gegeben. Aus diesem ist sowohl die mittlere Wartezeit als auch die Qualitätsstufe ablesbar. Die möglicherweise für die Beurteilung des Knotenpunkts entscheidende Rückstaulänge N_{95} kann aus dem Diagramm auf Seite 7-48 des HBS abgelesen werden. Eingangsgrößen sind der Sättigungsgrad und die Kapazität der Zufahrt. Die Rückstaulänge wird in Pkw-Einheiten angegeben, wobei eine Pkw-Einheit einer Länge von ungefähr sechs Metern entspricht. Somit liegt der aufgeführte Wertebereich des Diagramms zwischen 6 und 180 Metern Rückstaulänge. In Abschnitt 4.2.2 sind die erwähnten Diagramme aufgeführt.

1.3.2 WebSimTra

Das im Internet zur Verfügung gestellte Werkzeug WebSimTra ist selbst kein Simulationsprogramm. Stattdessen ist es eine Software, die nach Aussage der Entwickler „eine radikale Vereinfachung des derzeit aufwändigen Aufbaus mikroskopischer Verkehrsflussmodelle“ ermöglicht und zudem „ein breites Spektrum an Auswertungsmöglichkeiten auf Basis einer automatisierten Datenaufbereitung“ bietet. Hinter WebSimTra steht das Simulationsprogramm VISSIM. Diesem Programm „liegt ein mikroskopisches Simulationsmodell zugrunde, das Einzelfahrzeuge in diskreten Zeitschritten auf Basis des psycho-physischen Abstandsmodells von Wiedemann über die Strecke bewegt (raumkontinuierlich)“ [HOLZBERGER 2001]. Es ist ein verhaltensbasiertes und universell einsetzbares Simulationswerkzeug und wird von der Firma PTV als kommerzielles Programm angeboten. Nach Auffassung des Herstellers lässt es sich als Werkzeug moderner Planungs- und Analyseprozesse auch im Bereich der Verkehrsplanung und Verkehrstechnik nicht mehr wegdenken [VISSIM 2007].

Das Programm VISSIM arbeitet mit einer ideellen Oberfläche, in die vom Anwender beliebige Teile eines Verkehrsnetzes eingezeichnet werden können. Es steht dem Anwender dabei frei, seinen Verkehrsnetzelementen alle nur denkbaren Merkmale zuzuweisen. Auf diesem Weg können beispielsweise Knotenpunkte jedweder Ausformung entworfen werden, der Nutzer muss dabei alle geometrischen Kennwerte wie Ausrundungsradien oder Absetzmaße für Fußgängerfurten selbst eingeben. Nach dem Aufbau der Geometrie des Netzelements und der Festlegung der Vorfahrtsregelung müssen vom Anwender Detektoren gesetzt werden. Diese Messstellen werden vom Programm benötigt, um in der Verkehrsflusssimulation zu jedem einzelnen diskreten Zeitschritt Daten über die verkehrlichen Zustände im beobachteten Netzabschnitt erfassen zu können. Diese Daten beinhalten beispielsweise die Position jedes einzelnen Fahrzeugs bzw. den räumlichen und zeitlichen Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. An Knotenpunkten müssen vom Anwender so genannte Querverkehrsstörungen berücksichtigt und ebenfalls per Hand eingearbeitet werden. Dabei werden für alle in Frage kommenden Verkehrsmittel separat Haltepunkte definiert, an denen der simulierte Verkehrsteilnehmer warten muss, solange ein kreuzender Verkehrsteilnehmer einen ebenfalls räumlich definierten Detektor passiert. Die Verkehrsstärken auf den jeweiligen Netzabschnitten müssen ebenfalls vom Anwender manuell eingegeben werden, ebenso wie die angenommenen Wunschgeschwindigkeiten

der motorisierten Verkehrsteilnehmer. Laut [VISSIM 2007] wird für die Bewegung der Fahrzeuge im Simulationsprogramm das psycho-physische Fahrzeugfolgemodell Wiedemanns mit einer zeitlichen Auflösung von bis zu einer Zehntel Sekunde verwendet. Das regelbasierte Fahrstreifenwechselmodell sei dabei sowohl für den innerstädtischen als auch für den Außerortsverkehr optimiert, z.B. durch Rechtsfahrgebot auf Schnellstraßen. Für den stochastischen Charakter der Simulation sorgt eine selbst zu wählende bzw. vom Programm ermittelte Zufallszahl, mit der die erste Simulationsschleife startet.

Der Aufbau der Netzelemente und insbesondere das Setzen der vielen einzelnen Detektoren nehmen sehr viel Zeit des Nutzers in Anspruch. An dieser Stelle setzt WebSimTra ein. Unter der Oberfläche einer Microsoft-EXCEL-Datei übernimmt die Software viele der sonst nötigen Arbeitsschritte. Über ein tabellarisches Formular im Internet bezieht das Programm die Werte der Verkehrsstärken, welche vom Nutzer nach Verkehrsmitteln getrennt einzugeben sind. Nach derzeitigem Stand kann WebSimTra lediglich für die Bemessung von Kreisverkehrsplätzen mit drei oder vier Knotenarmen und Vorfahrtknoten, auch mit abknickender Vorfahrt, verwendet werden. Hat der Nutzer die Knotenform festgelegt und die Verkehrsdaten eingegeben, werden diese von WebSimTra importiert. Wird das Programm gestartet, übernimmt die Software einen Großteil der eigentlichen Arbeit. Es digitalisiert und parametrisiert die Netzelemente und baut dynamisch den Knotenpunkt auf, setzt die Detektoren und Querverkehrsstörungen selbstständig in das Netzelement und bereitet auch die eingegebenen Verkehrsstärken für den Export nach VISSIM auf. Beim Bau des Knotens sind Variablen festgesetzt, die der Nutzer der Online-Simulation nicht beeinflussen kann, beispielsweise die Geometrie des Knotens. So arbeitet das Programm mit der starren Vorgabe eines Außendurchmessers der Kreisfahrbahn von 40 m, auch wenn der Nutzer möglicherweise einen kleineren Kreisverkehrsplatz mit der Mindestgröße von 26 m bemessen will. Auch sonstige geometrische Ausprägungen, wie etwa das Absetzmaß der Fußgängerfurten, sind unveränderbar.

Ist es dem Anwender der ursprünglichen VISSIM-Oberfläche noch möglich, die für die Simulationsläufe benötigte Zufallszahl immer neu zu wählen, so wird für den Start aller fünf Simulationsläufe, die WebSimTra veranlasst, die gleiche Zufallszahl verwendet. Auch bei den Annahmen der Wunschgeschwindigkeiten der einzelnen Verkehrsteilnehmer sind die Variationsmöglichkeiten für den Nutzer stark eingeschränkt. So arbeitet das Programm mit einem festen Wertebereich von 18 bis 28 km/h als erreichte Geschwindigkeit in der

Kreisfahrbahn. Die Werte für die grundlegenden Grenzzeitlücken und Grenzfolgelücken sind ebenfalls determiniert und an die Werte aus dem HBS angelehnt. Am Ende der Simulation in VISSIM werden die ermittelten Daten an WebSimTra zurück übermittelt und die Software übernimmt automatisch die statistische Aufbereitung der Ergebnisdaten. Als Resultat der Berechnungen liefert das Programm u.a. Angaben über mittlere Wartezeiten bzw. die entsprechenden Perzentile, die daraus resultierenden Verkehrsqualitätsstufen, Rückstaulängen und Anzahl der Halte.

1.3.3 EVL-Online

Wie WebSimTra ist auch die Online-Simulation EVL-Online kein eigenständiges Simulationsprogramm, sondern wiederum eine Software, die aus eingegebenen Grunddaten für die spätere Simulation in VISSIM automatisch Matrizen aufbereitet, die den kompletten Aufbau des Knotens mit allen Detektoren enthalten. EVL-Online ist geeignet für die Bemessung von LSA-geregelten Knotenpunkten. Dabei kann das Programm zum derzeitigen Stand aus der unüberschaubaren Vielfalt von möglichen Knotengeometrien lediglich vier Varianten einer Grundform von LSA-geregelten Knoten bearbeiten. Der Grund liegt darin, dass der Aufbau eines solchen Knotens in VISSIM ein vielfaches mehr an Arbeit bedeutet als bereits ein relativ simpler Kreisverkehr. In Abbildung 1.2 ist die Knotengeometrie dargestellt, auf deren Grundlage Bemessungen mit EVL-Online durchgeführt werden können.

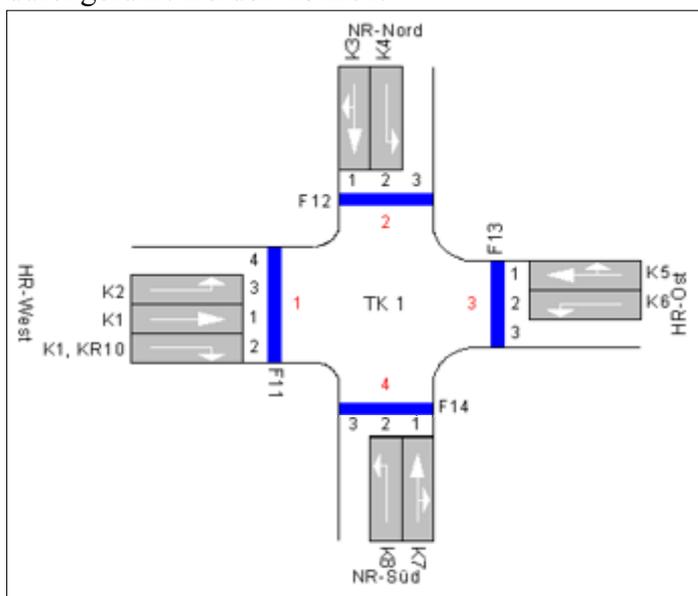


Abbildung 1.2: Knotengeometrie in EVL-Online [EVL 2007]

Ein Knoten dieser Ausprägung tritt im Weimarer Verkehrsnetz nicht auf. Im Abschnitt 3.3 wird dies deutlich. Darüber hinaus sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Knotenpunkte explizit auf ihre Tauglichkeit als Kreisverkehr überprüft werden. Dies hat zur Folge, dass bereits zu diesem Zeitpunkt die Zweckmäßigkeit im Bezug auf die Bemessung von Kreisverkehren als „nicht gegeben“ eingeschätzt werden muss. Es ist nicht möglich, vergleichende Bemessungen von Kreisverkehrsplätzen mit EVL-Online durchzuführen. Deshalb kann keine Aussage über die Korrektheit der Online-Simulation getroffen werden. Die Benutzerfreundlichkeit wird aber dennoch indirekt untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse über WebSimTra im Abschnitt 5.1 können auf EVL-Online übertragen werden, da sich die Betrachtungen zur Benutzerfreundlichkeit vornehmlich auf die Arbeit mit den Eingabemasken der Internetseite beziehen (siehe Abschnitt 2.3) und diese bei WebSimTra und EVL-Online identisch sind.

2 Kriterienkatalog

Anliegen der vorliegenden Arbeit ist die Überprüfung der Online-Simulation hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Korrektheit. [SCHREIBER 1994] sagt: „Ein Softwareprodukt wird als benutzbar und benutzerfreundlich bezeichnet, wenn es sich den Erwartungen des Benutzers entsprechend verhält und für ihn leicht zu erlernen und zu handhaben ist“. Aber welche Erwartungen hat ein Benutzer an ein Programm? Auch wenn jeder einzelne Anwender seine individuellen Ansprüche an ein Computerprogramm stellt, so lassen sich einige Erwartungen sicher verallgemeinern. Ein Nutzer geht davon aus, dass das Programm seinem Anliegen entspricht und so aufgebaut ist, dass es nach einer kurzen Einarbeitungszeit zielführend von ihm bedient werden kann. Das Programm soll eine übersichtliche grafische Benutzeroberfläche aufweisen und den Nutzer durch die Anwendung führen. Ist bei einem Rechenprogramm wie im vorliegenden Fall die Eingabe von Daten notwendig, so soll dies über eine Eingabemaske geschehen, die selbsterklärend und überschaubar ist. In den folgenden Abschnitten wird hergeleitet, welche speziellen Anforderungskriterien neben den bereits genannten zur Grundlage der vorliegenden Arbeit werden sollen.

2.1 Korrektheit

Ein entscheidender Aspekt ist die Korrektheit. Kann ein Anwender davon ausgehen, dass die Ergebnisse der Bemessungsverfahren richtig sind? Um diese Frage beantworten zu können, muss im Vorfeld geklärt werden, wie solche Ergebnisdaten generell als richtig bewertet werden können. Was ist der Vergleichsmaßstab? Die Bemessungsverfahren des HBS und der Online-Simulation nehmen für sich in Anspruch, die verkehrliche Realität mit hinreichender Genauigkeit abzubilden. Zunächst ist daher zu überprüfen, ob die errechneten Ergebnisse in realistischen Bereichen liegen oder aber Werte generiert wurden, die in dieser Ausprägung unrealistisch sind. Um eine fundierte Wertung darüber abgeben zu können, ob die Bemessungsergebnisse richtig oder falsch sind, müssten Langzeitüberwachungen des Straßenverkehrs an den betrachteten Knotenpunkten durchgeführt werden. In Auswertung dieser Beobachtungen erhielte man exakte Richtwerte beispielsweise für die mittlere Wartezeit oder die Rückstaulänge. Die errechneten Werte der Bemessung wären dann richtig, wenn sie im Bereich einer vorgegebenen maximalen Abweichung mit

den in der Realität gemessenen Werten korrelierten. Solche gemessenen Wirklichkeitswerte liegen im Rahmen dieser Arbeit nicht vor. Daher erfolgt ein Vergleich der Werte aus der mikroskopischen Simulation mit den Werten aus der makroskopischen HBS-Bemessung.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Fähigkeit eines Bemessungsverfahrens, auch auf kleine Änderungen der Eingabedaten zu reagieren. Es ist zu überprüfen, ob infolge veränderter Rahmenbedingungen, wie z.B. erhöhter Verkehrsstärken, abweichende Bemessungsergebnisse generiert oder diese Veränderungen übergangen werden. Je stärker diese Reaktion ausfällt, desto sensibler reagiert das Verfahren. Dies hätte Auswirkungen auf die Glaubwürdigkeit der erzielten Ergebnisse.

Eine nicht zu unterschätzende Eigenschaft eines Bemessungsverfahrens ist seine Anfälligkeit für Fehler. Diese können sowohl bei der Beschreibung der Rahmenbedingungen auftreten als auch bei der Eingabe von Daten. Müssen vom Anwender Rechnungen durchgeführt werden, sind auch an diesem Punkt fehlerhafte Resultate möglich. In einigen Fällen kann bereits der Übertrag eines Zahlenwertes von einer Tabellenzelle in eine andere die Quelle für spätere Fehler sein. Auf diese Eventualitäten sollen die beiden Bemessungsverfahren überprüft werden. Werden falsche Eintragungen oder Ergebnisse erkannt, stellt sich die Frage nach der Korrigierbarkeit. Es gilt zu untersuchen, ob und wie die Verfahren eine Korrektur zulassen.

2.2 Zweckmäßigkeit

Im Bezug auf die Zweckmäßigkeit der Bemessungsverfahren ist der Frage nachzugehen, inwieweit sie der gestellten Aufgabe der Bemessung von Kreisverkehrsplätzen angemessen sind. Ist es möglich, mit diesen Verfahren alle in Frage kommenden Formen von Kreisverkehren zu bemessen? Erfüllt WebSimTra dabei die Aufgabe, eine „fundierte mikroskopische Betrachtung des Verkehrsablaufes an Knotenpunkten“ zu ermöglichen, wie es unter [WEBSIMTRA 2007] zugesagt wird? Zu überprüfen ist, welche Einschränkungen sich möglicherweise aus den Eigenschaften des Bemessungsverfahrens ergeben. Die Zweckmäßigkeit eines Verfahrens lässt sich überdies daran festmachen, ob es bei mehreren Bemessungsdurchläufen immer die gleichen oder zumindest einander ähnliche

Ergebnisse liefert, wenn sich die Eingangsdaten nicht verändern. Dieses Merkmal der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen ist eine wesentliche Voraussetzung für die Arbeit mit Verfahren zur Bemessung von Knotenpunkten.

2.3 Benutzerfreundlichkeit

An der erfolgreichen Etablierung eines Bemessungsverfahrens haben die Aspekte der Benutzerfreundlichkeit einen großen Anteil. Da in diesem Bereich die Gefahr subjektiver Bewertungen am größten scheint, ist es hier besonders wichtig, objektiv nachprüfbar Kriterien aufzustellen. Aus der Vielzahl möglicher Kriterien werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit solche ausgewählt, anhand derer sich am ehesten ein Vergleich zwischen Online-Simulation und HBS durchführen lässt.

Ein Bemessungsverfahren kann sicher dann als benutzerfreundlich bezeichnet werden, wenn es dem Anwender Arbeit abnimmt, wodurch der Aufwand verringert und Zeit gespart wird. WebSimTra soll nach Aussage der Programmanbieter den derzeit aufwändigen Aufbau mikroskopischer Verkehrsflussmodelle „radikal vereinfachen“. Dies impliziert eine enorme Arbeitserleichterung für den Nutzer mikroskopischer Simulationsprogramme und eine Zeitersparnis gegenüber der Arbeit mit VISSIM. Inwieweit sich diese angekündigten Vorteile auch gegenüber dem Bemessungsverfahren des HBS zeigen, soll anhand dieser Kriterien überprüft werden. Messbar wäre beispielsweise die Zeit, die benötigt wird, von der Kenntnis der Verkehrsstärken eines Knotenpunktes zu den Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs zu gelangen.

Ist wie im vorliegenden Fall mit der Bemessung mehrerer gleichartiger Knotenpunkte zu rechnen, dann käme es dem Anwender sicher entgegen, wenn immer wiederkehrende Eingaben nicht mehrmals vorgenommen werden müssten, sondern die Verfahren eine Anpassung an persönliche Voreinstellungen erlaubten. Eine solche Möglichkeit zur Individualisierung ist ein weiteres Kriterium der Benutzerfreundlichkeit. Diese hängt aber auch davon ab, ob die Bemessungsverfahren in der Lage sind, sich weitgehend selbst zu erklären. Der Anwender muss die Logik, die hinter dem Aufbau des Verfahrens steckt, erfassen können, ohne spezielle Hintergrundinformationen zu besitzen. Treten Schwierigkeiten, etwa bei der Dateneingabe auf, muss das Verfahren eine Hilfestellung geben.

2.4 Zusammenstellung der Prüfkriterien

Die in den vorangegangenen drei Abschnitten benannten Aspekte werden in einem Kriterienkatalog zusammengefasst, der die Grundlage für die Bewertung der beiden Bemessungsverfahren darstellen wird. In nachstehender Tabelle 2.1 sind die einzelnen Prüfkriterien noch einmal aufgelistet und mit einer Kurzbeschreibung versehen.

Tabelle 2.1: Kriterienkatalog

Prüfkriterium	Beschreibung
Aufgabenangemessenheit	Können mit den Verfahren alle zur Auswahl stehenden Knotenpunkte als Kreisverkehr bemessen werden?
Richtigkeit	Stimmen die Ergebnisse der Online-Simulation mit denen der HBS-Bemessung weitgehend überein?
Sensibilität	In welchem Maße reagieren die Verfahren auf Änderungen der Eingangsgrößen und Rahmenbedingungen?
Fehleranfälligkeit und Korrigierbarkeit	Begünstigen die Verfahren die Entstehung von Fehlern? Können erkannte Fehler ohne größeren Aufwand korrigiert werden?
Reproduzierbarkeit	Generieren die Verfahren unter unveränderten Ausgangsbedingungen gleich bleibende Bemessungsergebnisse?
Zeitersparnis	Ist die Bemessung mit WebSimTra in kürzerer Zeit durchzuführen als mit dem Formblatt des HBS?
Arbeits erleichterung	Werden dem Anwender aufwändige Arbeiten abgenommen oder erfordert die Bemessung zusätzliche Vorbereitung?
Individualisierbarkeit	Inwieweit können die Bemessungsverfahren an individuelle Voreinstellungen angepasst werden?
Benutzerführung und Hilfestellung	Ist das Verfahren logisch aufgebaut und überschaubar? Bietet das Verfahren dem Anwender bei Schwierigkeiten eine Hilfestellung an?

Die Bewertung der beiden Verfahren findet sich im Abschnitt 5.1. Gründe und Ursachen für die möglicherweise zu konstatierende Nichterfüllung der Prüfkriterien bzw. für den unterschiedlichen Grad der Erfüllung werden im Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** diskutiert.

3 Diskussion und Auswahl von 10 Knotenpunkten

Um die Verfahren des HBS und der Online-Simulation hinsichtlich der Bemessung von Kreisverkehrsplätzen miteinander vergleichen zu können, böte sich die Möglichkeit, dies am Beispiel fiktiver Knotenpunkte mit angenommenen Verkehrskennwerten durchzuführen. Um jedoch über den bloßen Verfahrenvergleich hinaus Argumente für die Diskussion bezüglich der Anlage von Kreisverkehrsplätzen zu gewinnen, werden mehrere konkrete Knotenpunkte ausgewählt, die aufgrund ihrer räumlichen und verkehrlichen Eigenschaften für den Knotenpunkttyp Kreisverkehr geeignet erscheinen. Das Untersuchungsgebiet stellt die kreisfreie Stadt Weimar in Thüringen dar. Diese Kommune ist ein Mittelzentrum mit Teilfunktionen eines Oberzentrums und hat rund 64.000 Einwohner.

Die Auswahl der Knotenpunkte erfolgt in zwei Schritten. In einer Vorauswahl werden solche Knotenpunkte erfasst, die durch mindestens eines der nachstehend aufgeführten Attribute besonders gekennzeichnet sind:

- das Unfallgeschehen bzw.
- die Lage im Stadtraum und im Verkehrsnetz.

Auf diese Weise sollen Knotenpunkte gefunden werden, an denen ein Umbau zum Kreisverkehrsplatz aufgrund erhöhter Unfallzahlen notwendig erscheint bzw. infolge ihrer Einbettung in das Stadtgefüge sinnvoll oder wünschenswert wäre.

Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um einen theoretischen Verfahrensvergleich handelt, liegt das Hauptaugenmerk in der zweiten Auswahlrunde auf der Bereitstellung einer möglichst großen Variation von verkehrlichen Merkmalen. Es sollen Knotenpunkte gefunden werden, die im Bezug auf nachstehend aufgeführte Attribute möglichst viele verschiedene Ausprägungen aufweisen. Betrachtet werden:

- die Gesamtverkehrsstärke,
- die Anzahl querender Fußgänger und Radfahrer,
- die Anzahl der zu verknüpfenden Knotenarme und
- die Richtung der Hauptströme.

Diese zweite Auswahlrunde bezieht dabei die Knotenpunkte aus der Vorauswahl mit ein, kann aber auch darüber hinausgehen.

In einer Vorbetrachtung erscheint es signifikant für die verkehrliche Infrastruktur Weimars, dass selbst auf Hauptverkehrsstraßen je Fahrtrichtung nur ein Fahrstreifen zur Verfügung steht. Infolgedessen wird sich die Auswahl möglicher Kreisverkehrsausformungen auf den einstreifigen Kreisring mit einstreifigen Zu- und Ausfahrten beschränken. Nach [KREISVERKEHRE 2006] genügt für solche kleinen Kreisverkehrsplätze ein Außendurchmesser der Kreisfahrbahn von 26 m. Es wurden alle Knotenpunkte überprüft und in die gröbere Auswahl aufgenommen, bei denen die räumlichen Verhältnisse die Anlage eines solchen kleinen Kreisverkehrsplatzes nicht ausschließen. Mit Hilfe von topographischem Kartenmaterial und satellitengestützter Luftbildaufnahmen wurden die in Frage kommenden Knotenpunkte mit einer maßstäblichen Kreisverkehrsskizze mit jenem Außendurchmesser von 26 m belegt. Knotenpunkte, bei denen die Bebauung die Errichtung eines Kreisverkehrs behindert, wurden nicht in die weiteren Betrachtungen einbezogen. Die Einpassung des Kreisverkehrs in die schließlich ausgewählten Knotenpunkte ist im Anhang A.2 dargestellt.

3.1 Vorauswahl

3.1.1 Unfallgeschehen

Die Anlage von Kreisverkehrsplätzen sorgt in den allermeisten Fällen für eine Erhöhung der Verkehrssicherheit. Das Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren verweist darauf, dass insbesondere bei einstreifiger Verkehrsführung die Sicherheit für Fußgänger und Kraftfahrer besonders groß sei [KREISVERKEHRE 2006]. Durch seine Untersuchung zu Mini-Kreisverkehrsplätzen in Nordrhein-Westfalen konnte [BRILON 1999] belegen, dass die Anzahl der Unfälle an Knotenpunkten, aber insbesondere die Unfallschwere deutlich zurückgehen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beispielsweise an einem vierarmigen Kreisverkehrsplatz die Anzahl an Konfliktpunkten, an denen sich die Wege verschiedener Verkehrsteilnehmer schneiden, auf acht sinkt, während sie bei einer Knotenpunktausführung als vorfahrtsregelte Kreuzung 32 beträgt. “Insbesondere Mehrfachkonflikte und die unfallträchtigen Kreuzungs- sowie Linksabbiege- und Linkseinbiegekonflikte“ entfallen laut [KREISVERKEHRE 2006] an einem Kreisverkehrsplatz.

Insofern erschien es angebracht, unter den Weimarer Knotenpunkten jene auszuwählen, die durch ein überdurchschnittliches Unfallgeschehen gekennzeichnet waren. Zur Bestimmung solcher Knotenpunkte wurden im Zuge der vorliegenden Arbeit bei der Polizeiinspektion Weimar (Sachgebiet Verkehr) Informationen über Unfallschwerpunkte im Stadtgebiet Weimar eingeholt. Dies geschah in Form von Ein- bzw. Dreijahreskarten, die eine grafische Darstellung der Unfallart aufgenommener Unfälle beinhalten. In Anhang A.1 sind Ausschnitte aus den Unfalltypensteckkarten aufgeführt. Aus diesen ist abzuleiten, dass bei den untersuchten Knotenpunkten Grenzwerte überschritten werden, wie sie in [UNFÄLLE 2003] definiert sind. Somit sind diese Knotenpunkte als Unfallhäufungsstellen zu klassifizieren und sollten demzufolge Bestandteil der Untersuchung in der vorliegenden Arbeit sein. Im einzelnen handelt es sich dabei um die in der folgenden Tabelle 3.1 aufgeführten Knotenpunkte.

