

Verkehrsuntersuchung

Leistungsfähigkeitsbetrachtung der Knotenpunkte

- K323 – Kriegsstr. / Brauerstr. / Reinhold-Frank-Str.
- K324 – Brauerstraße / Gartenstraße

mit Hilfe einer Verkehrsflusssimulation



Inhalt

Aufgabenstellung	3
Untersuchungsraum	4
Verkehrsmengen	5
Mikroskopische Verkehrsflusssimulation	6
Varianten und Steuerung	7
Varianten	7
Kordinierung und Steuerungsablauf	9
Auswertungsmethodik	10
Ergebnisse	11
Kraftfahrzeugverkehr	11
Ausbauvariante V0	11
Ausbauvariante V1	13
Ausbauvariante V2	15
Rad- und Fußgängerverkehr	17
Einordnung der Ergebnisse.....	18
Zusammenfassung	19
Literaturverzeichnis	21
Anhang	22
A1.1 Zähldaten K323 – Abendspitze (Kfz)	22
A1.2 Zähldaten K323 (Radfahrende)	23
A2.1 Ausbauvariante V0 – Signallageplan	24
A2.2 Ausbauvariante V0 – Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung.....	25
A2.3 Ausbauvariante V0 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren	26
A3.1 Ausbauvariante V1 - Signallageplan.....	27
A3.2 Ausbauvariante V1 - Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung	28
A3.3 Ausbauvariante V1 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren	29
A4.1 Ausbauvariante V2 - Signallageplan.....	30
A4.2 Ausbauvariante V2 - Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung	31
A4.3 Ausbauvariante V2 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren	32
A5.1 K324 - Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung	33
A5.2 K324 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren	34

Stand des Dokuments
09.06.2026

Bearbeiter
Lars Badde
Ingenieurbüro für Verkehrstechnik
Hurrle-Kusterer

06202 – 61529
badde@hurrle-kusterer.de

Abkürzungsverzeichnis

HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
Kfz	Kraftfahrzeug(e)
LSA	Lichtsignalanlage
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
QSV	Qualitätsstufe des Verkehrs
RVFx	Radverkehrsführung nach Variante x
SG	Signalgruppe
Vx	Ausbauvariante x

Begriffsdefinition im verkehrstechnischen Kontext

Fahstreifen	Durch Markierung gekennzeichnete Teil der Fahrbahn, der für die Fortbewegung einer Fahrzeugreihe bestimmt ist
Kapazität	Größte Verkehrsstärke, die ein Verkehrsstrom unter den gegebenen baulichen, verkehrlichen und betrieblichen Bedingungen erreichen kann
Kapazitätsdefizit	Differenz zwischen der sich aus der Verkehrsnachfrage ergebenden Verkehrsstärke und der Kapazität
Rückstau	Verkehrszustand an Knotenpunkten [...] mit einem durch die Verkehrsregelung erzwungenen mehrfachen oder längeren Stillstand von Fahrzeugen
stromabwärts	bezeichnet alle Objekte die im richtungsbezogenen Verkehrsfluss hinter einem Bezugsobjekt (z.B. einer LSA) liegt
stromaufwärts	bezeichnet alle Objekte die im richtungsbezogenen Verkehrsfluss vor einem Bezugsobjekt (z.B. einer LSA) liegt
Umlauf	Einmaliger Ablauf eines Signalprogramms (im Normalfall: Jede Fahrbeziehung bekommt einmalig Freigabe). Die Dauer des Umlaufs wird bestimmt durch die Umlaufzeit (in der in dieser Untersuchung betrachteten Steuerung bzw. Signalprogramm sind dies 100 s).

Aufgabenstellung

Die Kreuzungen Kriegsstraße / Brauerstraße / Reinhold-Frank-Straße (K 323) und Brauerstraße / Gartenstraße (K 324) werden in den Jahren 2026 und 2027 umgebaut, um für den Fuß- und Radverkehr ein verbessertes Angebot mit einem möglichst hohen Maß an Verkehrssicherheit zu schaffen und zugleich für den Kraftfahrzeugverkehr sowie für den ÖPNV verkehrssichere Verhältnisse mit akzeptablen Rückstau- und Wartezeitsituationen zu bieten. Um dies zu erreichen, ist beim erstgenannten Knotenpunkt vorgesehen, auf drei Dreiecksinseln zu verzichten (alle bis auf den Nord-West-Quadranten) und so alle Verkehrsbeziehungen in die Signalisierung zu integrieren. Der Querschnitt der Kriegsstraße wird für den Kfz-Verkehr reduziert, indem jeweils ein Fahrstreifen entfällt. Beim zweitgenannten Knotenpunkt wird ebenfalls eine Dreiecksinsel zurückgebaut (Nord-Ost-Quadrant) und der rechtseinbiegende Verkehr in die Knotenpunkt-Signalisierung aufgenommen. Die Lichtsignalanlage am Knoten K 323 ist von Grund auf zu erneuern und barrierefrei zu signalisieren. Die Lichtsignalanlage am Knoten K 324 wird an die geänderten Verkehrsbeziehungen und aufgerichtete Führung der westlichen Fußgängerquerung der Gartenstraße angepasst und entsprechend ergänzt. Das Ziel der Gesamtmaßnahme ist somit insbesondere, die Verkehrssicherheit für den Fuß- und Radverkehr zu erhöhen, zugleich aber auch eine möglichst gute Verkehrsqualität für den ÖPNV zu bieten und eine ausreichende Leistungsfähigkeit für den Kfz-Verkehr zu gewährleisten.

Im Zuge der Konzeption des Knotenpunktes K 323 wurden durch die Stadtverwaltung Karlsruhe Vorüberlegungen angestellt, ob eine Führung des Radverkehrs auf Radfahrstreifen zwischen den Rechtsabbiege- und Geradeausfahrstreifen des Kfz-Verkehrs anzuordnen ist (Mittellage; in der Untersuchung Ausbauvariante V0) oder zwischen Gehweg und Rechtsab- bzw. -einbiegefahrstreifen (Seitenlage; in der Untersuchung Ausbauvariante V1). Die Varianten sind nur umsetzbar, wenn ausreichende Kapazitäten für den Kfz-Verkehr zur Verfügung stehen, um mögliche Verkehrssicherheitsdefizite nicht auf das vorgelagerte Straßennetz – insbesondere in Richtung Karoline-Luise-Tunnel (Osten der Kriegsstraße) und Brauerstraße (Süden), aber auch Reinhold-Frank-Straße (Norden bis Sophienstraße und Mühlburger Tor) – zu verlagern. Überschlägige Leistungsfähigkeits- und Rückstauberechnungen des Stadtplanungsamts der Stadt Karlsruhe wiesen eine ausreichende Kapazität mit einer Anordnung der Radfahrstreifen in Mittellage aus. Die vorliegende Untersuchung hat das Ziel, die Leistungsfähigkeit des Knotenpunktes K 323 für die Ausbauvarianten V0 und V1 sowie eine Untervariante für den Kfz-Verkehr (V2) zu ermitteln, um eine Entscheidungshilfe bezüglich der Lage der Radfahrstreifen zu bieten. Aufgrund der räumlichen Nähe des Knotenpunktes K 324 zum Knoten K 323 (ca. 140 Meter) ist der Knoten K 324 in die Untersuchung komplett einzubinden, da die beiden Kreuzungen wegen der kaum vorhandenen Aufstellflächen als Gesamtsystem zu betrachten sind.

Für die vorliegende Fragestellung ist eine detaillierte Abbildung der Verkehrsabläufe erforderlich, die über die Möglichkeiten einer klassischen Leistungsfähigkeitsbetrachtung hinausgeht. Die hier zu untersuchenden Verkehrsprozesse sind geprägt durch komplexe Wechselwirkungen zwischen einzelnen Verkehrsteilnehmern, zeitlich-dynamische Effekte sowie eine sehr diffizile verkehrabhängige Steuerung. All dies führt zu instationären Steuerungs- und Verkehrsabläufen, die in Ihrer Komplexität nicht durch eine vereinfachte statische Berechnung abgebildet werden können. Stattdessen wird eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation eingesetzt, die eine detaillierte Abbildung des individuellen Fahrverhaltens, der Wechselwirkungen der Verkehrsteilnehmenden sowie die realitätsgetreue Detektion und Signalsteuerung der verkehrabhängigen Lichtsignalsteuerungen ermöglicht. Im Rahmen der Simulation werden die verkehrlichen Auswirkungen der drei Ausbauvarianten unter identischen Randbedingungen betrachtet und verglichen.

Untersuchungsraum

Die untersuchten Knotenpunkte befinden sich im südwestlichen Zentrum Karlsruhes. Der Knotenpunkt K323 verbindet, mit Kriegs- und Brauer- bzw. Reinhold-Frank-Straße eine der wichtigsten Ost-West-Achsen der Stadt mit einer der wichtigsten Nord-Süd-Achsen der Stadt.

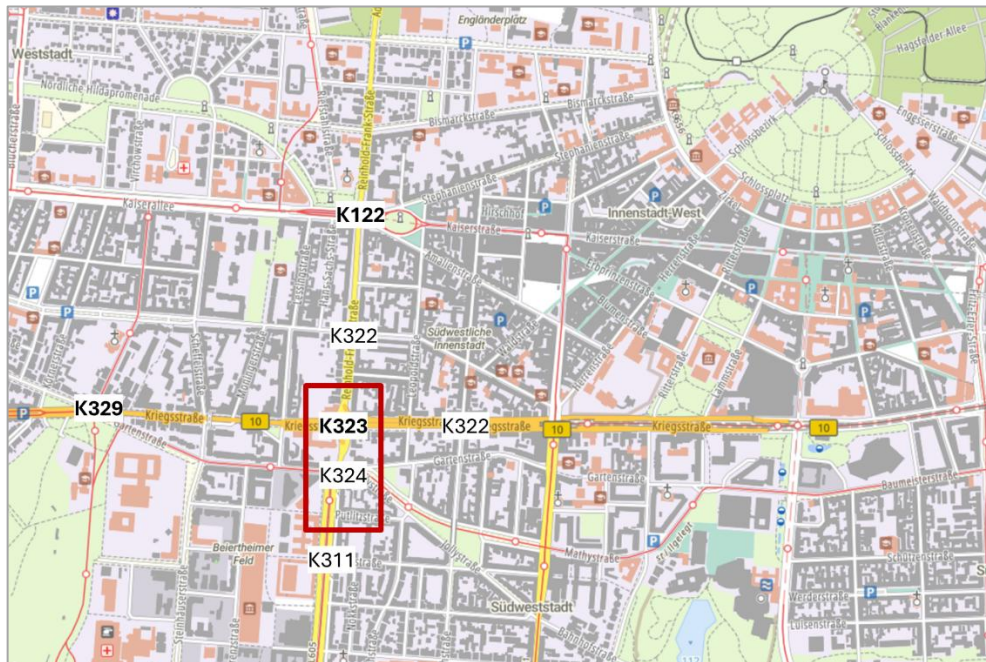


Abbildung 1 - Lage des Untersuchungsgebiets im Innenstadtgebiet Karlsruhe

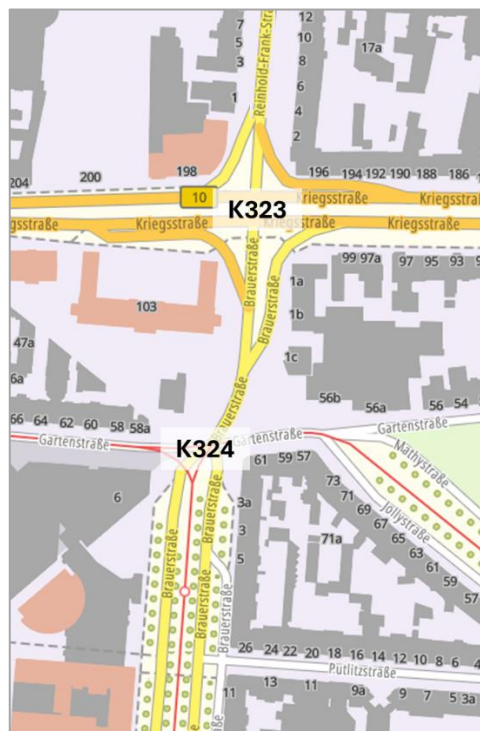


Abbildung 2 - Übersicht über die Lage der Knotenpunkte mit ursprünglicher Verkehrsführung (Dreiecksinseln)

In Richtung Norden, entlang der Reinhold-Frank-Straße liegt etwa 240 m entfernt der Knotenpunkt K322 – Reinhold-Frank-Straße / Sophienstraße und etwa 560 m entfernt der Knotenpunkt K122 - Mühlburger Tor. In Richtung Osten liegt etwa 310 m entfernt der Knotenpunkt K813 – Kriegsstraße / Hirschstraße und in etwa 500 m entfernt liegt die Ausfahrt aus dem Karoline-Luise-Tunnels. In südlicher Richtung liegen

zwischen den Knotenpunkten K323 und K324 etwa 110 m Aufstellfläche, südlich der K324, entlang der Brauerstraße folgt nach etwa 220 m Entfernung der Knotenpunkt K311 – Brauerstraße / Roonstraße. Westlich der K323 entlang der Kriegsstraße liegt etwa 660 m entfernt der Knotenpunkt K329 – Weinbrennerplatz.

Zwischen den beiden Knotenpunkten K323 und K324 befinden sich in beiden Richtungen bei etwa 2/3 der Länge der Aufstellfläche Staudetektoren. Bei Staudetektion reagieren die jeweils zufließenden Lichtsignalanlagen durch eine Reduzierung des Zuflusses, um eine Überstauung der stromaufwärts gelegenen Konfliktfläche zu vermeiden. Das zu diesem Zeitpunkt vorliegende Kapazitätsdefizit und der damit einhergehende Rückstau der stromabwärtigen Lichtsignalanlage wird dadurch vor die stromaufwärts gelegene Lichtsignalanlage verlagert.