Tabelle 3.1: Unfallhäufungsstellen

Bezeichnung des Knotenpunkts	Unfalltypen-Steckkarte	Ausprägung der Grenzwertüberschreitung
Erfurter Str./Stadtring	3 JK(P)	mehr als fünf Unfälle mit Personenschaden (sieben)
Humboldtstr./Niedergrunstedter Weg	3 JK(P)	mehr als fünf Unfälle mit Personenschaden (sieben)
Erfurter Str./Umgehungsstr.	1 JK	mehr als fünf gleichartige Unfälle (neun, Typ 6)
Schwanseestr./Stadtring	3 JK(P)	mehr als fünf Unfälle mit Personenschaden (vierzehn)
Friedensstr./K.-Liebknecht-Str.	3 JK(P)	mehr als fünf Unfälle mit Personenschaden (sieben)
Friedensstr./F.-Ebert-Str.	1 JK	mehr als fünf gleichartige Unfälle (sieben, Typ 6)
Ettersburger Str./Umgehungsstr.	1 JK	mehr als fünf gleichartige Unfälle (sechs, Typ 6)

In Anhang A.1 finden sich ebenfalls nähere Erläuterungen zur Einteilung der Unfalltypen, Unfallkategorien und Unfallumstände.

3.1.2 Lage im Verkehrsnetz bzw. Stadtraum

Neben dem Kriterium des Unfallgeschehens sollten auch stadträumliche Belange bei der Auswahl der zu untersuchenden Knotenpunkte eine Rolle spielen. Es wäre eine Überlegung mittels der Anlage von Kreisverkehrsplätzen am Rand der Kernstadt eine Reihe von „Stadteingängen“ zu schaffen. In die Stadt einfahrenden Verkehrsteilnehmern könnte so verdeutlicht werden, dass sie sich ab nun nicht mehr auf einer Außerortsstraße im unbewohnten Umland befinden, sondern im städtischen Verkehrsraum mit seinen viel-

fältigen Nutzungsansprüchen. [KREISVERKEHRE 2006] führt in diesem Zusammenhang aus, dass Kreisverkehre städtebaulich geeignet sind, den „Wechsel von Straßenkategorien oder städtebaulichen Umfeldnutzungen“ zu verdeutlichen bzw. „ als Übergangselement zwischen Straßen unterschiedlicher Charakteristik, beispielsweise an Ortseinfahrten“ zu dienen. Da im Verlauf einer Kreisverkehrsdurchfahrt die mittlere Geschwindigkeit laut [KREISVERKEHRE 2006] zwangsläufig auf unter 30 km/h absinkt, wäre es damit möglich, insbesondere den motorisierten Verkehrsteilnehmern den Wechsel der verkehrsräumlichen Situation einschließlich der Absenkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu verdeutlichen. Solche Stadteingänge bieten sich u.a. an den radial in die Stadt führenden Bundesstraßen, aber auch an den ebenfalls radial zuführenden Landesstraßen an. Mögliche Knotenpunkte wären demnach:

- Ettersburger Straße / Umgehungsstraße,
- Marcel-Paul-Straße / Filzweidenweg (westliche Zufahrt nach Weimar-Nord),
- Erfurter Straße / Umgehungsstraße,
- Schwanseestraße / Budapester Straße (südwestliche Zufahrt nach Weimar-West),
- Jenaer Straße / Bodelschwinghstraße,
- Belvederer Allee / Steinbrückenweg sowie
- Berkaer Straße / Henry-van-de-Velde-Straße.

Ein bereits als Stadteingang fungierender Knotenpunkt ist der einzige im Weimarer Stadtgebiet vorhandene Kreisverkehrsplatz in Schöndorf.

Um darüber hinaus zu verhindern, dass insbesondere in den Nachtstunden innerstädtische Straßen von Lkw-Fahrern als preiswerte Alternative zur mautpflichtigen Autobahn genutzt werden, empfiehlt sich die Anlage von Kreisverkehrsplätzen insbesondere auf den wichtigen innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen wie zum Beispiel:

- dem Stadtring,
- der Schwanseestraße,
- der Erfurter Straße,
- der Jenaer Straße oder
- der Belvederer Allee.

Da sich Kreisverkehre laut [KREISVERKEHRE 2006] besonders anbieten bei „wenig gefassten Räumen ohne spürbare Raumkanten“ erscheint der Umbau der Knotenpunkte Friedensstraße / Friedrich-Ebert-Straße oder Schwanseestraße / Stadtring empfehlenswert.

3.2 Zweite Auswahlrunde

3.2.1 Verkehrsstärke

Um beim Vergleich der Bemessungsverfahren über eine breite und damit aussagekräftige Datengrundlage zu verfügen, sollen sowohl Knotenpunkte mit hoher als auch mit geringer Gesamtverkehrsstärke berücksichtigt werden. Ein kleiner Kreisverkehrsplatz ist nach [KREISVERKEHRE 2006] sehr gut in der Lage, Gesamtverkehrsstärken bis zu 15.000 Kfz/24 h „problemlos und mit geringen Wartezeiten“ abzuwickeln. Insofern stellt er eine überlegenswerte Alternative zu Knotenpunkten mit Lichtsignalregelung mit dar, die Verkehrsstärken in dieser Höhe aufweisen. Unter der Vielzahl LSA-geregelter Knotenpunkte mit hohen Gesamtverkehrsstärken stehen folgende hervor:

- Friedensstraße / Friedrich-Ebert-Straße,
- Erfurter Straße / Stadtring
- Ernst-Thälmann-Straße / Stadtring,
- Jenaer Straße / Bodelschwinghstraße,
- Sophienstiftsplatz,
- Schwanseestraße / Stadtring sowie
- Erfurter Straße / Umgehungsstraße.

Eine Knotenausführung als Kreisverkehrsplatz könnte im Bezug auf Stauerscheinungen und erhöhte mittlere Wartezeiten, insbesondere während der morgendlichen und nachmittäglichen Spitzenstunden, mögliche Verbesserungen mit sich bringen. Um die Bemessungsverfahren aber nicht ausschließlich im Grenzbereich der Kapazität und damit der Funktionsfähigkeit zu vergleichen, sollen auch Knotenpunkte zur Auswahl stehen, bei denen eine geringere Gesamtverkehrsstärke erwartet werden kann. Solche Knotenpunkte sind beispielsweise:

- Ettersburger Straße / Umgehungsstraße,
- Humboldtstraße / Stadtring,
- Schwanseestraße / Budapester Straße und
- Belvederer Allee / Berkaer Straße.

Aus beiden Gruppen werden Knotenpunkte ausgewählt, um sowohl stark als auch schwach befahrene Kreisverkehrsplätze mit den Bemessungsverfahren zu bearbeiten.

3.2.2 Anzahl querender Fußgänger und Radfahrer

Auf der Internetseite der Online-Simulation WebSimTra ist zu lesen, dass sie „eine Reihe von Einflüssen berücksichtigt, die im HBS nicht behandelt werden: Einfluss von querenden Fußgängern und separat geführten Radfahrern an Vorfahrtknoten bzw. in den Zufahrten von Kreisverkehrsplätzen“ [WEBSIMTRA 2007]. Daraus folgt, dass Knotenpunkte ausgewählt werden müssen, die auf der einen Seite über hohe zu erwartende Fußgängerverkehrsstärken verfügen und auf der anderen Seite möglichst gar keine querenden Fußgänger oder Radfahrer aufweisen. Knotenpunkte mit hohem Fußgängeranteil sind:

- Friedensstraße / Karl-Liebknecht-Straße,
- Sophienstiftsplatz oder
- Erfurter Straße / Stadtring.

Knotenpunkte mit wenigen querenden Fußgängern bzw. querenden oder auf der Fahrbahn verkehrenden Radfahrern sind:

- Erfurter Straße / Umgehungsstraße,
- Schwanseestraße / Budapester Straße und
- Humboldtstraße / Niedergrunstedter Weg.

Auch aus diesen beiden Gruppen sollte jeweils mindestens ein Knotenpunkt in die Endauswahl gelangen.

3.2.3 Anzahl der zu verknüpfenden Knotenarme

Kreisverkehrsplätze erlauben nach [KREISVERKEHRE 2006] eine verkehrstechnisch einfache und gut begreifbare „Verknüpfung von mehr als vier Knotenpunktarmen“. Unter diesem Gesichtspunkt in Frage kommende Knotenpunkte im Weimarer Stadtgebiet sind vornehmlich nachstehend aufgeführte Platzanlagen mit fünf oder sechs Knotenarmen:

- der Sophienstiftsplatz,
- der Wielandplatz und
- der August-Frölich-Platz an der Katholischen Kirche.

Als Knotenpunkte mit vier Zufahrten kommen nahezu alle bereits in den vorhergehenden Abschnitten aufgeführten Knotenpunkte in Frage. Einen Knotenpunkt mit lediglich drei Knotenarmen stellt die Anbindung der Erfurter Straße an die Umgehungsstraße dar.

3.2.4 Richtung der Hauptströme

[KREISVERKEHRE 2006] verweist außerdem darauf, dass Kreisverkehrsplätze „zur Umgestaltung von Knotenpunkten mit abknickender Vorfahrt“ geeignet sind. Solche abknickenden Vorfahrten werden an solchen Knotenpunkten eingerichtet, an denen der Hauptstrom des Verkehrsflusses nicht geradeaus verläuft. Stattdessen treten starke Links- bzw. Rechtsabbiegevorgänge auf. Starke Abbiegebeziehungen sind an folgenden Weimarer Knotenpunkten zu erwartenden:

- Steubenstraße / Gropiusstraße,
- Schwanseestraße / Budapester Straße,
- Ernst-Thälmann-Straße / Stadtring,
- Rudolf-Breitscheid-Straße / Am Poseckschen Garten sowie
- Belvederer Allee / Steinbrückenweg.

An den meisten anderen bereits erwähnten Knotenpunkten fließt der Hauptstrom geradeaus bzw. ist ein eindeutiger Hauptstrom nicht klar auszumachen.

3.3 Auswahl der Knotenpunkte

Es würde über den Umfang der vorliegenden Arbeit hinausgehen, alle genannten Knotenpunkte in die nachfolgenden Betrachtungen einzubeziehen. Aus diesem Grund erfolgt die Beschränkung auf maximal zehn Knotenpunkte, für welche die Bemessung sowohl nach dem HBS als auch mit WebSimTra erfolgen wird. Eine Auflistung aller zehn ausgewählten Knotenpunkte erfolgt in nachstehender **Tabelle 3.2**.

Tabelle 3.2: Knotenauswahl

a: Unfälle b: Stadteingang c: Lkw-Barriere d: Raumfassung
 e: Verkehrsstärke, hoch¹/gering² f: Fußgänger, viele¹/wenige²
 g: Knotenname, drei¹/vier² h: Hauptstrom, geradeaus¹/abknickend²

Knoten-Nr.	Knotenpunktbezeichnung	Auswahlkriterium											
		a	b	c	d	e ₁	e ₂	f ₁	f ₂	g ₁	g ₂	h ₁	h ₂
1	Friedensstraße / Friedrich-Ebert-Straße	x			x	x					x	x	
2	Humboldtstraße / Niedergrunstedter Weg	x					x		x		x		
3	Jenaer Straße / Bodelschwinghstraße		x	x		x					x	x	
4	Friedensstraße / Karl-Liebknecht-Straße	x						x			x		
5	Ettersburger Straße / Umgehungsstraße	x	x				x				x	x	
6	Erfurter Straße / Stadtring	x		x		x		x			x		
7	Erfurter Straße / Umgehungsstraße	x	x			x			x	x		x	
8	Schwanseestraße / Budapester Straße		x	x			x		x		x		x
9	Schwanseestraße / Stadtring	x		x	x	x					x	x	
10	Humboldtstraße / Stadtring			x			x				x		

Bestandteil der endgültigen Auswahl werden alle sieben Knotenpunkte sein, die als Unfallhäufungsstellen in Erscheinung getreten sind. Vier so genannte „Stadteingänge“ werden in die Betrachtung einbezogen. Weiterhin werden fünf Knotenpunkte ausgewählt, deren Umbau zu Kreisverkehren eine Barriere insbesondere für Fahrer schwerer Lastzüge darstellen soll. Unter all diesen Knotenpunkten sind die beiden bereits enthalten, deren räumliche Einfassung als unbefriedigend eingestuft wurde. Für eine gute Variabilität im Bereich „Verkehrsstärke“ sorgt die Auswahl von vier vielbefahrenen Knotenpunkten und drei gering frequentierten. Die Auswahl beinhaltet dabei zwei Knoten mit einer hohen Zahl an querenden Fußgängern und drei Knotenpunkte mit wenigen oder keinen Fußgängern.

Die meisten Knotenpunkte verfügen zwar über einen starken geradeaus führenden Verkehrsstrom, aber nur an fünf Knotenpunkten wird dies besonders deutlich. Ein Knotenpunkt weist einen ausgeprägten abknickenden Hauptstrom auf. Alle Auswahlknoten haben vier Zufahrten, bis auf einen Knoten mit drei Armen. Aus dem Bereich der Knotenpunkte mit mehr als vier Zufahrten kann kein Vertreter ausgewählt werden, da für diesen eine Bemessung mit WebSimTra nicht möglich ist, während das Bemessungsverfahren des HBS mit bis zu sechs Knotenarmen keine Probleme hätte. Auf diese Diskrepanz wird in der Auswertung der Bemessung im Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** noch eingegangen. Darüber hinaus empfiehlt es sich nicht, am Wielandplatz einen Kreisverkehr anzuordnen, da derzeit die dortige Lichtsignalanlage mit

akustischen Signalen für sehbehinderte Fußgänger ausgestattet ist. Es ist davon auszugehen, dass diese Einrichtung nicht grundlos erfolgte, dieser Knotenpunkt demnach verstärkt von Blinden überquert wird. Für diese würde ein Kreisverkehrsplatz eine Verschlechterung darstellen. Einen räumlichen Überblick über die zehn ausgewählten Knotenpunkte bietet folgende Abbildung 3.1.

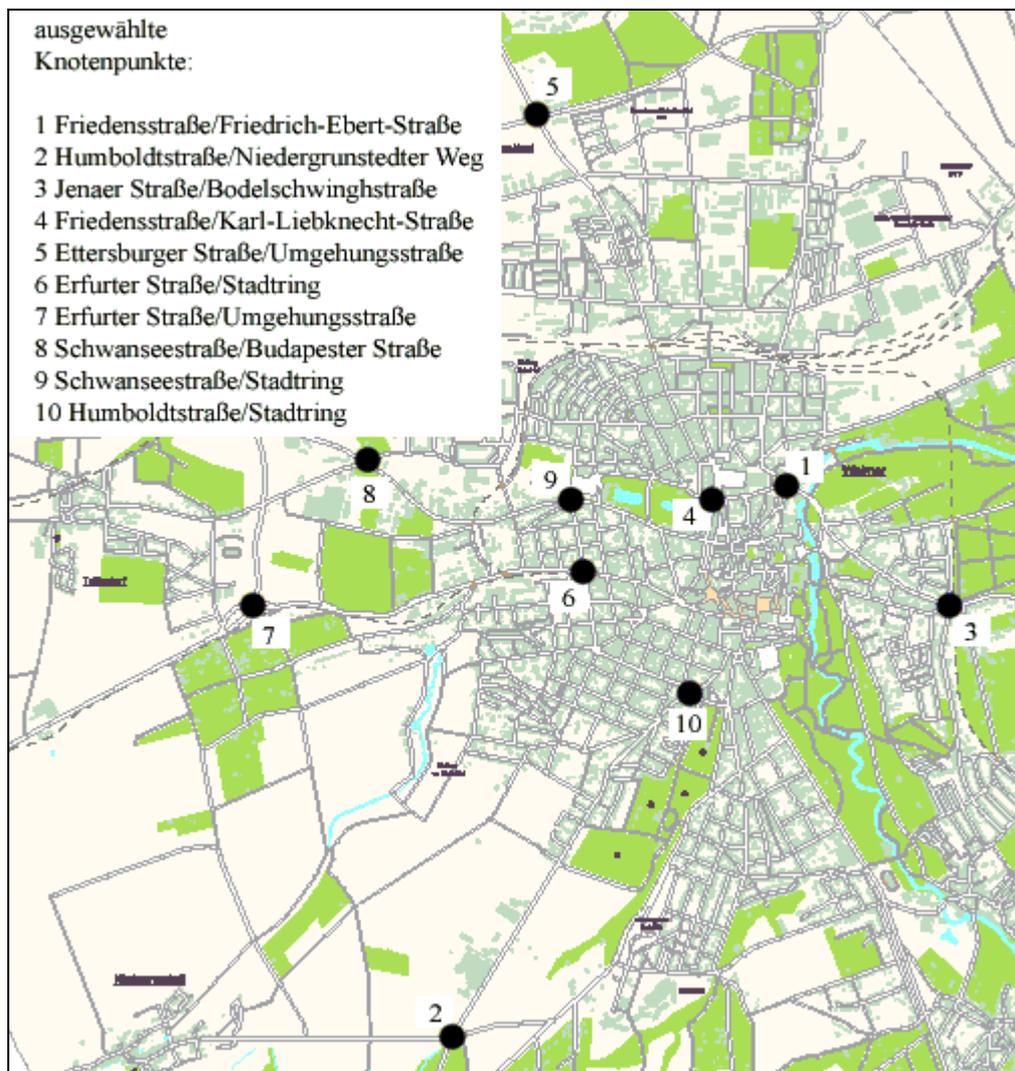


Abbildung 3.1: Lage der Auswahlknoten

4 Durchführung der Bemessung

Die Bemessung der zehn Auswahlknoten gliedert sich in zwei Abschnitte. Der erste Abschnitt umfasst die Beschaffung von Daten über die Verkehrsstärken an den einzelnen Knotenpunkten. Im zweiten Abschnitt erfolgt die eigentliche Bemessung nach dem Verfahren des HBS bzw. mit der Online-Simulation WebSimTra.

4.1 Verkehrsdaten

Zur Durchführung der Bemessung der ausgewählten Knotenpunkte werden Daten über die zugrunde liegenden Verkehrsstärken benötigt. Während die Bemessung nach dem Verfahren des HBS sowohl mit Verkehrsstärken in der Einheit Fahrzeuge pro Stunde als auch mit nach Verkehrsmitteln aufgeteilten Verkehrsstärken durchgeführt werden kann, ist bei WebSimTra die Eingabe der Verkehrsstärken der verschiedenen Verkehrsmittel notwendig. Es bieten sich mehrere Möglichkeiten an, diese Verkehrsdaten zu beschaffen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die Verkehrsstärken auf zwei Wegen ermittelt:

- durch eigene Erhebung bzw.
- durch Abfrage der Verkehrsstärken aus einem Analyseprogramm.

Diese Vorgehensweise ist notwendig, um mögliche Verzerrungen bei eigenen Erhebungen auszugleichen, die stark von Zähltag und eventuellen Baustellen oder sonstigen Beeinträchtigungen des gewohnten Verkehrsaufkommens abhängig sind.

4.1.1 Eigene Verkehrserhebung

Die Durchführung der eigenen Verkehrserhebung erfolgte nach den Grundsätzen des HBS. Es wurden Kurzzeitzählungen an den zehn Knotenpunkten durchgeführt, wobei in Anbetracht des Rahmens der vorliegenden Arbeit auf doppelte zweistündige Zählungen mittags und nachmittags verzichtet wurde. Stattdessen erfolgten einmalige Zählungen mit einer Dauer von meist 20 Minuten, deren Ergebnisse anschließend nichtlinear auf Stundenwerte hochgerechnet wurden. Es wurden die Verkehrsstärken von Personenkraftwagen, Krafträdern, Bussen, Lastkraftwagen, Lastzügen und Radfahrern auf der

Fahrbahn erfasst sowie die Anzahl querender Fußgänger und Radfahrer. Die Protokolle der Verkehrserhebungen sind in Anhang B.1 einsehbar. Aus den Stundenwerten wurde nach dem im HBS beschriebenen Verfahren die Bemessungsverkehrsstärke für die aus den verschiedenen Verkehrsmitteln gebildeten Gruppen der Pkw bzw. der Lkw berechnet. Anschließend erfolgte die Rückrechnung auf die einzelnen Fahrzeugarten.

Im Ergebnis lagen für jeden der zehn Knotenpunkte Verkehrsstärkematrizen vor, aus denen die Größe der (an vierarmigen Knotenpunkten möglichen zwölf) Knotenströme für jede erfasste Fahrzeugart hervorging. Bereits zu diesem Zeitpunkt wurde deutlich, dass die errechneten, teils sehr hohen Verkehrsstärken für Busse offensichtlich nicht immer der Realität entsprechen konnten. Dies war möglicherweise darauf zurückzuführen, dass gerade zum vormittäglichen Zeitpunkt der Verkehrserhebung mehrere Linien- und Reisebusse den Knotenpunkt passierten, die in dieser dichten Fahrzeugfolge nicht über den ganzen Tag verteilt auftreten würden. Um auch für Busse verlässlichere Datengrundlagen zu erhalten, wurden die Fahrplantabellen sowohl der Weimarer Stadtbuslinien als auch der Regionalbuslinien zu Rate gezogen. Aus diesen wurde ermittelt, wie viele Busse planmäßig an den ausgewählten Knotenpunkten verkehren. In Anhang B.2 sind diese Mindestwerte der Bus-Verkehrsstärke dargestellt. Die auf diesem Wege erhaltenen Daten waren realistischer als die hochgerechneten aus den Verkehrserhebungen und fanden Eingang in die Festlegung der endgültigen Werte der Verkehrsstärken für die Bemessung.

4.1.2 Analysedaten

Zum Abgleich der Verkehrsdaten aus eigener Erhebung wurden Daten aus einem Analyseprogramm bezogen. Es handelte sich dabei um die Analyse der verkehrlichen Gegebenheiten des Jahres 2006 aus dem „Verkehrsmodell Weimar“. Dieses Verkehrsnachfragemodell basiert auf Strukturdaten der Stadt Weimar wie z.B. Bevölkerung, Beschäftigungsstätten oder Einkaufsmöglichkeiten und ermittelt aus dem Zusammenspiel mit den Daten des komplett erfassten Weimarer Verkehrsnetzes die Kennwerte der Verkehrserzeugung, -verteilung, -aufteilung und schließlich -umlegung. Zur Kontrolle und zur Kalibrierung des Modells wurden vom Verkehrsleitreechner der Stadt Weimar Daten zur Verfügung gestellt, die an einzelnen ausgesuchten Netzabschnitten über Schleifen aufgezeichnet wurden. Für die vorliegende Arbeit wurden aus dem umfassenden Datenbestand des „Verkehrsmodells

Weimar“ die nachmittäglichen Spitzenverkehrsstärken der zehn ausgewählten Knotenpunkte bezogen. Der Zugang zu diesen Informationen erfolgte über die Firma VerkehrPlus, die freundlicherweise grafische Darstellungen der Knotenströme für die gewünschten Knotenpunkte zur Verfügung stellte. Diese Knotenstrompläne beinhalteten allerdings die Verkehrsstärke in der Einheit Kraftfahrzeuge pro Stunde, womit Radfahrer nicht erfasst waren. Diese mussten bei der Festlegung der endgültigen Werte anschließend separat in Höhe der selbst erhobenen Daten hinzu addiert werden. Die Knotenstrompläne sind der vorliegenden Arbeit als Anhang B.3 beigelegt.

4.1.3 Ausgangswerte für die Bemessung

Um Kenntnis über die Verkehrsstärken an den Auswahlknoten zu erlangen, wurden eigene Erhebungen durchgeführt sowie Daten aus dem „Verkehrsmodell Weimar“ bezogen. Die auf beiden Wegen ermittelten Werte wiesen teilweise große Unterschiede auf. Dies kann mehrere Gründe haben. So wurden die Verkehrserhebungen vormittags durchgeführt, während die Analysedaten die nachmittägliche Spitzenstunde darstellten. Darüber hinaus beruhten die Werte der Analyse auf einer viel breiteren Datengrundlage, wohingegen die eigenen Zahlen aus kurzzeitigen Erhebungen resultierten. Mögliche Baustelleneinflüsse, Umleitungen oder Sonderverkehre waren in den Analysedaten nicht enthalten, die eigenen Verkehrserhebungen sind diesen Effekten hingegen ausgeliefert gewesen. Letztlich fiel die Entscheidung zugunsten der Werte aus dem „Verkehrsmodell Weimar“, da sie verlässlicher waren. Da hierbei aber vereinfachend Kraftfahrzeuge ermittelt wurden, mussten diese noch in die verschiedenen Fahrzeugarten aufgeteilt werden. Dies geschah im gleichen Zahlenverhältnis, wie es sich durch die Verkehrserhebungen herausgestellt hatte.

Die Anzahl der Radfahrer auf der Fahrbahn konnte nicht aus den Analysedaten bezogen werden, hier kamen die selbst erhobenen Daten zur Anwendung. Abweichend von den erhobenen Bus-Werten wurde mit den aus den Fahrplantabellen bezogenen Bus-Verkehrsstärken gearbeitet. Zur Vereinfachung der späteren Bemessung wurden die Zahlenwerte auf die zweite Stelle vor dem Komma gerundet, im Fall der Bus-Werte wurde dabei immer aufgerundet, um auf diese Weise die zusätzlich zu den Linienbussen verkehrenden Touristenbusse wenigstens annähernd zu berücksichtigen. Die endgültigen Zahlenwerte der Bemessungsverkehrsstärken der einzelnen Fahrzeugarten sind in

Anhang B.4 dargestellt. Im Vorgriff auf die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Dateneingabe in die Formblätter des HBS bzw. die Eingabemaske der Online-Simulation wurden die festgelegten Werte derart aufbereitet, dass sie getrennt für beide Bemessungsverfahren in Matrizenschreibweise vorliegen. Dies war unter anderem deshalb nötig, da im HBS die Knotenarme gegen den Uhrzeigersinn gezählt werden, beginnend im Westen, während bei WebSimTra die Zählung von Norden aus im Uhrzeigersinn erfolgt.