Verkehrsmengen

Wesentlich für die Aussagekraft der Ergebnisse einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation sind die, als Eingangsparameter zugrunde gelegten, Verkehrsbelastungen. Die hier verwendete Verkehrsbelastung basiert auf Zählergebnissen der Firma Schuh & Co GmbH aus dem November 2022 für den Knotenpunkt K323 - Kriegsstraße / Brauerstraße / Reinhold-Frank-Straße (siehe Anhang A1.1 und A1.2). Diese enthält für jede einzelne Fahrbeziehung Verkehrsstärken getrennt nach Leicht- und Schwerverkehr sowie der Radfahrenden für einen gesamten repräsentativen Werktag.

Als Betrachtungszeitraum für diese Untersuchung wird die verkehrsstärkste Stunde des Tages ausgewählt. In dieser treten Kapazitätsengpässe am deutlichsten auf und somit sind Vergleiche der Ausbauvarianten basierend auf Rückstaulängen und Wartezeiten besonders aussagekräftig. Die bereitgestellten Zählwerte weisen die Abendspitzenstunde von 16:00 Uhr bis 17:00 Uhr mit 8,4 % des Tagesgesamtverkehrs als Spitzenstunde aus. Die Morgenspitzenstunde (von 07:15 Uhr bis 08:15 Uhr) kommt im Vergleich auf 6,1 % des Tagesgesamtverkehrs. Die Morgenspitzenstunde hat in der rückstaukritischen Süd-Nord-Fahrbeziehung eine um etwa 25 % höhere Verkehrsbelastung als die Abendspitzenstunde. Die geringeren Verkehrsbelastungen der anderen Fahrbeziehungen führen jedoch dazu, dass die Freigabezeitreserven der verkehrsabhängigen Steuerung auch der Süd-Nord-Fahrbeziehung einen besseren Abfluss im Vergleich zur Abendspitzenstunde ermöglichen. In Folge hat die Süd-Nord-Fahrbeziehung in der Morgenspitze trotz einer höheren Belastung eine größere Kapazitätsreserve und dadurch bedingt ein vermindertes Überstauungsrisiko. Dies wurde anhand der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation betrachtet und dabei bestätigt, dass in der Abendspitzenstunde in allen Zufahrten größere Rückstaulängen und höhere Wartezeiten auftreten. Daher wird die Abendspitzenstunde in allen weiteren Betrachtungen dieser Untersuchung als Grundlage dienen.

Aufgrund dessen, dass zum Zeitpunkt der Erhebung der Verkehrszahlen, in der Reinhold-Frank-Straße nördlich der Kaiserallee die Fahrtrichtung Süden gesperrt war, werden die Verkehrsmengen aus Norden kommend um 20 % erhöht. Dieser prozentuale Wert leitet sich aus vormaligen Verkehrszählungen ab.

Die Zählwerte enthalten keine dedizierten Fußgängerdaten. Im vorliegenden Betrachtungsfall spielen die Fußgänger aufgrund Ihrer Abwicklung eine geringe Rolle im Bezug auf die Leistungsfähigkeit des Knotenpunktes. Eine sehr hohe Auslastung spezieller Furten kann sich jedoch durchaus kapazitätsreduzierend auf die, zu diesen Furten bedingt verträglich geführten, Abbiegeströme auswirken. Davon potenziell betroffen sind, je nach Ausbauvariante keine (V1), eine (V2) oder drei (V0) bedingt verträglich geführte Rechtsabbieger der K323 und drei bedingt verträglich geführte Rechtsabbieger in der geplanten Ausbauvariante der K324. Bedingt verträglich geführte Linksabbieger sind an beiden Knotenpunkten nicht vorhanden. Für die Anzahl der angesetzten Fußgänger in der Simulation wird eine Detektorauswertung der Fußgängeranforderungstaster aus dem laufenden Betrieb herangezogen. Daraus lässt sich zuverlässig auslesen, in wie vielen Umläufen Fußgänger an den, nur auf Anforderung freigeschalteten Fußgängerfurten, anwesend waren. Bei vorausgesetzter gleichverteilter Ankunftszeit der Fußgänger am Knotenpunkt und 50 % Aufschlag für Fußgänger die im Schatten anderer Fußgänger ohne Tasterdruck queren, lässt sich die Anzahl der Fußgänger in der Spitzenstunde näherungsweise bestimmen.

Die vorliegenden Fußgängerzahlen in Kombination mit der verkehrstechnischen Abwicklung lassen keinen wesentlichen Einfluss der Fußgänger auf den Kraftfahrzeugverkehr erwarten.

Für den Knotenpunkt K324 – Brauerstraße / Gartenstraße liegen keine Zählwerte vor, stattdessen die Resultate eines makroskopischen Verkehrsmodells aus dem Jahr 2021. Unter dem Gesichtspunkt dieser Betrachtung sind fast ausschließlich die Zu- und Abflüsse der K324 in Richtung K323 erheblich. Diese Werte lassen sich direkt aus den Zahlen der K323 ermitteln. Alle weiteren Verkehrsströme werden aus den Ergebnissen des Verkehrsmodells und den relativen Verkehrsstärken der Abbiegebeziehungen abgeleitet.

Mikroskopische Verkehrsflusssimulation

Die zugrunde liegende mikroskopische Verkehrsflusssimulation wird mit der Software Aimsun Next erstellt und umfasst für jede der drei Ausbauvarianten eine realitätsnahe Abbildung der beiden Knotenpunkte K323 - Kriegsstraße / Brauerstraße / Reinhold-Frank-Straße und K324 – Brauerstraße / Gartenstraße. Das beinhaltet die Abbildung der geplanten Topologie inklusive Fahrstreifenaufteilung und -länge sowie die exakte verkehrstechnische Abwicklung inklusive der Lage aller Detektionseinrichtungen und der verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerung mit ÖPNV-Priorisierung.

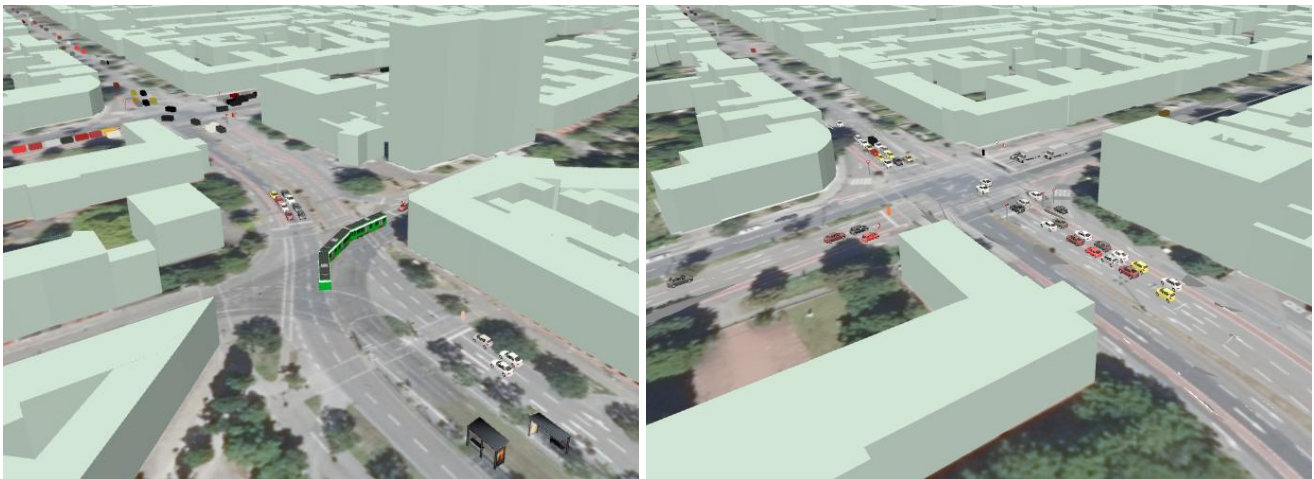


Abbildung 3 - 3D-Simulationausschnitte mit Blick aus Richtung Südwest auf die K324 (links) und die K323 (rechts)

Der Untersuchungsraum ist in der räumlichen Ausdehnung so ausgelegt, dass in allen Knotenpunktzufahrten die gesamten Rückstaulängen betrachtet werden können. Dies betrifft insbesondere die Überstauung in Richtung Norden bis zum Mühlburger Tor, im Osten bis über die Ausfahrt des Karoline-Luise-Tunnels hinweg und im Westen bis zum Weinbrennerplatz. In Richtung Süden ist weniger der Rückstau südlich der K324 kritisch zu betrachten, als die Überstauung des Zwischenraumes der Knotenpunkte K323 und K324.

Die zuvor beschriebenen, für die Untersuchung relevanten, Verkehrsmengen werden als Quell-Ziel-Matrizen in der Simulation abgebildet [1]. Die Straßenbahnen werden fahrplangetreu integriert.

Im Rahmen dieser Untersuchung kann keine Kalibrierung der Fahrverhaltensparameter durchgeführt werden. Für eine Kalibrierung der Modelle wäre eine spezielle Erhebung von Zeitbedarfswerten nötig, die aus Zeitgründen nicht möglich ist. Die zugrunde liegenden Verhaltensmodelle der Simulation sind daher nicht explizit auf das Fahrverhalten im Karlsruher Berufsverkehr angepasst, sondern basieren auf etablierten Best-Practice-Ansätzen beziehungsweise empirisch fundierten Mittelwerten aus vergleichbaren Szenarien. Gleichwohl gelten diese Modellansätze als belastbare Grundlage für mikroskopische Verkehrsflusssimulationen und liefern auch ohne projektspezifische Kalibrierung realistische und konsistente Ergebnisse [2], [3]. Insbesondere für vergleichende Analysen und die Bewertung relativer Unterschiede zwischen Szenarien sind die Simulationsergebnisse daher als aussagekräftig einzustufen.

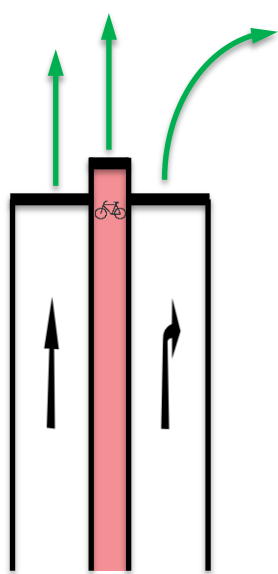
Varianten und Steuerung

Varianten

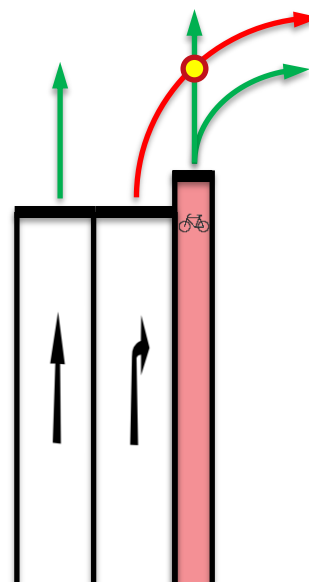
In allen drei Ausbauvarianten unterscheidet sich die Topologie des Knotenpunktes K323 hinsichtlich der Lage der Radfahrstreifen in den Knotenzufahrten. An der Topologie der K324 und an der generellen Fahrstreifenaufteilung der Kraftfahrzeugverkehre an Knotenpunkt K323 ändert sich zwischen den drei Ausbauvarianten nichts.

Alle drei Ausbauvarianten haben gemeinsam, dass die beiden Geradausbeziehungen der Kriegsstraße/B10 von zwei Fahrstreifen im Bestand auf jeweils einen Fahrstreifen reduziert werden sowie, dass der von Süden kommende Rechtseinbieger auf die Kriegsstraße nicht mehr unsignalisiert entlang einer Dreiecksinsel geführt wird, sondern vollsignalisiert ist.

Die Lage der Radfahrstreifen an der K323 hat, aufgrund der sich dadurch ändernden Zwischenzeiten, einen erheblichen Einfluss auf den Steuerungsablauf. Explizit unterscheiden sich die Ausbauvarianten darin, dass unterschiedliche Radfahrstreifen links (RVF1) oder rechts (RVF2) der Rechtsabbiegefahrstreifens geführt werden (siehe Abbildung 4).



RVF1 - Gemeinsame Freigabe des Geradausverkehrs mit dem Rechtsabbieger möglich



RVF2 - Keine gemeinsame Freigabe des Geradausverkehrs mit dem Rechtsabbieger möglich aufgrund Feindlichkeit

Abbildung 4 - Vergleich der beiden Radverkehrsführungsvarianten

Liegt der Radfahrstreifen rechts neben dem Rechtsabbiegefahrstreifen, ist der Rechtsabbieger feindlich zum Radfahrer. Aufgrund dessen, dass der geradeausfahrende Kraftfahrzeugverkehr immer gemeinsam mit dem parallelen Radfahrenden Freigabe erhalten soll, kann der Geradausverkehr nicht mehr gemeinsam mit dem Rechtsabbieger freigegeben werden. In Folge ändern sich die, dem steuerungstechnischen Ablauf zugrundeliegenden Zwischenzeiten und es reduzieren sich Kapazität und Flexibilität des Verkehrsablaufs.

Im Folgenden werden die drei betrachteten Ausbauvarianten mit V0, V1 und V2 bezeichnet. Bei Ausbauvariante V0 kommt, gemäß Bestand, nur in der nördlichen Zufahrt Reinhold-Frank-Straße die RVF2 zum Einsatz (siehe Anhang A2.1). In Ausbauvariante V1 kommt RVF2 in allen vier Zufahrten zum Einsatz (siehe Anhang A3.1). In Ausbauvariante V2 kommt RVF2 zusätzlich nur in den beiden Zufahrten der Kriegsstraße/B10 zum Einsatz (siehe Anhang A4.1). Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der drei Ausbauvarianten mit den unterschiedlichen Radverkehrsführungsvarianten an der K323.