4.2 Bemessung mit HBS

4.2.1 Allgemeine Vorgehensweise

Im Handbuch erfolgt die Bemessung eines Kreisverkehrsplatzes mittels eines zweiseitigen, tabellarisch aufgebauten Formblatts (siehe Anhang C.1). Voraussetzung für die Bemessung des Kreisverkehrsplatzes ist neben der Kenntnis über dessen Geometrie die Ermittlung der Verkehrsstärken am Knotenpunkt. Dabei genügt es nicht, in der Spalte 7 des Formblatts die Bemessungsverkehrsstärke pro Zufahrt anzugeben, es ist vielmehr eine detaillierte Aufgliederung in einzelne Knotenströme notwendig. In den Spalten 1 bis 6 können die Knotenströme für maximal sechs Zufahrten eingetragen werden, in vereinfachter Form in der Einheit Fahrzeuge pro Stunde. In Spalte 9 wird die Anzahl der Fahrstreifen in den einzelnen Zu- und Ausfahrten eingetragen. Auf der zweiten Seite des Formblatts erfolgt die Eingabe der jeweiligen Verkehrsstärken in der Zufahrt und dem anliegenden Teil der Kreisfahrbahn aufgeschlüsselt nach einzelnen Fahrzeugarten. In den Spalten 10 bis 14 werden die Werte für Personenkraftwagen, Lastkraftwagen und Busse, Lastzüge, Krafträder und Radfahrer auf der Fahrbahn eingetragen und anschließend in Spalte 16 nach einem Umrechnungsschlüssel in Pkw-Einheiten pro Stunde (Pkw-E/h) umgerechnet. Nach diesem vorgegebenen Schlüssel entspricht ein Kraftrad einem Pkw, ein Radfahrer einem halben Pkw, ein Lastkraftwagen oder Bus anderthalb Personenkraftwagen und ein Lastzug zwei Pkw. Sollten keine separierten Daten vorliegen und in Spalte 15 die Verkehrsstärken in Fz/h gegeben sein, so werden diese mit dem Faktor 1,1 in Pkw-E/h umgerechnet und in Spalte 16 eingetragen. Dies sollte aber nur die Ausnahme zur überschlägigen Berechnung darstellen [HBS 2005]. Die Grundkapazität errechnet sich nun aus den vorgegebenen Zeitlücken und den Werten der Spalten 19 (übernommene Kreisverkehrsstärke aus Spalte 16) und Spalte 9. Versieht man die Grundkapazität mit dem Fußgänger-

Abminderungsfaktor aus Spalte 21, so ergibt sich die Kapazität der Zufahrt in Spalte 22. Subtrahiert man die Verkehrstärke der Zufahrt (Spalte 18) von deren Kapazität, führt dies zur Kapazitätsreserve in Spalte 23. Mittels der Kapazitätsreserve und der Kapazität können aus dem zuvor beschriebenen Diagramm die mittlere Wartezeit und die Qualitätsstufe abgelesen werden.

4.2.2 Durchführung der Bemessung

Die Bemessung der zehn Auswahlknoten erfolgte mit Hilfe der HBS-Formblätter 3a und 3b, welche im Anhang C.1 zu finden sind. Blatt 3a wurde mehrfach kopiert, um die Matrix der Knotenströme nach Fahrzeugarten getrennt aufstellen zu können. Solche Matrizen wurden für Pkw, Lkw (inklusive Bus), Lastzüge, Krad und Radfahrer ausgefüllt, basierend auf den zuvor ermittelten Verkehrsstärken. War die Bildung der Summe der Verkehrsstärken in der jeweiligen Zufahrt noch ohne Schwierigkeiten möglich, so erforderte die Ermittlung der Summe der Verkehrsstärken im Kreis Kenntnisse über die Zusammensetzung dieser Verkehrsströme. Die Summenwerte für die einzelnen Kreisverkehrsstärken resultierten aus folgenden Matrizenkombinationen:

- K_1 : 3-2, 4-2 und 4-3,
- K_2 : 1-3, 1-4 und 4-3,
- K_3 : 2-1, 1-4 und 2-4 sowie
- K_4 : 2-1, 3-1 und 3-2.

Anschließend erfolgte die Eintragung der Straßenbezeichnungen und der Anzahl der Fahrstreifen, wobei in allen Fällen nur ein Fahrstreifen in Zufahrt und Kreisfahrbahn vorhanden war. Nun erfolgte der Übertrag der Zahlenwerte aus den Spalten 7 und 8 in die entsprechenden Spalten 10 bis 14. Anschließend wurde über den in Abschnitt 4.2.1 dargelegten Umrechnungsschlüssel die Recheneinheit Pkw-Einheiten pro Stunde erzeugt. In die Spalte 17 sollte die Anzahl der querenden Fußgänger eingetragen werden. Querende Radfahrer fanden im HBS-Verfahren keine Berücksichtigung. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit fiel die Entscheidung zugunsten einer Addition der querenden Fußgänger und Radfahrer. Auf diese Weise wurde ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen aus der Online-Simulation möglich, bei welcher sowohl querende Fußgänger als auch querende Radfahrer erfasst werden. Nach dem Übertrag der Verkehrsstärken der Zufahrten bzw. der Kreisfahrbahn in die Spalten 18 und 19 erfolgte die Bestimmung der

Grundkapazität jeder einzelnen Zufahrt. Bei der Bemessung des ersten Knotenpunktes wurde die Grundkapazität aus dem Diagramm von Seite 7-42 des HBS abgelesen. Das Diagramm ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

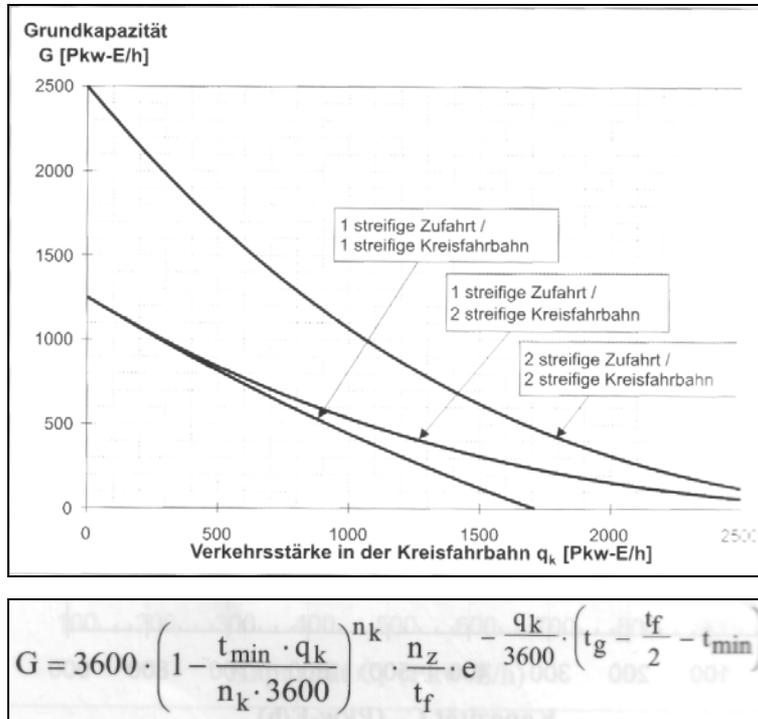


Abbildung 4.1: Grundkapazität (Diagramm und Gleichung) [HBS 2005]

Um genauere Werte zu erhalten, wurde für alle weiteren Knotenpunkte die Gleichung (7-19) des HBS verwendet. Die ebenfalls in obiger Abbildung aufgeführte Gleichung wurde in einen programmierbaren Taschenrechner eingegeben. Dieser zusätzliche Arbeitsschritt erforderte zwar einen höheren Zeitaufwand als das schnelle Ablesen aus dem Diagramm, erwies sich jedoch als vorteilhaft bei der anstehenden Bemessung von insgesamt zehn Knotenpunkten.

Zur Ermittlung der in die Bemessung eingehenden Kapazität C war die Festlegung des Abminderungsfaktors für die Fußgänger nötig. Das HBS bietet dafür auf Seite 7-44 ein Diagramm an, aus dem dieser Faktor bestimmt werden konnte. In Abbildung 4.2 ist dieses Diagramm dargestellt.

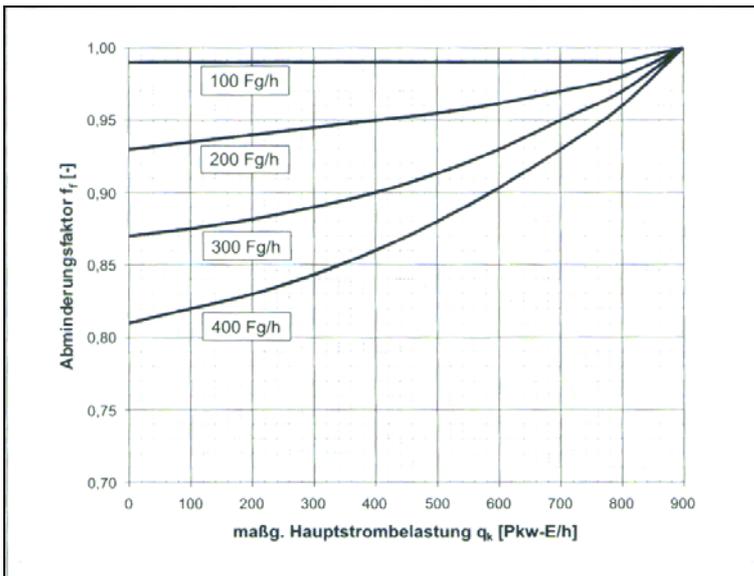


Abbildung 4.2: Abminderungsfaktor (Diagramm) [HBS 2005]

Waren keine querenden Fußgänger (und Radfahrer) zu berücksichtigen, ergab sich der Faktor f_f zu 1,0. Dies war u.a. am Knoten 7 der Fall. Bei 100 querenden Fußgängern pro Stunde (Fg/h) nimmt der Faktor den Wert 0,99 an. Ab einer maßgebenden Hauptstrombelastung von 900 Pkw-E/h ist der Faktor, unabhängig von der Zahl der querenden Fußgänger, immer 1,0. Nach [HBS 2005] wird ab dieser Verkehrsstärke der Einfluss auf die Fahrmöglichkeiten der zufahrenden Kraftfahrzeuge so stark, dass „eine zusätzliche Störwirkung durch die Fußgängerquerungen nicht mehr vorliegt“. Ein solcher Fall trat in der vorliegenden Arbeit nur zweimal auf. Zum einen am Knoten 1 in der östlichen Kreisfahrbahn, zum anderen am Knoten 3 in der nördlichen Kreisfahrbahn. In allen anderen Fällen vorhandener Fußgänger bzw. Radfahrer wurde der Abminderungsfaktor mit 0,99 angenommen, auch wenn die Anzahl der Querungen an der jeweiligen Zufahrt des Knotens den Vorgabewert von 100 Fg/h nicht erreichte.

Aus der Differenz der Kapazität, welche durch Multiplikation der Grundkapazität mit dem soeben beschriebenen Abminderungsfaktor entstand, und der Verkehrsstärke in den Zufahrten wurde die Kapazitätsreserve R für jede einzelne Zufahrt an allen zehn Knotenpunkten berechnet. Diese Kapazitätsreserve und die Kapazität waren Eingangsgrößen für das Diagramm auf Seite 7-46 im HBS, welches in Abbildung 4.3 dargestellt ist.

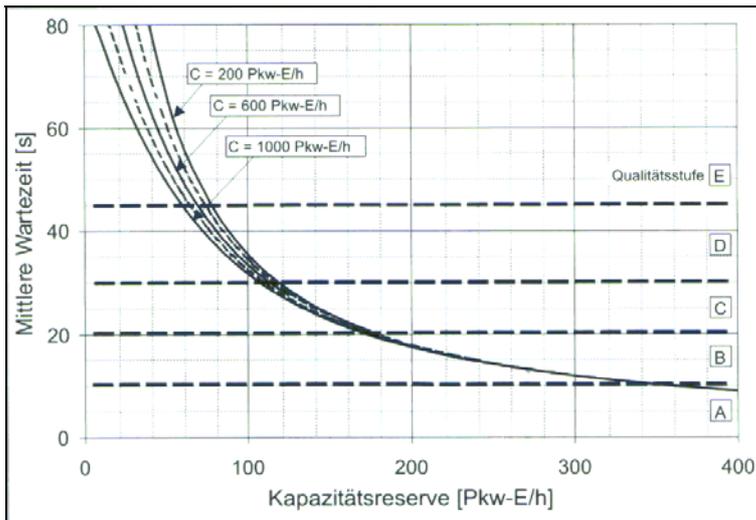


Abbildung 4.3: Mittlere Wartezeiten (Diagramm) [HBS 2005]

Im Verlauf der Bemessung traten folgende drei Fälle im Bezug auf die Größe der Kapazitätsreserve auf:

- R liegt zwischen 0 und 400 Pkw-E/h,
- R ist größer als 400 Pkw-E/h und
- R ist negativ.

Bei einer negativen Kapazitätsreserve ist der Sättigungsgrad der Zufahrt größer als 1, weil die vorhandene Verkehrsstärke die Kapazität übersteigt. Die Folge ist ein Zusammenbruch des Verkehrsflusses, damit muss die Qualität des Verkehrsablaufs mit F angegeben werden. Dieser Fall trat an den Knoten 1 (westliche Zufahrt) und Knoten 6 (südliche Zufahrt) auf. Bei einer Kapazitätsreserve größer als 400 Pkw-E/h kann die Qualität des Verkehrsablaufs immer mit A angegeben werden, da die mittleren Wartezeiten unter 10 Sekunden liegen. Dies war in allen Zufahrten der Knoten 2, 5 und 8 der Fall. Am Knoten 10 war lediglich in der östlichen Zufahrt die Kapazitätsreserve kleiner als 400 Pkw-E/h. Auch die nördliche Zufahrt des Knotens 3, die westlichen und nördlichen Zufahrten des Knotens 4 und die östliche Zufahrt des Knotens 7 wiesen eine solch hohe Kapazitätsreserve auf und konnten daher mit $QSV = A$ bewertet werden.

Alle übrigen Zufahrten, die in keinen der beiden vorgenannten Bereiche fielen, wiesen mittlere Kapazitätsreserven auf und mussten deshalb mit Hilfe des Diagramms überprüft werden. Dabei konnte für alle Zufahrten mit Kapazitätsreserven größer als 90 Pkw-E/h aus dem Diagramm abgelesen werden, dass die mittlere Wartezeit kleiner als 45 Sekunden war. Dadurch erreichten diese Zufahrten zumindest die Qualitätsstufe D, der Verkehrszustand war noch stabil. Bei Kapazitätsreserven unter 50 Pkw-E/h musste von

mittleren Wartezeiten über 45 Sekunden ausgegangen werden. Dies führte zur Beurteilung QSV = E, aufgetreten an der südlichen Zufahrt des Knotens 1 sowie den nördlichen Zufahrten der Knoten 6 und 9. Bei den übrigen Zufahrten im Wertebereich von 50 bis 90 Pkw-E/h war es abhängig von der Kapazität C, ob gerade noch Stufe D erreicht wurde oder bereits Stufe E konstatiert werden musste. Mit der Festlegung der Qualitätsstufen für alle Zufahrten an allen Knotenpunkten war die Bemessung nach HBS vorläufig abgeschlossen.

Um den methodischen Vergleich mit WebSimTra feiner herauszuarbeiten, wurden anschließend einzelne Knotenpunkte mit veränderten Ausgangsbedingungen erneut bemessen. Hierbei erfolgte die Änderung ausschließlich im Bezug auf Fußgänger und Radfahrer. In einem ersten Versuch blieben die querenden Fußgänger und Radfahrer am Knoten 4 unberücksichtigt. Die Auswirkungen dieses Schrittes waren aber eher gering, an den mittleren Wartezeiten änderte sich fast nichts.

Bei einem zweiten Versuch wurden die Radfahrer aus den Zufahrten dieses Knotens herausgenommen und verkehrten nun nicht mehr auf der Fahrbahn, sondern wurden zu den querenden Fußgängern hinzuaddiert. Auf einem neuen Formblatt wurden die bekannten Verkehrsstärken der motorisierten Verkehrsmittel unverändert eingetragen, die Spalte 14 für Radfahrer blieb leer. Dieser Schritt führte zu kleineren Werten bei der Umrechnung in Pkw-Einheiten pro Stunde. Stattdessen erhöhte sich die Zahl der querenden Fußgänger und Radfahrer zum Teil deutlich, in der östlichen Zufahrt mussten beispielsweise nach 70 nun 170 Querende berücksichtigt werden. Das schlug sich in einem kleineren Abminderungsfaktor nieder, der nun mit 0,96 angenommen wurde. Im Ergebnis führte der zweite Versuch zu höheren Kapazitätsreserven und daraus resultierend zu einer Besserbewertung der Qualität des Verkehrsablaufs. Betrug die mittlere Wartezeit in der südlichen Zufahrt ursprünglich 39 Sekunden, so fiel sie nun auf 22 Sekunden und führt von Stufe D zu Stufe C. Um diesen Effekt zu überprüfen, wurden auch an den Knoten 1 und 6 die Radfahrer von der Fahrbahn genommen und den querenden Fußgängern zugerechnet. Das führte am Knoten 1 zu keiner Veränderung des Abminderungsfaktors. In der südlichen Zufahrt des Knotens 6 verschlechterte sich dieser jedoch geringfügig. Beide Knoten wiesen ohne Radfahrer auf der Straße in ihren Zufahrten höhere Kapazitätsreserven auf. Daraus resultierten in der Bemessung mittlere Wartezeiten, die nur minimal geringer waren. Die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs blieben gleich. Die entsprechenden Formblätter sind als Anhang C.1 an die vorliegende Arbeit angefügt. Im Abschnitt 5.1 erfolgen nähere

Erläuterungen zu den erzielten Ergebnissen und eine Bewertung der Resultate.

4.3 Bemessung mit WebSimTra

4.3.1 Allgemeine Vorgehensweise

Voraussetzung zur Inanspruchnahme der Online-Simulation WebSimTra ist ein Rechner mit vorhandenem Internetanschluss. Mit einem Browser gelangt man über die Eingabe der Adresse www.websimtra.de auf die Begrüßungsseite des Programms. Die Dateneingabe kann nach Betätigen des „Start“-Links beginnen. Erster Schritt ist die Eingabe der Knotengeometrie. Es besteht die Möglichkeit, zwischen drei- oder vierarmigen Kreisverkehren bzw. Vorfahrtknoten zu wählen, wobei zusätzlich zwischen "innerorts" und „außerorts“ unterschieden werden kann. Handelt es sich um einen dreiarmigen Knoten, wird der Benutzer aufgefordert, den fehlenden Knoten nach Himmelsrichtung zu benennen. In Abbildung 4.4 ist diese erste Seite der Dateneingabe dargestellt.



The screenshot shows a web browser window with the URL 'Home > Start'. The main content area is titled 'Eingabe der Knotengeometrie' and 'Schritt 1 von 5'. It contains several input fields and dropdown menus:

Projektnummer	<input type="text" value="100508"/>
Projektname	<input type="text" value="Eingabe"/>
Gemeinde	<input type="text" value="Eingabe"/>
Zeithorizont	<input type="text" value="2007"/>
Knotentyp	<input type="text" value="Kreisverkehr"/>
Knotenlage	<input type="text" value="innerorts"/>
Knotenpunktarme	<input type="text" value="vierarmig"/>
- Welcher Arm entfällt? (nur bei dreiarmigen Knoten)	<input type="text" value="ohne westlichen Arm"/>

At the bottom, there are two buttons: 'Weiter' and 'Zurücksetzen'.

Abbildung 4.4: Eingabe der Knotengeometrie in WebSimTra [WEBSIMTRA 2007]

Im zweiten Schritt erfolgt die Eingabe der Bezeichnungen der Zufahrtsstraßen. Der darauf folgende Schritt umfasst die Eingabe der Verkehrsstärken, getrennt nach Fahrzeugarten und Himmelsrichtungen. Erfasst werden Pkw, Lkw, Lastzüge, Busse und Radfahrer, sofern sie auf der Fahrbahn verkehren. Diese Eingabemaske findet sich in Abbildung 4.5.

Home > Start

Eingabe der Verkehrsmengen

Schritt 3 von 5

Alle Angaben beziehen sich auf eine Stunde.

Pkw

	nach		
von	Nordstraße	Oststraße	Südstraße
Nordstraße	0	0	0
Oststraße	0	0	0
Südstraße	0	0	0
Weststraße	0	0	0

Lkw

	nach		
von	Nordstraße	Oststraße	Südstraße
Nordstraße	0	0	0
Oststraße	0	0	0
Südstraße	0	0	0
Weststraße	0	0	0

[Zurück]

Abbildung 4.5: Eingabe der Verkehrsmengen in WebSimTra [WEBSIMTRA 2007]

Im vierten Schritt wird um die Eingabe der Verkehrsstärke der querenden Fußgänger sowie Radfahrer gebeten. Der abschließende fünfte Schritt beinhaltet die Eingabe persönlicher Daten wie Name, Vorname sowie postalische und elektronische Adresse. Nach dem Akzeptieren der Allgemeinen Geschäftsbedingungen können die eingegebenen Daten abgeschickt werden. Eine Ansicht dieses Formulars findet sich in Abbildung 4.6.

Home > Start

Abschluss

Schritt 5 von 5

Name *

Vorname

Firma

Straße und Hausnummer *

PLZ *

Ort *

Telefonnummer

e-mail-Adresse *

Paket * Einsteiger - KOSTENLOS
[Pakete und Preise](#)

Gutschein

* = obligatorische Eingabefelder
 alle anderen = optionale Eingabefelder

Allgemeine Geschäftsbedingungen.

§ 1 Allgemeines

1. Die folgenden allgemeinen Geschäftsbedingungen regeln das Rechtsverhältnis zwischen dem Nutzer und der Firma WebSimTra, Inhaber Emanuel Selz, Brahmstr. 30, 99423 Weimar. WebSimTra erbringt ihre Leistungen

[Zurück]

Abbildung 4.6: Abschlussformular in WebSimTra [WEBSIMTRA 2007]

Kurz darauf erhält man unter der angegebenen Email-Adresse eine Bestätigungsmitteilung

und wenige Stunden oder Tage später die Ergebnisdatei im Microsoft-EXCEL-Format. Diese Datei enthält neben den mittleren Wartezeiten und Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs jeder einzelnen Zufahrt auch Informationen über Rückstaulängen und die Anzahl der Halte. Ebenfalls in der Email enthalten ist ein Video im WMV-Format mit einer Visualisierung des Verkehrsablaufs am betrachteten Knotenpunkt, welches insbesondere für Präsentationszwecke geeignet ist.

4.3.2 Durchführung der Bemessung

Die während der Vorbereitung festgelegten Verkehrsstärken aller zehn Knotenpunkte wurden in auf die WebSimTra-Eingabemaske abgestimmte Matrizen geschrieben und lagen zur besseren Handhabung in Papierform vor. Mit dem ersten Knotenpunkt begann die Eingabe des Projektes auf der Startseite der Online-Simulation. Knoten 1 sollte als vierarmiger Kreisverkehrsplatz bemessen werden, die Lage war innerorts. Nach der Eingabe der Straßenbezeichnungen erfolgte das Ausfüllen der Verkehrsstärkematrizen getrennt nach Fahrzeugarten. Durch die vorherige Aufbereitung der Daten konnte diese Eingabe sehr zügig vollzogen werden. Auch die Anzahl der querenden Fußgänger und Radfahrer auf der folgenden Seite war schnell eingegeben. Nach der Angabe der persönlichen Daten wurde das gesamte Formular abgeschickt. Wenige Minuten später konnte eine Bestätigungsmitteilung empfangen werden, die Email mit der Ergebnisdatei traf am nächsten Tag ein. Aus dieser ging hervor, dass ein Kreisverkehrsplatz an diesem Knotenpunkt nicht funktionsfähig sei, diese Schlussfolgerung ergab sich bereits aus der HBS-Bemessung. Auf den Vergleich der Ergebnisse wird in Abschnitt 5.1.2 detailliert eingegangen.

Für alle weiteren Knotenpunkte wurde auf eine Online-Eingabe verzichtet. Stattdessen erfolgte die Eingabe der Verkehrsdaten in den Räumen der Firma VerkehrPlus direkt an dem Rechner, auf dem WebSimTra und das dahinter arbeitende VISSIM installiert waren. Hier erfolgte auf einer lokalen Eingabemaske für die restlichen Knotenpunkte die Dateneingabe wie bei Knoten 1. Anschließend wurden diese Daten aber nicht über das Internet abgeschickt, sondern direkt durch das Programm WebSimTra importiert. Dies geschah durch das Betätigen einer Schaltfläche auf der Steuerungsebene des Programms. Nun mussten nacheinander vier weitere Schaltflächen bedient werden, die letztendlich zur

Ausgabe der Ergebnisdatei führten. Mit der zweiten Schaltfläche wurde der Export der durch WebSimTra erstellten Verkehrsmatrizen nach VISSIM ausgelöst. Ein Klick auf die dritte Schaltfläche startete das eigentliche Simulationsprogramm. Dieses führte nun mit den durch WebSimTra erstellten Daten, z.B. über Knotengeometrie, Lage der Detektoren und Verkehrsstärken der verschiedenen Fahrzeugarten, insgesamt fünf Simulationsschleifen durch. War die Simulation beendet, erfolgt der Rücksprung zu WebSimTra, wo durch Betätigung der vierten Schaltfläche die Auswertung der von VISSIM generierten Daten startete. Die Ergebnisdatei, welche dann im Online-Modus verschickt werden würde, wurde durch Klicken der letzten Schaltfläche erzeugt.

Somit lagen für alle zehn Auswahlknoten die Ergebnisdateien vor, die auf den gleichen Annahmen der Verkehrsstärken wie bei der Bemessung nach HBS basierten. Zum weiteren Vergleich der Bemessungsverfahren wurde anschließend für den Knoten 4 die Bemessung noch einmal ohne querende Fußgänger durchgeführt. Darüber hinaus wurden bei erneuten Bemessungen der Knoten 1, 4 und 6 die Radfahrer derart berücksichtigt, dass sie nicht mehr auf der Fahrbahn verkehren, sondern stattdessen wie die Fußgänger die Knotenzu- und -ausfahrten queren. Auf diese Weise sollte ein Maß für die Sensibilität der beiden Bemessungsverfahren gefunden werden. Eine Diskussion der dadurch hervorgerufenen Abweichungen und der generelle Vergleich der ermittelten Werte mit denen aus der HBS-Bemessung erfolgen im nachstehenden Abschnitt 5. Auszüge aus den umfangreichen Ergebnisdateien von WebSimTra sind in Anhang C.2 abgebildet.

5 Bewertung der Bemessungsverfahren

Bestandteile dieses Abschnittes der vorliegenden Arbeit sind der Vergleich der beiden Bemessungsverfahren anhand der im Abschnitt 2.4 definierten Prüfkriterien, eine Diskussion der Ergebnisse dieses Vergleichs und der möglichen Ursachen sowie sich daraus ergebende Empfehlungen und Anregungen.

5.1 Vergleich anhand des Kriterienkatalogs

Nachdem die Bemessung der zehn Auswahlknoten sowohl mit den Formblättern des HBS als auch mit Hilfe der Online-Simulation WebSimTra abgeschlossen war, wurden beide Bemessungsverfahren anhand der Prüfkriterien bewertet und miteinander verglichen.

5.1.1 Aufgabenangemessenheit

Das Bemessungsverfahren des HBS ist für Kreisverkehrsplätze mit Außendurchmessern größer als 26 m geeignet, „bei denen die Fahrzeuge in der Kreisfahrbahn Vorfahrt vor den Fahrzeugen in der Zufahrt haben“ und die „bis zu 2 Fahrstreifen im Kreis und höchstens 2 Fahrstreifen in den Zufahrten“ aufweisen [HBS 2005]. Das trifft auf die zehn Auswahlknoten zu. Darüber hinaus könnten mit dem verwendeten Formblatt Kreisverkehre mit bis zu sechs Zufahrten bemessen werden. Dadurch wäre eine Bemessung auch für Knotenpunkte wie dem Sophienstiftsplatz oder dem Wielandplatz möglich gewesen.

Die Online-Simulation schränkt ihren Wirkungsbereich unter dem Punkt „Hintergrund/Anwendungsbereich“ insofern ein, dass „zum derzeitigen Entwicklungsstand [...] ausschließlich Kreisverkehre und sonstige vorfahrtgeregelte Knotenpunkte (inkl. abknickender Vorfahrt) mit dem Tool bearbeitet werden“ können [WEBSIMTRA 2007]. Damit ist die grundlegende Anforderung im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfüllt. Einschränkungen, ähnlich dem HBS-Verfahren bezüglich Außendurchmesser oder Fahrstreifenanzahl, werden nicht benannt. Im Zuge der Bemessung wurde jedoch deutlich, dass solche Einschränkungen existieren. So hat der Anwender bei der Wahl der Knotenform im ersten Schritt der Dateneingabe lediglich die Wahl zwischen drei- oder vierarmigen

Knotenpunkten. Kreisverkehre mit mehr als vier Zufahrten können mit WebSimTra nicht bemessen werden. Dies führte dazu, dass unter den zur Auswahl stehenden Weimarer Knotenpunkten nur solche mit drei oder vier Zufahrten berücksichtigt werden konnten. Bei der direkten Arbeit mit VISSIM stellte sich überdies heraus, dass nur einstreifige Kreisverkehre mit einstreifigen Zufahrten bemessen werden können. Da mehrstreifige Kreisverkehrsplätze im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht werden sollten, kam es jedoch zu keinen Einschränkungen in der Wahl der Knotenpunkte.

5.1.2 Richtigkeit

Wie in Abschnitt 2 bereits angeführt, konnte die Überprüfung der Bemessungsergebnisse auf Richtigkeit nicht durch einen Vergleich mit der Realität erfolgen, da über die tatsächlichen Verhältnisse keine Daten vorlagen. Stattdessen wurden die Bemessungsergebnisse, welche mit Hilfe von WebSimTra erzielt wurden, mit denen des HBS-Verfahrens verglichen. In Tabelle 5.1 sind die errechneten mittleren Wartezeiten in Sekunden und die daraus abzuleitenden Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs gegenübergestellt. Die Rückstaulängen sind als 95 %-Perzentil N_{95} in Metern aufgeführt.

Tabelle 5.1: QSV der Knotenpunkte (mit ursprünglichen Verkehrsdaten)

Knoten- nummer	Straßenname der Zufahrt (Reihenfolge Nord-Ost-Süd-West)	WebSimTra			HBS		
		w	QSV	N_{95}	w	QSV	N_{95}
1	Friedrich-Ebert-Straße	97,0	F	314	25	C	66
	Am Kirschberg	21,3	C	7	13	B	< 6
	Friedensstraße (Süd)	79,3	F	305	70	E	> 180
	Friedensstraße (West)	182,4	F	432	--	F	> 180
2	Humboldtstraße	4,6	A	0	< 10	A	9
	Niedergrunstedter Weg (Ost)	3,7	A	0	< 10	A	< 6
	Alte Chaussee	3,0	A	0	< 10	A	< 6
	Niedergrunstedter Weg (West)	4,1	A	0	< 10	A	< 6
3	Webichtallee	0,0	A	0	< 10	A	0
	Jenaer Straße (Ost)	154,0	F	447	21	C	66
	Bodelschwingstraße	13,0	B	19	< 10	A	21
	Jenaer Straße (West)	42,2	D	86	33	D	120
4	Weimarplatz	8,9	A	0	< 10	A	< 6
	Friedensstraße	252,4	F	418	12	B	42
	Karl-Liebknecht-Straße	89,5	F	318	39	D	120

	Bertuchstraße	5,8	A	1	< 10	A	9
5	Ettersburger Straße (Nord)	8,5	A	16	< 10	A	18
	Umgehungsstraße	11,1	B	27	< 10	A	15
	Ettersburger Straße (Süd)	7,9	A	9	< 10	A	18
	Am Herrenrödchen	8,0	A	14	< 10	A	15
6	Fuldaer Straße	146,5	F	348	70	E	180
	Erfurter Straße (Ost)	46,3	E	61	18	B	27
	Trierer Straße	145,3	F	395	--	F	> 180
	Erfurter Straße (West)	228,7	F	353	42	D	108
7	Nordwestumgehung	24,6	C	103	18	B	66
	Erfurter Straße	24,1	C	42	< 10	A	21
	Bundesstraße B7	34,5	D	74	18	B	66
8	Budapester Straße	4,8	A	0	< 10	A	< 6
	Schwanseestraße (Ost)	7,5	A	0	< 10	A	< 6
	Schwanseestraße (Süd)	6,1	A	0	< 10	A	< 6
	Schwanseestraße (West)	7,0	A	0	< 10	A	0
9	Fuldaer Straße (Nord)	142,1	F	424	> 80	E	180
	Schwanseestraße (Ost)	291,6	F	306	18	B	42
	Fuldaer Straße (Süd)	30,7	D	80	16	B	66
	Schwanseestraße (West)	18,8	B	23	13	B	27
10	Humboldtstraße (Nord)	5,7	A	2	< 10	A	< 6
	Am Poseckschen Garten	29,1	C	71	10	A	27
	Humboldtstraße (Süd)	7,5	A	8	< 10	A	15
	Trierer Straße	8,6	A	11	< 10	A	21

Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass das Bemessungsverfahren des HBS in vielen Fällen zum Teil deutlich geringere Werte der mittleren Wartezeiten generiert als WebSimTra. Dies hat zur Folge, dass ausgehend von den Bemessungsergebnissen des HBS die sieben Knoten 2, 3, 4, 5, 7, 8 und 10 als Kreisverkehrsplatz ausgeführt werden könnten, nach WebSimTra nur die fünf Knoten 2, 5, 7, 8 und 10. Dabei stimmen beide Verfahren bezüglich der Knoten 2 und 8 mit ihrem Ergebnis der Qualitätsstufe A überein. Am Knoten 5 wird von WebSimTra lediglich die östliche Zufahrt geringfügig schlechter bewertet als dies beim HBS-Verfahren der Fall ist. Dennoch schlägt sich dies in einer schlechteren Einstufung der Qualität des Verkehrsablaufs nieder: B statt A. Die Abweichung ist am Knoten 10 bereits etwas größer. Dort beträgt die mittlere Wartezeit in der östlichen Zufahrt nach der HBS-Bemessung 10 Sekunden und mit WebSimTra 29 Sekunden. Folglich kommt es zu einem Abfall in der Qualität von Stufe A auf Stufe C. Der nach beiden Verfahren als (noch) praktikabel eingestufte Knoten 7 weist in der jeweils

am schlechtesten bewerteten Zufahrt Süd mittlere Wartezeiten von 18 (HBS) bzw. knapp 35 Sekunden (WebSimTra) auf, die erreichten Qualitätsstufen sind B bzw. D.

Übereinstimmung zwischen beiden Verfahren hinsichtlich nicht gegebener Funktionsfähigkeit des Kreisverkehrs herrscht in der Beurteilung der Knoten 1 und 6 mit der Qualitätsstufe F. Während das HBS-Verfahren nur jeweils eine der Zufahrten mit F beurteilt und je eine mit E, ordnet WebSimTra die Qualität in den Zufahrten des Knotens 1 dreimal im Bereich der Stufe F, am Knoten 6 dreimal bei F und einmal bei E. Die errechneten mittleren Wartezeiten weichen zum Teil sehr deutlich voneinander ab. So gibt die HBS-Bemessung den Wert der mittleren Wartezeit in der nördlichen Zufahrt des Knotens 1 mit 25 Sekunden an (C), während diese nach WebSimTra 97 Sekunden beträgt (F).

An zwei Knoten kommen die Bemessungsverfahren zu grundsätzlich unterschiedlichen Resultaten. Die Knoten 3 und 4 sind nach HBS als Kreisverkehre noch ausführbar mit maximalen mittleren Wartezeiten von 33 bzw. 39 Sekunden (beide QSV = D). WebSimTra ermittelt mittlere Wartezeiten von 154 bzw. 252 Sekunden (QSV = F).

Abgesehen von dem Umstand, dass die Online-Simulation immer größere mittlere Wartezeiten generiert als das HBS-Verfahren, konnte festgestellt werden, dass die Verfahren an manchen Knoten zu teils stark voneinander abweichenden „Rangfolgen“ in der Bewertung der einzelnen Zufahrten gelangen. So ist als Resultat der HBS-Bemessung des Knotens 3 die mittlere Wartezeit der östlichen Zufahrt ein Drittel kleiner als die mittlere Wartezeit in der westlichen Zufahrt. WebSimTra hingegen kommt zu dem Ergebnis, die mittlere Wartezeit der östlichen Zufahrt sei mehr als dreimal so groß wie jene der westlichen Zufahrt. Der gleiche Effekt ist am Knoten 4 zu beobachten. Dort beträgt die mittlere Wartezeit der östlichen Zufahrt rund 30 % derjenigen der südlichen Zufahrt, wenn das Bemessungsverfahren des HBS verwendet wird. Arbeitet man mit der Online-Simulation, entspricht die mittlere Wartezeit der östlichen Zufahrt 280 % derjenigen der südlichen Zufahrt.

Nimmt man die Ergebnisse des HBS zur Grundlage, muss konstatiert werden, dass die Ergebnisse der Online-Simulation nicht korrekt sind. Diese Einschätzung resultiert dabei nicht aus dem Umstand, dass die ermittelten Werte nicht identisch oder nicht annähernd

gleich seien, sondern aus den daraus teilweise abzuleitenden Konsequenzen. Auf mögliche Gründe für die benannten Differenzen wird in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** eingegangen.

5.1.3 Sensibilität

Nach der Bemessung der zehn Auswahlknoten auf der Grundlage der ursprünglichen Ausgangsdaten wurden einzelne Knoten ein weiteres Mal unter veränderten Bedingungen bemessen. Es wurde eine erneute Bemessung des Knotens 4 unter der Annahme, es würden keine Fußgänger und Radfahrer die Zu- und Ausfahrten queren, durchgeführt. Bemessungsdauer und Bemessungsergebnisse wurden von diesem Schritt nicht oder nur unwesentlich beeinflusst. Die Ergebniswerte der HBS-Bemessung blieben gleich, bei der Online-Simulation lagen die Veränderungen der mittleren Wartezeiten bei maximal 20 % (72,3 statt vorher 89,5 Sekunden in der südlichen Zufahrt), wodurch es jedoch zu keinem Wechsel in der Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs kam (QSV = F).

Bei der erneuten Bemessung der Knoten 1, 4 und 6 ohne Berücksichtigung von Radfahrern auf der Fahrbahn entstanden teils sehr differierende Ergebnisse. Im Zuge dieser Bemessungsvariante wurden die Radfahrer stattdessen als zusätzlich Querende in die jeweilige Tabelle bzw. Eingabemaske aufgenommen. Am Knoten 1 führte diese Änderung beim HBS-Verfahren zu geringfügigen Verkürzungen der mittleren Wartezeiten, so in der nördlichen Zufahrt von 25 auf 23 Sekunden und in der südlichen Zufahrt von 70 auf 62 Sekunden - eine Verminderung um 8 bzw. 11 %. Dennoch ergab sich dadurch keine Verbesserung der Qualitätsstufen. Bei WebSimTra fielen die mittleren Wartezeiten um 17 % in der südlichen Zufahrt (von 79,3 auf 66,0 Sekunden) und um 30 % in der nördlichen Zufahrt (von 97,0 auf 67,2 Sekunden). Dadurch erreichen diese beiden Zufahrten nun die Qualitätsstufe E, obwohl sie zuvor noch mit F eingestuft wurden. Ähnliche Auswirkungen auf die mittleren Wartezeiten hat die Verlagerung der Radfahrer am Knoten 6. Dort bleiben zwar die Qualitätsstufen bei beiden Verfahren unverändert, aber die prozentualen Veränderungen der Wartezeitenwerte liegen bei maximal 33 % in der HBS-Berechnung (nördliche Zufahrt: 47 statt 70 Sekunden) und bei maximal 23 % in WebSimTra (westliche Zufahrt: von 228,7 auf 176,2 Sekunden).

Die gravierendste Veränderung tritt am Knoten 4 auf. Die HBS-Bemessung führt zu dem Ergebnis, dass die am schlechtesten bewertete Zufahrt (Süd) nach QSV = D nun die Qualitätsstufe C erreicht, da sich die mittlere Wartezeit um 44 % von 39 auf 22 Sekunden verringert. Auch in der östlichen Zufahrt wird eine kürzere mittlere Wartezeit erreicht (10 statt vorher 12 Sekunden) und damit eine Verbesserung der Qualitätsstufe von B auf A. Die Bemessung mit WebSimTra bringt einen Wechsel in der Einschätzung der Praktikabilität eines Kreisverkehrsplatzes an diesem Knotenpunkt. Musste der Knoten unter den ursprünglichen Bedingungen als nicht funktionsfähig bewertet werden (QSV = F), so erreicht der Knoten ohne Radfahrer auf der Fahrbahn nun in der am schlechtesten beurteilten Zufahrt die Qualitätsstufe D. In dieser östlichen Zufahrt verringerte sich die mittlere Wartezeit um 85 %, von 252,4 auf nur noch 37,6 Sekunden. Auch in der südlichen Zufahrt verringert sich die mittlere Wartezeit von 89,5 auf 20,9 Sekunden, eine Abnahme um 77 %. Diese Zufahrt kann nach ursprünglicher Qualitätsstufe F nun mit C eingestuft werden. Eine Übersicht der ermittelten Wartezeiten, Rückstaulängen und Qualitätsstufen nach der erneuten Bemessung mit veränderten Verkehrsdaten findet sich auf der folgenden Seite in Tabelle 5.2.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass die Online-Simulation auf Veränderungen in der Zusammensetzung der Fahrzeugströme in höherem Maße reagiert als das HBS-Verfahren. Mögliche Gründe für die höhere Sensibilität von WebSimTra werden in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** diskutiert.

Tabelle 5.2: QSV der Knotenpunkte (mit veränderten Verkehrsdaten)

Knotennummer	Straßenname der Zufahrt (Reihenfolge Nord-Ost-Süd-West)	WebSimTra			HBS		
		w	QSV	N ₉₅	w	QSV	N ₉₅
4 (ohne querende Fg+Rad)	Weimarplatz	9,3	A	0	< 10	A	< 6
	Friedensstraße	267,2	F	419	12	B	42
	Karl-Liebknecht-Straße	72,3	F	295	39	D	120
	Bertuchstraße	5,8	A	0	< 10	A	9
1 (alle Rad querend statt auf Fahrbahn)	Friedrich-Ebert-Straße	67,2	E	275	23	C	66
	Am Kirschberg	21,8	C	5	13	B	< 6
	Friedensstraße (Süd)	66,0	E	262	62	E	> 180
	Friedensstraße (West)	181,5	F	432	--	F	> 180
4 (alle Rad querend statt auf Fahrbahn)	Weimarplatz	6,5	A	0	< 10	A	0
	Friedensstraße	37,6	D	85	10	A	27
	Karl-Liebknecht-Straße	20,9	C	85	22	C	60
	Bertuchstraße	4,9	A	0	< 10	A	9
6 (alle Rad querend statt auf Fahrbahn)	Fuldaer Straße	125,6	F	316	47	E	120
	Erfurter Straße (Ost)	49,0	E	58	17	B	27
	Trierer Straße	135,1	F	395	--	F	> 180
	Erfurter Straße (West)	176,2	F	246	33	D	60

5.1.4 Fehleranfälligkeit, Korrigierbarkeit

Der erste Schritt bei der Bemessung eines Kreisverkehrsplatzes mit Hilfe des HBS-Formblatts besteht in der Eintragung der Verkehrsstärken in die Spalten 1 bis 6. Diese Daten lagen in aufbereiteter und ausgedruckter Form vor. Dabei kam es gelegentlich zu Ablesefehlern, wenn beispielsweise Werte aus einer falschen Zeile oder Spalte übertragen wurden. Da das Formblatt jedoch zu jedem Zeitpunkt der Bearbeitung komplett einsehbar bzw. überschaubar war, konnten solche „Abschreibefehler“ schnell erkannt und ausgebessert werden. Bei der Aufsummierung zu den Verkehrsstärken in der Zufahrt bzw. in der Kreisfahrbahn kam es vereinzelt zu Rechenfehlern, die auf falsches Ablesen oder mangelhafte Benutzung des Taschenrechners zurückzuführen sind. Generell liegt in der Vielzahl der erforderlichen Rechenschritte der Grund für die hohe Fehleranfälligkeit der HBS-Bemessung, aber auch in dem häufig erforderlichen Übertrag der ermittelten Werte von einer Tabellenzelle in eine weitere. Dabei sind alle auftretenden Fehler sehr leicht korrigierbar, wenn sie rechtzeitig erkannt werden. Probleme können darüber hinaus durch die

erforderliche Arbeit mit Diagrammen auftreten, aus denen falsch oder ungenau abgelesen werden kann.

Ähnlich dem HBS-Verfahren erfolgte auch bei WebSimTra die Eingabe der Verkehrsstärken in Tabellenform. Nur durch die vorherige Aufbereitung der Daten war es dabei möglich, die Fehlerquote bei der Eingabe gering zu halten. Die Arbeit mit Werten, die auf das Schema des HBS-Formblatts abgestimmt waren, führte dies zur Verwirrung: beginnt die HBS-Bemessung mit der Eingabe der Knotenströme West-West, West-Süd und West-Ost, so startet die Eingabe in der Online-Simulation mit den Relationen Nord-Nord, Nord-Ost und Nord-Süd. Bei der Arbeit auf der Steuerungsebene der EXCEL-Oberfläche des Programms konnten durch das Vergessen des Imports neu eingegebener Daten Fehler entstehen, was zu einer Simulation mit den Werten der vorherigen Bemessung führte. Erst als die zeitaufwändige Simulation und Auswertung abgeschlossen war, konnten solche Fehler erkannt und korrigiert werden. Bei WebSimTra entfällt allerdings das Risiko falscher Ergebnisse, die auf Fehlern bei der „Rechnung per Hand“ beruhen.

5.1.5 Reproduzierbarkeit

Die Berechnungen mit dem Formblatt des HBS führten auf der Grundlage identischer Ausgangswerte immer zu identischen Ergebnissen. Voraussetzung dafür war allerdings, dass beispielsweise die Grundkapazität immer über die vorgegebene Gleichung berechnet wurde, statt sie einmal zu berechnen und ein andermal aus dem Diagramm abzulesen. Bei der Bestimmung der mittleren Wartezeit war in diesem Zusammenhang auf die Ablesegenauigkeit zu achten. Auch bei WebSimTra führte jede Bemessung mit gleichen Eingabedaten zum gleichen Ergebnis. Der Grad der Reproduzierbarkeit kann demnach für beide Bemessungsverfahren gleich hoch angesetzt werden. Da dies zumindest bei der Online-Simulation nicht unbedingt erwartet werden konnte, wird in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** auf wesentliche Voraussetzungen eingegangen.

5.1.6 Zeitersparnis

Für beide Bemessungsverfahren war die Erhebung bzw. das Beschaffen von Verkehrsdaten notwendig. Diese Daten mussten aufbereitet und zur späteren Vereinfachung der Eingabe in Matrizenform gebracht werden (siehe Abschnitt 4.1.3). Bis zu diesem Punkt war der Zeitaufwand für beide Bemessungsverfahren identisch. Der Arbeitsschritt „Eingabe der Verkehrsstärken“ war in beiden Verfahren ebenfalls von gleicher Dauer. Bei der ersten Bearbeitung des Knotens 1 mit WebSimTra war die Bemessungstätigkeit mit dem Abschicken der eingegebenen Daten beendet, ab diesem Zeitpunkt hing die Dauer bis zum Vorliegen des Ergebnisses nicht mehr vom Anwender ab. Es vergingen 24 Stunden, bis die Ergebnisdatei mit den mittleren Wartezeiten und den Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs vorlag. Bei allen folgenden Online-Bemessungen wurden die Daten direkt in den Rechner eingegeben, auf dem WebSimTra und VISSIM installiert waren. Die Handrechnung auf dem Formblatt und die Simulation und Auswertung in VISSIM und WebSimTra nahmen unterschiedlich viel Zeit in Anspruch. Eine protokollarische Auflistung der benötigten Arbeitszeiten für die erforderlichen Arbeitsschritte findet sich in folgender Tabelle 5.3.

Tabelle 5.3: Dauer der Arbeitsschritte in Minuten

	HBS		WebSimTra
Vorbereitung			
Kopien anfertigen	2		-
Dateneingabe			
Eingabe der Verkehrsstärken für jede Fahrzeugart	5	Eingabe der Verkehrsstärken für jede Fahrzeugart	5
Rechengang			
Aufsummierung zu Verkehrsstärken in Zufahrt bzw. Kreisfahrbahn	5	Simulation in VISSIM	5 (3-7)
Übertrag, Eintragung der Anzahl querender Fußgänger	5		
Umrechnung, Grundkapazität	10		
Abminderungsfaktor, Kapazität, Kapazitätsreserve	2		
Auswertung			
mittleren Wartezeiten abgelesen	1	Auswertung in WebSimTra	5 (3-7)
gesamte Dauer			
	30		15

Der Vergleich der Zeitaufwendungen beider Bemessungsverfahren macht deutlich, dass das HBS-Verfahren doppelt so viel Zeit erfordert wie das Simulationsverfahren.

5.1.7 Arbeitserleichterung

Bereits im Abschnitt 1.3.2 wurde darauf verwiesen, dass die Online-Simulation zu dem Zweck geschaffen wurde, dem Anwender mikroskopischer Verkehrsflusssimulationen Einsparungen im Bezug auf den zu betreibenden Aufwand zu ermöglichen. Das Programm generiert automatisch die Geometrie eines Knotenpunkts und stattet diesen mit allen Attributen aus, die in VISSIM für die Arbeit mit diesem Knotenpunkt benötigt werden. Auf diese Weise entfällt der Hauptteil der Arbeit, die sonst bei der ausschließlichen Arbeit mit VISSIM aufgebracht werden müsste. Im Vergleich mit der direkten Arbeit an VISSIM ist der Grad der Arbeitserleichterung durch WebSimTra demnach hoch.

Der Vergleich der Arbeitsaufwände beim HBS-Verfahren bzw. bei WebSimTra bezieht sich auf andere Aspekte. Im Vorfeld der HBS-Bemessung ist die Beschaffung von Ausgangsdaten der Verkehrsstärken erforderlich. An diesem Punkt gleichen sich die Bemessungsverfahren, da auch für die Arbeit mit WebSimTra solche Verkehrsdaten vorliegen müssen. Dem HBS würde zur überschlägigen Berechnung die Angabe der Verkehrsstärke in der Einheit Fz/h genügen, über den vorgegebenen Umrechnungsfaktor 1,1 könnte aus dieser verallgemeinernden Angabe die nötige Einheit Pkw-E/h gewonnen werden. Bei WebSimTra ist die Eingabe von Verkehrsstärken in dieser Einheit nicht möglich. Für ein genaueres Ergebnis ist im HBS-Verfahren die Eingabe von nach Fahrzeugarten getrennten Verkehrsstärken erforderlich, gleiches gilt für die Online-Simulation.

Die Verfahren unterscheiden sich in der Zusammenstellung der in die Betrachtung eingehenden Verkehrsmittel, welche in jeweils fünf Gruppen unterteilt werden. Während das HBS mit Personenkraftwagen, Lastzügen, Krafträdern, Radfahrern und in einer Gruppe zusammengefasster Lastkraftwagen und Bussen arbeitet, um die Zusammensetzung des Verkehrsstroms zu kennzeichnen, tut WebSimTra dies mit den Gruppen Pkw, Lkw, Lz, Bus und Rad. Krafträder finden keine Berücksichtigung, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit jedoch der Pkw-Gruppe zugerechnet, um vergleichbare Resultate zu erzielen. Es erfordert in beiden Verfahren den gleichen Arbeitsaufwand, die erfassten

Verkehrsstärken der sechs Fahrzeugarten in jene unterschiedlichen fünf Gruppen einzuteilen.

Die Dateneingabe erfolgt in beiden Verfahren in Tabellenform, wobei jeder einzelne Knotenstrom in der Form „von Zufahrt X nach Zufahrt Y“ eingegeben wird. Bei der Online-Simulation mussten anschließend lediglich einzelne Schaltflächen in der Programmoberfläche betätigt werden, die eigentliche Rechenarbeit wurde dann von WebSimTra und VISSIM ausgeführt. In der HBS-Bemessung mussten die Rechenschritte vom Anwender durchgeführt werden, dies führt zu einem deutlich erhöhten Arbeitsaufwand, der zudem fehleranfällig ist (siehe dazu Abschnitt 5.1.4). Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass durch WebSimTra eine Arbeitserleichterung gegenüber der HBS-Bemessung ermöglicht wird, da das Programm dem Nutzer die Rechenarbeit abnimmt.