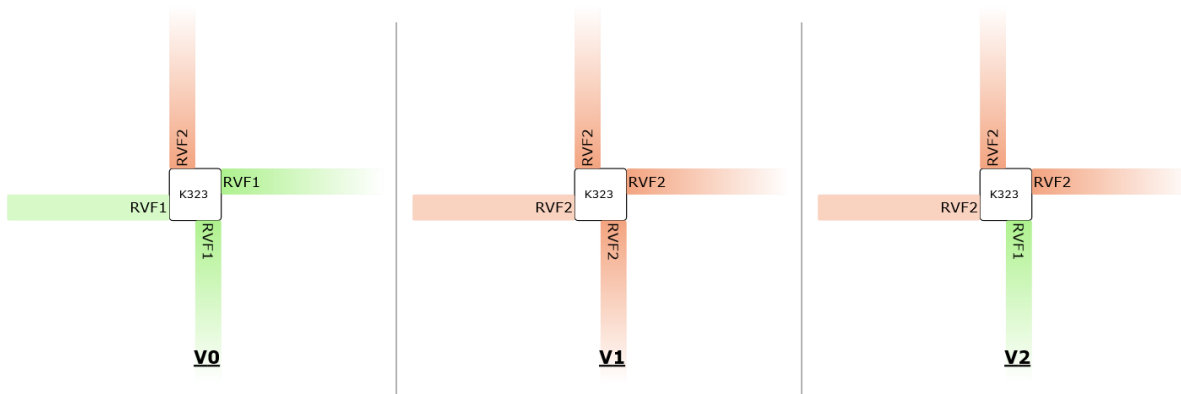


Abbildung 5 - Simplifizierte grafische Darstellung der Radverkehrsführung in den drei Ausbauvarianten

Aus den daraus berechneten Zwischenzeitmatrizen der drei Ausbauvarianten (siehe Anhang A2.2, A3.2 und A4.3) ergeben sich nach Überplanung die nachfolgenden Freigabezeitverteilungen an LSA K323:

<u>V0</u>	27 s	13 s
<u>V1</u>	21 s	14 s
<u>V2</u>	21 s	14 s



K323

<u>V0</u>	<u>V1</u>	<u>V2</u>
*	12 s	12 s
32 s	30 s	30 s
20 s	19 s	19 s

<u>V0</u>	<u>V1</u>	<u>V2</u>
12 s	11 s	11 s
24 s	24 s	24 s
*	6 s	6 s

<u>V0</u>	18 s	17 s	16 s+
<u>V1</u>	13 s	16 s	15 s
<u>V2</u>	13 s	18 s	15 s+

* bedingt verträglich

+ zusätzliche bedingt verträgliche Freigabe mit parallelem Geradeausstrom

Abbildung 6 - Freigabezeitverteilung nach Fahrbeziehung und Ausbauvariante

Aufgrund der erhöhten Zwischenzeiten und des dadurch verzögerten Signalablaufs kann in den Ausbauvarianten V1 und V2 die Freigabe der Süd-Nord-Fahrbeziehung erst später im Umlauf beginnen. Die Koordinierung der Süd-Nord-Fahrbeziehung ist daher verschlechtert und es kommt zu einem engeren zeitlichen Korridor der störungsfreien Durchfahrt (siehe Abschnitt Koordinierung und Steuerungsablauf). Bei den hohen Verkehrsmengen der betrachteten Abendspitze bedeutet dies, dass es mit einer wesentlich höheren Wahrscheinlichkeit zu einem, durch die Rückstaudetektion induzierten, vorzeitigen

Freigabezeitabbruch des Zuflusses von LSA K324 kommen kann. Das wiederum bedingt, dass auch an LSA K323 potenziell nicht die gesamte Freigabezeit ausgenutzt werden kann.

In einem Vollastumlauf (Dauerbelegung aller Detektoren außer der Stauschleifen) ergeben sich in Folge eine um 16 s in Ausbaupariente V1 und eine um 14 s geringere Freigabezeit je Umlauf in Ausbaupariente V2 im Vergleich zu Ausbaupariente V0¹. Das bedeutet, bei theoretischer Vollaustattung und ohne Berücksichtigung möglicher zusätzlicher kapazitätsmindernder Einflüsse auf den Verkehrsablauf oder die Steuerung, eine um etwa 450 Kfz/h verringerte Kapazität des Knotenpunktes K323 in V1 im Vergleich zu V0. Dies entspricht einer Reduzierung um etwa 9% des stündlichen Spitzenstundenverkehrs und in etwa der Verkehrsmenge, die innerhalb von 5 Minuten über den Knotenpunkt abgewickelt wird.

Theoretische Kapazität gesichert geführter Signalgruppen je Ausbaupariente [Kfz/h]

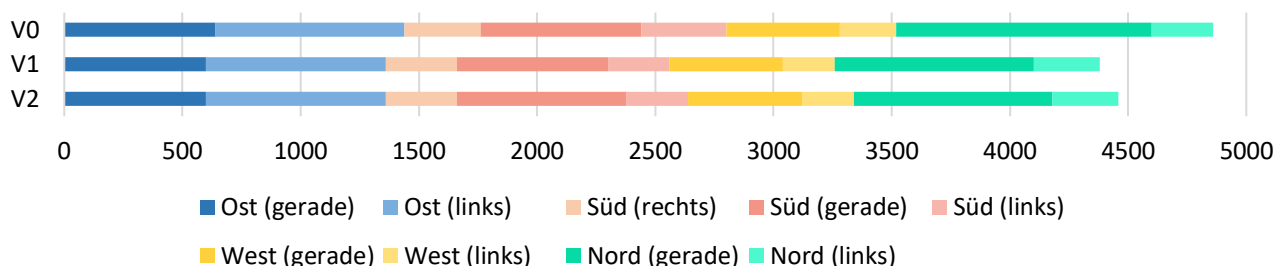


Abbildung 7 – Theoretische Kapazitäten (Vollastumlauf) der drei Ausbauparienten (ohne die in V1 bedingt verträglichen Ströme) bei angenommenem Zeitbedarfswert von 1,8s

Koordinierung und Steuerungsablauf

In allen drei Ausbauparienten ist die verkehrsunabhängige Steuerung, gemäß Bestand, primär auf eine gute Koordinierung der Abflüsse der K323 zur K324 ausgelegt. Alle aus Richtung Osten und Norden zufließenden Fahrzeuge von der LSA K323 zur K324 können koordiniert, ohne Halt abfließen. Außerdem ist die Priorisierung der Straßenbahnen an der K324 insofern eingeschränkt, dass zur Hauptrichtung feindliche Straßenbahnen nur in gewissen Zeitbereichen eingreifen können. Somit wird auch bei Bahneingriff die Koordinierung nicht gebrochen.

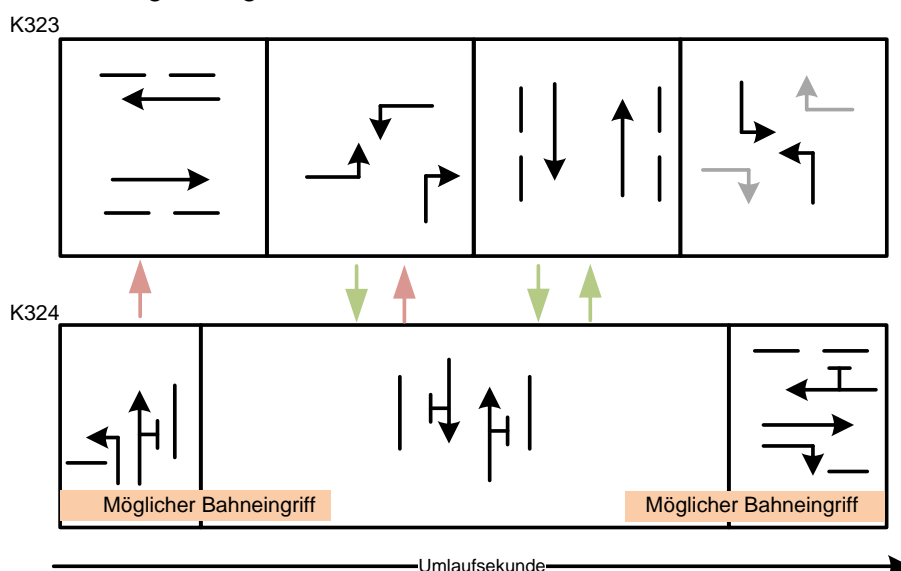


Abbildung 8 - Vereinfachtes, übergreifendes Lichtsignalsteuerungsablaufschema

¹ Bei dieser vereinfachten Berechnung der Freigabezeiten wurden die Rechtsabbieger von der Kriegsstraße nicht berücksichtigt, da diese aufgrund der teilweise bedingt verträglichen Führung nicht quantitativ vergleichbar sind. Außerdem ist die zusätzliche, bedingt verträgliche Freigabe des Rechtseinbiegers aus Süden in den Ausbauparienten V0 und V2 ebenfalls nicht berücksichtigt, da auch diese nicht quantitativ vergleichbar zwischen den Ausbauparienten ist.

Dies bedingt indirekt, dass in der entgegengesetzten Süd-Nord-Fahrtrichtung Kraftfahrzeuge die aus Richtung Süden über die K324 zur K323 fahren, zunächst an der K323 auffahren. Je nachdem wie stark die Belastung des von Osten kommenden Linksabbiegers von der Kriegsstraße ist, kommt es zu einem Grünbeginnversatz von 17 s bis 44 s in V0, 24 s bis 49 s in V1 und 23 s bis 49 s in V2. Dadurch ist eine Überstauung des Zwischenraumes zwischen K323 und K324 mit wesentlich höherer Wahrscheinlichkeit in der Süd-Nord-Richtung als entgegengesetzt zu erwarten.

Auswertungsmethodik

Als Bewertungskriterium der Verkehrsqualität werden neben den maximalen und mittleren Rückstaulängen je Fahrstreifen auch die mittlere Wartezeit je Kraftfahrzeug betrachtet. Nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – Teil Stadtstraßen [4] wird die Qualitätsstufe (QSV) einer Fahrbeziehung wie folgt, anhand der mittleren Wartezeit definiert:

Tabelle 1 - Die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs mit Grenzwerten für den Kfz-Verkehr

QSV	Kfz-Verkehr	Fußgänger- und Radverkehr	Erläuterung
	mittlere Wartezeit	maximale Wartezeit	
A	≤ 20 s	≤ 30 s	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmenden sehr kurz
B	≤ 35 s	≤ 40 s	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmenden kurz. Alle während der Sperrzeit auf dem betrachteten Fahrstreifen ankommenden Kraftfahrzeuge können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren.
C	≤ 50 s	≤ 55 s	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmenden spürbar. Nahezu alle während der Sperrzeit auf dem betrachteten Fahrstreifen ankommenden Kraftfahrzeuge können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren. Auf dem betrachteten Fahrstreifen tritt im Kfz-Verkehr am Ende der Freigabezeit nur gelegentlich ein Rückstau auf.
D	≤ 70 s	≤ 70 s	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmenden beträchtlich. Auf dem betrachteten Fahrstreifen tritt im Kfz-Verkehr am Ende der Freigabezeit häufig ein Rückstau auf.
E	>70 s	≤ 85 s	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmenden lang. Auf dem betrachteten Fahrstreifen tritt im Kfz-Verkehr am Ende der Freigabezeit in den meisten Umläufen ein Rückstau auf.
F	$q > C$ („Überlastung“)	> 85 s	Die Wartezeit sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmenden sehr lang Auf dem betrachteten Fahrstreifen wird die Kapazität (C) im Kfz-Verkehr überschritten. Der Rückstau wächst stetig. Die Kraftfahrzeuge müssen bis zur Weiterfahrt mehrfach vorrücken. Die Qualitätsstufe F für Kraftfahrzeuge ist nicht direkt aus den Ergebnissen der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation ableitbar.

Je Ausbauvariante werden zehn Durchläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen simuliert [5]. Die Ergebnisse sind je Ausbauvariante und Knotenpunkt in Tabellenform mit einer Spalte je Zufahrt Fahrstreifen und den Werten maximaler und mittlerer Rückstaulänge, mittlerer Wartezeit je Kfz und der daraus abgeleiteten Qualitätsstufe nach HBS aufgeführt. Aus den Resultaten der Simulation kann nicht direkt abgeleitet werden, ob QSV E oder F für den Kraftfahrzeugverkehr vorliegt, daher wird im Folgenden bei mittleren Wartezeiten > 70 s die QSV E/F ausgewiesen². Die aufgeführte maximale Rückstaulänge ist dabei die längste Rückstaulänge, die innerhalb aller zehn Simulationsläufe auftrat. Zusätzlich dazu wird noch das 95 %-Quantil der Rückstaulänge über alle zehn Simulationsläufe aufgeführt. Je Ausbauvariante werden die Werte noch einmal anhand einer vereinfachten, maßstäblichen Übersichtsgrafik dargestellt.

² Bei stetig steigenden Rückstaulängen liegt tendenziell QSV F vor, ansonsten QSV E.

Ergebnisse

Kraftfahrzeugverkehr

Ausbauvariante V0

In Ausbauvariante V0 kommt es in Nord-Süd-Fahrtrichtung vereinzelt zu Überstauungen des Knotenzwischenraumes zwischen den Knoten K323 und K324. In zwei von zehn Simulationsdurchläufen trat jeweils einmalig eine Überstauung bis in die Konfliktfläche des Knotens K324 auf. Die Gegenrichtung wurde in einem von zehn Simulationsdurchläufen einmalig temporär überstaut. Längerfristig andauernde Rückstauzustände nach Freigabeende traten nicht auf. Kurzfristige, aufgrund schwankender Verkehrsmengen hervorgerufene, Kapazitätsdefizite wurden stets in den nachfolgenden Umläufen vollständig kompensiert.

Tabelle 2 - Ergebnistabelle für Kraftfahrzeugverkehr an Knotenpunkt K323 in Ausbauvariante V0

K323														
maximale Rückstaulänge [m]	66,7	139,4	115,2	97,0	66,7	103,0	97,0	66,7	42,4	169,7	90,9	157,6	157,6	84,9
95% Quantil	48,5	127,3	90,9	90,9	54,6	84,9	90,6	42,1	36,4	139,4	72,4	90,9	102,7	78,8
mittlere Rückstaulänge [m]	7,9	34,5	25,7	23,1	9,4	18,5	17,0	5,2	4,1	38,9	15,5	23,5	21,2	22,7
mittl. Wartezeit [s]	29,6	39,8	47,0	41,4	46,0	46,6	46,3	14,9	50,1	58,5	51,7	42,6	41,3	64,7
QSV	B	C	C	C	C	C	C	A	D	D	D	C	C	D

Tabelle 3 - Ergebnistabelle für Kraftfahrzeugverkehr an Knotenpunkt K324 in Ausbauvariante V0

K324								
maximale Rückstaulänge [m]	42,4	48,5	109,1	109,1	30,3	12,1	84,9	97,0
95% Quantil	36,4	30,3	78,8	78,8	30,3	11,8	60,3	60,6
mittlere Rückstaulänge [m]	6,0	6,4	11,8	11,8	5,2	0,8	4,7	4,4
mittl. Wartezeit [s]	42,8	63,9	18,5	18,5	47,6	29,1	6,1	5,7
QSV	C	D	A	A	C	B	A	A

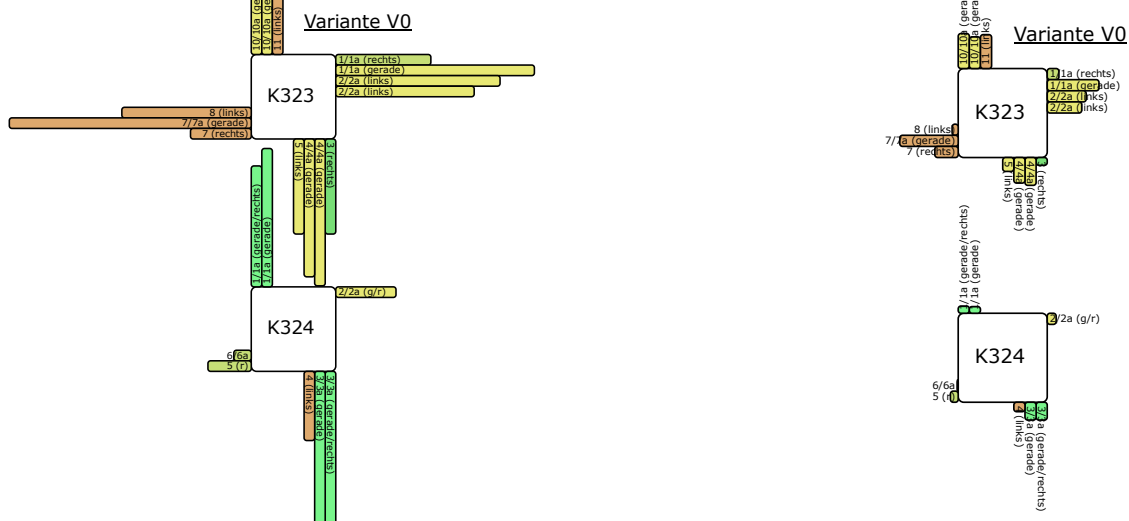
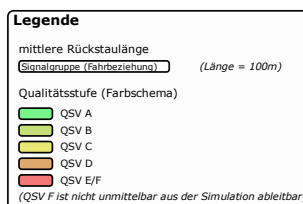
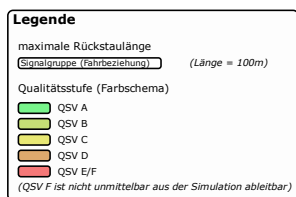


Abbildung 9 - Maßstäbliche maximale Rückstaulängen (links) und mittlere Rückstaulängen (rechts) in Ausbauvariante V0

Es kommt zu Qualitätsstufen für den motorisierten Kraftfahrzeugverkehr von QSV A bis QSV D. Die schlechteste Qualitätsstufe tritt in den Fahrbeziehungen der Signalgruppen 7/7a, 8 und 11 der LSA K323 auf, sowie der Signalgruppe 4 der LSA K324. Die maximale, mittlere Wartezeit hat Signalgruppe 11 der LSA K323 mit 65 s pro Fahrzeug.



Abbildung 10 - Simulationsausschnitt um etwa 16:30 Uhr (V0)

Abbildung 11 zeigt die Rückstaulängen an den Haltlinien beider Knotenpunkte in Süd-Nord-Richtung. Es kommt nicht zu einer Überstauung des Knotenzwischenraumes, die eine staudetektionsinduzierte Rückstauverlagerung stromaufwärts der LSA K324 bedingen. So erkennt man auch im Simulationsausschnitt in Abbildung 10 keinen wesentlichen Rückstau südlich des Knotenpunktes K324.

Rückstaulänge Süd-Nord-Achse in Variante V0

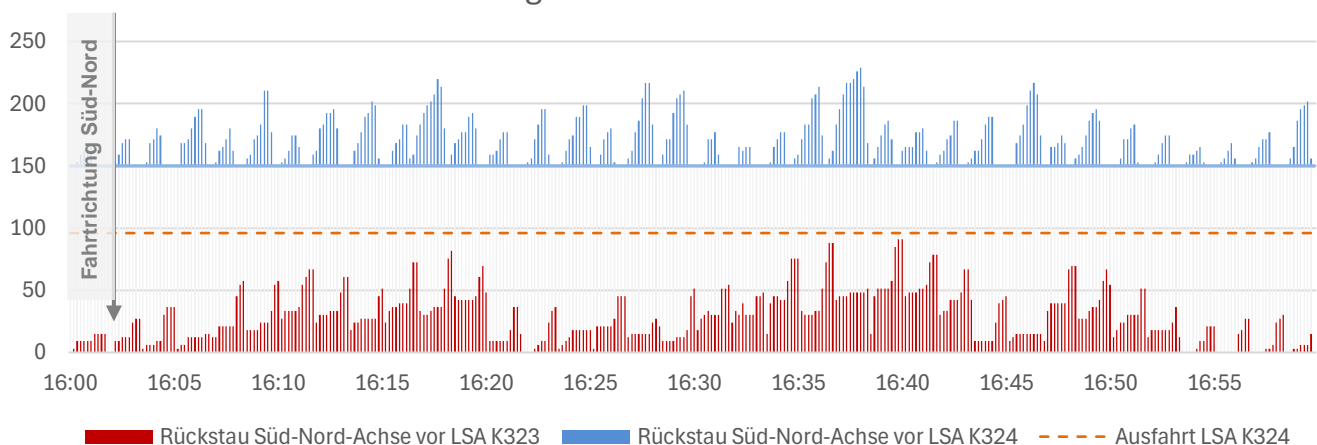


Abbildung 11 - Balkendiagramm der Rückstaulängen der Süd-Nord-Achse an beiden LSA in 10 s-Intervallen (V0)

Ausbauvariante V1

In Ausbauvariante V1 ist es nicht möglich, alle rechnerisch benötigten Freigabezeiten zu gewähren. Es kommt in Folge zu theoretischen Kapazitätsdefiziten. In einem durchschnittlichen Umlauf werden nicht alle Fahrzeuge während der Freigabezeit den Knotenpunkt passieren können. Die verkehrsabhängige Steuerung kann lokale Kapazitätsdefizite ausgleichen, sofern an anderen Fahrbeziehungen Kapazitätsreserven auftreten. Fehlen diese Kapazitätsreserven, kommt es potenziell zu stetig steigenden Rückstaulängen (QSV F).



Abbildung 12 - Simulationsausschnitt um etwa 16:30 Uhr (V1)

Das Ergebnis der Simulation zeigt, dass im Vergleich zu Ausbauvariante V0 deutlich höhere Rückstaulängen, insbesondere in der westlichen Zufahrt der K323 und der südlichen Zufahrt der K324, auftreten. Mit 370 m hat die Geradeausfahrbeziehung der Kriegsstraße aus Westen die höchste maximale Rückstaulänge in dieser Ausbauvariante³. In Süd-Nord-Richtung kommt es regelmäßig zu einer Überstauung des Knotenzwischenraumes und einem Rückstau vor LSA K324 von bis zu 300 m (siehe auch Abbildung 14). Die kurzen Aufstellstreifen der Signalgruppen 3/3a, 6, 9 und 12 sind mehrfach temporär überstaut.

Abbildung 14 zeigt das Rückstauverhalten bei vorliegendem Kapazitätsdefizit der Süd-Nord-Achse an LSA K323. Der Rückstau steigt stetig an und kann bereits nach wenigen Umläufen nicht mehr innerhalb der Freigabezeit abgebaut werden. Dies wiederum sorgt für ein immer früher im Umlauf auftretendes Ansprechen der Rückstaudetektion an LSA K323 und einer dadurch induzierten Freigabedrosselung an LSA K324. Die Abbildung zeigt, dass im Simulationsmodell ab etwa 16:30 Uhr der maximale Rückstau an der K323 nicht weiter ansteigt, sondern stromaufwärts vor LSA K324 verlagert wird und dort stetig ansteigt. Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 11 dieselbe Grafik für Ausbauvariante V0, in der keine ansteigenden Rückstaulängen südlich der LSA K324 auftreten.

³ Eine Überstauung des Knotenpunktes Weinbrennerplatz tritt bei Rückstaulängen von über 600 m ein.

Tabelle 4 - Ergebnistabelle für Kraftfahrzeugverkehr an Knotenpunkt K323 in Ausbauvariante V1

K323	←				↑				→			↓		
	maximale Rückstaulänge [m]	109,1	145,5	133,4	103,0	60,6	103,0	103,0	97,0	84,9	369,7	157,6	163,7	157,6
95% Quantil	84,9	145,5	133,4	103,0	54,6	103,0	103,0	90,6	60,3	206,1	121,2	114,6	120,3	78,8
mittlere Rückstaulänge [m]	21,8	60,5	30,0	27,2	8,7	34,4	33,5	24,1	17,2	61,9	39,8	26,2	23,9	19,9
mittl. Wartezeit [s]	74,4	66,3	55,2	47,3	46,5	89,9	90,8	64,6	142,8	87,5	130,9	49,5	47,2	61,4
QSV	E/F	D	D	C	C	E/F	E/F	D	E/F	E/F	E/F	C	C	D

Tabelle 5 - Ergebnistabelle für Kraftfahrzeugverkehr an Knotenpunkt K324 in Ausbauvariante V1

K324	←		↑		→		↓	
	maximale Rückstaulänge [m]	54,6	54,6	297,0	297,0	48,5	18,2	78,8
95% Quantil	42,4	36,4	206,1	206,1	36,4	12,1	66,7	66,7
mittlere Rückstaulänge [m]	6,9	6,7	31,2	31,2	5,5	0,8	8,4	8,1
mittl. Wartezeit [s]	51,7	79,5	49,1	49,1	50,9	24,0	8,9	8,3
QSV	D	E/F	C	C	D	B	A	A

Legende

maximale Rückstaulänge
(Signalgruppe (Fahrbeziehung)) (Länge = 100m)

Qualitätsstufe (Farbschema)

- QSV A
- QSV B
- QSV C
- QSV D
- QSV E/F

(QSV F ist nicht unmittelbar aus der Simulation ableitbar)

Legende

mittlere Rückstaulänge
(Signalgruppe (Fahrbeziehung)) (Länge = 100m)

Qualitätsstufe (Farbschema)

- QSV A
- QSV B
- QSV C
- QSV D
- QSV E/F

(QSV F ist nicht unmittelbar aus der Simulation ableitbar)

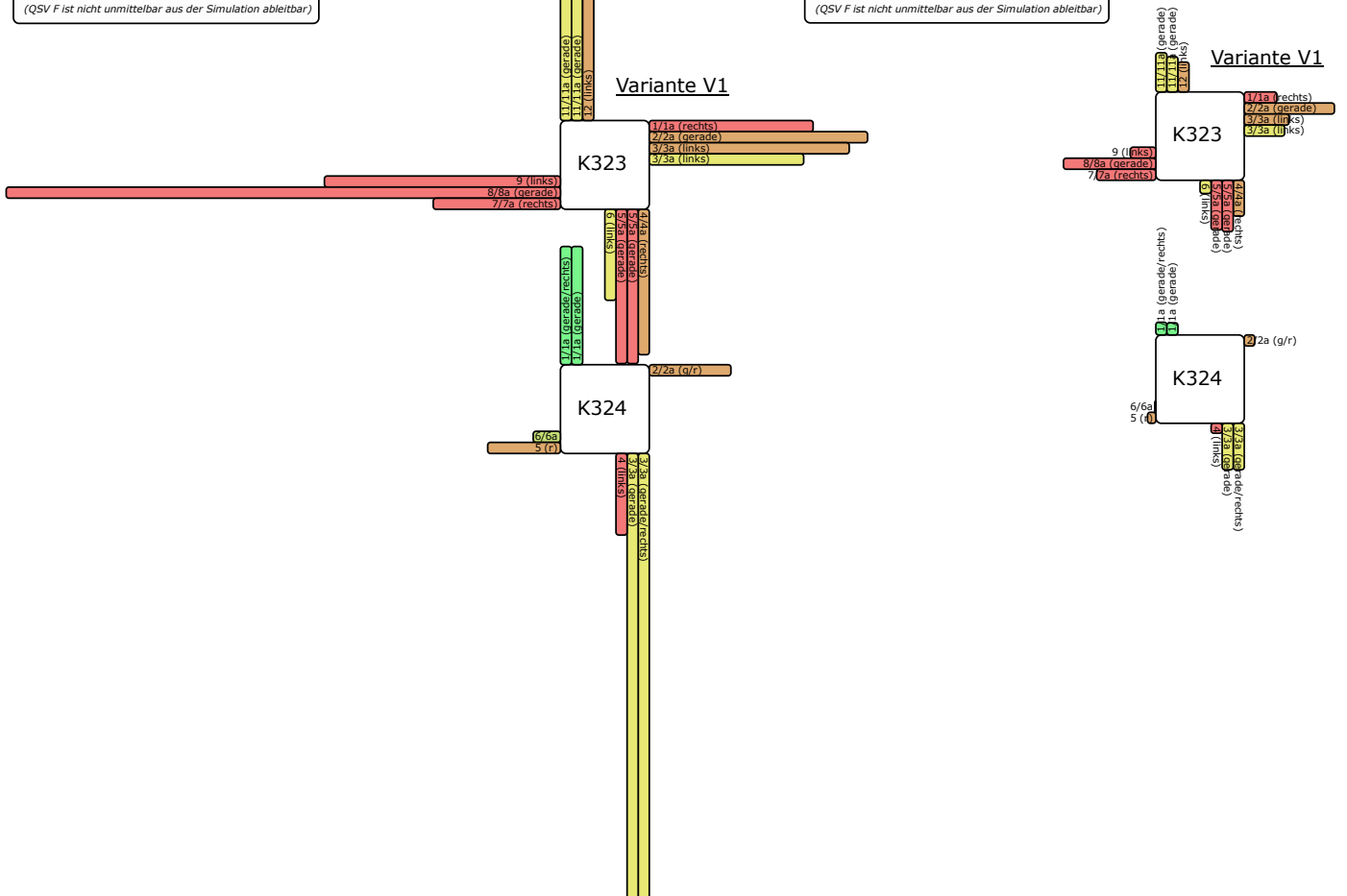


Abbildung 13 - Maßstäbliche maximale Rückstaulängen (links) und mittlere Rückstaulängen (rechts) in Ausbauvariante V1