5.1.8 Individualisierbarkeit

Das Formblatt des HBS ist unveränderlich in seinem Aufbau gestaltet. Es schreibt durch seine Strukturierung dem Anwender die nacheinander auszuführenden Schritte vor. Es ist jedoch möglich, das Formblatt dahingehend den persönlichen Ansprüchen des Nutzers anzupassen, dass es in jedweder Aufbereitung kopiert werden kann. Müssen, wie im Rahmen der vorliegenden Arbeit, mehrere Knotenpunkte bemessen werden, ist es möglich, Vervielfältigungen eines für alle Knotenpunkte passend vorbereiteten Blatts anzufertigen. Im konkreten Fall werden z.B. ausschließlich einstreifige Kreisverkehrsplätze mit einstreifigen Zufahrten betrachtet. Die entsprechende Eintragung in Spalte 9 des Formblatts kann im Vorfeld stattfinden und findet sich dann auf allen Kopien wieder. Ebenso bleiben die Angaben zu den Zielvorgaben der mittleren Wartezeit bzw. der Qualitätsstufe gleich. Für die Eingabe der Knotenströme, getrennt nach Fahrzeugarten, werden fünf Ausfertigungen der ersten Seite des Formblatts benötigt. Dabei müssen die Straßennamen nur auf ein Blatt eingetragen werden, die restlichen vier können wiederum Vervielfältigungen sein.

WebSimTra ist eine Software, die keine Möglichkeit bietet Kopien anzufertigen, die den individuellen Bedürfnissen des Anwenders angepasst werden können. Eine Möglichkeit

der rechnergestützten Individualisierung wäre die Installation eines so genannten Cookies auf dem Rechner des Anwenders. Bei einer erneuten Nutzung des Programms würden so bereits einmal getätigte Angaben automatisch in die entsprechenden Felder des Formulars eingetragen werden. Die Installation eines solchen Cookies wird vom Programm nicht vorgeschlagen. Eine andere Möglichkeit wäre die Einrichtung eines passwortgeschützten Bereichs, in dem persönliche Einstellungen vorgenommen werden könnten. Aber auch das ist auf der Internetseite der Online-Simulation in dieser Form nicht zu finden. Der Nutzer ist somit gezwungen, bei jeder einzelnen Bemessung immer alle Angaben neu zu tätigen, auch wenn sie bei allen Bemessungen identisch sind. Der Grad der Individualisierbarkeit ist beim HBS-Verfahren höher anzusetzen als bei WebSimTra.

5.1.9 Benutzerführung und Hilfestellung

Das HBS stellt zur Bemessung eines Kreisverkehrsplatzes das Formblatt 3 zur Verfügung. Dieses ist tabellarisch und entsprechend der Reihenfolge der durchzuführenden Arbeitsschritte aufgebaut und soll auf diese Weise ein zielgerichtetes, zügiges und fehlerfreies Arbeiten ermöglichen. Die für die Bemessung notwendigen Gleichungen und Diagramme sind nicht auf dem Formblatt enthalten, es wird lediglich auf diese verwiesen. Für den Berechnungsschritt in Spalte 8 wird vorausgesetzt, dass der Anwender Kenntnis oder zumindest Vorstellungsvermögen über die Zusammensetzung der Verkehrsstärken in der Kreisfahrbahn hat. Es werden keine Hinweise gegeben, welche Werte aus der Knotenstromematrix aufsummiert werden müssen. Generell bietet das Formblatt keine Hilfe in Form von erläuternden Texten, Gleichungen oder Skizzen an, mit Ausnahme der Abbildung des Kreisverkehrsplatzes. Aus dieser gehen die Nummerierungen der einzelnen Zufahrten und Kreisabschnitte hervor. Treten Schwierigkeiten im Verständnis des tabellarischen Rechenganges auf, ist der Anwender darauf angewiesen, direkt in das Handbuch zu schauen. WebSimTra verfügt auf seiner Internetseite über ein Steuerungsmenü im linken Rahmen, das über den gesamten Verlauf der Dateneingabe sichtbar bleibt und somit zu jedem Zeitpunkt den Zugriff auf alle angebotenen Informationen ermöglicht. In Abbildung 5.1 auf der folgenden Seite wird dies deutlich gemacht.



Abbildung 5.1: Benutzerführung in WebSimTra [WEBSIMTRA 2007]

Die Dateneingabe wird in fünf Schritten durchgeführt. Jede neue Seite verweist in ihrer Überschrift auf den Inhalt, auch die eingebetteten Tabellen erklären sich selbst. Die Eingabe der einzelnen Werte darf dabei nicht mit der „Enter-Taste“ abgeschlossen werden, da dies zu einem Sprung auf die nächste Seite führt. Stattdessen hat der Anwender die Wahl zwischen dem Anklicken jeder neuen Tabellenzelle mit der Computermaus und dem Betätigen der Tabulatortaste auf der Tastatur. Mit dieser springt der Zeiger in den Tabellen erst von links nach rechts, dann von oben nach unten. Nach der Eingabe aller Daten gelangt der Nutzer durch Betätigen der Schaltfläche „Weiter“ auf die nächste Seite. Durch die Schaltfläche „Zurück“ ist jederzeit der Aufruf der vorherigen Seite möglich. Allerdings gehen die bis dahin eingegebenen Daten der aktuellen Seite verloren und müssen erneut eingegeben werden. Wird, wie im Rahmen der vorliegenden Arbeit, nicht nur mit der Internetoberfläche gearbeitet, sondern direkt mit dem Programm, zeigt sich auch dort eine übersichtliche und leicht verständliche Benutzerführung auf der Steuerungskartei. Dort befinden sich fünf untereinander angeordnete Schaltflächen, die lediglich nacheinander betätigt werden müssen.

Beiden Bemessungsverfahren kann bezüglich der Dateneingabe eine gelungene Benutzerführung bescheinigt werden. Für die eigentliche Berechnung und Auswertung braucht WebSimTra dem Anwender keine Hilfe oder Unterstützung anzubieten, da diese Schritte automatisch erfolgen. Die Bearbeitung des HBS-Formblatts kann hingegen für ungeübte Nutzer nur mit Hilfe des Handbuchs erfolgen.

5.1.10 Zusammenfassung

In nachstehender Tabelle werden die gewonnenen Erkenntnisse noch einmal aufgeführt. Dabei erfolgt eine Gegenüberstellung der Bemessungsverfahren mit einer Kennzeichnung der Vor- bzw. Nachteile der beiden.

Tabelle 5.4: Erfüllung der Prüfkriterien

Prüfkriterium	HBS	WebSimTra
Aufgabenangemessenheit	erfüllt; Bandbreite der möglichen zu bemessenden Knotenpunkte ging über getroffene Auswahl hinaus	erfüllt; Beschränkung auf maximal vier Knotenarme führte zur Einschränkung der Knotenauswahl
Richtigkeit	(Vergleichsgrundlage)	zweifelhaft; teilweise große Abweichungen von HBS-Ergebnissen
Sensibilität	gering; Wegfall der Radfahrer führte zu lediglich geringen Änderungen	hoch; Wegfall der Radfahrer führte zu Beurteilungswechsel der Funktionsfähigkeit eines Knotens
Fehleranfälligkeit und Korrigierbarkeit	hoch / gut; selbst auszuführende Rechenschritte bergen hohes Fehlerrisiko	gering / weniger gut; lediglich Eingaben nötig, bei rückwirkender Korrektur gehen eingegebene Daten verloren
Reproduzierbarkeit	erfüllt; unveränderte Eingangsdaten bringen identisches Ergebnis	erfüllt; unveränderte Eingangsdaten bringen identisches Ergebnis
Zeitersparnis	(Vergleichsgrundlage)	hoch; Bemessung dauert nur halb so lang wie mit dem HBS
Arbeits erleichterung	(Vergleichsgrundlage)	hoch; automatische Durchführung der Berechnung
Individualisierbarkeit	hoch; leichtes Anfertigen von Kopien, die auf persönliche Bedürfnisse angepasst wurden	sehr gering; keine Cookies, kein individueller Nutzerbereich
Benutzerführung und Hilfestellung	gut / weniger gut; logischer Tabellenaufbau, keine Erläuterungen auf Formblatt	gut / gut; selbst erklärende Eingabemasken, Suche-Funktion, FAQ

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Ausgehend von den soeben beschriebenen Erkenntnissen aus der Arbeit mit den beiden Bemessungsverfahren soll im folgenden Abschnitt der Versuch unternommen werden, mögliche Gründe und Ursachen für die verschiedenen Reaktionen der einzelnen Verfahren herauszuarbeiten. Dabei geht es vorrangig um die festgestellten Differenzen in der Beurteilung der Funktionsfähigkeit einzelner Kreisverkehre und um den unterschiedlichen Grad der Sensibilität. Andere im vorherigen Abschnitt beschriebene Kriterien werden ebenfalls dahingehend untersucht, inwieweit sich daraus Konsequenzen für die zukünftige Arbeit mit beiden Bemessungsverfahren ableiten lassen.

5.2.1 Mittlere Wartezeiten und Rückstaulängen

In Abschnitt 5.1.2 konnte beobachtet werden, dass die von beiden Bemessungsverfahren generierten mittleren Wartezeiten zum Teil sehr deutlich voneinander abwichen. Dies war in diesem Maße nicht zu erwarten, wurde auf den Seiten von WebSimTra doch darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse zwar nicht deckungsgleich mit denen aus der HBS-Bemessung wären, sie sich „jedoch in ähnlichen Größenordnungen bewegen“ [WEBSIMTRA 2007]. Eventuell auftretende Differenzen seien darauf zurückzuführen, dass die Software „eine Reihe von Einflüssen berücksichtigt, die im HBS nicht behandelt werden“, u.a. den „Einfluss von querenden Fußgängern und separat geführten Radfahrern an Vorfahrtknoten bzw. in den Zufahrten von Kreisverkehrsplätzen“. Nun schließt aber die Bemessung von Kreisverkehrsplätzen nach dem Verfahren des HBS querende Fußgänger sehr wohl in die Betrachtungen mit ein. Aus dem Vergleich der zwei Bemessungen des Knotens 4 mit den ursprünglichen Eingangsdaten bzw. unter Vernachlässigung der querenden Fußgänger wird deutlich, dass sich die Ergebnisse beim HBS-Verfahren nicht ändern, bei WebSimTra lediglich minimal.

Das kann einerseits dadurch begründet werden, dass die Verkehrsstärke der querenden Fußgänger und Radfahrer an den Auswahlknoten insgesamt nicht sehr hoch ist und deshalb generell keine signifikanten Auswirkungen auf den Verkehrsfluss hat. Ein anderer Grund könnte darin liegen, dass beide Verfahren den realen Einfluss von querenden Fußgängern in den Zufahrten und Ausfahrten eines Kreisverkehrs unzureichend abbilden. Während beide Verfahren den Vorrang der Fußgänger in den Ausfahrten des Kreisverkehrs

berücksichtigen, unterscheiden sie sich in der Regelung in den Zufahrten. Sowohl das HBS als auch WebSimTra gehen zwar davon aus, dass kein gekennzeichnete Fußgängerüberweg angelegt ist und somit die Fußgänger keinen Vorrang vor den Fahrzeugen in der Zufahrt genießen. Setzt WebSimTra dies jedoch konsequent in seiner Bemessung um und lässt die Fußgänger so lange warten, bis sich eine Lücke zwischen den Fahrzeugen anbietet, so rechnet das HBS mit dem Entgegenkommen der Fahrzeugführer, welche „nach aller Erfahrung an kleinen Kreisverkehren auch ohne Fußgängerüberwege“ den Fußgängern den Vortritt einräumen [HBS 2005].

Gründe für die weitgehende Übereinstimmung der Bemessungsergebnisse der Knoten 2, 5, 8 und 10 einerseits sowie die teils große Differenz der mittleren Wartezeiten und Rückstaulängen an den Knoten 1, 3, 4, 6 und 9 andererseits, sind die Gesamtverkehrsstärken. An den Knotenpunkten mit geringen Gesamtverkehrsstärken kommen beide Verfahren übereinstimmend zu ihrer Einschätzung der vollen Funktionsfähigkeit des Kreisverkehrs. An den Knoten mit hohen Gesamtverkehrsstärken gehen die Resultate teils weit auseinander. Dies kann damit zusammenhängen, dass sich WebSimTra oder besser VISSIM ab bestimmten Grenzwerten der Verkehrsbelastung sozusagen „aufschaukelt“ und Größenordnungen mittlerer Wartezeiten oder Rückstaulängen generiert, die in der Realität in dieser Form nicht auftreten. Das HBS setzt dem Grenzen und gibt deshalb im Diagramm auf Seite 7-46 des Handbuchs mittlere Wartezeiten größer als 80 Sekunden gar nicht erst an.

5.2.2 Reaktionen auf Änderung der Verkehrsdaten

Im Abschnitt 5.1.3 wurde beschrieben, dass die Bemessungsverfahren in sehr unterschiedlicher Weise auf den Umstand reagierten, dass für einen erneuten Bemessungsdurchlauf die Radfahrer nicht mehr auf der Fahrbahn verkehrten, sondern stattdessen als zusätzliche Verkehrsbelastung an den Querungsstellen der Zu- und Ausfahrten betrachtet wurden. An den Knoten 1 und 6 führte dies zu keinen nennenswerten Veränderungen in der Gesamtbeurteilung des Kreisverkehrs. Dies könnte auf die hohen Verkehrsstärken der Kraftfahrzeuge und die gleichzeitig im Verhältnis sehr geringen Verkehrsstärken der Radfahrer zurückzuführen sein. Am Knoten 4 änderte sich jedoch die Gesamtbeurteilung, insbesondere durch WebSimTra, grundlegend. Bei einer moderaten Gesamtverkehrsstärke

weisen die Radfahrer einen überdurchschnittlichen Anteil am Gesamtverkehrsaufkommen auf. Im Verfahren des HBS schlägt sich dieser Umstand nur begrenzt nieder, da durch die Umrechnung aller Fahrzeuge in Pkw-Einheiten kein Unterschied zwischen 50 Personenkraftwagen oder 100 Radfahrern besteht. Spezielle Charakteristiken eines Radfahrers wie z.B. Wunschgeschwindigkeit, Beschleunigungsvermögen oder Sicherheitsbedürfnis werden nicht berücksichtigt. Diese Vereinheitlichung ist möglicherweise eine Konsequenz aus der makroskopischen Sichtweise des HBS-Verfahrens. Hingegen verwendet das mikroskopische WebSimTra für jeden Radfahrer diese vordefinierten Eigenschaften und schafft dadurch eine genauere Abbildung der tatsächlichen Verhältnisse. Daraus resultiert, dass während des Simulationslaufs der Tatsache Rechnung getragen wird, dass ein Radfahrer unmittelbar vor seiner Einfahrt in den Kreisverkehr und in der Kreisfahrbahn selbst von anderen Verkehrsteilnehmern nicht überholt werden kann. Er bremst damit den gesamten Verkehrsfluss hinter sich auf seine momentane Geschwindigkeit ab. Erst wenige Meter hinter der Ausfahrt kann er wieder überholt werden. Werden die Radfahrer nun separat geführt und queren wie die Fußgänger die Aus- und Zufahrten, können die Kraftfahrzeuge in den Kreisverkehr einfahren, den Kreisring befahren und wieder verlassen, ohne zusätzliche Behinderung durch langsame Radfahrer. Dass die nun zusätzlich auftretenden Querungsfälle den „Zeitgewinn“ nicht wieder aufzehren, hängt mit der generell geringen Verkehrsstärke der querenden Fußgänger und Radfahrer zusammen. Ein querender Radfahrer beeinträchtigt den Verkehrsfluss demnach weniger als der gleiche Radfahrer auf der Fahrbahn. Diesen Umstand berücksichtigt das HBS nicht.

Werden die Erkenntnisse aus den Abschnitten 5.2.1 und 5.2.2 gebündelt, kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Ergebnisse der Bemessungsverfahren umso stärker voneinander abweichen, je mehr eine hohe Gesamtverkehrsstärke mit einem hohen Radfahreranteil einhergeht. Bei geringen Gesamtverkehrsstärken ohne nennenswerte Radfahreranteile ähneln sich die Werte der mittleren Wartezeiten und Rückstaulängen.

5.2.3 Weitere Aspekte

Die Berechnungen auf der Grundlage identischer Ausgangswerte führten bei der HBS-Bemessung immer zu identischen Ergebnissen. Darin liegt der große Vorteil von

Rechnungen mit Formblatt, nämlich „dass jeder Bearbeiter das gleiche Ergebnis erhält“ [HOLZBERGER 2001]. Ursache dafür ist der Umstand, dass das Verfahren keinerlei stochastische Variablen beinhaltet. Alle Kenndaten, die Eingang in die verwendeten Gleichungen und Diagramme gefunden haben, bleiben über alle Rechengänge unverändert. Die Simulation des Verkehrsflusses in WebSimTra oder genauer gesagt in VISSIM ist hingegen von Zufallsvariablen abhängig, die frei gewählt werden können. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung bestand die Simulation eines Kreisverkehrs in VISSIM aus insgesamt fünf nacheinander ablaufenden Berechnungsschleifen. Die Ergebnisse aus den fünf Bemessungsläufen sind untereinander nicht identisch, am Ende werden die Ergebnisse gemittelt. Dabei startete das Programm aber immer mit der gleichen Zufallszahl in die erste Schleife. Aus diesem Grund führte bei WebSimTra jede Bemessung mit gleichen Eingabedaten zum gleichen Ergebnis.

Bei der Bewertung der Bemessungsverfahren wurde im Bezug auf deren Aufgabenangemessenheit festgestellt, dass mit dem HBS-Verfahren Kreisverkehrsplätze mit bis zu sechs Zufahrten bemessen werden können, wobei sowohl die Zufahrten als auch die Kreisfahrbahn ein- oder zweistreifig ausgeführt sein dürfen. WebSimTra hingegen kann nur einstreifige Kreisverkehre mit maximal vier Zufahrten bemessen. Die Ursache für diese Einschränkungen liegt darin, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt das Programm aus der Vielzahl möglicher Knotenausformungen nur zwei geometrische Varianten zur Grundlage der Bemessung hat. Dies liegt daran, dass der Aufbau eines Knotens in der VISSIM-Oberfläche sehr viel Zeit beansprucht. Müsste dieser Aufbau in einer vorgeschalteten Software wie WebSimTra programmiert werden, wäre der Arbeitsaufwand noch höher. Auf der Internetseite von WebSimTra wird zumindest angedeutet, dass das Programm dahingehend weiterentwickelt werden soll, dass auch Knotenpunkte mit separaten Rechtsabbiegestreifen („Bypässe“) bemessen werden können [WEBSIMTRA 2007].

Da die Größe des Außendurchmessers der Kreisfahrbahn offensichtlich keine nennenswerten Auswirkungen auf den Grad der Funktionsfähigkeit eines Kreisverkehrs hat, wird dieser geometrische Aspekt in beiden Bemessungsverfahren ausgeblendet. WebSimTra generiert für alle Bemessungen einen 40 m großen Kreisverkehr, das HBS macht diesbezüglich keine Angaben. Es bleibt späteren Arbeiten vorbehalten, die möglichen Auswirkungen der Kreisringgröße auf den Verkehrsfluss zu untersuchen.

Im Abschnitt 5.1.4 wurde ausgeführt, dass die beiden Bemessungsverfahren sich hinsichtlich der Nummerierung und damit der Reihenfolge der Knotenpunktzufahrten unterscheiden. Für Anwender, die mit dem Verfahren des HBS vertraut sind, stellt dies eine zusätzlich mögliche Fehlerquelle dar. Die Gründe für eine Zählung im Uhrzeigersinn von Nord nach West bei WebSimTra sind nicht bekannt, der HBS-Zählung gegen den Uhrzeigersinn von West nach Nord können keine nachteiligen Auswirkungen unterstellt werden. Zudem zieht sich diese Reihenfolge durch den gesamten Aufbau des Handbuchs und geht einher mit der Nummerierung der einzelnen Verkehrsströme von eins bis zwölf.

Die beiden Verfahren arbeiten, wie bereits im Abschnitt 5.1.7 beschrieben, mit leicht unterschiedlichen Gruppierungen der berücksichtigten Fahrzeugarten. Während das HBS die Lastkraftwagen und Busse in einer Gruppe zusammenfasst, betrachtet WebSimTra diese Verkehrsmittel getrennt. Ob sich diese Vorgehensweise signifikant auf die Bemessungsergebnisse auswirkt, müsste in weitergehenden Untersuchungen geklärt werden. Auffällig ist, dass WebSimTra keine Krafträder berücksichtigt, während das HBS sie gesondert erfasst und den Pkw gleichstellt. Ob die Programmierung bei WebSimTra ebenfalls von der Gleichwertigkeit von Pkw und Krad ausgeht und dem Anwender eine in der Aufbereitung der Daten stattfindende Zusammenrechnung beider Fahrzeugarten unterstellt, ist nicht bekannt. Auf der Internetseite wird im Zuge der Eingabe der Verkehrsstärken jedenfalls nicht darauf hingewiesen, dass in die Tabelle der Pkw auch Krafträder eingerechnet werden können bzw. sollen.

5.3 Anregungen und Empfehlungen

Bereits im Vorfeld der eigentlichen Bemessung musste festgestellt werden, dass WebSimTra nicht in der Lage ist, Knotenpunkte mit mehr als vier Zufahrten zu bemessen. Dies führte zu einer Einschränkung bei der Wahl der zu untersuchenden Knotenpunkte. Es scheint wünschenswert, die Palette der berechenbaren Knotenpunkte weiter aufzufächern und auch die Bemessung von fünf- und sechsarmigen Kreisverkehren zu ermöglichen.

In Anbetracht der teils sehr großen Differenzen bei den mittleren Wartezeiten erscheint es empfehlenswert, die Online-Simulation einer nochmaligen Kalibrierung zu unterziehen. In deren Ergebnis sollte die Bemessung mit WebSimTra auch bei hohen Verkehrsstärken mit relativ hohem Radfahreranteil ähnliche Resultate generieren wie das HBS-Verfahren. Voraussetzung dafür wäre, dass die Bemessungsergebnisse des HBS weiterhin als geeignete Vergleichsgrundlage anerkannt bleiben.

Im Bezug auf die Anpassungsfähigkeit der Bemessungsverfahren an die individuellen Bedürfnisse und Wünsche des Anwenders konnte im Abschnitt 5.1.8 festgestellt werden, dass dem HBS-Verfahren ein höherer Grad an Individualisierbarkeit innewohnt als der Online-Simulation. Dieser Nachteil von WebSimTra, der vorrangig der Unterschiedlichkeit der Medien geschuldet ist, ließe sich jedoch abmildern und in sein Gegenteil verkehren, wenn die Vorteile der modernen Informationstechnologien voll ausgeschöpft würden. Die Installation von Cookies auf dem Rechner des Nutzers und die Einrichtung einer personen- gebundenen Plattform könnten dem Anwender die Möglichkeit eröffnen, sehr viel Arbeitsaufwand und damit zusätzlich Zeit einzusparen. Etwaige Mehrarbeit durch die Neu- sortierung der vorliegenden Verkehrsdaten (nötig zur zügigen Eintragung in die Eingabe- maske der Internetseite) könnte dadurch verhindert werden, dass die Online-Simulation wie das HBS gegen den Uhrzeigersinn orientiert wird. Eine Angleichung der WebSimTra- Zählweise an jene des HBS sollte überprüft werden.

Im Bezug auf die Überschaubarkeit der im Internet angebotenen Benutzeroberfläche sollte eine Möglichkeit gefunden werden, die Eingabemaske der Verkehrsstärken in ihrer Breite dermaßen zu begrenzen, dass sie komplett einsehbar ist und nicht wie derzeit nur über die Betätigung des Scroll-Balkens. Es wäre eine weitere Verbesserung für den Anwender, wenn nach Abschluss der Dateneingabe die getätigten Eingaben noch einmal visualisiert

würden. Auf diese Weise könnten fehlerhafte Eingaben schnell erkannt und vor dem Abschicken des Formulars korrigiert werden. Dafür wäre es hilfreich, wenn einmal vorgenommene Eintragungen nicht gelöscht würden, wenn zwischen den einzelnen Seiten gesprungen wird. Eine Visualisierung könnte dabei in der gleichen Tabellenform geschehen, wie sie der Anwender bereits aus der Eingabemaske kennt. Eine weitere Möglichkeit wäre die grafische Darstellung der Knotenströme in einer Skizze.

Die genannten Anregungen und Empfehlungen sollen nicht darüber hinweg täuschen, dass es sich bei der Online-Simulation um ein positiv zu beurteilendes Werkzeug handelt, mit dessen Hilfe die Nachteile der aufwändigen und fehleranfälligen Erstellung mikroskopischer Verkehrsflusssimulationen gegenüber der einfachen Handhabung des HBS größtenteils aufgehoben werden. Die Vorteile von WebSimTra liegen in der automatischen Bemessung der Knotenpunkte nach der ebenfalls automatischen Generierung der Knotengeometrie, in seiner hohen Sensibilität, der enormen Zeitersparnis und Arbeitserleichterung sowie der geringen Fehleranfälligkeit.

Literaturverzeichnis

[BRANNOLTE 2000]

Brannolte, U.: Simulationsmodelle im Verkehrswesen - Analyse und spezifische Weiterentwicklungen. Straßenverkehrstechnik, 44. Jg., Heft 6, Hrsg. FGSV, Kirschbaum-Verlag, Bonn 2000, S. 265-269

[BRILON 2005]

Brilon, W. et al.: Fortentwicklung und Bereitstellung eines bundeseinheitlichen Simulationsmodells für Bundesautobahnen. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 918, Hrsg. BMVBW, Bonn Juli 2005

[BRILON 1999]

Brilon, W., Bondzio, L.: Untersuchung von Mini-Kreisverkehrsplätzen in Nordrhein-Westfalen. Straßenverkehrstechnik, 43. Jg., Heft 9, Hrsg. FGSV, Kirschbaum-Verlag, Bonn 1999, S. 428-435

[BRILON 1994]

Brilon, W., Großmann, M., Blanke, H.: Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 669, Hrsg. BMV, Bonn 1994

[BRILON 1974]

Brilon, W.: Warteschlangenmodell des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstraßen, Dissertation an der Universität Karlsruhe, 1974

[KREISVERKEHRE 2006]

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren. Ausgabe 2006. Köln 2006

[UNFÄLLE 2003]

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen. Ausgabe 2003. Köln 2003

[HBS 2005]

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Ausgabe 2001, Fassung 2005. Köln 2005

[HELBING 1997]

Helbing, D.: Verkehrsdynamik - Neue physikalische Modellierungskonzepte. Springer-Verlag, Berlin 1997

[HOLZBERGER 2001]

Holzberger, H.: Mikroskopische Verkehrsflusssimulation - kann sie die Bemessungsverfahren der Richtlinien ersetzen? Tagungsband zum 15. Symposium Simulationstechnik ASIM 2001. Hrsg. Panreck, Dörrscheidt. SCS-Europe BVBA, Ghent 2001, S. 337-342

[KREMSER 1962]

Kremser, H.: Ein zusammengesetztes Wartezeitproblem bei poissonischen Verkehrsströmen. Österreichisches Ingenieurarchiv XVI/3, Wien 1962

[LEUTZBACH 1988]

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

[SCHREIBER 1994]

Schreiber, J.: Beschaffung von Informatikmitteln, 2. Aufl.; Haupt Verlag: Bern et al. 1994, S. 62

[VISSIM 2007]

VISSIM Infobroschüre, Stand: 23.6.2007

[WEBSIMTRA 2007]

www.websimtra.de, Stand: 28.7.2007

[WIEDEMANN 1974]

Wiedemann, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8, Karlsruhe 1974

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1.1: Rückstaulänge (Diagramm)	21
Abbildung 1.2: Knotengeometrie in EVL-Online	25
Abbildung 3.1: Lage der Auswahlknoten.....	39
Abbildung 4.1: Grundkapazität (Diagramm und Gleichung).....	45
Abbildung 4.2: Abminderungsfaktor (Diagramm).....	46
Abbildung 4.3: Mittlere Wartezeiten (Diagramm).....	47
Abbildung 4.4: Eingabe der Knotengeometrie in WebSimTra	49
Abbildung 4.5: Eingabe der Verkehrsmengen in WebSimTra.....	50
Abbildung 4.6: Abschlussformular in WebSimTra.....	50
Abbildung 5.1: Benutzerführung in WebSimTra	65
Abbildung A.1 Einteilung der Unfälle	79
Abbildung A.2: Grafische Einpassung der Kreisverkehre	81
Abbildung C.1: Perzentile der Rückstaulängen	103
Abbildung C.2: Perzentile der Wartezeiten	103
Abbildung C.3: Rückstaulängen jeder Zufahrt	104
Abbildung C.4: Mittlere Wartezeiten jeder Zufahrt.....	104

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1.1:	Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs	21
Tabelle 2.1:	Kriterienkatalog.....	30
Tabelle 3.1:	Unfallhäufungsstellen	33
Tabelle 3.2:	Knotenauswahl	38
Tabelle 5.1:	QSV der Knotenpunkte (mit ursprünglichen Verkehrsdaten).....	54
Tabelle 5.2:	QSV der Knotenpunkte (mit veränderten Verkehrsdaten).....	59
Tabelle 5.3:	Dauer der Arbeitsschritte in Minuten.....	61
Tabelle 5.4:	Erfüllung der Prüfkriterien	66
Tabelle A.1:	Unfalltypensteckkarten	80
Tabelle B.1:	Busverkehrsstärken	86
Tabelle B.2:	Knotenstrompläne	87
Tabelle C.1:	Ergebnisblatt 1 des Knotens 1	103

Anhang A Knotenauswahl

Dieser Anhang enthält:

- die Unfalltypensteckkarten in Anhang A.1 und
- die grafische Einpassung der Kreisverkehre in Anhang A.2

A.1 Unfalltypensteckkarten

Die Vorauswahl der zu untersuchenden Knotenpunkte im Abschnitt 3.1 bezog sich u.a. auf die Auswertung von Unfalltypensteckkarten. Die von der Polizeiinspektion Weimar zur Verfügung gestellten Ein- bzw. Dreijahreskarten werden ausschnittsweise auf den nachstehenden Seiten abgebildet. Die Einjahreskarte wird mit 1-JK gekennzeichnet und beinhaltet alle Unfälle über eine Dauer von 12 Monaten. Die verwendete Dreijahreskarte trägt die Kennzeichnung 3-JK(P) und umfasst alle Unfälle mit Personenschaden über die Dauer von 36 Monaten [UNFÄLLE 2003,18]. Der Meldestand aller aufgeführten Karten ist das Jahr 2006. Aus diesen Karten gehen Unfalltyp und Unfallkategorie sowie die Unfallumstände hervor. Dabei nehmen die Steckkarten Bezug auf die Diagramme in der folgenden Abbildung A.1, welche aus [UNFÄLLE 2003] entnommen wurden.

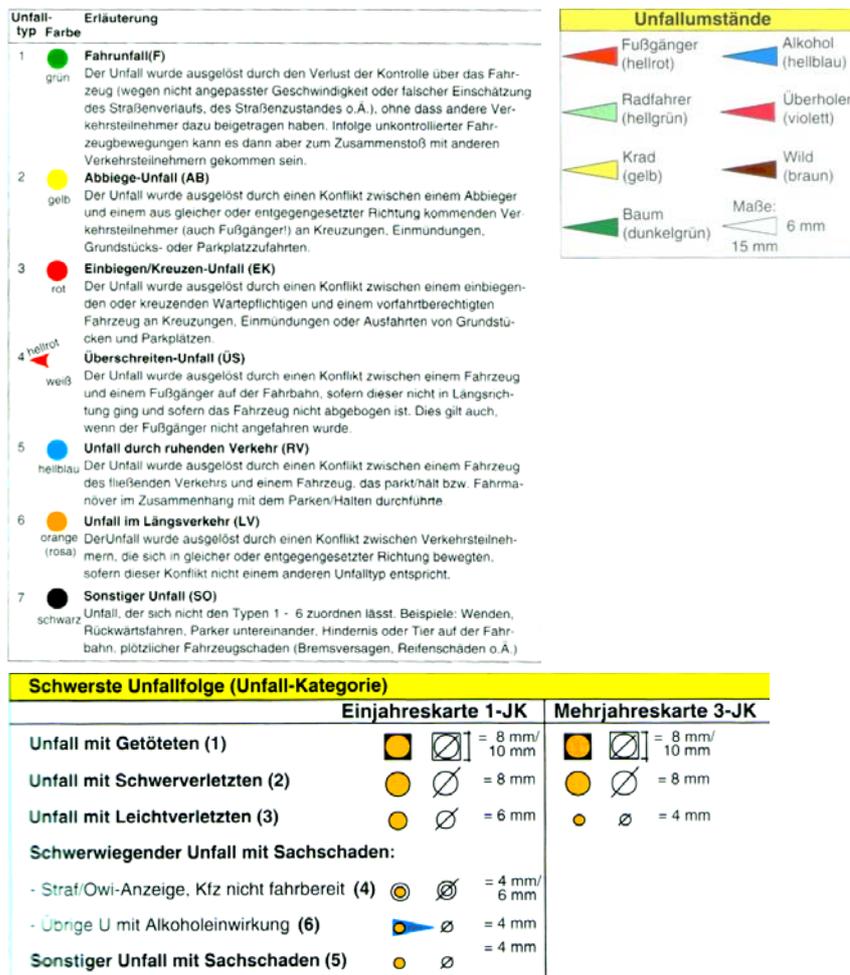
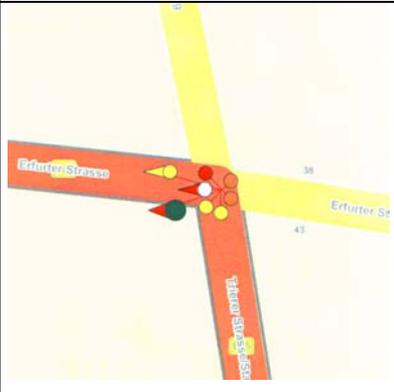
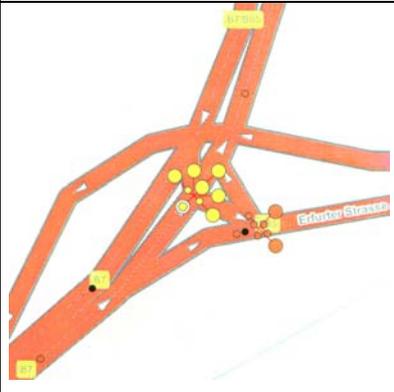
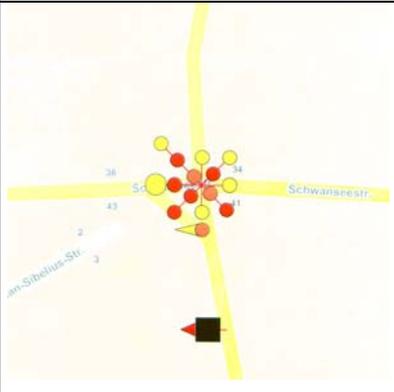


Abbildung A.1: Einteilung der Unfälle [UNFÄLLE 2003]

Ausschnitt folgender Unfalltypensteckkarten werden abgebildet:

- 1-JK des Knotens 1 (Friedensstraße / Friedrich-Ebert-Straße),
- 3-JK(P) des Knotens 2 (Humboldtstraße / Niedergrunstedter Weg),
- 3-JK(P) des Knotens 4 (Friedensstraße / Karl-Liebknecht-Straße),
- 1-JK des Knotens 5 (Ettersburger Straße / Umgehungsstraße),
- 3-JK(P) des Knotens 6 (Erfurter Straße / Stadtring),
- 1-JK des Knotens 7 (Erfurter Straße / Umgehungsstraße) und
- 3-JK(P) des Knotens 9 (Schwanseestraße / Stadtring).

Tabelle A.1: Unfalltypensteckkarten

		
1-JK des Knotens 1	3-JK(P) des Knotens 2	3-JK(P) des Knotens 4
		
1-JK des Knotens 5	3-JK(P) des Knotens 6	1-JK des Knotens 7
		
3-JK(P) des Knotens 9		

A.2

Grafische Einpassung der Kreisverkehre



Abbildung A.2: Grafische Einpassung der Kreisverkehre

Anhang B Verkehrsstärken und Knotenströme

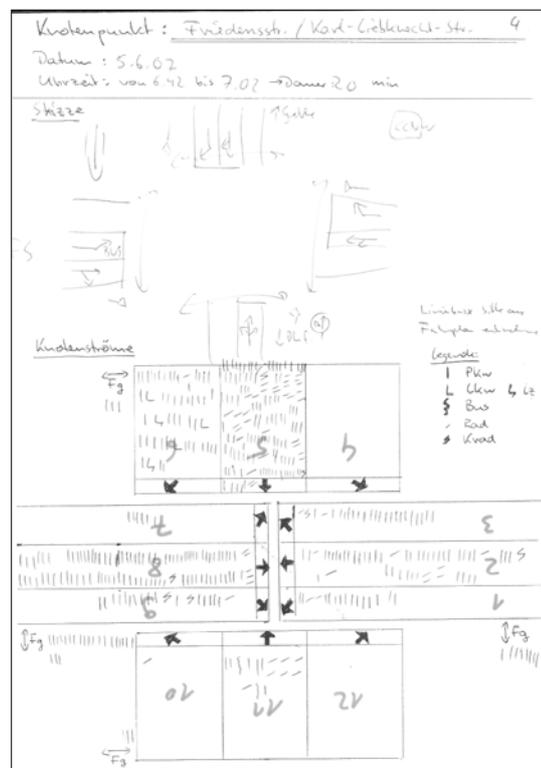
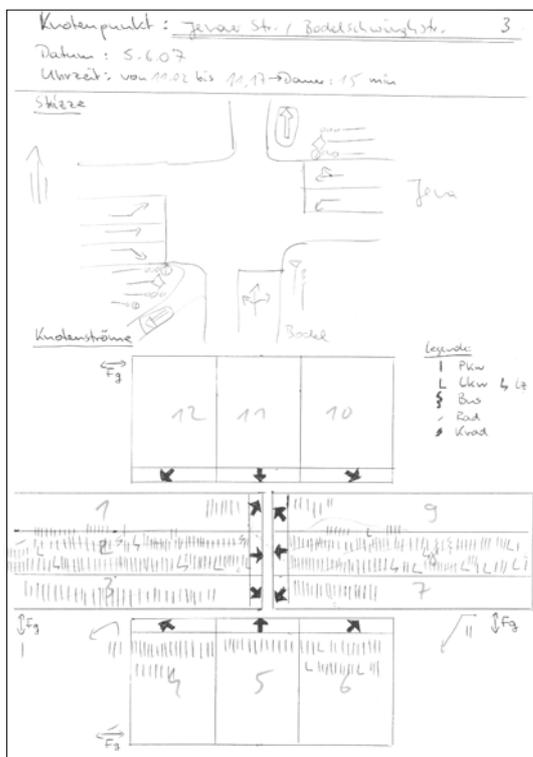
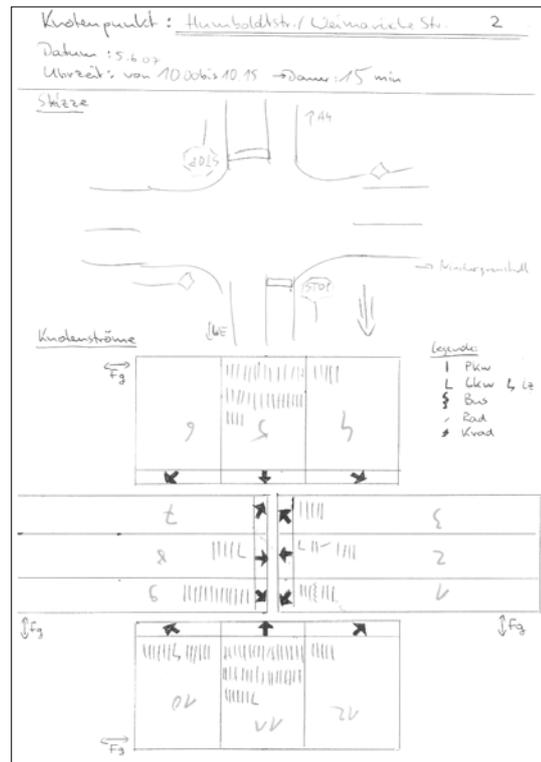
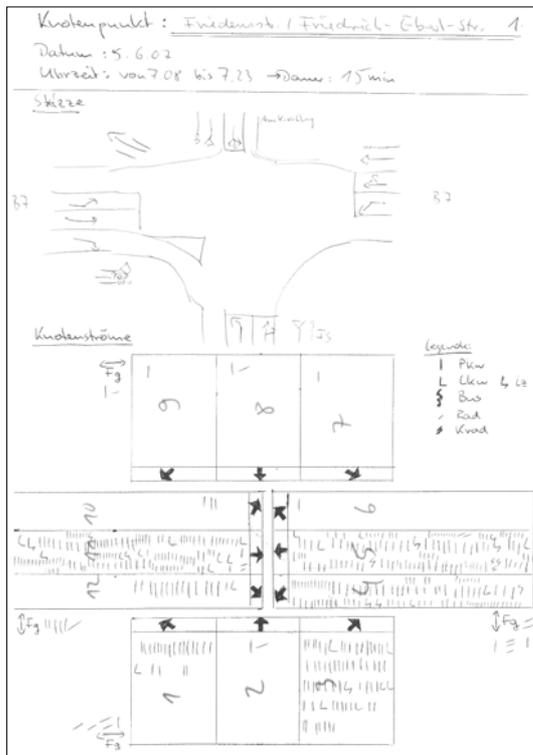
Wie in Abschnitt 4.1 angeführt, wurden die Verkehrsstärken an den Auswahlknoten über zwei Wege ermittelt. Zum einen wurden Verkehrserhebungen durchgeführt und die Busverkehrsstärken aus dem Fahrplanheft ermittelt, zum anderen wurden Knotenstrompläne aus dem „Verkehrsmodell Weimar“ bezogen. Letztere wurden mit Daten aus den Erhebungen modifiziert und zur Grundlage der endgültigen Festlegung der Bemessungsverkehrsstärken.

In diesem Anhang aufgeführt sind:

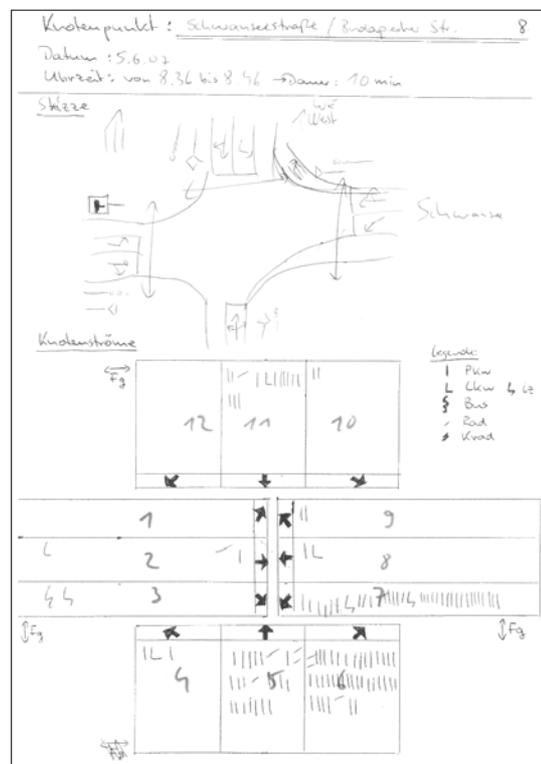
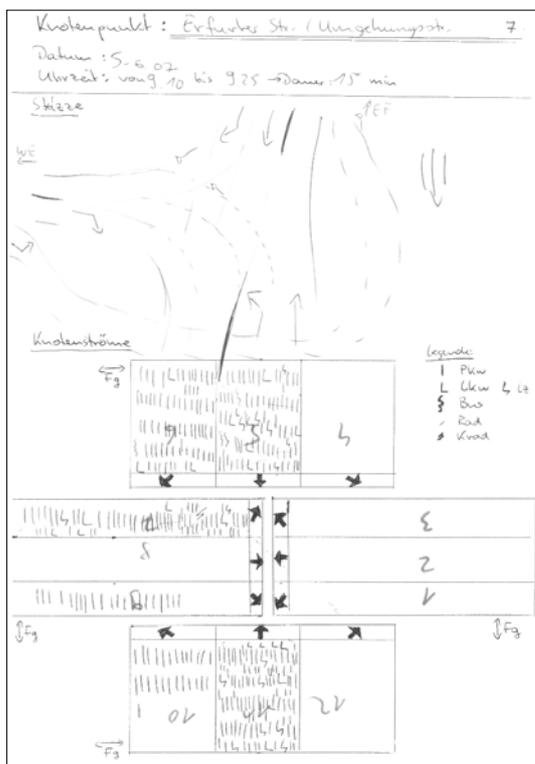
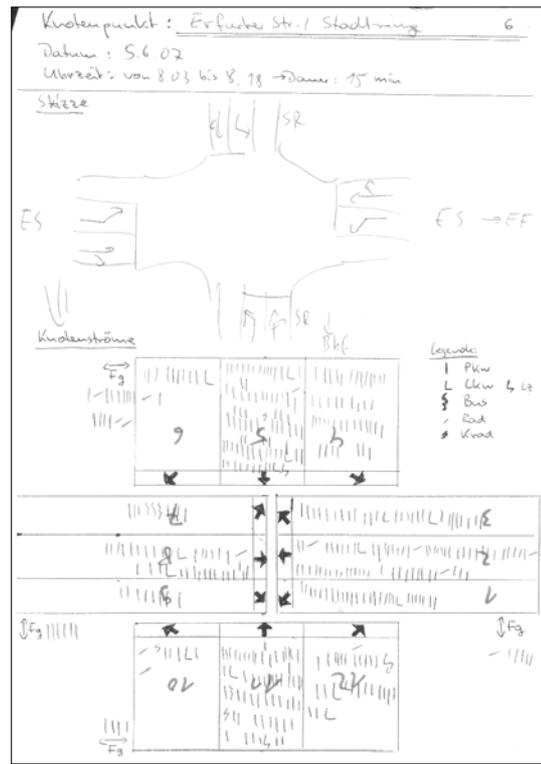
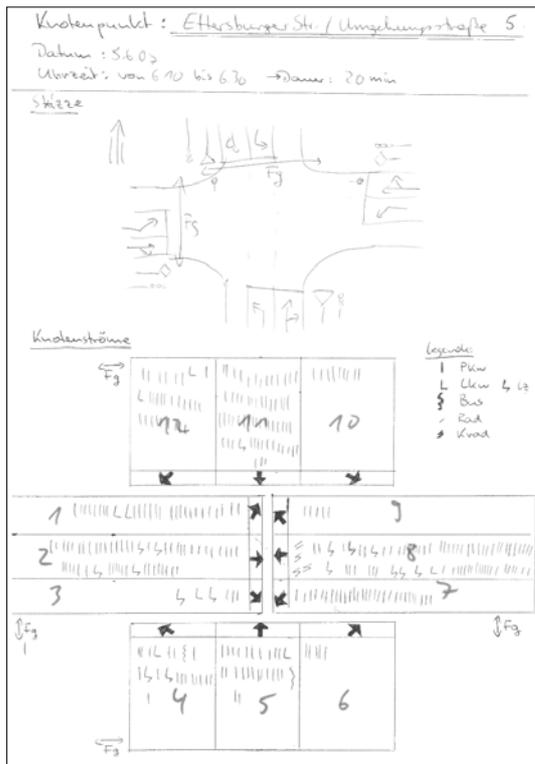
- die Protokolle der Verkehrserhebungen als Anhang B.1,
- die Auflistung der ermittelten Busverkehrsstärken als Anhang B.2,
- die Knotenstrompläne aus dem „Verkehrsmodell Weimar“ als Anhang B.3 sowie
- die endgültigen Bemessungsverkehrsstärken für alle Knotenpunkte als Anhang B.4.

B.1 Protokolle der Verkehrserhebungen

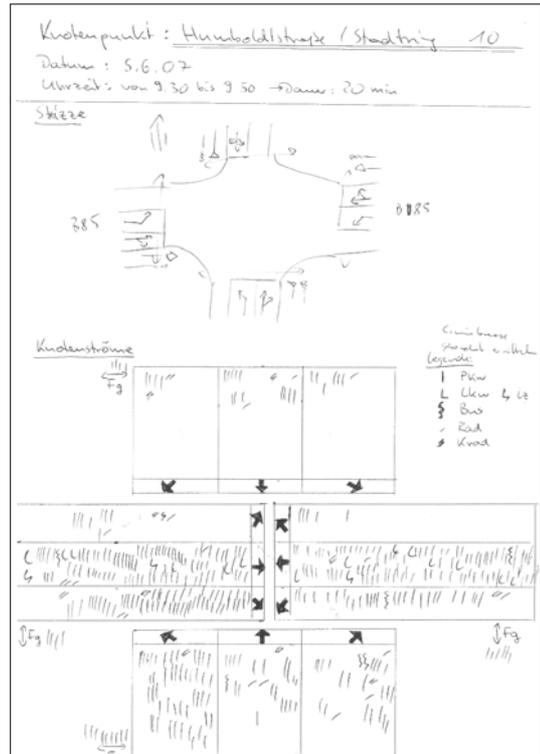
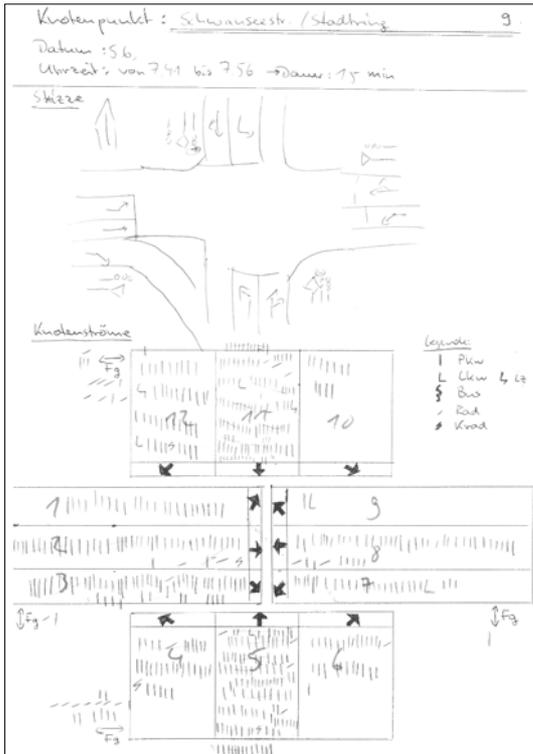
Protokolle der Verkehrserhebung an den Knoten 1, 2, 3 und 4



Protokolle der Verkehrserhebung an den Knoten 5, 6, 7 und 8



Protokolle der Verkehrserhebung an den Knoten 9 und 10



B.2 Busverkehrsstärken

Tabelle B.1: Busverkehrsstärken

Knotenpunkt-Bez.	1			2			3			4			5		
	Stadtbus	Regionalbus	Busse												
Knotenstromnummer	1	0	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0
	3	4	1	5	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0
	4	4	1	5	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	0	0	0	7	8	15	2	2	4
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	9	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	9	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	11	0	0	0	1	1	0	0	0	6	8	14	2	2	4
	12	5	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt-Fahrzeuge	18	2	20	4	0	4	8	2	10	30	18	48	4	4	8
Knotenpunkt-Bez.	6			7			8			9			10		
Knotenstromnummer	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	3	0	1	1	0	0	0	0	0	4	1	5	0	0	0
	4	0	1	1	0	0	0	0	0	4	1	5	0	0	0
	5	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	2	0	2
	6	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	2
	8	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	9	4	1	5	0	0	4	0	4	4	0	4	4	0	4
	10	4	1	5	0	0	4	0	4	4	0	4	0	0	0
	11	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt-Fahrzeuge	10	4	14	0	2	2	2	4	6	16	2	18	8	4	12

B.3 Knotenstrompläne des „Verkehrsmodells“

Tabelle B.2: Knotenstrompläne [ANALYSE]

<p>Knoten 1</p>	<p>Knoten 2</p>
<p>Knoten 3</p>	<p>Knoten 4</p>
<p>Knoten 5</p>	<p>Knoten 6</p>

B.4 Bemessungsverkehrsstärken

Knoten	Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße									
1	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz	
	1	250	10	0	10	0	0	270	270	
	2	10	0	0	0	0	10	20	10	
	3	470	40	10	10	0	0	530	530	
	4	380	10	0	10	0	0	400	400	
	5	460	20	10	0	10	10	510	500	
	6	10	0	0	0	0	0	10	10	
	7	10	0	0	0	0	0	10	10	
	8	10	0	0	0	0	10	20	10	
	9	10	0	0	0	0	0	10	10	
	10	10	0	0	0	0	0	10	10	
	11	500	30	10	0	0	10	550	540	
	12	110	10	0	10	0	0	130	130	
	gesamt	2230	120	30	40	10	40	2470	2430	

Knoten	Humboldtstr./Niedergrunstedter Weg									
2	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz	
	1	25	0	0	5	0	0	30	30	
	2	5	5	0	0	0	10	20	10	
	3	20	0	0	0	0	0	20	20	
	4	20	0	0	0	0	0	20	20	
	5	195	0	0	5	0	0	200	200	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	25	5	0	0	0	0	30	30	
	9	30	0	0	0	0	0	30	30	
	10	25	0	5	0	0	0	30	30	
	11	210	5	0	5	0	0	220	220	
	12	35	0	0	5	0	0	40	40	
	gesamt	590	15	5	20	0	10	640	630	

Knoten	Jenaer Straße/Bodelschwingstraße									
3	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz	
	1	10	0	0	0	0	0	10	10	
	2	530	10	10	10	10	10	580	570	
	3	425	0	0	5	0	0	430	430	
	4	195	0	0	5	0	0	200	200	
	5	60	0	0	0	0	0	60	60	
	6	90	10	0	0	0	0	100	100	
	7	110	0	0	0	0	0	110	110	
	8	600	30	10	10	0	0	650	650	
	9	25	0	0	5	0	0	30	30	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	
	gesamt	2045	50	20	35	10	10	2170	2160	

Knoten	Friedensstraße/Karl-Liebknecht-Straße									
4	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz	
	1	20	0	0	0	0	10	30	20	
	2	280	0	0	0	10	50	340	290	
	3	30	0	0	0	0	10	40	30	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	320	0	0	20	10	100	450	350	
	6	350	20	20	10	0	10	410	400	
	7	10	0	0	10	0	0	20	20	
	8	290	10	0	0	10	20	330	310	
	9	190	0	0	0	10	20	220	200	
	10	10	0	0	0	0	0	10	10	
	11	0	0	0	20	0	20	40	20	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	
	gesamt	1500	30	20	60	40	240	1890	1650	

Knoten	Ettersburger Str./Umgehungsstraße								
5	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz
1	40	10	0	0	0	0	0	50	50
2	220	0	20	0	0	0	0	240	240
3	10	10	0	0	0	0	0	20	20
4	70	10	10	0	0	0	0	90	90
5	260	10	0	10	0	0	0	280	280
6	60	0	0	0	0	0	0	60	60
7	80	0	0	0	0	0	0	80	80
8	170	10	20	0	10	0	0	210	210
9	30	0	0	0	0	0	0	30	30
10	30	0	0	0	0	0	0	30	30
11	270	0	10	10	0	0	0	290	290
12	70	10	0	0	0	0	0	80	80
gesamt	1310	60	60	20	10	0	0	1460	1460

Knoten	Erfurter Straße/Stadtring								
6	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz
1	35	5	0	0	0	0	0	40	40
2	280	5	0	5	0	0	20	310	290
3	135	10	0	5	0	0	0	150	150
4	255	0	0	5	0	0	0	260	260
5	500	20	10	0	10	10	10	550	540
6	45	5	0	0	0	0	10	60	50
7	115	0	0	5	0	0	0	120	120
8	125	10	0	5	0	0	10	150	140
9	40	0	0	10	0	0	0	50	50
10	60	10	0	10	20	40	140	140	100
11	480	15	10	5	10	0	520	520	520
12	35	5	10	0	0	0	10	60	50
gesamt	2105	85	30	50	40	100	2410	2310	2310

Knoten	Erfurter Straße/Umgehungsstraße								
7	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	400	20	30	20	0	0	0	470	470
6	390	20	0	10	0	0	0	420	420
7	195	15	10	0	10	0	0	230	230
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	140	0	0	0	0	0	0	140	140
10	110	0	0	0	0	0	0	110	110
11	590	30	30	20	0	0	0	670	670
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gesamt	1825	85	70	50	10	0	0	2040	2040

Knoten	Schwanseestraße/Budapester Straße								
8	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	5	0	0	0	0	10	20	10
3	0	0	10	0	0	0	0	10	10
4	5	5	0	0	0	0	0	10	10
5	95	0	0	5	0	0	20	120	100
6	145	0	0	5	0	0	10	160	150
7	185	0	10	5	0	0	10	210	200
8	5	5	0	0	0	0	10	20	10
9	10	0	0	0	0	0	0	10	10
10	10	0	0	0	0	0	0	10	10
11	90	5	0	5	0	0	20	120	100
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gesamt	550	20	20	20	0	0	80	690	610

Knoten	Schwanseestraße/Stadtring								
9	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz
	1	110	0	0	0	0	0	110	110
	2	140	0	0	0	10	20	170	150
	3	110	0	0	10	0	0	120	120
	4	90	0	0	10	10	5	115	110
	5	535	5	0	0	10	20	570	550
	6	50	0	0	0	0	5	55	50
	7	85	5	0	0	0	0	90	90
	8	250	0	0	0	0	20	270	250
	9	10	5	0	5	0	0	20	20
	10	25	0	0	5	0	0	30	30
	11	515	10	5	0	0	20	550	530
	12	190	5	5	0	10	0	210	210
	gesamt	2110	30	10	30	40	90	2310	2220

Knoten	Humboldtstraße/Stadtring								
10	Strom	Pkw	Lkw	Lz	Bus	Krad	Rad	Fz	Kfz
	1	20	0	0	0	0	0	20	20
	2	325	10	0	5	0	10	350	340
	3	120	0	0	0	0	0	120	120
	4	210	0	0	0	0	0	210	210
	5	55	0	0	5	0	10	70	60
	6	60	0	0	0	0	10	70	60
	7	125	0	0	5	0	10	140	130
	8	415	10	0	5	0	10	440	430
	9	25	0	0	5	0	0	30	30
	10	20	0	0	0	0	0	20	20
	11	40	0	0	0	0	10	50	40
	12	10	0	0	0	0	0	10	10
	gesamt	1425	20	0	25	0	60	1530	1470

Anhang C Bemessungsprotokolle

Die Bemessung der Knotenpunkte erfolgte zum einen mit den Formblättern des HBS, zum anderen mit der Online-Simulation WebSimTra. Der nun folgende Anhang enthält im ersten Teil die komplette Formblattsammlung für den Knoten 1 und die jeweils zweiten Seiten der Formblätter für die übrigen Knoten. Eine solche Beschränkung kann vorgenommen werden, da aus der Formblattsammlung des Knotens 1 das Verfahren deutlich wird, nach dem auch bei den anderen Knoten die Verkehrsstärken der einzelnen Fahrzeugarten zusammengestellt wurden. Es sei darauf hingewiesen, dass die zweite Seite des Formblatts dahingehend erweitert wurde, dass auch der Sättigungsgrad g und das 95 %-Perzentil der Rückstaulänge N_{95} angegeben werden. Neben den Bemessungen mit ursprünglichen Werten sind auch die vier Bemessungen mit veränderten Ausgangsbedingungen abgebildet.

Den zweiten Teil dieses Anhangs bilden die Ausdrücke der Ergebnisdateien, wie sie von WebSimTra ausgegeben wurden. Auch in diesem Fall werden nur beim Knoten 1 alle Blätter in den Anhang aufgenommen, bei den restlichen Knoten nur das Hauptblatt.

C.1 Formblätter des HBS

Formblatt 3a des Knotens 1 (Pkw)

Formblatt 3a:	Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes Kreisverkehrsplatz: <u>1 Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße</u> Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ <input checked="" type="checkbox"/> Planung <input type="checkbox"/> Analyse Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe <u>D</u>
Pkw	Matrix der Ströme/Verkehrsstärken [Fz/h]
von Zufahrt	nach Zufahrt
1	2 3 4 5 6 7 8
2	470 10 250 - - - -
3	0 10 460 - - - -
4	10 10 10 0 10 - -
5	110 500 10 0 620 - -
6	- - - - - - -
Summe	520 270 1090 400
Geometrische Randbedingungen	
Zufahrt (Straßenname)	Zufahrt-Nr.
westl. Friedensstraße	1
südl. Friedensstraße	2
Am Kirschberg	3
Friedrich-Ebert-Straße	4
	5
	6
Verkehrsstrom (Z=Zufahrt, K=Kreis)	Anzahl der Fahrstreifen (1/2/3)
Z ₁	1
K ₁	1
Z ₂	1
K ₂	1
Z ₃	1
K ₃	1
Z ₄	1
K ₄	1
Z ₅	1
K ₅	1
Z ₆	1
K ₆	1

Formblatt 3a des Knotens 1 (Lkw)

Formblatt 3a:	Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes Kreisverkehrsplatz: <u>1 Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße</u> Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ <input checked="" type="checkbox"/> Planung <input type="checkbox"/> Analyse Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe <u>D</u>
Lkw	Matrix der Ströme/Verkehrsstärken [Fz/h]
von Zufahrt	nach Zufahrt
1	2 3 4 5 6 7 8
2	50 0 20 - - - -
3	0 0 0 0 0 - -
4	20 30 0 0 50 - -
5	- - - - - - -
6	- - - - - - -
Summe	30 20 60 20
Geometrische Randbedingungen	
Zufahrt (Straßenname)	Zufahrt-Nr.
westl. Friedensstraße	1
südl. Friedensstraße	2
Am Kirschberg	3
Friedrich-Ebert-Straße	4
	5
	6
Verkehrsstrom (Z=Zufahrt, K=Kreis)	Anzahl der Fahrstreifen (1/2/3)
Z ₁	1
K ₁	1
Z ₂	1
K ₂	1
Z ₃	1
K ₃	1
Z ₄	1
K ₄	1
Z ₅	1
K ₅	1
Z ₆	1
K ₆	1

Formblatt 3a des Knotens 1 (Lastzüge)

Formblatt 3a: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes	Kreisverkehrsplatz: <u>1 Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße</u> Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ <input checked="" type="checkbox"/> Planung <input type="checkbox"/> Analyse Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe <u>D</u>						
Matrix der Ströme/Verkehrsstärken [Fz/h]							
von Zufahrt	nach Zufahrt						Summe der Verkehrsstärken im Kreis $q_{k,i}$
	1	2	3	4	5	6	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	10	0	0	10
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Geometrische Randbedingungen							
Zufahrt (Straßenname)	Zufahrt-Nr.	Verkehrsstrom (Z=Zufahrt, K=Kreis)	Anzahl der Fahrstreifen (1/2/3)				
westl. Friedensstraße	1	Z ₁ K ₁	1 1				
südl. Friedensstraße	2	Z ₂ K ₂	1 1				
Am Kirschberg	3	Z ₃ K ₃	1 1				
Friedrich-Ebert-Straße	4	Z ₄ K ₄	1 1				
	5	Z ₅ K ₅	1 1				
	6	Z ₆ K ₆	1 1				

Formblatt 3a des Knotens 1 (Krafträder)

Formblatt 3a: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes	Kreisverkehrsplatz: <u>1 Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße</u> Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ <input checked="" type="checkbox"/> Planung <input type="checkbox"/> Analyse Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe <u>D</u>						
Matrix der Ströme/Verkehrsstärken [Fz/h]							
von Zufahrt	nach Zufahrt						Summe der Verkehrsstärken im Kreis $q_{k,i}$
	1	2	3	4	5	6	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	10	0	0	10
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
Geometrische Randbedingungen							
Zufahrt (Straßenname)	Zufahrt-Nr.	Verkehrsstrom (Z=Zufahrt, K=Kreis)	Anzahl der Fahrstreifen (1/2/3)				
westl. Friedensstraße	1	Z ₁ K ₁	1 1				
südl. Friedensstraße	2	Z ₂ K ₂	1 1				
Am Kirschberg	3	Z ₃ K ₃	1 1				
Friedrich-Ebert-Straße	4	Z ₄ K ₄	1 1				
	5	Z ₅ K ₅	1 1				
	6	Z ₆ K ₆	1 1				

Formblatt 3a des Knotens 1 (Radfahrer)

Formblatt 3a: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: 1 Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe D

Radfahrer von Zufahrt	Matrix der Ströme/Verkehrsstärken [Fz/h]						Summe der Verkehrsstärken im Kreis q_{K_i}
	1	2	3	4	5	6	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	10	0	0	0	0	0	10
4	0	10	0	0	0	0	10
5							
6							

Zufahrt (Straßenname)	Zufahrt-Nr.	Geometrische Randbedingungen	
		Verkehrsstrom (Z=Zufahrt, K=Kreis)	Anzahl der Fahrstreifen (1/2/3)
westl. Friedensstraße	1	Z ₁ K ₁	1
südl. Friedensstraße	2	Z ₂ K ₂	1
Am Kirschberg	3	Z ₃ K ₃	1
Friedrich-Ebert-Straße	4	Z ₄ K ₄	1
	5	Z ₅ K ₅	1
	6	Z ₆ K ₆	1

Formblatt 3b des Knotens 1

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: 1 Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe D

Zufahrt	Verkehrsstärken						q_{Fz_i} [Fz/h]	q_{K_i} [Fz/h]
	q_{Pkw} [Pkw/h]	q_{Lkw} [Lkw/h]	q_{Kz} [Kz/h]	q_{Rad} [Rad/h]	q_{Fz} [Fz/h]	$q_{Pkw-E/h}$ [Pkw-E/h]		
1	730	70	0	10	860	590	30	
2	880	40	10	10	945	305	30	
3	30	0	0	10	35	1215	20	
4	620	50	10	10	720	435	30	
5	400	20	0	10	435			
6								

Zufahrt	Bestimmung der Kapazität			Kapazität C_i [Pkw-E/h]
	q_i [Pkw-E/h] (Sp. 16)	G_i [Pkw-E/h] (Abb. 7-17)	f_i [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	
1	860	744	0,99	737
2	945	974	0,99	964
3	35	300	1,0	300
4	720	867	0,99	858
5				
6				

Zufahrt	Beurteilung der Verkehrsqualität			erreichbare Qualitätsstufe $Q_{SV, ges}$
	Kapazitätsreserve R_i [Pkw-E/h] (Gl. 7-21)	mittlere Wartezeit w_i [s] (Abb. 7-19, Tab. 7-1)	Qualitätsstufe $Q_{SV} [-]$ (Vergleich mit der angestrebten Wartezeit w)	
1	-123	> 45	F	1,2 > 30
2	19	> 45	E	1,0 > 30
3	265	< 45	B	0,1 < 1
4	138	< 45	C	0,8 11
5				
6				

Formblatt 3b des Knotens 2

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **2 Humboldtstraße/Niedergrünsteicher Weg**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{Kw,j}$ [PKw/h]	$q_{Lk,w,j}$ [Lkw/h]	$q_{Lz,j}$ [Lz/h]	$q_{Kz,j}$ [Kz/h]	$q_{Rad,j}$ [Rad/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]
1	Z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	17
1	K_1	50	10	0	0	10	0	70	0	0
2	Z_2	230	10	10	0	0	0	265	0	0
2	K_2	210	10	0	0	0	0	225	0	0
3	Z_3	50	10	10	0	10	0	90	0	0
3	K_3	50	10	0	0	0	0	65	0	0
4	Z_4	230	20	10	0	0	0	260	0	0
4	K_4	260	20	10	0	0	0	310	0	0
5	Z_5	40	10	0	0	0	0	55	0	0
5	K_5									
6	Z_6									
6	K_6									

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken $q_{Kz,j}$ [PKw-E/h]	$q_{Kz,j}$ [PKw-E/h]	Grundkapazität G_i [PKw-E/h]	Abminderungsfaktor für Fußgänger f_i [-]	Kapazität C_i [PKw-E/h]
1	70	265	1008	1.0	1008
2	225	90	1160	1.0	1160
3	65	260	1012	1.0	1012
4	310	55	1191	1.0	1191
5					
6					

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKw-E/h]	mittlere Wartezeit w_i [s]	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstaulänge N_{res} grad
1	935	< 10	A	0.1
2	935	< 10	A	0.2
3	947	< 10	A	0.1
4	881	< 10	A	0.3
5				
6				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **A**

Formblatt 3b des Knotens 3

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **3 Jenaer Straße/Bodelschwingstraße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{Kw,j}$ [PKw/h]	$q_{Lk,w,j}$ [Lkw/h]	$q_{Lz,j}$ [Lz/h]	$q_{Kz,j}$ [Kz/h]	$q_{Rad,j}$ [Rad/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]
1	Z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	17
1	K_1	960	30	10	10	10	10	1040	10	10
2	Z_2	340	20	0	0	0	0	110	0	0
2	K_2	540	20	10	10	10	10	605	10	10
3	Z_3	730	50	10	0	0	0	825	10	10
3	K_3	260	10	0	0	0	0	275	0	0
4	Z_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	K_4	900	50	10	0	0	0	995	0	0
5	Z_5									
5	K_5									
6	Z_6									
6	K_6									

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken $q_{Kz,j}$ [PKw-E/h]	$q_{Kz,j}$ [PKw-E/h]	Grundkapazität G_i [PKw-E/h]	Abminderungsfaktor für Fußgänger f_i [-]	Kapazität C_i [PKw-E/h]
1	1040	110	1142	0.99	1131
2	370	605	732	0.99	725
3	825	275	999	0.99	989
4	0	995	447	1.0	447
5					
6					

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKw-E/h]	mittlere Wartezeit w_i [s]	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstaulänge N_{res} grad
1	91	33	D	0.9
2	365	< 10	A	0.5
3	164	21	C	0.8
4	447	< 10	A	0.0
5				
6				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **D**

Formblatt 3b des Knotens 4

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **4 Friedensstraße/Karl-Liebknecht-Straße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKw/h}$ [PKw/h]	$q_{Lkw/h}$ [Lkw/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kz/h}$ [Kz/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	q_{PEz} [PKw-E/h] (Tab. 7-2)	q_{FEz} [Fg/h]
1	Z_1	10	11	12	13	14	15	16	17
1	K_1	330	0	0	10	70	375	75	30
2	Z_2	670	50	20	10	110	850	10	
2	K_2	310	0	0	10	60	350		
3	Z_3	490	20	0	20	40	560	70	
3	K_3	340	20	0	10	110	435		
4	K_4	300	20	0	10	20	50	10	
5	Z_5								
5	K_5								
6	Z_6								
6	K_6								

Bestimmung der Kapazität		
Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKw-E/h] q_{Kz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	Grundkapazität G_i [PKw-E/h] (Abb. 7-17)
1	18 19	20
1	375 75	1174
2	850 350	936
3	560 435	867
4	50 350	936
5		
6		

Bestimmung der Kapazität				
Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKw-E/h] q_{Kz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	Grundkapazität G_i [PKw-E/h] (Abb. 7-17)	Abmilderungsfaktor für Fußgänger f_f [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	Kapazität C_i [PKw-E/h] (Gl. 7-20)
1	18 19	20	21	22
1	375 75	1174	0.99	1162
2	850 350	936	0.99	927
3	560 435	867	0.99	858
4	50 350	936	0.99	927
5				
6				

Beurteilung der Verkehrsqualität				
Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKw-E/h] (Gl. 7-21)	mittlere Wartezeit w_i [s] (Abb. 7-19, Tab. 7-1)	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstaulänge N_{st} [m]
1	23	24	25	26
1	787	<10	<45	A
2	77	39	<45	D
3	298	12	<45	B
4	877	<10	<45	A
5				
6				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **D**

Formblatt 3b des Knotens 5

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **5 Eitersburger Straße/Umgehungsstraße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKw/h}$ [PKw/h]	$q_{Lkw/h}$ [Lkw/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kz/h}$ [Kz/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	q_{PEz} [PKw-E/h] (Tab. 7-2)	q_{FEz} [Fg/h]
1	Z_1	10	11	12	13	14	15	16	17
1	K_1	270	20	20	0	0	340	20	20
2	Z_2	380	10	10	0	0	415		
2	K_2	390	30	10	0	0	455	0	
3	Z_3	280	10	20	10	0	345	0	
3	K_3	370	40	10	0	0	450		
4	K_4	370	20	10	0	0	420	10	
5	Z_5	320	20	30	10	0	420		
5	K_5								
6	Z_6								
6	K_6								

Bestimmung der Kapazität		
Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKw-E/h] q_{Kz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	Grundkapazität G_i [PKw-E/h] (Abb. 7-17)
1	18 19	20
1	340 415	883
2	455 345	941
3	345 450	855
4	420 420	879
5		
6		

Bestimmung der Kapazität				
Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKw-E/h] q_{Kz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	Grundkapazität G_i [PKw-E/h] (Abb. 7-17)	Abmilderungsfaktor für Fußgänger f_f [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	Kapazität C_i [PKw-E/h] (Gl. 7-20)
1	18 19	20	21	22
1	340 415	883	0.99	874
2	455 345	941	1.0	941
3	345 450	855	1.0	855
4	420 420	879	0.99	870
5				
6				

Beurteilung der Verkehrsqualität				
Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKw-E/h] (Gl. 7-21)	mittlere Wartezeit w_i [s] (Abb. 7-19, Tab. 7-1)	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstaulänge N_{st} [m]
1	23	24	25	26
1	534	<10	<45	A
2	486	<10	<45	A
3	510	<10	<45	A
4	450	<10	<45	A
5				
6				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **A**

Formblatt 3b des Knotens 6

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **6 Erfurter Straße/Stadting**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{Kw,j}$ [PKw/h]	$q_{Lkw,j}$ [LKw/h]	$q_{Lz,j}$ [Lz/h]	$q_{Kz,j}$ [Kz/h]	$q_{Rz,j}$ [Rz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Pz,j}$ [PKw-E/h] (Tab. 7-2)	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Pz,j}$ [Fg/h]
1	Z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	17
2	K_1	440	40	0	20	40	510	30		
3	K_2	650	50	10	30	40	795			
4	K_3	790	40	10	20	20	890	70		
5	K_4	370	40	0	20	60	480			
6	Z_2	270	40	0	10	10	335	30		
	K_5	780	40	10	10	10	875			
	Z_3	570	50	20	30	50	740	20		
	K_6	480	40	0	10	10	545			
5	Z_4									
6	K_6									

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	q_{Kz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	Grundkapazität G_i [PKw-E/h] (Abb. 7-17)	Abmilderungsfaktor für Fußgänger f_i [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	Kapazität C_i [PKw-E/h] (Gl. 7-20)
1	18	19	20	21	22
2	510	795	590	0.99	564
3	880	480	831	0.99	822
4	335	875	532	0.99	526
5	740	545	779	0.99	771
6					

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKw-E/h] (Gl. 7-21)	mittlere Wartezeit w_i [s] (Abb. 7-19, Tab. 7-1)	Qualitätsstufe QSV [-]	Stättigungsgrad g	Rückstaulänge N_{res}
1	23	24	25	26	
2	74	42	< 45	D	0.9
3	-68	-	> 45	F	1.1
4	191	18	< 45	B	0.6
5	32	70	> 45	E	1.0
6					

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **F**

Formblatt 3b des Knotens 7

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **7 Erfurter Straße/Umgehungsstraße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{Kw,j}$ [PKw/h]	$q_{Lkw,j}$ [LKw/h]	$q_{Lz,j}$ [Lz/h]	$q_{Kz,j}$ [Kz/h]	$q_{Rz,j}$ [Rz/h]	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Pz,j}$ [PKw-E/h] (Tab. 7-2)	$q_{Fz,j}$ [Fz/h]	$q_{Pz,j}$ [Fg/h]
1	Z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	17
2	K_1	790	70	30	0	0	955	0		
3	K_2	110	0	0	0	0	110			
4	K_3	330	20	10	10	0	390	0		
5	K_4	400	40	30	0	0	520			
6	Z_2	700	50	30	0	0	835	0		
7	K_5	190	20	10	10	0	250			
5	Z_3									
6	K_6									

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	q_{Kz} [PKw-E/h] (Sp. 16)	Grundkapazität G_i [PKw-E/h] (Abb. 7-17)	Abmilderungsfaktor für Fußgänger f_i [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	Kapazität C_i [PKw-E/h] (Gl. 7-20)
1	18	19	20	21	22
2	955	110	1142	1.0	1142
3	390	520	799	1.0	799
4	835	250	1021	1.0	1021
5					
6					

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKw-E/h] (Gl. 7-21)	mittlere Wartezeit w_i [s] (Abb. 7-19, Tab. 7-1)	Qualitätsstufe QSV [-]	Stättigungsgrad g	Rückstaulänge N_{res}
1	23	24	25	26	
2	187	18	< 45	B	0.8
3	409	< 10	< 45	A	0.5
4	186	18	< 45	B	0.8
5					
6					

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **B**

Formblatt 3b des Knotens 8

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **8 Schwannseestraße/Budapester Straße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKW/h}$ [PKW/h]	$q_{LKW/h}$ [LKW/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kr/h}$ [Kr/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	$q_{PE/h}$ [PKW-E/h]	$q_{FE/h}$ [Fg/h]
1	Z ₁	10	11	12	13	14	15	16	17
1	K ₁	0	10	10	0	10	40	345	0
2	Z ₂	280	20	10	0	30	30	290	0
2	K ₂	230	30	0	0	30	30	250	0
3	Z ₃	190	20	10	0	20	20	250	0
3	K ₃	90	20	0	0	20	20	130	0
4	Z ₄	100	10	0	0	20	125	255	0
4	K ₄	180	30	10	0	20			
5	Z ₅								
5	K ₅								
6	Z ₆								
6	K ₆								

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKW-E/h]	q_{Kr} [PKW-E/h]	Grundkapazität G_i [PKW-E/h]	Abminderungsfaktor für Fußgänger f_i [-]	Kapazität C_i [PKW-E/h]
1	40	345	941	1,0	941
2	290	30	1214	1,0	1214
3	250	130	1125	1,0	1125
4	125	255	1016	1,0	1016
5					
6					

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKW-E/h]	mittlere Wartezeit w_i [s]	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstau-länge N_{Stg}
1	901	<10	A	0,0
2	924	<10	A	0,2
3	875	<10	A	0,2
4	891	<10	A	0,1
5				
6				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} = **A**

Formblatt 3b des Knotens 9

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **9 Schwannseestraße/Stadion**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKW/h}$ [PKW/h]	$q_{LKW/h}$ [LKW/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kr/h}$ [Kr/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	$q_{PE/h}$ [PKW-E/h]	$q_{FE/h}$ [Fg/h]
1	Z ₁	10	11	12	13	14	15	16	17
1	K ₁	360	10	0	20	20	395	685	20
2	Z ₂	610	30	10	0	20	685	50	
2	K ₂	670	20	0	20	40	740	305	
3	Z ₃	270	10	0	10	20	380	20	
3	K ₃	340	20	0	0	20	30	795	
4	Z ₄	710	30	20	10	20	815	30	
4	K ₄	420	20	0	10	30	475		
5	Z ₅								
5	K ₅								
6	Z ₆								
6	K ₆								

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKW-E/h]	q_{Kr} [PKW-E/h]	Grundkapazität G_i [PKW-E/h]	Abminderungsfaktor für Fußgänger f_i [-]	Kapazität C_i [PKW-E/h]
1	395	671	671	0,99	665
2	740	305	974	0,99	964
3	380	795	590	0,99	584
4	815	475	835	0,99	826
5					
6					

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKW-E/h]	mittlere Wartezeit w_i [s]	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstau-länge N_{Stg}
1	270	13	B	0,6
2	224	16	B	0,8
3	204	18	B	0,7
4	11	>80	E	1,0
5				
6				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} = **E**

Formblatt 3b des Knotens 10

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **10 Humboldtstraße/Stadtring**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	Verkehrsstärken						$q_{Fg,i}$ [Fz/h]	$q_{PE,i}$ [Pkw-E/h]	$q_{FE,i}$ [Fg/h]
		$q_{PKW,i}$ [Pkw/h]	$q_{LKW,i}$ [Lkw/h]	$q_{K,i}$ [K/h]	$q_{Rad,i}$ [Rad/h]	$q_{Fz,i}$ [Fz/h]	$q_{PE,i}$ [Pkw-E/h] (Tab. 7-2)			
1	Z ₁	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	K ₁	460	20	0	0	10	10	485	10	
2	Z ₂	180	10	0	0	20	20	205	30	
2	K ₂	320	10	0	0	20	20	345	30	
3	Z ₃	360	20	0	0	10	10	385	20	
3	K ₃	550	40	0	0	20	20	620	30	
4	Z ₄	280	10	0	0	10	10	300	10	
4	K ₄	70	0	0	0	10	10	75	10	
5	Z ₅	740	30	0	0	20	20	795	10	
5	K ₅									
6	Z ₆									
6	K ₆									

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken $q_{E,i}$ [Pkw-E/h] (Sp. 16)	$q_{w,i}$ [Pkw-E/h] (Sp. 16)	Grundkapazität G_i [Pkw-E/h] (Abb. 7-17)	Abmilderungsfaktor für Fußgänger f_f [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	Kapazität C_i [Pkw-E/h] (Gl. 7-20)
1	495	205	1059	0.99	1049
2	345	395	899	0.99	890
3	620	300	978	0.99	968
4	75	795	590	0.99	584
5					
6					

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [Pkw-E/h] (Gl. 7-21)	Vergleich mit der angestrebten Wartezeit w			Qualitätsstufe QSV [-]	Stützmaß g_{St}	Rückstaulänge N_{St}
		23	24	25			
1	554	< 10	< 45	< 45	A	0.5	3.5
2	545	< 10	< 45	< 45	A	0.4	2.5
3	348	10	< 45	< 45	A	0.6	4.5
4	509	< 10	< 45	< 45	A	0.1	< 1
5							
6							

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} = **A**

Formblatt 3b des Knotens 1 (ohne Radfahrer auf der Fahrbahn)

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **1 Friedensstraße/Friedrich-Ebert-Straße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKW/h}$ [PKW/h]	$q_{LKW/h}$ [LKW/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kr/h}$ [Kr/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	$q_{Fg/h}$ [Fg/h]
1	Z ₁	10	11	12	13	14	15	17
2	K ₁	730	70	10	0	0	865	40
3	Z ₂	850	40	10	10	0	940	40
4	K ₂	270	20	0	0	0	300	0
5	Z ₃	30	0	0	0	0	30	30
6	K ₃	1090	60	10	10	0	1210	40
7	Z ₄	620	50	10	0	0	715	40
8	K ₄	400	20	0	0	0	430	0
9	Z ₅							
10	K ₅							
11	Z ₆							
12	K ₆							

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKW-E/h]	q_{Kr} [PKW-E/h]	q_{Fz} [PKW-E/h]	Grundkapazität G_i [PKW-E/h]	Abminderungsfaktor für Fußgänger f_i [-]	Kapazität C_i [PKW-E/h]
1	18	19	20	20	21	22
2	855	585	748	0.99	0.99	740
3	940	300	978	0.99	0.99	988
4	30	1210	304	1.0	1.0	304
5	715	430	871	0.99	0.99	862
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKW-E/h]	mittlere Wartezeit w_i [s]	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstaulänge N_{res} [m]
1	23	24	26	
2	-115	--	>45	F
3	28	62	>45	E
4	274	13	<45	B
5	147	23	<45	C
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **F**

Formblatt 3b des Knotens 4 (ohne querende Fußgänger)

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **4 Friedensstraße/Karl-Liebknecht-Straße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKW/h}$ [PKW/h]	$q_{LKW/h}$ [LKW/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kr/h}$ [Kr/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	$q_{Fg/h}$ [Fg/h]
1	Z ₁	10	11	12	13	14	15	17
2	K ₁	330	0	0	10	70	375	0
3	Z ₂	20	30	0	0	20	75	0
4	K ₂	670	50	20	10	110	850	0
5	Z ₃	310	0	0	10	60	350	0
6	K ₃	490	20	0	20	40	560	0
7	Z ₄	340	20	0	10	110	435	0
8	K ₄	10	20	0	0	20	50	0
9	Z ₅	300	20	0	10	20	350	0
10	K ₅							
11	Z ₆							
12	K ₆							

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKW-E/h]	q_{Kr} [PKW-E/h]	q_{Fz} [PKW-E/h]	Grundkapazität G_i [PKW-E/h]	Abminderungsfaktor für Fußgänger f_i [-]	Kapazität C_i [PKW-E/h]
1	18	19	20	20	21	22
2	375	75	1174	1.0	1.0	1174
3	850	350	936	1.0	1.0	936
4	560	435	867	1.0	1.0	867
5	50	350	936	1.0	1.0	936
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKW-E/h]	mittlere Wartezeit w_i [s]	Qualitätsstufe QSV [-]	Rückstaulänge N_{res} [m]
1	23	24	26	
2	799	<10	<45	A
3	86	39	<45	D
4	307	12	<45	B
5	886	<10	<45	A
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} **D**

Formblatt 3b des Knotens 4 (ohne Radfahrer auf der Fahrbahn)

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **4 Friedensstraße/Karl-Liebknecht-Straße**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKW/h}$ [PKW/h]	$q_{LKW/h}$ [LKW/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kr/h}$ [Kr/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	$q_{PE/h}$ [PKW-E/h] (Tab. 7-2)	$q_{FE/h}$ [Fg/h]
1	Z ₁	10	11	12	13	14	15	16	17
1	K ₁	330	0	0	10	0	0	340	60
2	Z ₂	670	50	20	10	0	0	65	60
2	K ₂	310	0	0	10	0	0	320	60
3	Z ₃	490	20	0	20	0	0	540	170
3	K ₃	340	20	0	10	0	0	380	40
4	Z ₄	10	20	0	0	0	0	40	40
4	K ₄	300	20	0	10	0	0	340	60
5	Z ₅								
5	K ₅								
6	Z ₆								
6	K ₆								

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKW-E/h] q_{Kr} [PKW-E/h]	Grundkapazität G_i [PKW-E/h] (Abb. 7-17)	Abmilderungsfaktor für Fußgänger f_i [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	Kapazität C_i [PKW-E/h] (Gl. 7-20)
1	340 65	1183	0.99	1171
2	795 320	961	0.99	952
3	540 380	912	0.96	875
4	40 340	945	0.99	935

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKW-E/h] (Gl. 7-21)	mittlere Wartezeit w_i [s] (Abb. 7-19, Tab. 7-1)	Vergleich mit der angestrebten Wartezeit w	Qualitätsstufe QSV [-]	Stättungsgrad g	Rückstaulänge N_{st} [m]
1	831	< 10	< 45	A	0.3	1.5
2	157	22	< 45	C	0.8	10
3	335	10	< 45	A	0.6	4.5
4	895	< 10	< 45	A	0.0	0

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} = **C**

Formblatt 3b des Knotens 6 (ohne Radfahrer auf der Fahrbahn)

Formblatt 3b: Beurteilung eines Kreisverkehrsplatzes

Kreisverkehrsplatz: **6 Erfurter Straße/Städtling**

Verkehrsdaten: Datum _____ Uhrzeit _____ Planung Analyse

Zielvorgaben: Mittlere Wartezeit $w = 45$ s Qualitätsstufe **D**

Zufahrt	Verkehrsstrom	$q_{PKW/h}$ [PKW/h]	$q_{LKW/h}$ [LKW/h]	$q_{Lz/h}$ [Lz/h]	$q_{Kr/h}$ [Kr/h]	$q_{Rad/h}$ [Rad/h]	$q_{Fz/h}$ [Fz/h]	$q_{PE/h}$ [PKW-E/h] (Tab. 7-2)	$q_{FE/h}$ [Fg/h]
1	Z ₁	10	11	12	13	14	15	16	17
1	K ₁	440	40	0	0	0	0	500	50
2	Z ₂	790	40	10	10	0	0	775	110
2	K ₂	370	40	0	20	0	0	450	60
3	Z ₃	270	40	0	0	0	0	330	60
3	K ₃	780	40	10	10	0	0	870	50
4	Z ₄	570	50	20	30	0	0	715	50
4	K ₄	480	40	0	0	0	0	540	60
5	Z ₅								
5	K ₅								
6	Z ₆								
6	K ₆								

Bestimmung der Kapazität

Zufahrt	Verkehrsstärken q_{Lz} [PKW-E/h] q_{Kr} [PKW-E/h]	Grundkapazität G_i [PKW-E/h] (Abb. 7-17)	Abmilderungsfaktor für Fußgänger f_i [-] (Abb. 7-18a, 7-18b)	Kapazität C_i [PKW-E/h] (Gl. 7-20)
1	500 775	604	0.99	598
2	880 450	855	0.98	838
3	330 870	535	0.99	530
4	715 540	783	0.99	775

Beurteilung der Verkehrsqualität

Zufahrt	Kapazitätsreserve R_i [PKW-E/h] (Gl. 7-21)	mittlere Wartezeit w_i [s] (Abb. 7-19, Tab. 7-1)	Vergleich mit der angestrebten Wartezeit w	Qualitätsstufe QSV [-]	Stättungsgrad g	Rückstaulänge N_{st} [m]
1	98	33	> 45	D	0.8	10
2	-42	--	> 45	F	1.1	> 30
3	200	17	< 45	B	0.6	4.5
4	60	47	> 45	E	0.9	20

erreichbare Qualitätsstufe: QSV_{ges} = **F**

C.2 Ergebnisblätter WebSimTra

Dieser Anhang beinhaltet alle relevanten Ergebnisblätter des Knotens 1 und das jeweils erste Ergebnisblatt der anderen Knoten.

Tabelle C.1: Ergebnisblatt 1 des Knotens 1

Knoten 1	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Friedrich-Ebert-Straße	NLSA	688	97,0	F	406	198	306	314
Am Kirschberg	NLSA	35,6	21,3	C	5	1	4	7
Friedensstraße (Süd)	NLSA	914,6	79,3	F	216	89	286	305
Friedensstraße (West)	NLSA	575,2	182,4	F	538	373	431	432

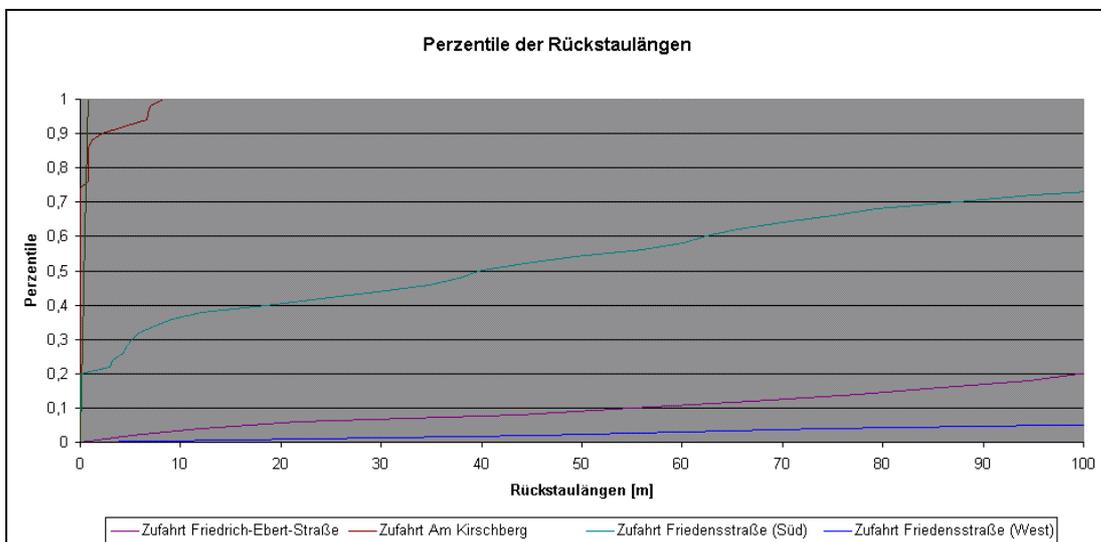


Abbildung C.1: Perzentile der Rückstaulängen [WEBSIMTRA 2007]

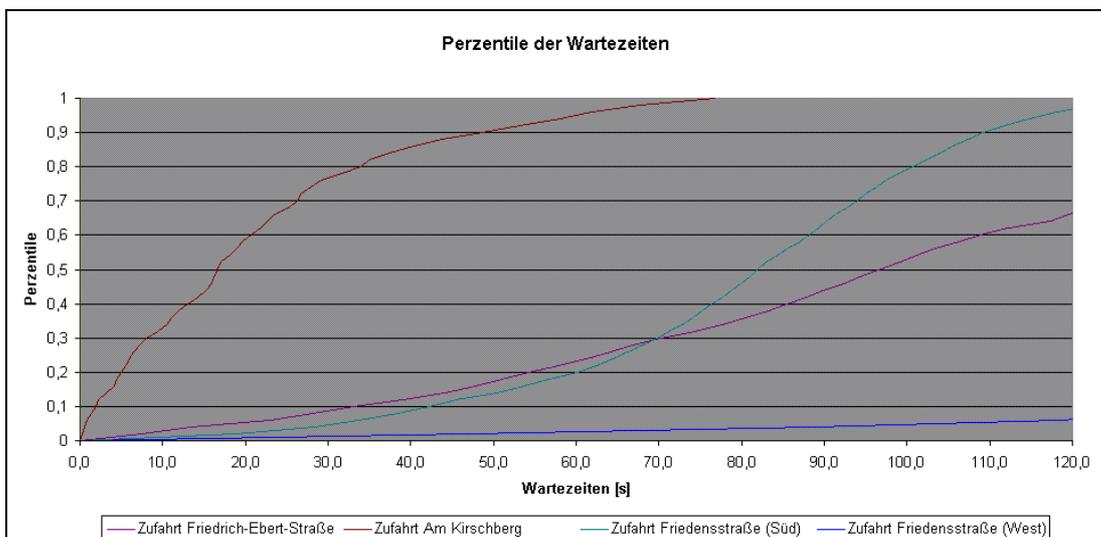


Abbildung C.2: Perzentile der Wartezeiten [WEBSIMTRA 2007]

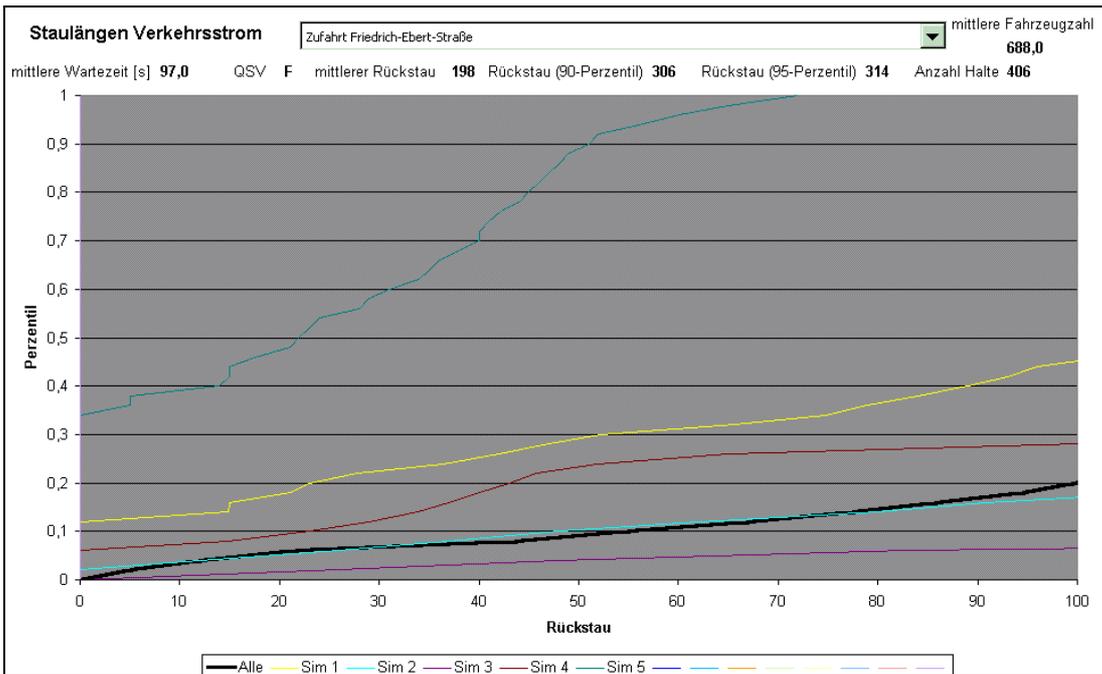


Abbildung C.3: Rückstaulängen jeder Zufahrt [WEBSIMTRA 2007]

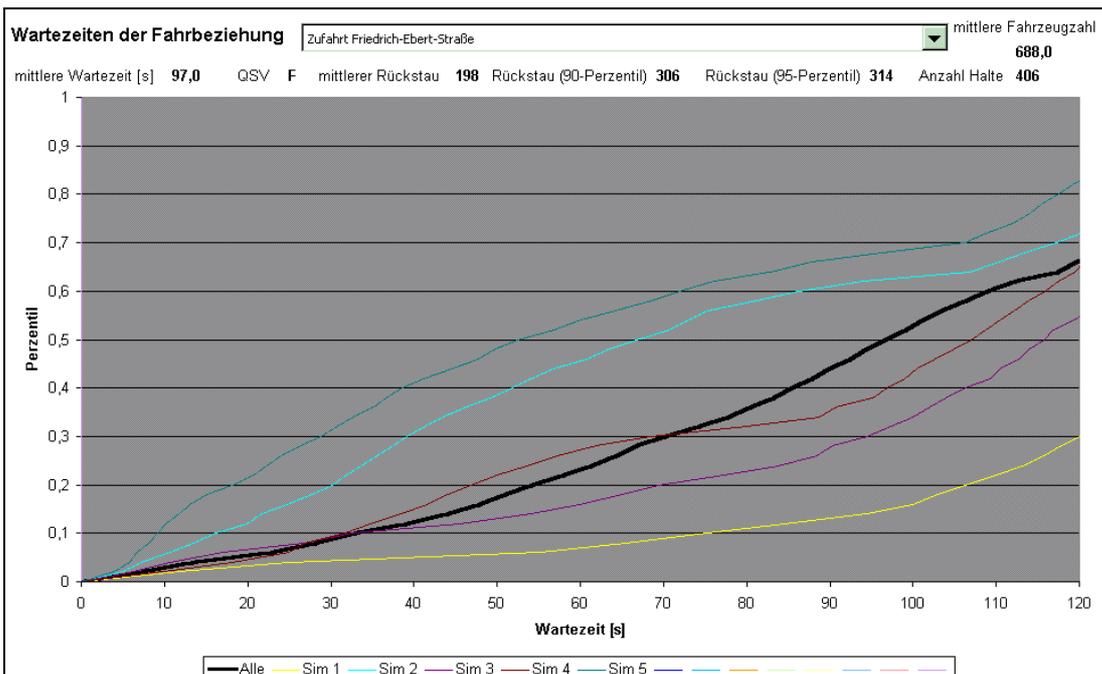


Abbildung C.4: Mittlere Wartezeiten jeder Zufahrt [WEBSIMTRA 2007]

Ergebnisblätter der Knoten 2 bis 6

Knoten 2	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Humboldtstraße	NLSA	292,8	4,6	A	2	0	0	0
Niedergrunstedter Weg (Ost)	NLSA	57,4	3,7	A	2	0	0	0
Alte Chaussee	NLSA	211	3,0	A	0	0	0	0
Niedergrunstedte Weg (West)	NLSA	71,8	4,1	A	1	0	0	0

Knoten 3	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Webichtallee	NLSA	0	0,0	A	0	0	0	0
Jenaer Straße (Ost)	NLSA	692,2	154,0	F	620	356	446	447
Bodelschwinghstraße	NLSA	357,6	13,0	B	41	4	17	19
Jenaer Straße (West)	NLSA	1015	42,2	D	102	18	72	86

Knoten 4	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Weimarplatz	NLSA	51,2	8,9	A	2	0	0	0
Friedensstraße	NLSA	501,4	252,4	F	373	362	415	418
Karl-Liebknecht-Straße	NLSA	865,2	89,5	F	273	130	306	318
Bertuchstraße	NLSA	397	5,8	A	8	0	0	1

Knoten 5	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Ettersburger Straße (Nord)	NLSA	396,4	8,5	A	32	3	13	16
Umgehungsstraße (Ost)	NLSA	322,2	11,1	B	35	5	19	27
Ettersburger Straße (Süd)	NLSA	427,6	7,9	A	17	2	6	9
Umgehungsstraße (West)	NLSA	298	8,0	A	21	2	11	14

Knoten 6	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Fuldaer Straße	NLSA	656,2	146,5	F	428	236	342	348
Erfurter Straße (Ost)	NLSA	325,8	46,3	E	98	26	57	61
Trierer Straße	NLSA	694,8	145,3	F	609	329	394	395
Erfurter Straße (West)	NLSA	458,2	228,7	F	335	292	347	353

Ergebnisblätter der Knoten 7 bis 10

Knoten 7	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Nordwestumgehung	NLSA	779	24,6	C	134	27	94	103
Erfurter Straße	NLSA	368,4	24,1	C	80	13	35	42
Bundesstraße B7	NLSA	882,4	34,5	D	85	16	59	74

Knoten 8	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Budapester Straße	NLSA	124,8	4,8	A	2	0	0	0
Schwanseestraße (Ost)	NLSA	232,4	7,5	A	5	0	0	0
Schwanseestraße (Süd)	NLSA	282,6	6,1	A	1	0	0	0
Schwanseestraße (West)	NLSA	31,2	7,0	A	1	0	0	0

Knoten 9	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Fuldaer Straße (Nord)	NLSA	718,6	142,1	F	552	322	423	424
Schwanseestraße (Ost)	NLSA	353,6	291,6	F	206	261	306	312
Fuldaer Straße (Süd)	NLSA	753	30,7	D	118	24	80	93
Schwanseestraße (West)	NLSA	390,8	18,8	B	62	7	23	28

Knoten 10	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Humboldtstraße (Nord)	NLSA	82,6	5,7	A	7	0	1	2
Am Poseckschen Garten	NLSA	606,8	29,1	C	107	19	64	71
Humboldtstraße (Süd)	NLSA	346,8	7,5	A	16	1	4	8
Trierer Straße	NLSA	481,2	8,6	A	23	2	5	11

Ergebnisblätter der Knoten 1,4 und 6 nach erneuter Bemessung

Knoten 4 (ohne Fußg.)	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Weimarplatz	NLSA	51,2	9,3	A	3	0	0	0
Friedensstraße	NLSA	497,2	267,2	F	360	375	417	419
Karl-Liebknecht-Straße	NLSA	873	72,3	F	246	111	281	295
Bertuchstraße	NLSA	397,2	5,8	A	7	0	0	0

Knoten 4 (ohne Rad)	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Weimarplatz	NLSA	29,4	6,5	A	1	0	0	0
Friedensstraße	NLSA	534,8	37,6	D	136	36	79	85
Karl-Liebknecht-Straße	NLSA	760,4	20,9	C	82	21	81	85
Bertuchstraße	NLSA	330,4	4,9	A	6	0	0	0

Knoten 6 (ohne Rad)	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Fuldaer Straße	NLSA	644,6	125,6	F	386	219	311	316
Östl. Erfurter Straße	NLSA	313	49,0	E	100	27	55	58
Trierer Straße	NLSA	727,4	135,1	F	541	300	393	395
Westl. Erfurter Straße	NLSA	448,8	176,2	F	287	176	239	246

Knoten 1 (ohne Rad)	Typ	mittlere Fahrzeugzahl	mittlere Wartezeit [s]	QSV	Anzahl Halte	mittlerer Rückstau	Rückstau (90-Perzentil)	Rückstau (95-Perzentil)
Friedrich-Ebert-Straße	NLSA	685,2	67,2	E	315	145	255	275
Am Kirschberg	NLSA	26	21,8	C	5	1	2	5
Südl. Friedensstraße	NLSA	906	66,0	E	220	88	238	262
Westl. Friedensstraße	NLSA	577	181,5	F	467	348	432	432

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Weimar, 8. August 2007