Rückstaulänge Süd-Nord-Achse in Variante V1

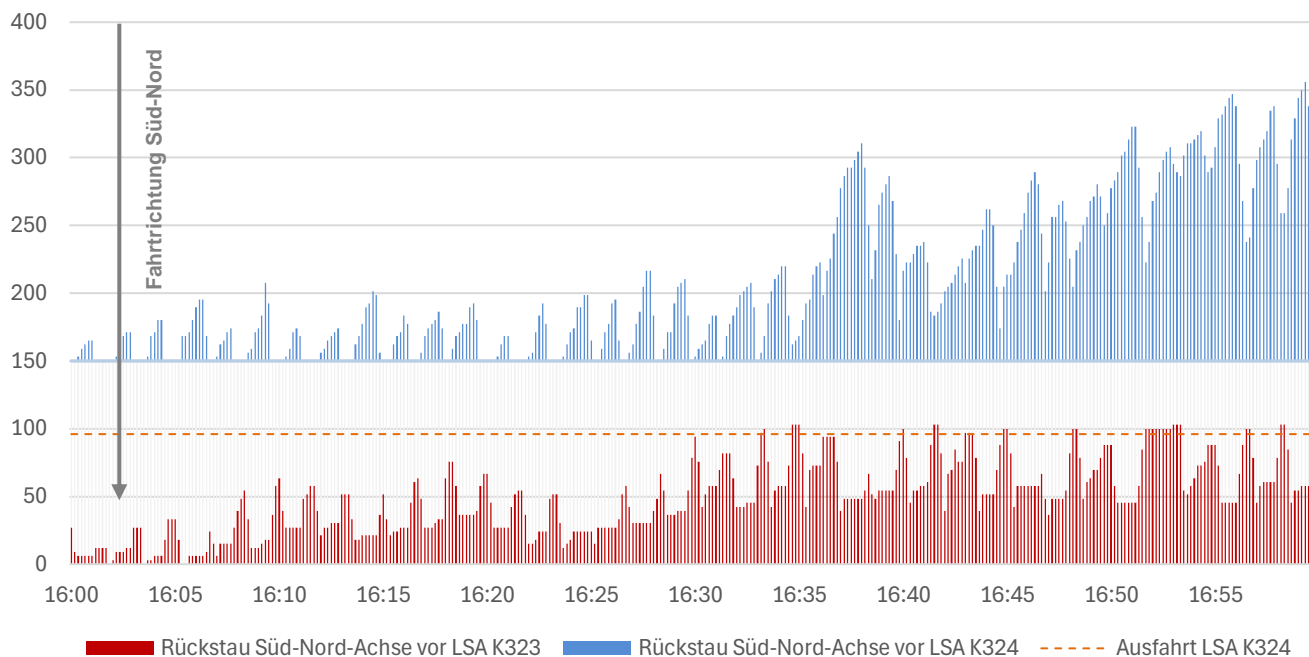


Abbildung 14 - Balkendiagramm der Rückstaulängen der Süd-Nord-Achse an beiden LSA in 10 s-Intervallen (V1)

Durch iteratives Reduzieren der Verkehrsmengen in der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation von Ausbauparallel V1 konnte festgestellt werden, dass ein „stabiler“ Verkehrsablauf bei einer Reduzierung der Verkehrsmengen um etwa 7-10% eintritt. Dann können alle temporären Kapazitätsdefizite innerhalb weniger Umläufe kompensiert werden und es kommt zu keiner kontinuierlich steigenden Rückstaubildung.

Ausbauparallel V2

Im Vergleich zu Ausbauparallel V1 ist in Ausbauparallel V2 die Radverkehrsführung in der südlichen Zufahrt analog zu V0 ausgebaut. Dadurch kann im Vergleich zu V1 die Signalgruppe 5 zwei Sekunden länger frei bekommen. Des Weiteren kann der südliche Rechtseinbieger zusätzlich bedingt verträglich über die Vollscheibe des parallelen Geradeausverkehr einbiegen.

Durch die angepassten Zwischenzeiten sind bei hohen Auslastungen jedoch nur geringfügige Kapazitätsgewinne im Vergleich zu V1 erwartbar. Bei schwachen Auslastungen können höhere Kapazitätsgewinne, aufgrund einer höheren Flexibilität im Vergleich zu V1 gewonnen werden.

Tabelle 6 - Ergebnistabelle für Kraftfahrzeugverkehr an Knotenpunkt K323 in Ausbauparallel V2

K323	←	←	←	←	↑	↑	↑	↑	→	→	→	↓	↓	↓
maximale Rückstaulänge [m]	109,1	133,4	133,4	103,0	72,7	84,9	90,9	66,7	90,9	315,2	157,6	151,5	157,6	72,7
95% Quantil	66,7	133,4	96,4	90,9	54,6	72,7	66,7	54,6	60,6	205,8	108,8	96,7	96,7	66,7
mittlere Rückstaulänge [m]	22,3	61,3	31,3	28,2	10,0	20,9	21,8	16,3	18,4	65,8	40,2	27,4	23,9	15,5
mittl. Wartezeit [s]	73,6	66,0	55,4	47,4	49,7	63,6	65,4	47,5	141,5	88,7	128,0	49,5	46,4	60,0
QSV	E/F	D	D	C	C	D	D	C	E/F	E/F	E/F	C	C	D

Tabelle 7 - Ergebnistabelle für Kraftfahrzeugverkehr an Knotenpunkt K324 in Ausbauvariante V2

K324								
maximale Rückstaulänge [m]	48,5	54,6	200,0	200,0	36,4	18,2	78,8	78,8
95% Quantil	42,4	36,4	181,8	181,8	30,3	12,1	66,4	60,6
mittlere Rückstaulänge [m]	8,2	6,5	20,2	20,2	4,9	0,9	9,1	7,7
mittl. Wartezeit [s]	52,0	78,8	33,8	33,8	49,4	24,4	8,7	8,1
QSV	D	E/F	B	B	C	B	A	A

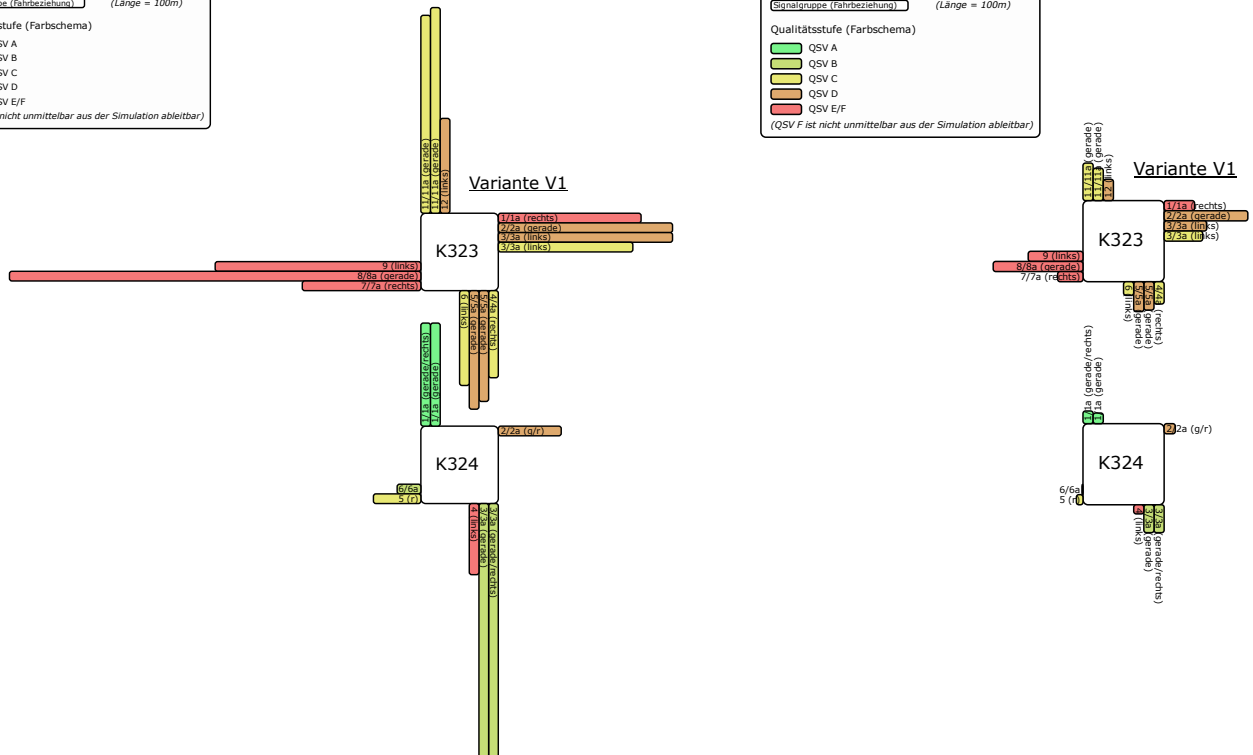
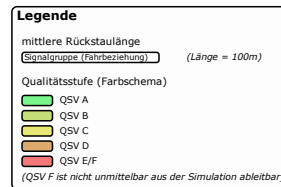
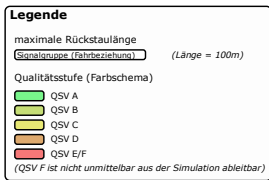


Abbildung 15 - Maßstäbliche maximale Rückstaulängen (links) und mittlere Rückstaulängen (rechts) in Ausbauvariante V2

Rückstaulänge Süd-Nord-Achse in Variante V2

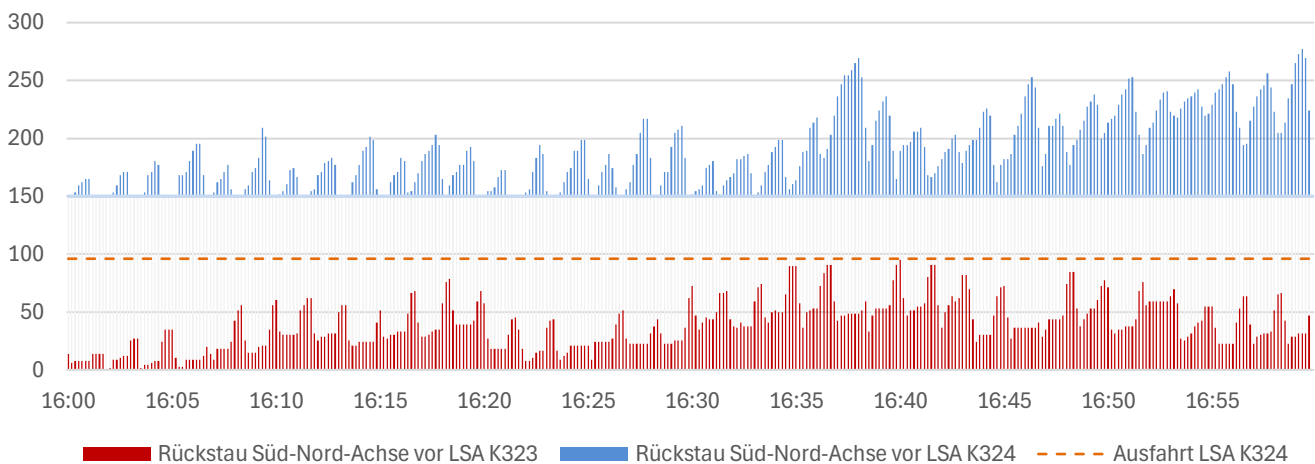


Abbildung 16 - Balkendiagramm der Rückstaulängen der Süd-Nord-Achse an beiden LSA in 10 s-Intervallen (V2)

Die Ergebnisse der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation zeigen im Vergleich zu Ausbauvariante V1 eine Verbesserung der Verkehrsqualität und eine geringe Reduzierung des Rückstaus in der Süd-Nord-Achse, die sich durch die Kapazitätssteigerung dieser Fahrbeziehung an LSA K323 von etwa zwei Fahrzeugen pro Umlauf erklären lässt. Aufgrund der dadurch seltener und später im Umlauf auftretenden Überstauung der Rückstauschleifen, ergibt sich auch an LSA K324 eine höhere Freigabezeit und somit eine gesteigerte Verkehrsqualität und verminderte Rückstaubildung der Süd-Nord-Achse. Zudem zeigt sich eine verbesserte Verkehrsqualität des südlichen Rechtseinbiegers auf die Kriegsstraße. Alle weiteren Wartezeit- und Rückstauwerte haben nur geringe Varianz im Vergleich zur Ausbauvariante V1.

Rad- und Fußgängerverkehr

Für die Bestimmung der Qualitätsstufen des Rad- und Fußgängerverkehrs sind nach HBS, im Gegensatz zum Kraftfahrzeugverkehr die maximalen anstatt der mittleren Wartezeiten maßgeblich. Im Folgenden sind diese je Knotenpunktarm aufgeführt.

Tabelle 8 – Maximale Wartezeiten für den Fußgängerverkehr an Knotenpunkt K323

K323					
		V0	maximale Wartezeit [s]	86,1	87,7
	QSV	F	F	F	F
V1	maximale Wartezeit [s]	85,4	85,0	88,5	86,5
	QSV	E	E	F	F
V2	maximale Wartezeit [s]	91,1	85,2	82,7	86,1
	QSV	F	E	E	F

Tabelle 9 - Maximale Wartezeiten für den Fußgängerverkehr an Knotenpunkt K324

K324						
		V0, V1, V2	maximale Wartezeit [s]	46,1	84,8	80,4
	QSV	C	E	E	D	F

Die maximalen Wartezeiten der Fußgänger und derjenigen Radfahrenden die über die Furten fahren sind zwischen den jeweiligen Ausbauvarianten im Prinzip identisch. Dies ist bedingt dadurch, dass in den koordinierten Steuerungen immer dieselben Umlaufzeit von 100 s umgesetzt ist, nahezu Vollast vorliegt und alle an Lichtsignalanlage K323 zur Mittelinsel einlaufenden Fußgängersignale nach 10 s Freigabe gesperrt werden. Die räumendenden Fußgänger von der Mittelinsel haben im Anschluss weiterhin mehrere Sekunden über Grün. In der Theorie ist für die maximale Wartezeit ist derjenige Fußgänger maßgeblich der 1 s nach Freigabeende an der Furt eintrifft und dann 89 s warten muss.

Eine spürbare Reduzierung der Fußgängerwartezeiten wäre lediglich durch Umlaufzeitreduzierung möglich. Diese findet außerhalb der Spitzenstunden an den beiden Lichtsignalanlagen bereits statt. Innerhalb der hier betrachteten Spitzenstunde jedoch, ist eine Umlaufzeitreduzierung, ohne Billigung massiver Rückstaulängen des Kraftfahrzeugverkehrs, nur in Ausbauvariante V0 realistisch. Hier wäre eine Reduzierung auf 90 s Umlaufzeit denkbar. Diese würde sich direkt auf die Wartezeiten der Fußgänger auswirken und bei dann theoretisch 79 s maximaler Wartezeit eine Qualitätsstufe von QSV E statt QSV F für alle Furten ergeben.

Diejenigen Radfahrenden, die nicht über die Furten fahren, werden je nach Zufahrt und Ausbauvariante über eigene Radsignale oder parallel zur Kraftfahrzeugfreigabe geführt. Im Folgenden sind für alle Fahrbeziehungen die nicht im Mischverkehr sondern auf eigenem Radfahrstreifen geführt sind, die maximalen Wartezeiten aufgeführt. Bei abbiegenden Radfahrenden die im Mischverkehr über die Fahrstreifen der Kraftfahrzeuge fahren, wird auf die mittleren Wartezeiten aus den jeweiligen Tabellen der Kraftfahrzeuge verwiesen⁴.

Für die indirekten Linksabbieger aus Richtung Osten an beiden Lichtsignalanlagen ist die maximale Wartezeit für den gesamten Vorgang, also das konsequente Überfahren von zwei getrennten Signalgruppen berücksichtigt.

Tabelle 10 - Maximale Wartezeiten für die Radfahrstreifen an Knotenpunkt K323
















K323									
V0	maximale Wartezeit [s]		64,5	102,8	81,8			72,0	72,3
	QSV		D	F	E			E	E
V1	maximale Wartezeit [s]	71,3	62,4	99,8	80,0	74,5	52,0	73,4	74,2
	QSV	E	D	F	E	E	C	E	E
V2	maximale Wartezeit [s]	67,4	64,4	111,4	81,7		69,2	69,7	78,0
	QSV	D	D	F	E		D	D	E

Tabelle 11 - Maximale Wartezeiten für die Radfahrstreifen an Knotenpunkt K324

K324								
V0, V1, V2	maximale Wartezeit [s]	91,1	85,4	34,1	29,5	88,2	49,6	42,1
	QSV	F	F	B	B	F	C	C

Wesentliche Unterschiede zwischen den Ausbauvarianten sind weder für den Fuß- noch den Radverkehr vorhanden. Die auftretenden Unterschiede sind eher mit zufälliger Abweichung des Eintreffenszeitpunktes am Knotenpunkt zu erklären, also durch die geringfügige Steuerungsanpassung hinsichtlich des Rad- und Fußverkehr.

Einordnung der Ergebnisse

Ziel der Untersuchung ist der verkehrstechnische Vergleich der beiden lichtsignalgeregelten Knotenpunkte in den drei vordefinierten Ausbauvarianten. Diese Untersuchung verfolgt nicht den Zweck, eine gesamtheitliche Betrachtung der Ausbauvarianten anzustellen. Insbesondere Sicherheitsaspekte, aber auch die Belange der nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden sowie städtebauliche Aspekte und mögliche verkehrsregulierende Ansätze sind nicht Teil dieser Betrachtung. Sie dient lediglich als Entscheidungshilfe in Bezug auf Verkehrsqualität und -ablauf.

Im Hinblick auf die Aussagekraft der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation sei außerdem erwähnt, dass alle nördlich des Knotenpunktes K323 gelegenen kapazitätsmindernden Elemente, insbesondere die Lichtsignalanlagen K322 und K122, nicht in der Simulation abgebildet sind. Eine in der Realität potenziell auftretende Überstauung der nördlichen Knotenausfahrt der K323 würde die Kapazität spürbar reduzieren. Ein Rückstau an dieser Stelle wird über Staudetektion erkannt und infolgedessen die Freigabezeiten der

⁴ Die maximalen Wartezeiten im Mischverkehr auszuweisen, würde für alle Fahrbeziehungen QSV F ausweisen, da diejenigen Radfahrer die nicht am Rückstau vorbei zur Haltelinie vorrücken eine sehr hohe maximale Wartezeit haben und maßgeblich werden. Eine direkte Vergleichbarkeit wäre daher nicht gegeben.

zufließenden Signalgruppen reduziert. Der Rückstau wird dann zunächst südlich der K323 und konsekutiv südlich der K324 verlagert.

Darüber hinaus stellen mikroskopische Modelle stets eine Abstraktion der Wirklichkeit dar. Individuelle Entscheidungen von Verkehrsteilnehmenden, spontane Ereignisse (z. B. Unfälle oder ungewöhnliche Fahrmanöver) oder langfristige Anpassungsprozesse im Verkehrsverhalten lassen sich nur eingeschränkt modellieren. Auch sind solche Modelle stark von den implementierten Fahrverhaltensmodellen abhängig, deren Annahmen nicht in jeder Verkehrssituation gleichermaßen zutreffen. Ein zentraler Punkt ist die starke Abhängigkeit von Eingabedaten und Modellparametern. Fahrverhalten und Zuflusssteuerung werden durch Modellannahmen beschrieben, die reale Verhaltensvariationen nur begrenzt abbilden können und im Rahmen dieser Untersuchung nicht in vollem Umfang kalibriert und evaluiert werden konnten. Dennoch bieten mikroskopische Verkehrsflusssimulationen eine fundierte Abschätzung der zu erwartenden Verkehrsabläufe und sind eine bewährte Methode der Beurteilung und Quantifizierung der Verkehrsqualität [6], [7].

Die Steuerungen für die drei Ausbauvarianten wurde in der Form angepasst, dass die Freigabezeitverteilung und Koordinierung ideal zu den zugrunde gelegten Verkehrsmengen passen. Bei jedoch größeren Abweichungen der Verkehrsverteilung oder einer Erhöhung der Verkehrsmengen um etwa 10-15 % kommt es auch in Ausbauvariante V0 zu Kapazitätsdefiziten und infolgedessen zu starker Rückstaubildung, die in den Ausbauvarianten V1 und V2 in höherem Ausmaß zu beobachten wären. Die Simulationsergebnisse gelten daher in erster Linie für das konkret modellierte Szenario und die zugrunde liegenden Annahmen. Sie sind nicht als exakte Vorhersagen zukünftiger Verkehrszustände zu verstehen, sondern als indikative Prognosen oder Vergleichswerte zwischen den verschiedenen Ausbauvarianten.

Zusammenfassung



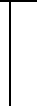


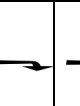
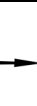

Die drei Ausbauvarianten V0, V1 und V2 wurden anhand einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation hinsichtlich der Verkehrsqualität an den Knotenpunkten K323 und K324 verglichen. Wesentliche Unterschiede zwischen den Ausbauvarianten ergeben sich durch die, in Folge der geänderten Topologie angepassten Zwischenzeiten.

Für die Wartezeiten des Fußgängerverkehrs ist zwischen den Ausbauvarianten kein wesentlicher Unterschied auszumachen. Jedoch ließe sich in Ausbauvariante V0 eine Optimierung hinsichtlich der Fußgängerwartezeiten umsetzen, die in den beiden Ausbauvarianten V1 und V2 aufgrund kaum hinnehmbarer Rückstaubildung beim Kraftfahrzeugverkehr nicht umsetzbar sind.

Tabelle 12 - Überblick ausgewählter Kenngrößen des Kraftfahrzeugverkehrs für die K323

K323															
V0	Rückstaulänge (95%-Quantil)	48,5	127,3	90,9	90,9	54,6	84,9	90,6	42,1	36,4	139,4	72,4	90,9	102,7	78,8
	QSV	B	C	C	C	C	C	C	A	D	D	D	C	C	D
V1	Rückstaulänge (95%-Quantil)	84,9	145,5	133,4	103,0	54,6	103,0	103,0	90,6	60,3	206,1	121,2	114,6	120,3	78,8
	QSV	E/F	D	D	C	C	E/F	E/F	D	E/F	E/F	E/F	C	C	D
V2	Rückstaulänge (95%-Quantil)	66,7	133,4	96,4	90,9	54,6	72,7	66,7	54,6	60,6	205,8	108,8	96,7	96,7	66,7
	QSV	E/F	D	D	C	C	D	D	C	E/F	E/F	E/F	C	C	D

Tabelle 13 - Überblick ausgewählter Kenngrößen des Kraftfahrzeugverkehrs für die K324

K324									
V0	Rückstaulänge (95%-Quantil)	36,4	30,3	78,8	78,8	30,3	11,8	60,3	60,6
	QSV	C	D	A	A	C	B	A	A
V1	Rückstaulänge (95%-Quantil)	42,4	36,4	206,1	206,1	36,4	12,1	66,7	66,7
	QSV	D	E/F	C	C	D	B	A	A
V2	Rückstaulänge (95%-Quantil)	42,4	36,4	181,8	181,8	30,3	12,1	66,4	60,6
	QSV	D	E/F	B	B	C	B	A	A

Bei den Wartezeiten und Rückstaulängen im Kraftfahrzeugverkehr zeigen sich zwischen den Ausbauvarianten, speziell zwischen V0 und V1/2 hingegen deutliche Unterschiede. Wesentlich für einen guten Ablauf des Untersuchungsgebietes ist die Koordinierung der Signalsteuerung zwischen den beiden betrachteten Knotenpunkten K323 und K324. Bei hohen Verkehrsmengen kann nur durch eine fein abgestimmte Koordinierung die Überstauung der kurzen Aufstellfläche und des nachfolgenden Knotenpunktes vermieden werden.

Der Knotenpunkt K323 ist in der Abendspitze nah an der Kapazitätsgrenze. Durch eine bereits im Bestand sehr elaborierte Verkehrssteuerung, die insbesondere auf die Überstauung der Knotenzwischenräume zwischen K323 und K324 proaktiv reagiert, bleiben Rückstaulängen und Verkehrsqualität in der Ausbauvariante V0 auch in der hoch belasteten Abendspitzenstunde in einem akzeptablen Maß. Es kommt zu mittleren Wartezeiten von bis zu über 60 s (QSV D). Eine Überstauung anliegender Knotenpunkte oder des Karoline-Luise-Tunnels ist nicht zu erwarten.

In den Ausbauvarianten V1 und V2 kommt es zu Kapazitätsdefiziten und stetig ansteigenden Rückstaulängen. Dies ist bedingt durch einerseits sinkende Freigabezeiten, aber auch durch eine schlechtere Vereinbarkeit der Nord-Süd-Koordinierung mit der Süd-Nord-Koordinierung zwischen den beiden Lichtsignalanlagen K323 und K324. In drei der Zufahrten der LSA K323 und dem südlichen Rechtsabbieger der K324 kommt es zu QSV E/F. Im Vergleich zu Ausbauvariante V1 sind die negativen Auswirkungen in Ausbauvariante V2 teilweise etwas abgeschwächt. Die Süd-Nord-Fahrbeziehung ist in Ausbauvariante V2 etwas weniger überstaut und jeweils eine Qualitätsstufe besser (QSV B an K324 und QSV D an K323). In V1 und V2 kann es zu Überstauung anliegender Knotenpunkte (insbesondere von K324) kommen. Eine sporadische Überstauung des Karoline-Luise-Tunnels kann nicht ausgeschlossen werden.

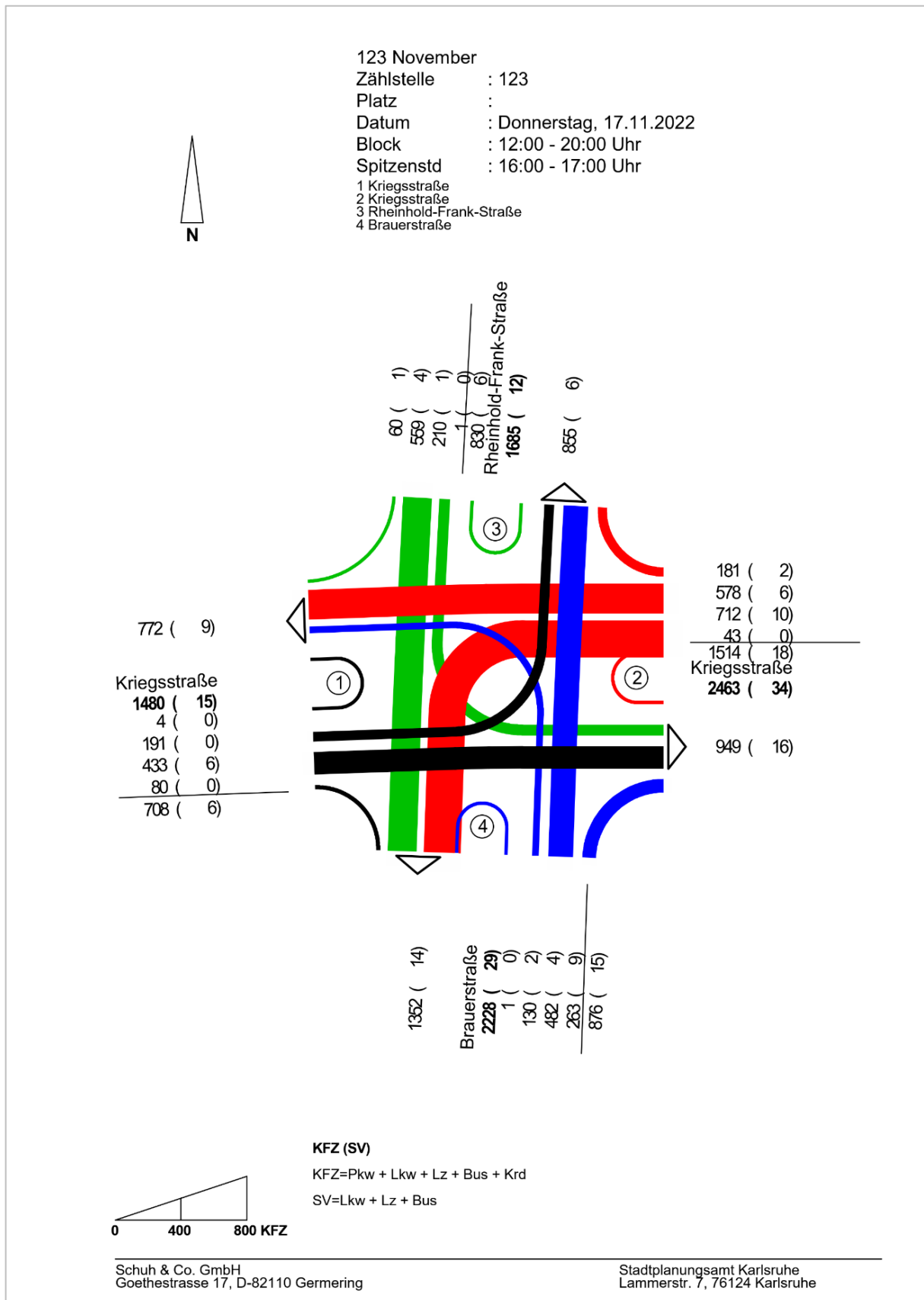
Literaturverzeichnis

- [1] Aimsun SLU, „Aimsun Next User Manual,“ [Online]. Available: <https://docs.aimsun.com/next/24.0.2/>. [Zugriff am 24 04 2026].
- [2] Aimsun SLE, „Modeling Vehicle Movement,“ [Online]. Available: <https://docs.aimsun.com/next/24.0.0/UsersManual/MicrosimulationModellingVehicleMovement.html>. [Zugriff am 24 04 2026].
- [3] C. B., P. V. und M. M., „The Calibration of Traffic Simulation Models,“ *European Commission - Joint Research Centre*, Bd. JRC Scientific and Technical Reports, 2012.
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) - Kommission Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, „Teil S Stadtstraßen,“ in *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*, Köln, FGSV Verlag GmbH, 2015.
- [5] U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administrations, „Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software,“ *Traffic Analysis Toolbox*, Bd. Volume III, 2004.
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) - Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflussimulation - Grundlagen und Anwendung, Köln: FGSV Verlag GmbH, 2006.
- [7] B. Jaume, Fundamentals of Traffic Simulation, New York, USA: Springer Science + Business Media LLC, 2010.
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) - Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement, Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Köln: FGSV Verlag GmbH, 2015.

Anhang

A1.1 Zähldaten K323 – Abendspitze (Kfz)

vom Donnerstag 17.11.2022 16:00-17:00 Uhr



A1.2 Zähldaten K323 (Radfahrende)

vom Donnerstag 17.11.2022



123 November

Zählstelle : 123

Platz :

Datum : Donnerstag, 17.11.2022

Block : 06:00 - 12:00 , 12:00 - 20:00 Uhr

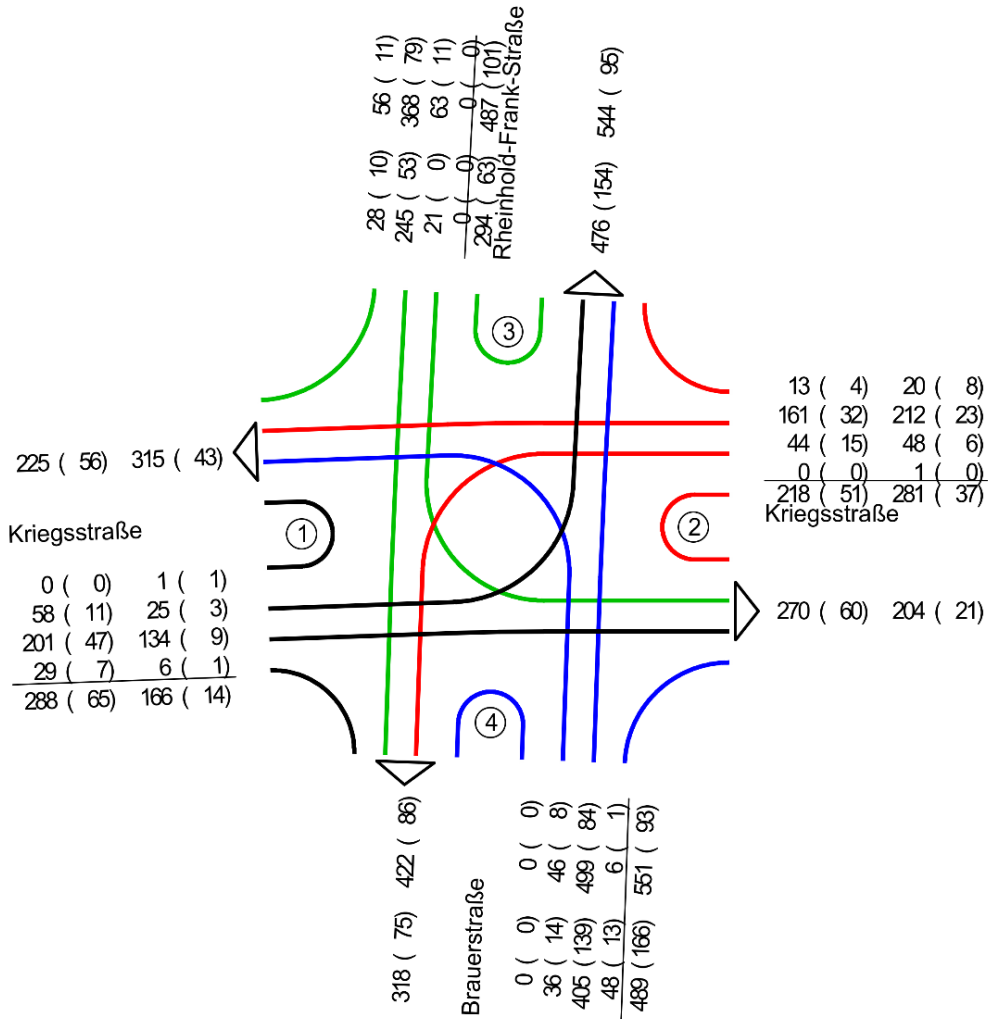
Spitzenstd : 07:15 - 08:15 , 16:30 - 17:30 Uhr

1 Kriegsstraße

2 Kriegsstraße

3 Rheinhold-Frank-Straße

4 Brauerstraße



Rad1 (SpStd1) Rad2 (SpStd2)

A2.2 Ausbauvariante V0 – Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung

Zwischenzeitmatrix für Signalsicherung

lfd. Nr.			einfahren																																	
	räumen		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1	1_1a																																			
2	2_2a																																			
3	3																																			
4	4_4a																																			
5	5																																			
6	7_7a																																			
7	8																																			
8	10_10a																																			
9	11																																			
10	61_61a*																																			
11	21R																																			
12	22																																			
13	23R																																			
14	24																																			
15	BV21/24																																			
16	27R																																			
17	28																																			
18	29R																																			
19	30																																			
20	BV27R/30																																			
21	33																																			
22	34																																			
23	35																																			
24	36																																			
25	BV33/36																																			
26	39R																																			
27	40																																			
28	41R																																			
29	42																																			
30	BV39/42																																			
31	62_62a*																																			

Rot/Gelb 1s
Gelb 3s
Gelb(*) 2s

A2.3 Ausbauvariante V0 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

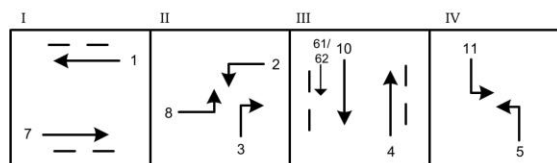
Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

Signalprogramm Nr. 4 Umlaufzeit 100 s

Signalgruppe	GRÜN-Beginn		GRÜN-Ende		Schaltbereiche				Bemerkungen
	frühes- tens	spätes- tens	frühes- tens	spätes- tens	Erlaubnis- bereich	lfd. Nr.	Anforderungs- bereich	lfd. Nr.	
1/1a	27	42	64	74	20-74	1E	20-49	1A	
2/2a	57	67	73	87	53-87	2E	53-66	2A	
3	62	72	73	88	53-88	3E	53-66	3A	
4/4a	81	98	1	15	73-13	4E	73-91	4A	
5	12	27	20	35	8-35	5E	8-24	5A	
7/7a	31	39	53	63	20-63	6E	20-43	6A	
8	68	78	73	90	64-90	7E	64-79	7A	
10/10a	82	96	8	23	72-23	8E	73-4	8A	
11	6	20	20	33	98-33	9A	98-18	9A	
61	80	94	8	23	73-23	10E	73-4	10A	
62	80	94	8	23	73-23	31E	73-4	31A	
21	79	94	10	13	1-127	11E			
22	79	94	89	4	64-89	12E	64-1	12A	
23	79	94	1	4	64-1	13E	64-1	13A	
24	79	94	2	16	1-127	14E			
BV21/24	79	94	84	99	1-127	15E	1-127	15A	
27R	24	39	50	59	1-127	16E			
28	24	39	40	49	22-40	17E	22-36	17A	
29R	24	39	40	49	22-40	18E	22-36	18A	
30	24	39	53	63	1-127	19E			
BV27R/30	24	39	29	44	1-127	20E	1-127	20A	
33	77	94	20	21	1-127	21E			
34	77	94	99	4	64-99	22E	64-1	22A	
35	77	94	10	10	64-10	23E	64-1	23A	
36	77	94	10	20	1-127	24E			
BV33/36	77	94	82	99	1-127	25E	1-127	25A	
39	24	37	59	59	1-127	26E			
40	24	37	48	48	20-48	27E	20-36	27A	
41	24	37	48	48	20-48	28E	20-36	28A	
42	24	37	64	64	1-127	29E			
BV39/42	24	37	29	42	1-127	30E	1-127	30A	
vollverkehrsabhängig					127-1	32E			

GSP 7

Prinzipphasen:



A3.2 Ausbauvariante V1 - Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung

Zwischenzeitmatrix für verkehrsabhängige Steuerung

lfd. Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36												
	räumen	einfahren																																															
		2_2a	3_3a	4_4a	5_5a	6	8_8a	9	11_11a	12	64_64a*	21R	22	23R	24	BV21/24	27R	28	29R	30	BV27R/30	33	34	35	36	BV33/36	39R	40	41R	42	BV39/42	65_65a*	1_1a	7_7a	61_61a*	62_62a*	63_63a*												
1	2_2a			7+	5			4	11+	6+	9+	5	5	5°	6	5																																	
2	3_3a																																																
3	4_4a			8°		6+								6°	6	6	6	4	4	4°	11	11																											
4	5_5a	10+	7+	7°			7+	5		5							5	5	5°																														
5	6	7	5					6+	7	12+																																							
6	8_8a	4	9+	14+	6+									12°	12+	12+	12+																																
7	9	12+			7	4																																											
8	11_11a	7+	5			4	13+	5																																									
9	12	6+	6	10	12+		6	4								10°	10	10	10																														
10	64_64a*	7+	5+			4+	13+	5																																									
11	21R	15+	6																																														
12	22	15+	13	18°			16°			16°																																							
13	23R	23°	14°	6			4			4																																							
14	24			6			4			4																																							
15	BV21/24	24+	16	20			19			19																																							
16	27R			11	14+	4																																											
17	28	4°	12	14+	12				4°	2°																																							
18	29R	4	12°	14°	12°				4	2+																																							
19	30	4							4	2+																																							
20	BV27R/30	19	21	24+	13				19+	17+																																							
21	33						13+	3																																									
22	34	14°					13°	13+	11																																								
23	35	3+					2	19°	9°																																								
24	36	3+					2																																										
25	BV33/36	15					15	20+	11																																								
26	39R									12+	3	10																																					
27	40				4°			4°	12+	10	10																																						
28	41R				4			4	12°	10°	10°																																						
29	42				4			4																																									
30	BV39/42																																																
31	65_65a*	7+	5+				4+	13+	5+																																								
32	1_1a	9°				6+			3																																								
33	7_7a	3					9°			5+	3																																						
34	61_61a*					7+	5+		4+	11+	6	9+	5+	5+	5°	5+																																	
35	62_62a*	10+	7	7+		7+	5+		5+	5+																																							
36	63_63a*	4+	9	14+	6				5+	5+	3+																																						

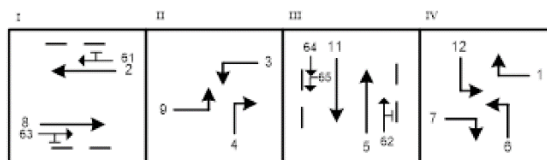
Rot/Gelb 1s
Gelb 3s + größere Zwischenzeit
Gelb(*) 2s ° nicht feindlich

A3.3 Ausbauvariante V1 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

Signalprogramm Nr. 4 Umlaufzeit 100 s

Signalgruppe	GRÜN-Beginn		GRÜN-Ende		Schaltbereiche				Bemerkungen
	frühes- tens	spätes- tens	frühes- tens	spätes- tens	Erlaubnis- bereich	lfd. Nr.	Anforderungs- bereich	lfd. Nr.	
1/1a	17	30	22	42	6-42	32E	6-24	32A	
2/2a	31	51	71	81	18-81	1E	18-48	1A	
3/3a	64	74	80	93	60-93	2E	60-82	2A	
4/4a	69	79	80	94	60-94	3E	60-82	3A	
5/5a	88	3	6	19	80-19	4E	80-98	4A	
6	7	27	23	40	2-40	5E	2-24	5A	
7/7a	12	31	20	37	2-37	33E	2-24	33A	
8/8a	29	46	60	70	15-70	6E	15-48	6A	
9	75	85	80	96	71-96	7E	71-82	7A	
11/11a	89	2	3	23	80-23	8E	80-98	8A	
12	13	26	23	40	6-40	9A	6-24	9A	
61	29	49	71	81	18-81	34E	18-48	14A	
62	86	1	6	19	80-96	35E	80-97	35A	
63	27	44	60	70	15-70	36E	15-46	36A	
64	87	100	3	23	80-23	10E	80-98	10A	
65	87	100	3	23	80-23	31E	80-97	31A	
21	86	100	5	19	1-127	11E			
22	86	100	96	10	80-96	12E	80-98	12A	
23	86	100	96	10	80-96	13E	80-97	13A	
24	86	100	9	22	1-127	14E			
BV21/24	86	100	91	105	1-127	15E	1-127	15A	
27R	27	44	47	64	1-127	16E			
28	27	44	37	54	15-32	17E	15-46	17A	
29R	27	44	37	54	15-32	18E	15-46	18A	
30	27	44	52	69	1-127	19E			
BV27R/30	27	44	32	49	1-127	20E	1-127	20A	
33	84	100	2	21	1-127	21E			
34	84	100	94	10	80-94	22E	80-97	22A	
35	84	100	94	10	80-94	23E	80-97	23A	
36	84	100	5	25	1-127	24E			
BV33/36	84	100	89	105	1-127	25E	1-127	25A	
39	29	49	50	70	1-127	26E			
40	29	49	39	59	18-47	27E	18-48	27A	
41	29	49	39	59	18-47	28E	18-48	28A	
42	29	49	55	75	1-127	29E			
BV39/42	29	49	34	54	1-127	30E	1-127	30A	
vollverkehrsabhängig					127-1	37E			



A4.2 Ausbauvariante V2 - Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung

Zwischenzeitmatrix für verkehrsabhängige Steuerung

lfd. Nr.																																									
	räumen	einfahren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
1	2_2a																																								
2	3_3a																																								
3	4_4a																																								
4	5_5a	10+	6																																						
5	6	7	5																																						
6	8_8a	4	9+	13+	6+																																				
7	9	12+		7	4																																				
8	11_11a	7+	5																																						
9	12	6+	6	10	11+																																				
10	63_63a*	7+	5+																																						
11	21R	15+	6																																						
12	22	15+	13	18°																																					
13	23R	23°	14°	6																																					
14	24		6																																						
15	BV21/24	24+	16	20																																					
16	27R		11	10	4																																				
17	28	4°	12	12	12																																				
18	29R	4	12°	12°	12°																																				
19	30	4																																							
20	BV27R/30	19	21	20	13																																				
21	33																																								
22	34	14°																																							
23	35	3+																																							
24	36	3+																																							
25	BV33/36	15																																							
26	39R																																								
27	40																																								
28	41R																																								
29	42																																								
30	BV39/42																																								
31	64_64a*	7+	5+																																						
32	1_1a	9°																																							
33	7_7a	3																																							
34	61_61a*																																								
35	62_62a*	4+	9	13+	6																																				

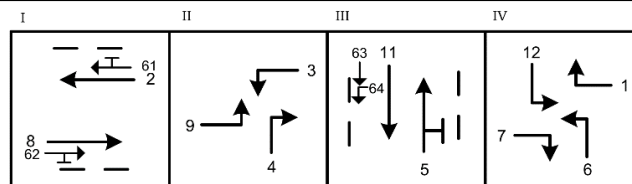
Rot/Gelb 1s
Gelb 3s + größere Zwischenzeit
Gelb(*) 2s ° nicht feindlich

A4.3 Ausbauvariante V2 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

Signalprogramm Nr. 4 Umlaufzeit 100 s

Signalgruppe	GRÜN-Beginn		GRÜN-Ende		Schaltbereiche				Bemerkungen
	frühes- tens	spätes- tens	frühes- tens	spätes- tens	Erlaubnis- bereich	lfd. Nr.	Anforderungs- bereich	lfd. Nr.	
1/1a	16	30	21	42	6-42	32E	6-24	32A	
2/2a	30	51	71	81	18-81	1E	18-48	1A	
3/3a	64	74	80	93	60-93	2E	60-82	2A	
4/4a	69	79	80	94	60-94	3E	60-82	3A	
5/5a	87	3	7	21	80-21	4E	80-98	4A	
6	7	27	22	40	2-40	5E	2-24	5A	
7/7a	12	31	19	37	2-37	33E	2-24	33A	
8/8a	28	46	60	70	15-70	6E	15-48	6A	
9	75	85	80	96	71-96	7E	71-82	7A	
11/11a	89	2	3	23	80-23	8E	80-98	8A	
12	12	26	22	40	6-40	9A	6-24	9A	
61	28	49	71	81	18-81	34E	18-48	14A	
62	26	44	60	70	15-70	35E	15-46	35A	
63	87	100	3	23	80-23	10E	80-98	10A	
64	87	100	3	23	80-23	31E	80-97	31A	
21	86	100	5	19	1-127	11E			
22	86	100	96	10	80-96	12E	80-98	12A	
23	86	100	96	10	80-96	13E	80-97	13A	
24	86	100	8	22	1-127	14E			
BV21/24	86	100	91	105	1-127	15E	1-127	15A	
27R	26	44	46	64	1-127	16E			
28	26	44	36	54	15-32	17E	15-46	17A	
29R	26	44	36	54	15-32	18E	15-46	18A	
30	26	44	51	69	1-127	19E			
BV27R/30	26	44	31	49	1-127	20E	1-127	20A	
33	84	100	2	21	1-127	21E			
34	84	100	94	10	80-94	22E	80-97	22A	
35	84	100	94	10	80-94	23E	80-97	23A	
36	84	100	5	25	1-127	24E			
BV33/36	84	100	89	105	1-127	25E	1-127	25A	
39	28	49	49	70	1-127	26E			
40	28	49	38	59	18-47	27E	18-48	27A	
41	28	49	38	59	18-47	28E	18-48	28A	
42	28	49	54	75	1-127	29E			
BV39/42	28	49	33	54	1-127	30E	1-127	30A	
vollverkehrsabhängig					127-1	36E			



A5.1 K324 - Zwischenzeitenmatrix für die verkehrsabhängige Steuerung

Zwischenzeitmatrix für verkehrsabhängige Steuerung

lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36					
räumen	einfahren																																								
	1_1a_1b	2_2a	3_3a	4	5	6_6a	7_7a	61*	62*	63*	64*	21	BAV21	22	BAV22	23	BAV23	24	BAV24	25/26	BAV25/26	27/28	BAV27/28	29/30	BAV29/30	31/32	BAV31/32	33/34	BAV33/34	51G	51L	52R	52L	53R	53G	BL71					
1	1_1a_1b	6+	7+	10+	5+																																				
2	2_2a	11+	7+	9+																	5	5						16+	16+												
3	3_3a	10+				4			8+					9°	9°								4	4							6	5	3					3			
4	4	8+	6			6		6+	4+		6												4	4							3	3	3		4	3	5				
5	5							3		3																	12	12	5	5									3		
6	6_6a	7	15+	6				5+		13+	5+										13	13							5	5								3	3		
7	7_7a																												5	5											
8	61*	6+	7+	10	5				5+			5+	5+	5+	5+	5°	5°										10°	10°			3+	3°		3	5	4					
9	62*	11+	7+	9				9+	5+	9					9°	9°	9°	9°	9°	9°	5+	5+							16	16						3°					
10	63*	10+			4+			8+						9°	9°	9°	9°	9°	9°											6+	5+	3+						3+			
11	64*	6+	7+	10+	5+			5+			5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°										10°	10°		3+			3+	5+	4+						
12	21	10+					8			6°																															
13	BAV21	10+					8			6°																															
14	22	10+	16°				8	14°	6°																																
15	BAV22	10+	16°				8	14°	6°																																
16	23	18°	6+				16°	4	14°																																
17	BAV23	18°	6+				16°	4	14°																																
18	24		6+						4																																
19	BAV24		4+						4																																
20	25/26	16+				8			14																												9	9	3	5	
21	BAV25/26	16+				8			14																											9	9	3	5		
22	27/28		8	8																																					
23	BAV27/28		8	8																																					
24	29/30																																								
25	BAV29/30																																								
26	31/32	4			6		2°	0°																																	
27	BAV31/32	4			6		2°	0°																																	
28	33/34	11+	11+	15	13	15		9+																													5		4+	12	10
29	BAV33/34	11+	11+	15	13	15		9+																												5		4+	12	10	
30	51G	8+	4+	5			6+	2+	6												2	2																			
31	51L	4	4+	7	2+	2°	2+														2	2																			
32	52R		14+	4	6			12+													12	12																			
33	52L	5+	6	3	7	3+	4°	3																																	
34	53R	5		6	4	3	3+	2																																	
35	53G	6	14+	3			4+	12+	4																																
36	BL71																																								

Rot/Gelb 1s
 Gelb 3s + größere Zwischenzeit
 Gelb(*) 2s ° nicht feindlich

A5.2 K324 - Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

Tabelle für das Erlaubnisbereichsverfahren

Signalprogramm Nr. 4 Umlaufzeit 100 s

Signalgruppe	GRÜN-Beginn		GRÜN-Ende		Schaltbereiche				Bemerkungen
	frühes- tens	spätes- tens	frühes- tens	spätes- tens	Erlaubnis- bereich	lfd. Nr.	Anforderungs- bereich	lfd. Nr.	
1/1a/1b	68	78	22	33	60-33	1E	60-10	1A	
2/2a	29	39	38	49	18-49	2E	18-34	2A	
3/3a	54 (58)	64	10	25	39-25	3E	39-10	3A	
4	47	58	60	70	38-70	4E	38-55	4A	
5	33	43	38	53	18-53	5E	18-34	5A	
6/6a	31	38	39	49	18-49	6E	18-34	6A	
7	33	33	67	77	18-76	7E	18-62	7A	
61	66	76	22	33	60-33	8E	60-10	8A	
62	27	38	38	49	18-49	9E	18-34	9A	
63	52 (56)	62	19	25	39-25	10E	39-10	10A	
64	66	76	22	33	60-33	11E	60-10	11A	
21	28	38	49 (52)	59	1-127	12E			
BAV21	28	38	52	59	1-127	13E			
22	28	38	38 (42)	48	18-38	14E	18-34	11A	
BAV22	28	38	42		1-127	15E	1-127	12A	
23	28	38	37 (40)	47	18-36	16E	18-34	13A	
BAV23	28	38	40		1-127	17E	1-127	14A	
24	28	38	48 (52)	58	1-127	18E			
BAV24	28	38	52		1-127	19E			
25/26	52	62	10	10	39-10	20E	39-84	20A	
BAV25/26	52	62	67	77	1-127	21E		21A	
27/28	14	29	39	50	10-50	22E	10-29	22A	
BAV27/28	14	29	26	41	1-127	23E	1-127	23A	
29/30	DUNKEL				1-127	24E	1-127	24A	
BAV29/30	FREI bei Anforderung				1-127	25E	1-127	25A	
31/32	50	65	64	74	38-74	26E	38-54	26A	
BAV31/32	50	65	62	77	1-127	27E	1-127	27A	
33/34	72	82	18	18	60-28	28E	60-10	28A	
BAV33/34	72	82	87	97	1-127	29E	1-127	29A	
51G	FREI-Signale werden bevorrechtigt nur auf Anforderung geschaltet				18-38	30E	12-65	37E	
51L					1-127	31E	12-65	38E	
52R					1-127	32E	12-65	39E	
52L					1-127	33E	12-65	40E	
53R					1-127	34E	12-65	41E	
53G					18-38	35E	12-65	42E	
71	DUNKEL				1-127	36E			
4.1P					55-65	43E			
5.1P					34-44	44E			
6.1P					34-44	45E			
vollverkehrsabhängig					127-1	46E			

Prinzipphasen:

