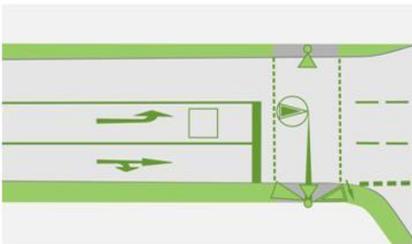


Markt  
Manching

Ergebnisbericht



Verkehrstechnische Untersuchung  
mit Mikrosimulation der  
A9-Anschlussstelle Manching

Auftraggeber: Staatliches Bauamt Ingolstadt  
Elbrachtstraße 20  
85049 Ingolstadt

Auftragnehmer: SCHLOTHAUER & WAUER  
Ingenieurgesellschaft für Straßenverkehr mbH  
Zweigniederlassung München  
Richard-Reitzner-Allee 1, 85540 Haar

E-Mail: [nl-muenchen@schlothauer.de](mailto:nl-muenchen@schlothauer.de)

Telefon: 089 / 211 878 - 0

Projektnummer: 2019-0508

Datum: 09.07.2021

Version: 6.1

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Kontext und Aufgabenstellung .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Grundlagen.....</b>	<b>6</b>
1.1    Untersuchungsfälle und Vorgehen .....	6
1.2    Verkehrserhebung (Analysebelastungen 2019) .....	7
<b>2 Modellaufbau und Kalibrierung.....</b>	<b>10</b>
2.1    Verkehrsnetz .....	10
2.2    Parametereinstellung.....	10
2.2.1    Gewählte Funktionen der Beschleunigung und Verzögerung.....	10
2.2.2    Gewählte Geschwindigkeitsverteilung.....	12
2.2.3    Verkehrsflussmodell .....	13
2.3    Modellkalibrierung .....	14
<b>3 Leistungsfähigkeitsuntersuchung mittels Mikrosimulation .....</b>	<b>15</b>
3.1    Analysenullfall 2019.....	17
3.1.1    Leistungsfähigkeitsuntersuchung .....	17
3.1.2    Rückstauanalyse .....	18
3.1.3    Zwischenfazit .....	19
3.2    Analyseplanfall 2019 .....	21
3.2.1    Lichtsignalsteuerung.....	21
3.2.2    Leistungsfähigkeitsuntersuchung .....	24
3.2.3    Rückstauanalyse .....	26
3.2.4    Zwischenfazit.....	29
<b>4 Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>30</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>32</b>
A.1 – Erhebung Knotenpunkt Ost, 23.10.2019 (Analyse 2019) .....	33
A.2 – Erhebung Knotenpunkt West, 15.07.2020 .....	39
A.3 – Gegenüberstellung Tagesverkehr 2019 – 2020, Dauerzählstelle B 304 .....	45
A.4 – Angepasste Verkehrszahlen Knotenpunkt West (Analyse 2019) .....	46
A.5 – Qualitätsstufen des Verkehrsablauf nach HBS 2015.....	50

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Knotenpunkte (KP).....	5
Abbildung 2: Übersicht Knotenpunktzählung (KP Ost) und Kamerapositionen .....	7
Abbildung 3: Bildausschnitt Cam 123 .....	7
Abbildung 4: Übersicht Knotenpunktzählung (KP West) und Kamerapositionen .....	8
Abbildung 5: Netzmodell in Vissim in Fahrbahndarstellung .....	10
Abbildung 6: Wunschbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw] .....	11
Abbildung 7: Maximalbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw] .....	11
Abbildung 8: Wunschverzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw].....	11
Abbildung 9: Maximalverzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw] .....	12
Abbildung 10: Wunschgeschwindigkeitsverteilung für Pkw bei einer zul. Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h.....	12
Abbildung 11: Rückstauauswertung für den Linksabbieger auf der Zufahrt Süd (Rampe) an KP Ost im Analysenullfall 2030 – Morgenspitze vs. Abendspitze .....	19
Abbildung 12: Signalzeitenpläne für die Morgenspitze und Abendspitze im Analyseplanfall 2019 an KP West .....	22
Abbildung 13: Signalzeitenpläne für die Morgenspitze und Abendspitze im Analyseplanfall 2019 an KP Ost.....	23
Abbildung 14: Rückstauauswertung für den Linksabbieger auf der Zufahrt Süd (Rampe) an KP Ost im Vergleich Analysenullfall 2019 – Analyseplanfall 2019 .....	27
Abbildung 15: Rückstauauswertung für den Linksabbieger auf der Zufahrt Ost (B 16) an KP Ost im Vergleich Analysenullfall 2019 – Analyseplanfall 2019.....	27
Abbildung 16: Rückstauauswertung für den Geradeausfahrer auf der Zufahrt West (B 16) an KP Ost im Analyseplanfall 2019 – Morgenspitze vs. Abendspitze .....	28
Abbildung 17: Rückstauauswertung für den Rechtsabbieger auf der Zufahrt Süd (Rampe) an KP West im Vergleich Analysenullfall 2019 – Analyseplanfall 2019.....	28

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Ergebnisse der Mikrosimulation im Analysenullfall 2019 .....	18
Tabelle 2:	Ergebnisse der Mikrosimulation und QSV-Bewertung im Vergleich Analysenullfall 2019 –Analyseplanfall 2019 .....	25

## Kontext und Aufgabenstellung

Von Seiten des Marktes Manching wurde in der Vergangenheit regelmäßig auf eine erhebliche Rückstauproblematik im Einmündungsbereich der A9 Autobahnausfahrtsrampe Ost in die B 16 (KP Ost) hingewiesen, vgl. Abbildung 1. Zudem handelt es sich bei dem Knotenpunkt seit geraumer Zeit um einen Umfallschwerpunkt. Die genannten Punkte sind darauf zurückzuführen, dass der derzeit vorfahrtsregelte Knotenpunkt bei den vorliegenden Verkehrsmengen, insbesondere in den Belastungsspitzen, an der Leistungsfähigkeitsgrenze operiert. Eine ähnliche Situation liegt am westlichen Knotenpunkt der Anschlussstelle (KP West) vor.

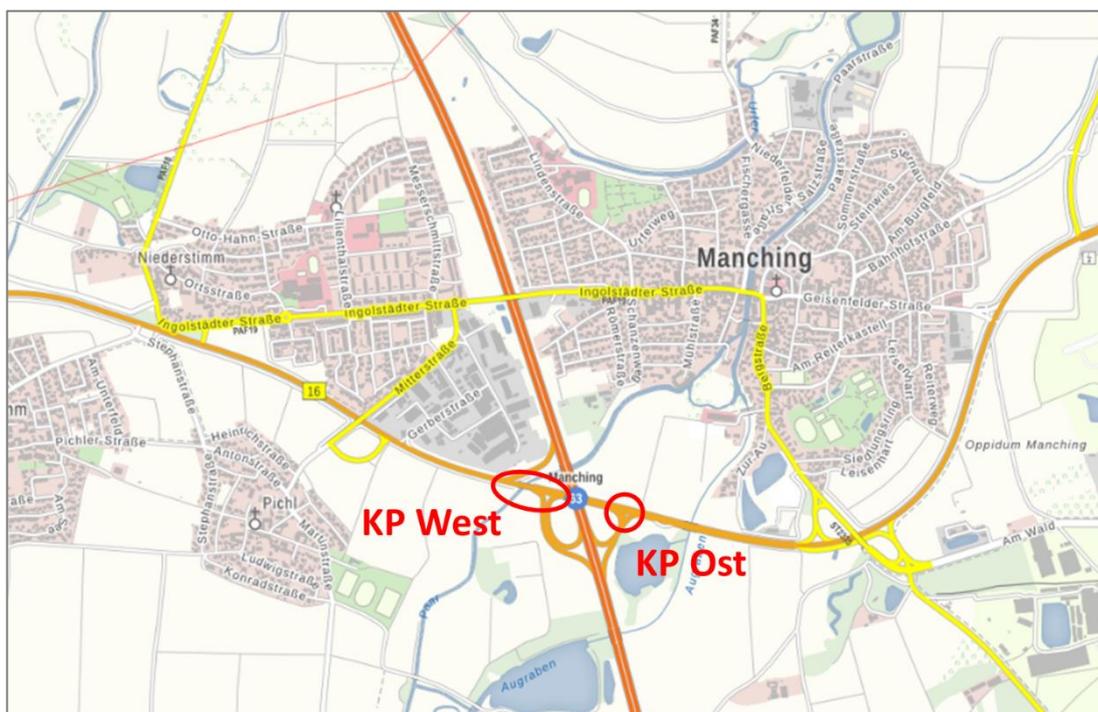


Abbildung 1: Übersicht Knotenpunkte (KP)  
(Hintergrundkarte: Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung)

Seitens des Staatlichen Bauamtes Ingolstadt bestehen Bestrebungen, die vorherrschende Verkehrssituation zu verbessern. Daher soll in einem Verkehrsgutachten die Signalisierung der derzeit vorfahrtsregelten Knotenpunkte West und Ost untersucht werden. Angestrebt wird eine möglichst bestandsorientierte Lösung ohne Ausbaumaßnahmen hinsichtlich der Knotenpunktgeometrie. Die Leistungsfähigkeit der Knoten ist mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation zu bewerten. Als Grundlage dienen Verkehrszählungen. Es folgen Untersuchungen der Leistungsfähigkeit im Analysenull- und Analyseplanfall in den Belastungsspitzenzeiten (Morgen- und Abendspitze). Der Nullfall bildet dabei den Bezugsfall zur Bewertung des Planfalls ab. Im Planfall sind an beiden Knotenpunkten Lichtsignalanlagen (LSA) vorgesehen. Besonderes Augenmerk im Rahmen der Simulation und Ergebnisauswertung liegt auf der Rückstaubildung im Bereich der Autobahnrampen sowie der allgemeinen Verkehrssicherheit.

# 1 Grundlagen

## 1.1 Untersuchungsfälle und Vorgehen

Ziel des Gutachtens ist es, die Wirkung eines Umbaus der gegenwärtig vorfahrtsregulierten Knotenpunkte Ost und West in signalisierte Knotenpunkte unter den Aspekten der Verkehrssicherheit sowie des störungsfreien Verkehrsablaufes zu untersuchen und zu bewerten. Angestrebt wird eine bestandsorientierte Lösung mit Lichtsignalanlagen möglichst ohne Ausbaumaßnahmen hinsichtlich der Knotenpunktgeometrie.

Vor diesem Hintergrund können folgende Untersuchungsfälle definiert werden:

- **Analysenullfall 2019:** Verkehrsinfrastruktur im Bestand 2019 (= vorfahrtsreguliert Knotenpunkte) + Bestandsbelastungen 2019 (= Erhebung)
- **Analyseplanfall 2019:** Verkehrsinfrastruktur im Planfall (= KP West und KP Ost mit LSA) + Bestandsbelastungen 2019 (= Erhebung)

Der **Analysenullfall (ANF)** bildet den aktuellen Stand der Verkehrssituation ab. Die betrachtete Knotenpunktgeometrie und -gestaltung entspricht der Bestandssituation 2019, d.h. beide Knotenpunkte sind vorfahrtsreguliert. Für die dabei anzusetzenden Verkehrsmengen werden Daten aus Verkehrserhebungen herangezogen.

Im **Analyseplanfall (APF)** wird die Umgestaltung beider Knotenpunkte in signalgesteuerte Knoten untersucht. Die Knotenpunktgeometrie sowie die anzusetzende Belastung (Analysebelastung) bleibt dabei unverändert.

Vor diesem Hintergrund werden im ersten Schritt der Untersuchung umfangreiche Verkehrserhebungen durchgeführt. Darauf basierend wird zunächst der Analysenullfall mittels der Verkehrssimulationssoftware PTV Vissim 2021 modelliert und kalibriert. Anschließend erfolgt die simulative Untersuchung des erarbeiteten Analysenullfalls. Zur Abbildung des Analyseplanfalls werden (vorab in der Einzelbetrachtung) entworfene LSA bzw. entsprechende Signalzeitenpläne in die Simulation integriert und die verkehrliche Wirkung untersucht. Im Ergebnis der Untersuchung werden Handlungsempfehlungen ausgesprochen.

## 1.2 Verkehrserhebung (Analysebelastungen 2019)

Die Zählung des **Knotenpunktes Ost** (KP Ost) erfolgte am Mittwoch, den 23.10.2019, über einen Zeitraum von 24 Stunden. Somit wurde als Erhebungstag ein Normalwerktag (Dienstag bis Donnerstag) außerhalb der bayerischen Ferienzeiten und innerhalb des erhebungsfähigen Zeitraumes (März bis Oktober) ausgewählt. Die ermittelten Verkehrsstärken entsprechen damit einer repräsentativen Verkehrsmenge für den Alltagsverkehr gemäß Richtlinie<sup>1</sup>. Gezählt wurde mittels Videoaufnahme und nachfolgender manueller Auswertung. Die Zählungen liegen nach den Fahrzeugarten Pkw, Kraftrad, Lieferwagen, Bus, Lkw und Lastzug unterteilt vor. Die drei Erstgenannten bilden dabei die Verkehrsart Leichtverkehr, die drei Letzteren den Schwerverkehr ab. Detaillierte Erhebungsergebnisse und damit die **Analysebelastungen 2019 an KP Ost** sind Anhang A.1 zu entnehmen und dienen als Grundlage für die nachfolgenden Schritte im Gutachten.

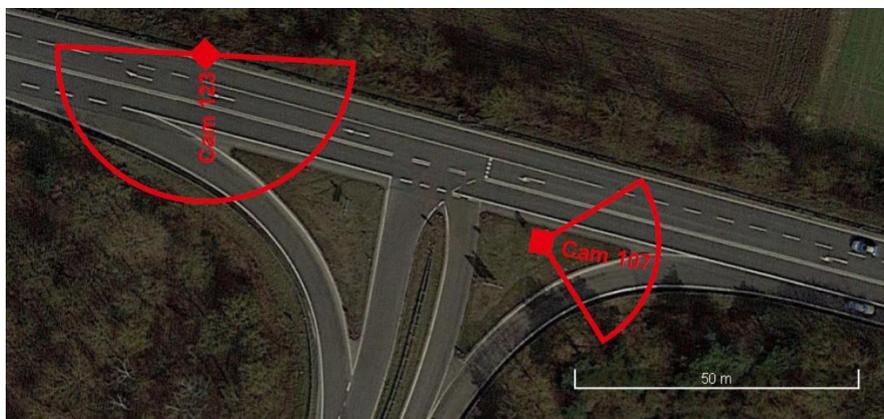


Abbildung 2: Übersicht Knotenpunktzählung (KP Ost) und Kamerapositionen (Hintergrundkarte: Google Earth Pro, Lizenz: Schlothauer & Wauer, Deutschland, 2015)



Abbildung 3: Bildausschnitt Cam 123

Auf Grundlage der erhobenen Verkehrsmengen an KP Ost erfolgte eine Detailuntersuchung mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation. Dabei wurde angenommen, dass an KP Ost eine Lichtsignalsteuerung eingerichtet wird und der Nachbarknotenpunkt West weiterhin vorfahrts geregelt bleibt. Dieser Maßnahmenansatz ergab sich daraus, dass im derzeitigen Zustand hauptsächlich an KP Ost verkehrliche Probleme zu beobachten sind. Im Ergebnis der Untersuchung konnte festgestellt werden, dass bei isolierter Betrachtung des KP Ost der Verkehrsablauf mittels LSA optimiert werden kann. Jedoch sind dabei schwerwiegend

<sup>1</sup> Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Ausgabe 2012

negative Auswirkungen auf das umliegende Straßennetz infolge von Rückstaubildung auf der Bundesstraße zu erwarten. Davon betroffen ist insbesondere der westlich benachbarte Anschlussknotenpunkt der Autobahnrampe. Folglich stellt sich die Notwendigkeit für eine gesamthafte Betrachtung der Anschlussstelle, d.h. der Knotenpunkte West und Ost im Netzzusammenhang, heraus. Basierend auf diesen Erkenntnissen erfolgte eine zusätzliche Zählung an KP West.

Die Erhebung des **Knotenpunktes West** (KP West) erfolgte am Mittwoch, den 15.07.2020. Gezählt wurde, wie im Fall des KP Ost, über 24 Stunden mittels Videotechnik und unterteilt nach den genannten Verkehrsarten. Grundsätzlich liegt auch hier der ausgewählte Erhebungstag im erhebungsfähigen Zeitraum gem. Richtlinie. Detaillierte Ergebnisse können Anhang A.2 entnommen werden.



Abbildung 4: Übersicht Knotenpunktzählung (KP West) und Kamerapositionen (Hintergrundkarte: Google Earth Pro, Lizenz: Schlothauer & Wauer, Deutschland, 2015)

Aufgrund der zeitlichen Differenz zwischen den beiden Zählungen an KP Ost und West bestehen geringfügige Abweichungen zwischen den erhobenen Verkehrsmengen. Weiterhin ist zu beachten, dass die 2020 erhobene Verkehrsstärken an KP West geringfügig von der üblicherweise vorherrschenden Verkehrssituation abweichen können. Dies beruht auf der zum Zeitpunkt der Erhebung noch in geringem Maß zu verzeichnenden Einschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie. Anhang A.3 zeigt eine Gegenüberstellung der Jahre 2019 und 2020 mittels aus Dauerzählstellen gewonnenen Tageswerten des Kfz-Verkehr an einer gleichartigen Bundesstraße. Demnach lagen im Juli die Verkehrsmengen bei rund 85 bis 100 % des letztjährigen vergleichbaren Verkehrsaufkommens.

Aus genannten Gründen wurden die Messergebnisse an KP West aus dem Jahr 2020 eingehend überprüft. Im Rahmen einer Gegenüberstellung der vorhandenen Verkehrszählungen aus den Jahren 2019 (KP Ost) und 2020 (KP West) mittels Querschnittsbelastungen im Kfz-Verkehr auf der B 16 konnte festgestellt werden, dass die 2020 ermittelten Werte bei rund 90 bis 100 % des 2019 erfassten Verkehrsaufkommens lagen. Somit bestätigt sich die aus Dauerzählstellen gewonnene Ersteinschätzung für den Vergleich beider Jahre auch lokal in Manching. In der Detailbetrachtung sind im Tagesverkehr nur sehr geringe Abweichungen von bis zu 3 % zu verzeichnen. Die Gegenüberstellung der Spitzenstunden zeigt größere Differenzen. Auf dieser Basis wurden die erhobenen

Verkehrsstärken auf der sicheren Seite liegend mit einem Zuschlag von 5 % in der Morgenspitze und 10 % in der Abendspitze angepasst. Diese angepassten Verkehrszahlen können als repräsentativ für ein übliches Verkehrsaufkommen im Analysejahr 2019 erachtet werden. Die sich ergebenden **Morgen- und Abendspitzenbelastung der Analyse 2019 an KP West** sind in Form von Strombelastungsplänen in Anhang A.4 dokumentiert.

## 2 Modellaufbau und Kalibrierung

### 2.1 Verkehrsnetz

Anhand des Lageplans erfolgte die Erstellung eines Netzmodells. Die Fahrlinien insbesondere im Knotenpunktbereiche wurden realitätsnah modelliert. Damit ist auch eine plausible Abbildung der Schleppkurven in der Simulation möglich. In der nachfolgenden Abbildung ist ein Ausschnitt des Netzmodells dargestellt:

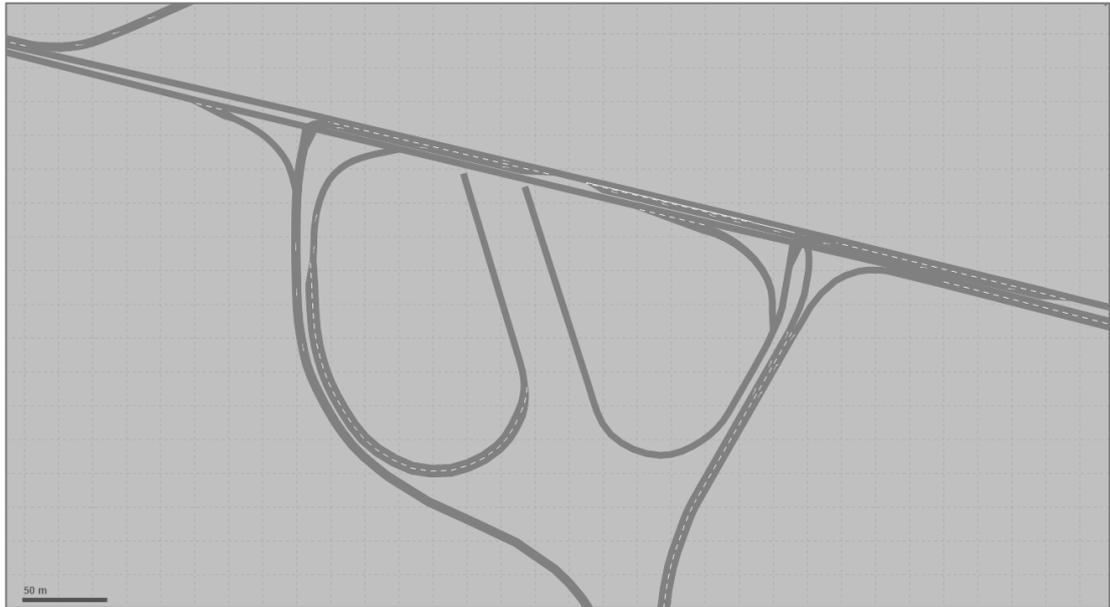


Abbildung 5: Netzmodell in Vissim in Fahrbahndarstellung  
(Quelle: PTV Vissim)

### 2.2 Parametereinstellung

#### 2.2.1 Gewählte Funktionen der Beschleunigung und Verzögerung

Um das individuelle Fahrverhalten der Fahrzeugführer sowie die variierenden Fahrzeugeigenschaften bei Beschleunigung und Verzögerung abbilden zu können, verwendet die Simulationssoftware PTV Vissim Funktionen anstelle globaler Beschleunigungs- oder Verzögerungswerte. Beide Kennwerte sind Funktionen der aktuellen Geschwindigkeit und vom Antrieb der Fahrzeuge abhängig.

Es wird unterschieden zwischen einer technisch, maximal machbaren und einer vom Fahrzeugführer angestrebten Wunschbeschleunigung bzw. -verzögerung. Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Funktionen der Wunsch- und Maximalbeschleunigung für die im Modell hinterlegten Fahrzeugkategorien Pkw und Lkw (Schwerverkehr).

Im Unterschied zu den Beschleunigungsfunktionen nutzt der Fahrzeugführer nur in Notsituationen die maximal mögliche Verzögerung (Notbremsung). Die Wunschverzögerung ist im Allgemeinen eine konstante Funktion und von der Fahrtgeschwindigkeit unabhängig. Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen, die im Modell hinterlegten Wunsch- und Maximalverzögerungen der beiden Fahrzeugklassen Pkw und Lkw (Schwerverkehr).

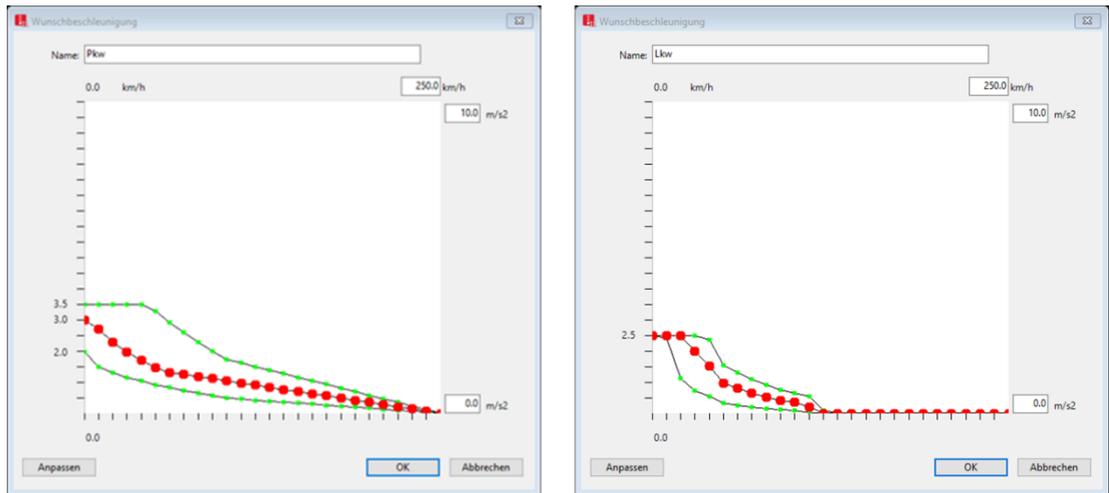


Abbildung 6: Wunschbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw] (Quelle: PTV Vissim)

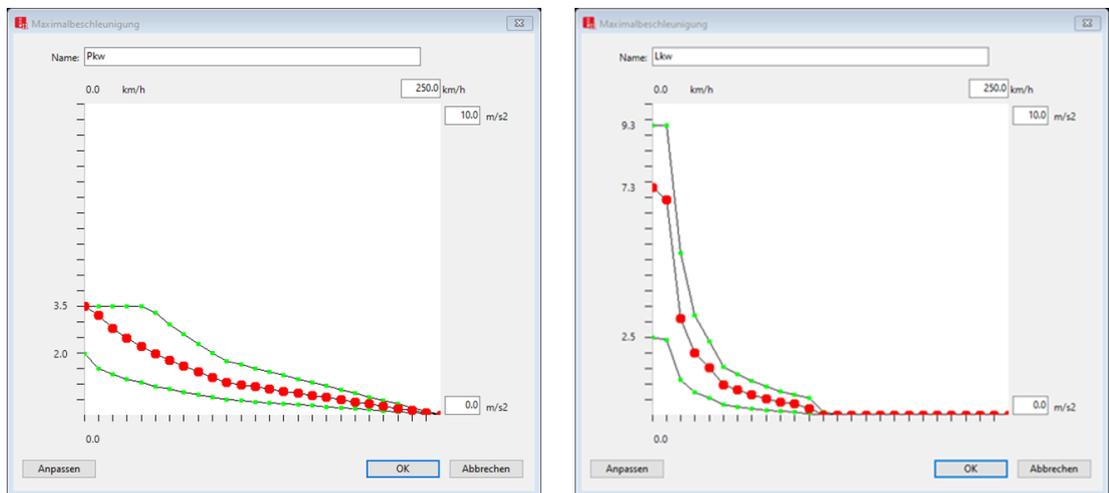


Abbildung 7: Maximalbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw] (Quelle: PTV Vissim)

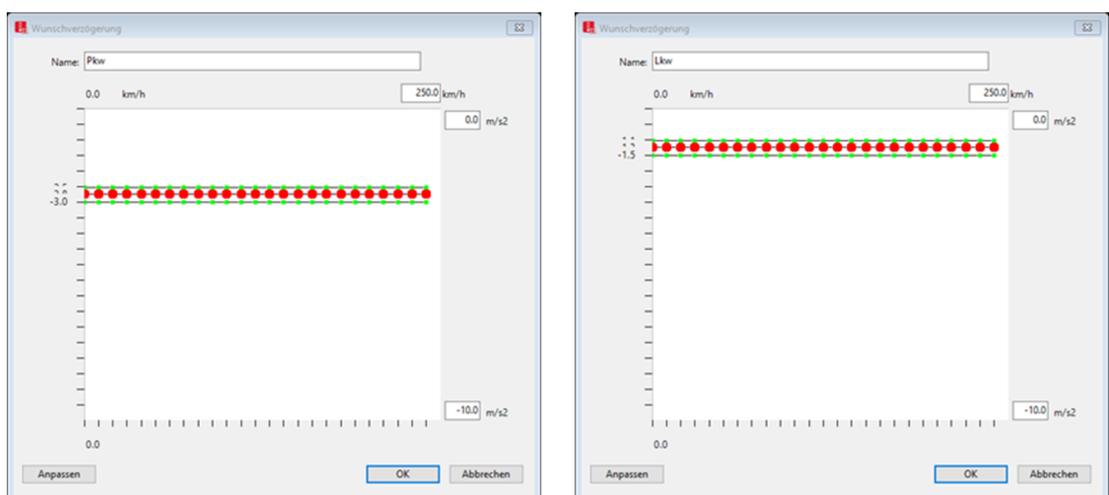


Abbildung 8: Wunschverzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw] (Quelle: PTV Vissim)

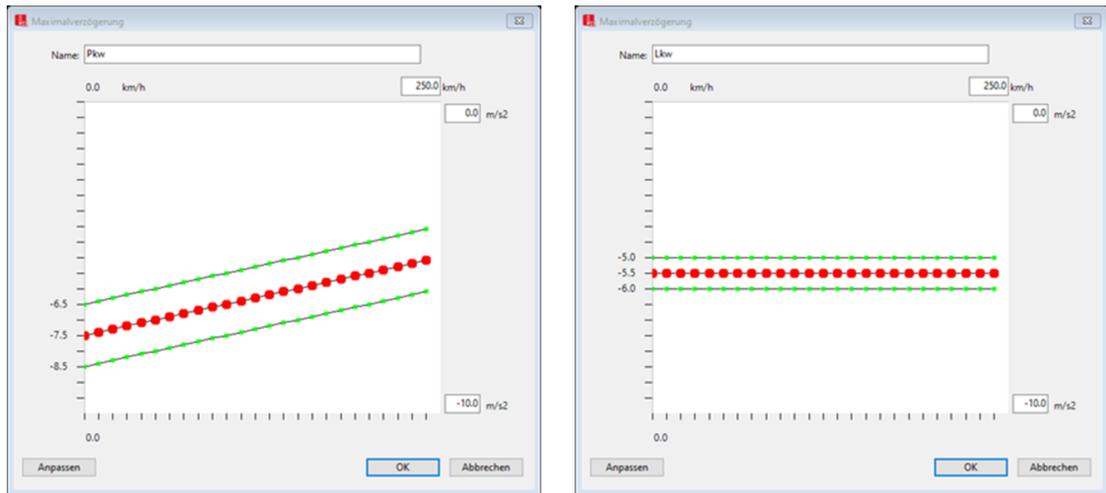


Abbildung 9: Maximalverzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw] (Quelle: PTV Vissim)

### 2.2.2 Gewählte Geschwindigkeitsverteilung

Die Geschwindigkeiten der Fahrzeugführer sind im Modell durch Verteilungen hinterlegt. Jeder Verkehrsteilnehmer strebt die Realisierung seiner Wunschgeschwindigkeit an. Diese wird bei freier Fahrt von jedem Fahrzeugführer individuell unter Berücksichtigung der Straßenklasse, des Wetters sowie der Kurvigkeit und dem Höhenprofil bewusst gewählt und nach Möglichkeit beibehalten. Anhand empirischer Erfahrungswerte, welche im Wesentlichen durch Geschwindigkeitsmessungen ermittelt wurden, lassen sich für die unterschiedlichen Straßenklassen unterschiedliche Wunschgeschwindigkeitsverteilungen hinterlegen. Abbildung 10 zeigt beispielhaft die im Modell implementierte Wunschgeschwindigkeitsverteilung für Pkw auf Straßenabschnitten mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h.

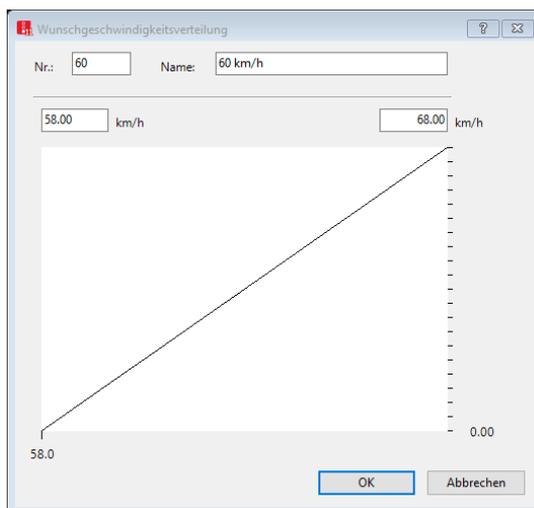


Abbildung 10: Wunschgeschwindigkeitsverteilung für Pkw bei einer zul. Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h (Quelle: PTV Vissim)

Für Streckenabschnitte mit anderen Geschwindigkeitsbegrenzungen wurden dementsprechende Verteilungen zugewiesen. Hierbei wurden, falls nötig, für die Fahrzeugtypen Pkw und Lkw unterschiedliche Geschwindigkeitsverteilungen festgelegt.

Darüber hinaus wurden in ausgeprägten Kurven sog. Langsamfahrbereiche angelegt, um eine realitätsnahe Kurvenfahrt abbilden zu können. Bei Langsamfahrbereichen reduziert ein Fahrzeug bereits vor Beginn des Bereichs seine Geschwindigkeit automatisch und fährt mit der reduzierten Geschwindigkeit in den Langsamfahrbereich ein. Nach dem Verlassen des definierten Bereichs beschleunigt das Fahrzeug automatisch, um seine Wunschgeschwindigkeit zu erreichen.

### 2.2.3 Verkehrsflussmodell

Das Verkehrsflussmodell der Simulationssoftware PTV Vissim ist ein stochastisches, zeitschrittbasierendes, mikroskopisches Modell, bei dem Fahrer-Fahrzeug-Kombinationen als elementare Einheiten betrachtet werden. Es wird dabei zwischen Längs- und Querbewegungen der Fahrzeuge unterschieden. Für die Längsbewegung existiert ein psychophysisches Fahrzeugfolgemodell und für die Querbewegungen ein regelbasiertes Modell. Beide Modelle basieren auf Forschungsarbeiten von WIEDEMANN<sup>2</sup>.

WIEDEMANN geht von der Annahme aus, dass sich ein Fahrer in einem der vier folgenden Fahrzustände befinden kann:

- Freies Fahren
- Annäherung
- Folgen
- Bremsen

Der Fahrzeugführer wechselt den Fahrzustand, sobald er eine bestimmte Schwelle erreicht, die als Funktion von Geschwindigkeitsdifferenz und Abstand beschrieben werden kann. Diese ist von Fahrzeugführer zu Fahrzeugführer unterschiedlich ausgeprägt. Auch die Wahrnehmung von Geschwindigkeitsunterschieden unterliegt den subjektiven Einschätzungen der Fahrzeugführer.

---

<sup>2</sup> Wiedemann, R. Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8 (1974)

## 2.3 Modellkalibrierung

Grundsätzlich sind Simulationsmodelle mit einem Satz veränderlicher Parameter versehen, die vom Benutzer eingestellt werden können. Damit die Simulation die in Realität beobachteten Verkehrsverhältnisse hinreichend genau abbildet, muss eine Kalibrierung des Simulationsmodelles, d.h. die Anpassung der veränderlichen Modellparameter, stattfinden<sup>3</sup>.

Um das Fahrverhalten so realitätsnah wie möglich abzubilden, sind Kalibrierungen der Fahrverhaltensparameter notwendig.

Beispiele für Einflussgrößen des Fahrverhaltens sind:

- Geschwindigkeitsverteilungen,
- ausgenutzte Zeitlücken an Konfliktpunkten,
- Fahrverhalten auf der freien Strecke und
- Fahrverhalten an Lichtsignalanlagen

Die Kalibrierung dieser Parameter erfolgte über den Vergleich erhobenen Verkehrsstärken mit den in der Simulation fließenden Verkehrsmengen. Die Abweichungen zwischen den Ergebnissen wurden anhand der Fehlermaße Root Mean Square Error (RMSE) und Root Mean Square Percentage Error (RMSPE) kontrolliert. Für die Kalibrierung gilt, je kleiner die absolute Abweichung, desto besser wird die Realität abgebildet. Ziel ist eine prozentuale Abweichung von weniger als 5 %. Besonders im Bereich der Kapazitätsgrenzen sollten die erhobenen und die simulierten Werte annähernd übereinstimmen, um realitätsnah zu simulieren.

In einem iterativen Prozess wurden die Parametereinstellungen so angepasst, dass die simulierten Verkehrsstärken des Modells annähernd mit den erhobenen Verkehrsmengen übereinstimmen.

Im Rahmen der Kalibrierung wurden ergänzend die Visualisierungsmöglichkeiten der Mikrosimulation genutzt, um eine generelle Plausibilitätsprüfung durchzuführen und den Verkehrsablauf mit der Realität zu vergleichen.

Nach Abschluss des Kalibrierungsvorganges lag ein bestmöglich angepasstes Simulationsmodell vor, das im Weiteren zur detaillierten Untersuchung des Analysenull- und -planfalls herangezogen wurde.

---

<sup>3</sup> Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation, Ausgabe 2006

### 3 Leistungsfähigkeitsuntersuchung mittels Mikrosimulation

Der Leistungsfähigkeitsnachweis erfolgt in Anlehnung an das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Demnach lässt sich die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufes (QSV) am Knotenpunkt über die mittleren Wartezeiten des Kfz-Verkehrs auf dem jeweiligen Fahrstreifen bestimmen. Die Einteilung der QSV erfolgt in Stufen A bis F, wobei A die beste und F die schlechteste Qualitätsstufe repräsentiert. Üblicherweise gilt der Verkehrsablauf als noch leistungsfähig, wenn die Stufe D erreicht wird. Maßgebend für die Gesamtbewertung des Knotenpunktes ist jeweils die schlechteste Einzelbewertung bezogen auf die Fahrstreifen.

Berechnungen vorfahrts geregelter und signalisierter Knotenpunkte gemäß dem HBS unterscheiden sich dahingehend, dass voneinander abweichende Grenzwerte für die Qualitätsstufen angesetzt werden. Alle Grenzwerte sowie eine Beschreibung der Qualitätsstufen können Anhang A.5 entnommen werden.

Zur Ermittlung der mittleren Wartezeiten wird der Verkehrsablauf in der Mikrosimulation simuliert und ausgewertet. Die Wartezeiten werden mit der Verkehrsplanungssoftware Vissim über die Knotenpunktauswertung ermittelt. Berechnet werden dabei sogenannte Verlustzeiten, die den mittleren Zeitverlust aller betrachteten Fahrzeuge auf einem oder mehreren Streckenabschnitten gegenüber der Fahrt beschreiben, bei der es keine Beeinträchtigung durch andere Fahrzeuge, Signalisierung oder aus anderen Gründen für Fahrzeughalte gäbe.

Auf eine klassische Ermittlung der mittleren Wartezeiten nach HBS wird verzichtet, da diese ein gewisses Maß an Abstraktion von Verkehr und Knotenpunkten enthalten. Die detailliert modellierte mikroskopische Simulation stellt hingegen ein geeigneteres Mittel dar, um auf lokale Besonderheiten einzugehen.

Als Simulationsdauer werden insgesamt 5400 s (= 1,5 h) angesetzt. Diese setzt sich zum einen aus dem eigentlichen Untersuchungszeitraum von 3600 s (= 1 h), welche zur Auswertung herangezogen wird, und zum anderen aus einer Vorlauf- und Nachlaufzeit von je 900 s (= 15 min) zusammen.

Auf Grund des stochastischen Charakters der Simulation können zufällige Schwankungen in den Ergebnissen der einzelnen Simulationsläufe auftreten. Um eine zuverlässige Aussage über die mittleren Verlustzeiten zu erhalten, werden die Verlustzeiten in zehn Simulationsläufen mit unterschiedlichen Startzufallszahlen ermittelt. Die Ergebnisse aller Simulationsläufe werden anschließend gemittelt. Den ermittelten mittleren Verlustzeiten lässt sich anschließend eine QSV nach HBS zuordnen.

Üblicherweise werden für die Bewertung der Leistungsfähigkeit eines Knotenpunktes die Verkehrsbelastungen in den maßgebenden Spitzenstunden angesetzt. Im Rahmen der repräsentativen Erhebung am Knotenpunkt Ost (KP Ost) konnten die Zeiträume zwischen 6:45 und 7:45 Uhr (Morgenspitze) sowie 16:15 und 17:15 Uhr (Abendspitze) als maßgeblich identifiziert werden. Im Folgenden werden diese in den beiden Untersuchungsfällen Analysenull (Abschnitt 3.1) und Analyseplan (vgl. Abschnitt 3.2) untersucht.

In nachfolgenden Abschnitten werden die Einordnung der Verkehrsströme in die QSV in Abhängigkeit der simulativ errechneten mittleren Wartezeiten in Tabellen dargestellt. Es wird darauf hingewiesen, dass hier in Abweichung zu den Vorgaben des HBS nicht zwischen QSV E und F unterschieden wird. QSV F ist erreicht, wenn die nachgefragte Verkehrsstärke über der Kapazität liegt, vgl. Anhang A.5. Da die Kapazitäten der einzelnen Verkehrsströme bzw. Fahrstreifen nicht explizit ermittelt wurden, kann keine Einordnung in Abhängigkeit der Auslastung erfolgen. Diese Unterscheidung ist für den Nachweis einer ausreichender QSV im Sinne des HBS (mind. QSV D) von sekundärer Bedeutung und daher in vorliegender Untersuchung vernachlässigbar.

### 3.1 Analysenullfall 2019

Der Analysenullfall 2019 bildet die Bestandssituation ab, d.h. das untersuchte Verkehrsnetz sowie die angesetzte Verkehrsbelastungen (vgl. Anhang A.1 und A.4) entsprechen dem des Bestandes.

$$\begin{array}{c} \textbf{Analysenullfall 2019} \\ = \\ \text{Verkehrsinfrastruktur im Bestand (= KP West und Ost vorfahrts geregelt)} \\ + \\ \text{Bestandsbelastungen 2019 (= Erhebung)} \end{array}$$

#### 3.1.1 Leistungsfähigkeitsuntersuchung

Die Bewertung der Leistungsfähigkeit des **KP West** ergab in beiden Spitzenstunden eine ausreichende QSV-Bewertung. Maßgebend für die QSV C in der Morgenspitze ist der Rechtsabbieger auf der Rampe mit einer mittleren Wartezeit von rund 23 s, Tabelle 1. Die Abendspitze wird in die QSV B eingeordnet, maßgebend ist dabei der Linksabbieger in der östlichen Zufahrt des Knotens mit einer mittleren Wartezeit von rund 18 s.

Die Untersuchung der Verkehrsqualität an **KP Ost** weist hingegen auf eine unzureichende Leistungsfähigkeit hin. Sowohl in der Morgenspitze als auch in der Abendspitze liegt insgesamt eine QSV E/F vor, d.h. gemäß HBS ist keine ausreichende Qualität des Verkehrsablaufs gegeben. Maßgebend ist stets der Linksabbieger kommend von der Autobahnrampe, fahrend auf die Bundesstraße mit einer mittleren Wartezeit von ca. 440 s ( $\approx 7$  min) in der Morgenspitze und ca. 320 s ( $\approx 5$  min) in der Abendspitze. Die ermittelte Qualitätsstufe E/F impliziert, dass der Knotenpunkt an seine Kapazitätsgrenze stößt bzw. im vorliegenden Fall überlastet ist. Insbesondere in der Morgenspitze bieten sich für die Linksabbieger auf der Rampe kaum ausreichend große Zeitlücken zum Auffahren auf die B 16. Anzumerken ist, dass zudem für die Linksabbieger kommend von der östlichen Zufahrt eine gerade noch ausreichende QSV D nachgewiesen wird. Begründet liegt dies in der hohen Belastung des konfligierenden Geradeausfahrers auf der B 16, der das zeitige Abbiegen nach Ankunft am Knotenpunkt erschwert.

**Zusammenfassend ist festzuhalten, dass im betrachteten Analysenullfall 2019 an KP West eine ausreichende Leistungsfähigkeit im Sinne des HBS nachgewiesen werden kann. Unzureichend ist hingegen die Bewertung des KP Ost. Maßgebend ist der Linksabbiegestrom auf der Rampe mit hohen Wartezeiten und großen Rückstaulängen. Damit bestätigen sich Vor-Ort-Beobachtungen des Marktes Manching sowie weiterer Verkehrsteilnehmer.**

Tabelle 1: Ergebnisse der Mikrosimulation im Analysenullfall 2019

KP mit <b>Vorfahrtsbeschilderung</b>					
Mittl. Verlustzeit		QSV			
≤ 10 s		A			
≤ 20 s		B			
≤ 30 s		C			
≤ 45 s		D			
> 45 s		E/F			

Analysenullfall 2019						
Knotenpunkt / Zufahrt		Strom	MORGENSPITZE		ABENDSPITZE	
			Mittl. Verlustzeit [s]	QSV [-]	Mittl. Verlustzeit [s]	QSV [-]
KP West	Zufahrt Ost	gerade	1,7	A	3,7	A
		links	17,5	B	18,1	B
	Zufahrt Süd (Rampe)	rechts	22,6	C	10,8	B
		Zufahrt West	gerade	3,9	A	3,3
		rechts	4,1	A	4,2	A
<b>Gesamtbewertung:</b>			QSV C		QSV B	
KP Ost	Zufahrt Ost	gerade	8,7	A	17,2	B
		links	41,0	D	34,1	D
	Zufahrt Süd (Rampe)	rechts	8,4	A	7,3	A
		links	441,0	E/F	317,8	E/F
	Zufahrt West	gerade	2,7	A	2,1	A
rechts		6,5	A	5,3	A	
<b>Gesamtbewertung:</b>			QSV E/F		QSV E/F	

### 3.1.2 Rückstauanalyse

Über die rein rechnerische Bewertung der Leistungsfähigkeit anhand von Wartezeiten hinaus, ermöglicht eine Mikrosimulation die Visualisierung von Verkehrsabläufen. Dies kann zur genaueren Beurteilung von verschiedenen Vorgängen im Straßenverkehr und im Speziellen für die Analyse von Rückstauereignissen genutzt werden. Im vorliegenden Fall spielt insbesondere die gegenseitige Beeinflussung beider Knotenpunkte aufgrund der räumlichen Nähe und damit begrenzten Aufstelllängen eine wichtige Rolle. Es gilt an beiden Anschlussknotenpunkten (KP West und Ost) einen möglichst reibungsloser Verkehrsablauf zu gewährleisten. Eine gegenseitige Beeinträchtigung der Knotenpunkte durch Rückstauereignisse und der sich dadurch im weiteren Verlauf entwickelnde Stau bis auf die Autobahn stellen ein hohes Unfallrisiko dar. Dieses Gefahrenpotenzial ist in jedem Fall zu verhindern.

Aus genannten Gründen wurden im Rahmen der Simulation Rückstaulängen an relevanten Stellen erhoben und untersucht. Weiterhin wurden die Visualisierungsmöglichkeiten der Mikrosimulation zur Beurteilung genutzt.

#### Morgenspitze:

In der **morgendlichen Spitzenstunde** sind lediglich die auf der östlichen Autobahnausfahrtsrampe entstehenden Stauereignisse kritisch zu betrachten. Die Auswertungsergebnisse zeigen, dass sich hier zeitweise Rückstaulängen von über 230 m und damit über die verfügbare Aufstelllänge der Rampe hinaus ergeben. Auch inkl.

Verzögerungstreifen im Bereich der Autobahn können nicht alle Stauereignisse abfangen werden. Mit einem simulativ ermittelten Maximalwert von etwa 1 km kann sich unter Umständen Rückstau auf der Autobahn ergeben. Dies ist mit einem erhöhten Unfallrisiko im Fahrverkehr der Autobahn verbunden. Alle Stauereignisse auf den restlichen Zufahrten sind im Wesentlichen unkritisch.

#### Abendspitze:

Die **abendliche Spitzenstunde** zeigt ein ähnliches Bild wie die Morgenspitze. Dies ist sowohl in der QSV-Bewertung als auch in den Rückstauanalyse zu erkennen. Im Fall der Stauanalyse stellen sich lediglich die Rückstaulängen auf der östlichen Rampe, welche durch den Linksabbieger verursacht werden, als kritisch heraus. Alle weiteren Zufahrtbereichen und dortig auftretende Staus sind unbedenklich hinsichtlich der Verkehrssicherheit und -qualität.

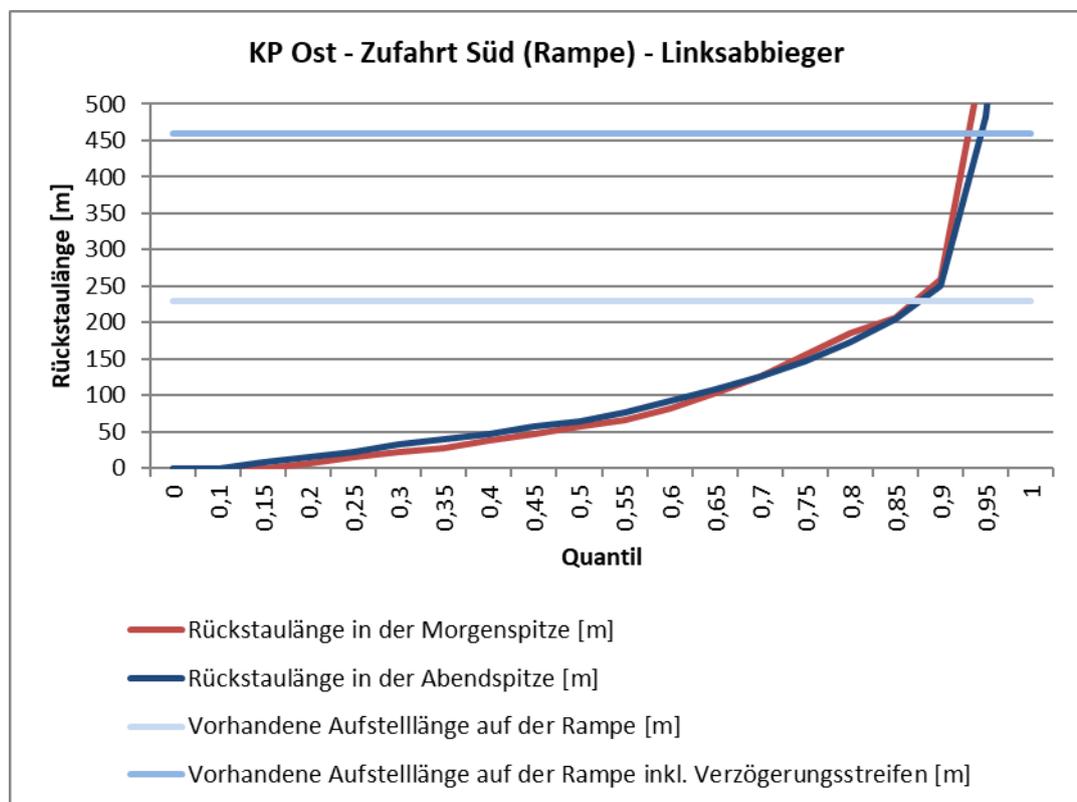


Abbildung 11: Rückstauauswertung für den Linksabbieger auf der Zufahrt Süd (Rampe) an KP Ost im Analysenullfall 2030 – Morgenspitze vs. Abendspitze

### 3.1.3 Zwischenfazit

Zusammenfassend ist für den westlichen Knotenpunkt (KP West) festzuhalten, dass sowohl in der Morgen- als auch Abendspitze der Nachweis einer ausreichenden Leistungsfähigkeit im Sinne des HBS geführt werden konnte (QSV B bis C). Entstehende Wartezeiten sind gering bis moderat und Rückstaulängen unbedenklichen Aufmaßes (räumlich und zeitlich).

Im Gegensatz dazu bestehen an KP Ost Defizite. Es kann keine ausreichende Leistungsfähigkeit nachweisen werden (QSV E/F). Damit bestätigen sich Beobachtungen des Verkehrsgeschehens vor Ort, die auf hohe Wartezeiten und große Rückstaulängen insbesondere auf der östlichen Autobahnausfahrtsrampe hinwiesen. Rückstauereignisse, die sich bis auf die Autobahn (d.h. auch über die Verzögerungstreifen hinaus) erstrecken, lassen

sich nicht ausschließen. Dies stellt ein hohes Gefahrenpotenzial für die Verkehrsabläufe auf der Autobahn dar. Zudem sind die nachweislich hohen Wartezeiten im Kreuzungsbereich für Linksabbieger ursächlich für eine risikofreudige Fahrweise, d.h. es werden auch sehr kleine Zeitlücken akzeptiert und für den Abbiegevorgang genutzt. Dies führt – wie bereits aus den Videoaufnahmen im Zuge der Verkehrserhebung zu entnehmen war – regelmäßig zu kritischen Verkehrssituationen. Es zeigt sich somit deutlicher Handlungsbedarf zur Optimierung des Knotenpunktes auf.

## 3.2 Analyseplanfall 2019

Der Analyseplanfall 2019 bildet die aktuellen Verkehrsbelastungen ab (vgl. Anhang A.1 und A.4). Zudem entspricht das untersuchte Verkehrsnetz in seiner Geometrie dem des Bestandes, jedoch wird die Errichtung von Lichtsignalanlage an beiden Anschlussknotenpunkten vorgesehen.

$$\begin{array}{c} \textbf{Analyseplanfall 2019} \\ = \\ \text{Verkehrsinfrastruktur im Planfall (= KP West und Ost mit LSA)} \\ + \\ \text{Bestandsbelastungen 2019 (= Erhebung)} \end{array}$$

### 3.2.1 Lichtsignalsteuerung

Im ersten Schritt der Untersuchung des Analyseplanfalls wurde ein LSA-Entwurf erarbeitet. Für die zu untersuchenden Spitzenzeiten wurden Festzeitersatzprogramme mit Hilfe des Verkehrsingenieurarbeitsplatzes LISA 7.2 entworfen und in die Mikrosimulation integriert. Querschnittserweiterung oder andere bauliche Veränderungen hinsichtlich der Knotenpunktgeometrie wurden nicht angesetzt.

Es ist anzumerken, dass sich bereits in diesem Schritt, d.h. der Einzelbetrachtung der Knotenpunkte unter Zuhilfenahme klassischer HBS-Berechnungen, teilweise Schwierigkeiten im Entwurf von leistungsfähigen Lichtsignalsteuerungen abzeichneten. Für die weitere und detailliertere Untersuchung wurden dennoch zwei beispielhafte Signalzeitenprogramme (s. Abbildung 12 und Abbildung 13) entworfen und in die Simulation integriert.

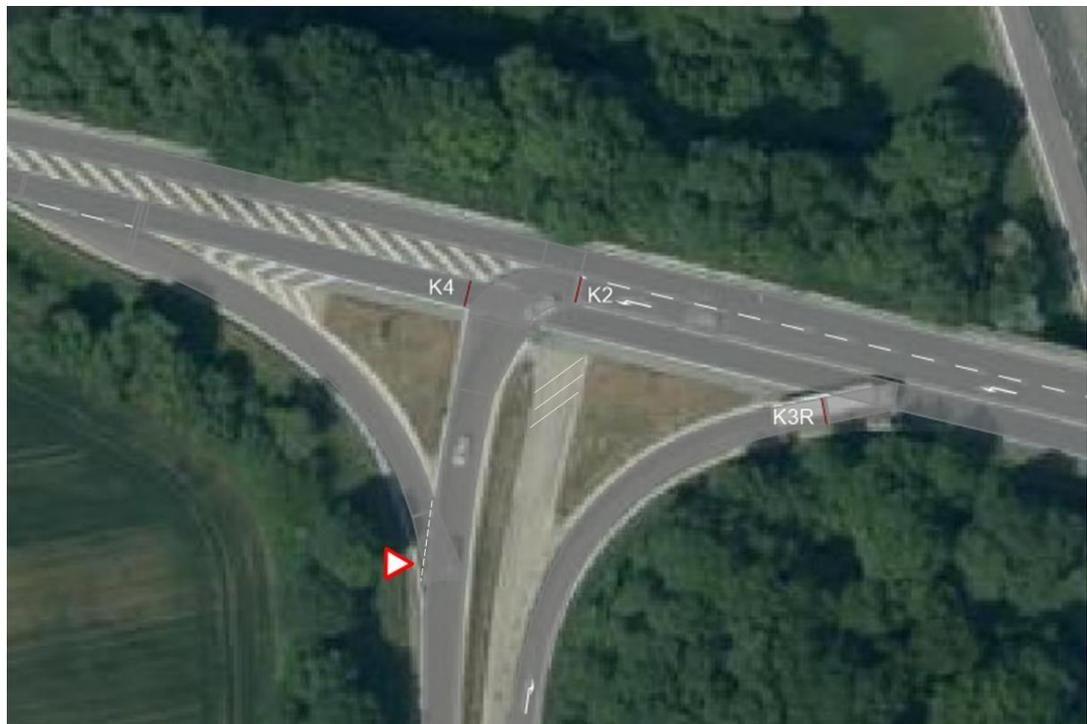
Im Entwurfsprozess der Lichtsignalanlagen genoss die Verkehrssicherheit, d.h. im vorliegenden Fall die Vermeidung von Rückstau über die verfügbaren Rampenlängen hinaus bis auf die Autobahn, höchste Priorität. Rückstauungen auf der Autobahn bergen ein hohes Unfallgefahrenpotenzial, welches stets zu vermeiden gilt. Auf anschließender Prioritätsstufe der Zielsetzung ist die leistungsfähige Abwicklung aller Verkehre, d.h. die Gewährleistung von geringen Wartezeiten auf möglichst jedem Fahrstreifen, anzusiedeln. Damit soll der Anspruch zur Sicherstellung der Leichtigkeit des fließenden Verkehrs Rechnung getragen werden. Angestrebt wurde insgesamt eine möglichste bestandsnahe LSA-Lösung ohne umfangreiche Ausbaumaßnahmen hinsichtlich der Knotenpunktgeometrie. Da unter diesen Rahmenbedingungen keine ausreichende Leistungsfähigkeit gleichzeitig auf allen Fahrstreifen sichergestellt werden konnte, lag im Entwurfsprozess der LSA zumindest ein besonderes Augenmerk darauf, die Freigabezeiten aller Signalgruppen im Hinblick auf ausgeglichene Sättigungsgrade zu verteilen.

Auf Basis genannter Zielsetzungen und unter Berücksichtigung geltender Entwurfsrichtlinien wurde eine Umlaufzeit von 90 s gewählt. Zudem wurden die beiden LSA zur Gewährleistung einer Grünen Welle auf der Hauptrichtung West nach Ost koordiniert. In der Gegenrichtung wird der Geradeausfahrer lediglich an KP Ost signalisiert (vgl. Abbildung 13, Signalgruppe K1). Da der Geradeausfahrer an KP West in dieser Richtung zu keinem anderen Verkehrsstrom feindlich ist, kann er frei (unsignalisiert) abfließen. Damit erübrigt sich eine Koordinierung von Ost nach West.

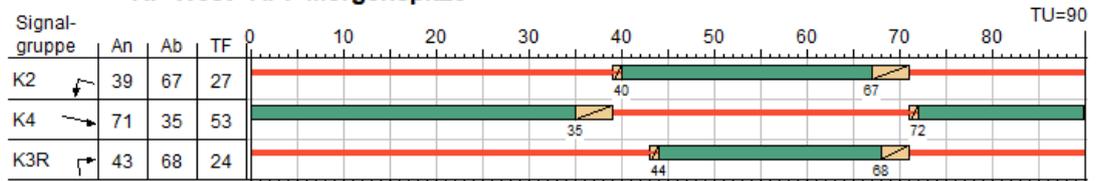
Es ist weiterhin anzumerken, dass der Verflechtungsbereich in der westlichen Abfahrt des KP Ost im Zuge der Signalisierung entfallen kann. Da der Linksabbieger kommend von der Autobahnrampe gesichert geführt wird und damit keine zeitgleiche Freigabe mit dem konfligierenden Geradeausfahrer auf der B 16 erhält, ist eine einstreifige Abfahrt ohne Verflechtungstreifen hier ausreichend.

Die Zufahrt von der südlichen Rampe auf die B 16 in Richtung Osten wird nur an KP West gesichert geführt (vgl. Abbildung 12, Signalgruppe K3R). Da dem rechts abbiegenden Verkehr am KP Ost von der südlichen Rampe auf die B 16 ein Verflechtungstreifen zur Verfügung steht, kann dieser ohne Signalisierung geführt werden.

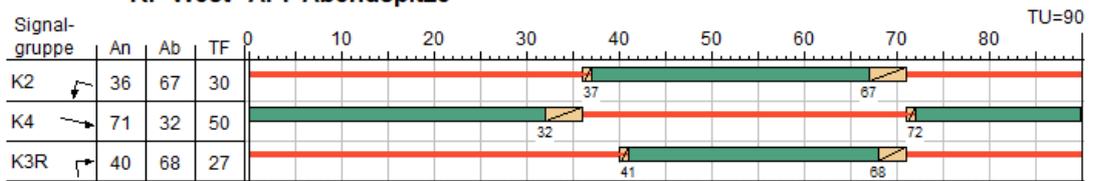
Der Konfliktpunkt zwischen dem von Westen kommenden Rechtsabbieger und dem von Osten kommenden Linksabbieger wird an beiden Knotenpunkten mittels Vorfahrtsbeschilderung geregelt.



**KP West - APF Morgenspitze**

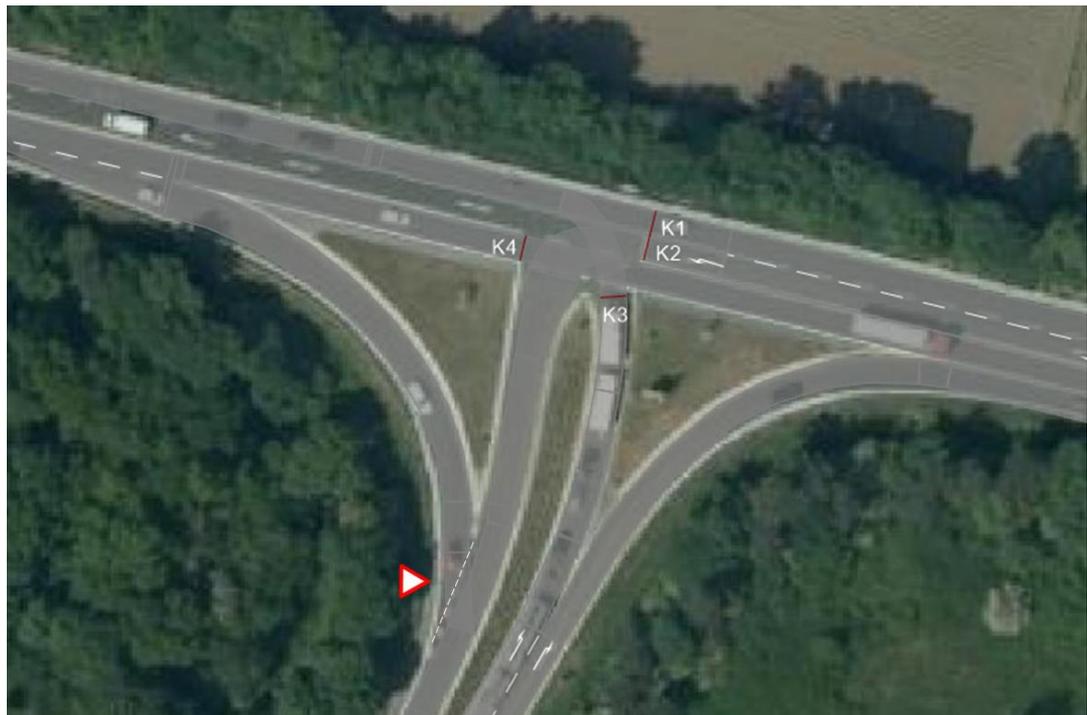


**KP West - APF Abendspitze**

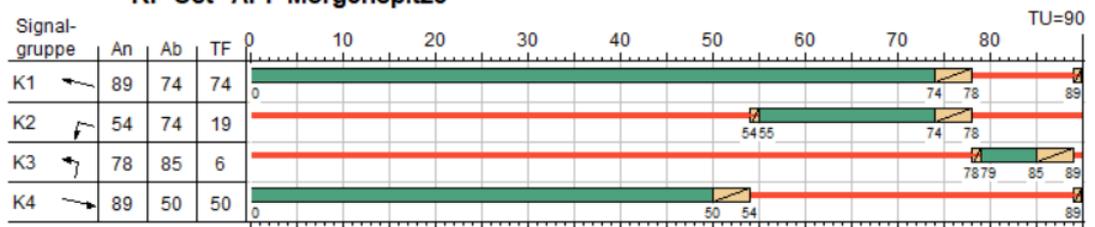


— Dunkel    Gelb    Grün    Rot    Rotgelb

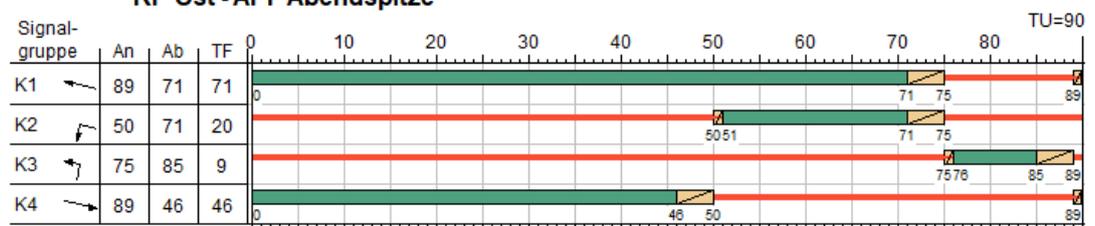
Abbildung 12: Signalzeitenpläne für die Morgenspitze und Abendspitze im Analyseplanfall 2019 an KP West  
(Quelle: LISA 7.2; PTV Vissim; Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung)



**KP Ost - APF Morgenspitze**



**KP Ost - APF Abendspitze**



— Dunkel    Gelb    Gruen    Rot    Rotgelb

Abbildung 13: Signalzeitenpläne für die Morgenspitze und Abendspitze im Analyseplanfall 2019 an KP Ost  
(Quelle: LISA 7.2, PTV Vissim, Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung)

### 3.2.2 Leistungsfähigkeitsuntersuchung

Im Ergebnis der Untersuchung des Analyseplanfalls zeigen sich teilweise Verbesserungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit infolge der Signalisierung. Dies betrifft insbesondere den östlichen Knoten (**KP Ost**). So kann mithilfe der Lichtsignalsteuerung sowohl in der Morgens als auch Abendspitze eine ausreichende Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Im Vergleich zum Nullfall der Analyse kann festgestellt werden, dass der dabei maßgebende Linksabbieger der Rampe von der zuvor erteilten QSV E/F in eine QSV D hochgestuft werden kann. Dies hat zwangsläufig Einfluss auf die konfligierenden Ströme, d.h. den Geradeausfahrer in westlicher Zufahrt sowie den Linksabbieger in östlicher Zufahrt, so dass höhere Wartezeiten fällig werden. Teilweise sind infolgedessen Abstufungen in der QSV-Bewertung der einzelnen Ströme zu observieren. Außerdem wird dadurch in der Abendspitze der Linksabbieger in östlicher Zufahrt zum maßgebenden Strom mit einer mittleren Wartezeit von rund 60 s. Insgesamt ist KP Ost jedoch ausreichend leistungsfähig im Sinne des HBS, der Leistungsfähigkeitsnachweis ist erbracht.

Die Errichtung einer LSA an **KP West** bringt hingegen Verschlechterungen mit sich, es fallen höhere Wartezeiten und größere Rückstaulängen an. In der abendlichen Spitzenstunde ist die Auswirkung der Wartezeitsteigerung teilweise bedeutsam hinsichtlich der Einordnung in die HBS-Qualitätsstufen. Eine Abstufung im Vergleich Null- und Planfall ergibt sich für den Geradeausfahrer kommend von Westen (von QSV A auf QSV B) sowie den Rechtsabbieger der Rampe (von QSV B auf QSV C). Insgesamt wird der Knotenpunkt somit nicht mehr mit einer QSV B wie im Analysenullfall, sondern mit einer QSV C bewertet. Dies ist jedoch weiterhin ausreichend für den Nachweis der Leistungsfähigkeit gem. HBS. Bedenklich sind auch die Entwicklungen in der morgendlichen Spitzenstunde. Hier kann bei Ansatz einer LSA keine ausreichende Leistungsfähigkeit mehr nachgewiesen werden. Maßgebend ist dabei der Rechtsabbiegestrom auf der Rampe mit einer mittleren Wartezeit von rund 100 s und der QSV E/F. Zudem wird auch der konfligierende Geradeausfahrer in der westlichen Zufahrt in der QSV-Bewertung herabgestuft. Hier kann im Vergleich zur QSV A im Nullfall nur noch eine QSV C nachgewiesen werden. Die zur Verfügung stehenden Kapazitäten am Knotenpunkt sind ausgeschöpft. Eine Umverteilung der Freigabezeiten, so dass dem Rechtsabbieger der Rampe längere Grünzeit gewährt wird, kann nur zu Lasten des Geradeausfahrers in westlicher Zufahrt erfolgen. Es ist davon auszugehen, dass in diesen Fall zwar der Rechtsabbieger der Rampe eine ausreichende QSV-Bewertung erreicht, im Gegenzug dazu wird aber der konfligierende Geradeausfahrer herabgestuft. Zudem wird der Verkehrsfluss an KP West maßgeblich durch Rückstauereignisse an KP Ost beeinflusst. Der verfügbare Stauraum zwischen KP West und Ost ist durch Rückstau weitestgehend ausgenutzt und bietet somit keine bzw. nur geringe Kapazitäten zum Abfließen der Verkehre kommend von West sowie Süd (an KP West). Im folgenden Abschnitt wird der Aspekt Rückstaubildung und gegenseitige Beeinflussung der Knotenpunkte tiefer gehend analysiert.

**Zusammenfassend ist festzuhalten, dass im betrachteten Analyseplanfall 2019, d.h. bei Signalisierung beider Knotenpunkte, eine ausreichende Leistungsfähigkeit im Sinne des HBS lediglich an KP Ost nachgewiesen werden kann (QSV D). KP West wird insgesamt in die QSV E/F eingeordnet und ist damit nicht ausreichend leistungsfähig. Ursächlich sind insbesondere bestehende Wechselwirkungen zwischen den Knoten.**

Tabelle 2: Ergebnisse der Mikrosimulation und QSV-Bewertung im Vergleich Analysenullfall 2019 – Analyseplanfall 2019

KP mit Vorfahrtsbeschilderung		KP mit Lichtsignalsteuerung	
Mittl. Verlustzeit	QSV	Mittl. Verlustzeit	QSV
≤ 10 s	A	≤ 20 s	A
≤ 20 s	B	≤ 35 s	B
≤ 30 s	C	≤ 50 s	C
≤ 45 s	D	≤ 70 s	D
> 45 s	E/F	> 70 s	E/F

MORGENSPITZE						
Knotenpunkt / Zufahrt	Strom	Analysenullfall 2019		Analyseplanfall 2019		
		Mittl. Verlustzeit [s]	QSV [-]	Mittl. Verlustzeit [s]	QSV [-]	
KP West	Zufahrt Ost	gerade	1,7	A	3,4	A
		links	17,5	B	26,5	B
	Zufahrt Süd (Rampe)	rechts	22,6	C	99,9	E/F
	Zufahrt West	gerade	3,9	A	40,8	C
		rechts	4,1	A	26,0	B
<b>Gesamtbewertung:</b>		<b>QSV C</b>		<b>QSV E/F</b>		
KP Ost	Zufahrt Ost	gerade	8,7	A	12,5	A
		links	41,0	D	52,6	D
	Zufahrt Süd (Rampe)	rechts	8,4	A	2,9	A
		links	441,0	E/F	54,1	D
	Zufahrt West	gerade	2,7	A	26,7	B
		rechts	6,5	A	15,6	A
<b>Gesamtbewertung:</b>		<b>QSV E/F</b>		<b>QSV D</b>		

ABENDSPITZE						
Knotenpunkt / Zufahrt	Strom	Analysenullfall 2019		Analyseplanfall 2019		
		Mittl. Verlustzeit [s]	QSV [-]	Mittl. Verlustzeit [s]	QSV [-]	
KP West	Zufahrt Ost	gerade	3,7	A	4,8	A
		links	18,1	B	27,7	B
	Zufahrt Süd (Rampe)	rechts	10,8	B	35,1	C
	Zufahrt West	gerade	3,3	A	30,5	B
		rechts	4,2	A	18,3	A
<b>Gesamtbewertung:</b>		<b>QSV B</b>		<b>QSV C</b>		
KP Ost	Zufahrt Ost	gerade	17,2	B	24,0	B
		links	34,1	D	57,3	D
	Zufahrt Süd (Rampe)	rechts	7,3	A	2,0	A
		links	317,8	E/F	50,1	D
	Zufahrt West	gerade	2,1	A	23,5	B
		rechts	5,3	A	12,6	A
<b>Gesamtbewertung:</b>		<b>QSV E/F</b>		<b>QSV D</b>		

### 3.2.3 Rückstauanalyse

#### Morgenspitze:

Im vorigen Abschnitt zur Leistungsfähigkeitsuntersuchung wurde festgestellt, dass im Fall der Signalisierung der Anschlussstelle Manching an KP Ost hauptsächlich Verbesserungen zu verzeichnen sind. Dies gelingt jedoch nur zu Lasten der Verkehrsqualität an KP West. Hier kann eine ausreichende Qualität im Verkehrsablauf nicht mehr nachgewiesen werden. Dies spiegelt sich ebenso in den Ergebnissen der Rückstauanalyse wider. Die im vorfahrtsregulierten Bestandsfall kritischen Rückstaulängen auf der östlichen Rampe, d.h. an **KP Ost**, können mittels Signalisierung effektiv im Rahmen der verfügbaren Aufstelllängen gehalten werden, vgl. Abbildung 14. Stauereignisse, die zur Autobahn ragen, können verhindert werden. Von unwesentlicher räumlicher sowie zeitlicher Ausdehnung sind auch die Staulängen in östlicher Zufahrt des KP Ost, vgl. Abbildung 15. Kritisch zu betrachten ist jedoch die westliche Zufahrt. Hier entstehen große Rückstaulängen, die den Rechtsabbieger in dieser Zufahrt sowie zeitweise den benachbarten KP West in einer Entfernung von rund 250 m (von Haltlinie zu Haltlinie) überstauen, vgl. Abbildung 16. Dies hat maßgeblichen Einfluss auf die Abflusskapazität in Richtung Osten an **KP West** und führt zu stockendem Verkehr. Beispielsweise kann bei Freigabe des Geradeausfahrers kommend von Westen kein freier Verkehrsabfluss sichergestellt werden. Abhängig vom verbleibenden Stauraum zwischen beiden Knotenpunkten, kann nur ein Teil der Fahrzeuge die Grünzeit nutzen und die Haltlinie überfahren. Gleiches gilt für die Rechtsabbieger der Rampe an KP West. Der Abfluss wird durch sich stauende Fahrzeuge am westlichen Arm des KP Ost beeinträchtigt. Infolge dieser Wechselwirkung zwischen den Knotenpunkten entstehen große Rückstaulängen auf der Rampe des KP West. Die verfügbare Rampenlänge (ca. 320 m) reicht nicht aus, um alle Stauereignisse abzufangen, vgl. Abbildung 17. Zeitweise ist im Bereich der Autobahn Stau und damit einhergehend ein hohes Unfallgefahrenpotenzial zu verzeichnen. Zudem zeigt die Simulation auch große Rückstaulängen in der westlichen Zufahrt des KP West. In Anbetracht der ermittelten Wartezeiten kann auf eine ausreichende Leistungsfähigkeit geschlossen werden, jedoch sind dabei große Staulängen hinzunehmen.

#### Abendspitze:

Grundsätzlich zeigen sich infolge der Signalisierung auch in der Abendspitze Verbesserungen an KP Ost und Verschlechterungen an KP West. Wie in Abschnitt 3.2.2 erläutert, kann jedoch an beiden Knotenpunkten mind. eine QSV D und damit ausreichende Leistungsfähigkeit im Sinne des HBS nachgewiesen werden. Dementsprechend sind auch die Rückstaulängen im Wesentlichen unkritisch hinsichtlich der räumlichen als auch zeitlichen Ausdehnung. Die Staulängen auf beiden Rampen können ohne Weiteres durch die verfügbare Rampenlängen aufgenommen werden (vgl. Abbildung 14 und Abbildung 17). Stauereignisse in westlicher Zufahrt des KP Ost reichen, wie auch in Morgenspitze, zeitweise bis zum benachbarten KP West (vgl. Abbildung 16). Dies hat jedoch keine maßgeblich negative Auswirkung auf die Verkehrsabläufe.

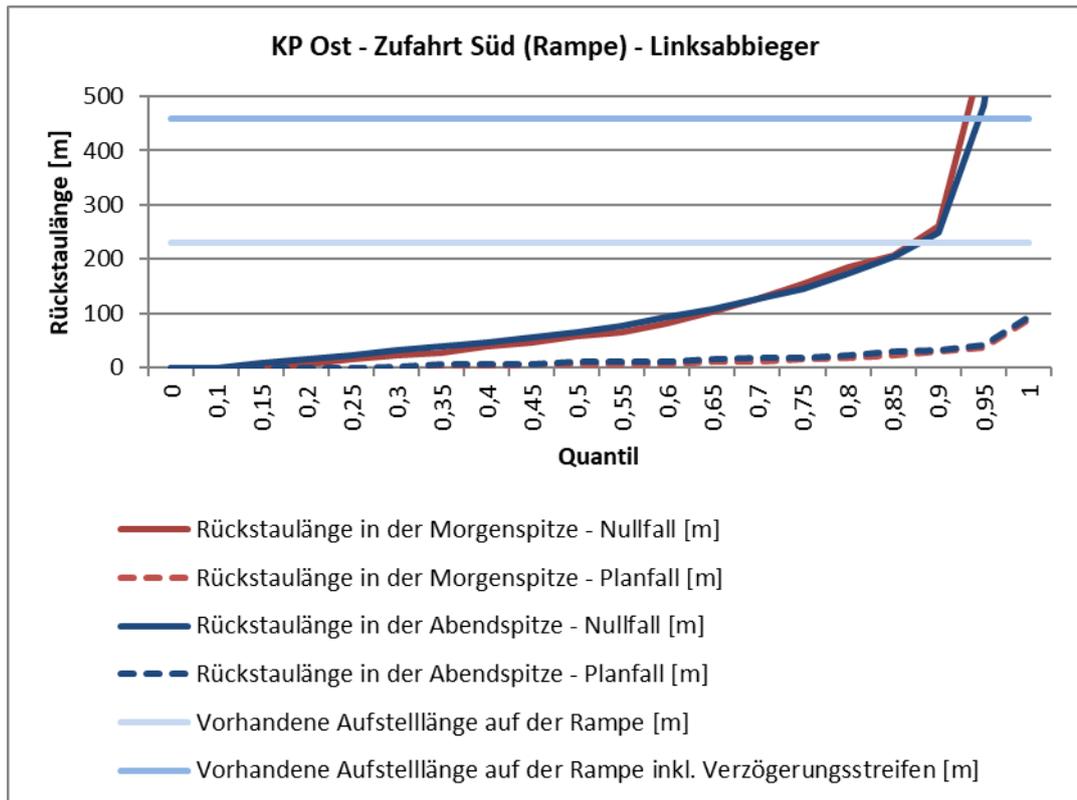


Abbildung 14: Rückstauauswertung für den Linksabbieger auf der Zufahrt Süd (Rampe) an KP Ost im Vergleich Analysenullfall 2019 – Analyseplanfall 2019

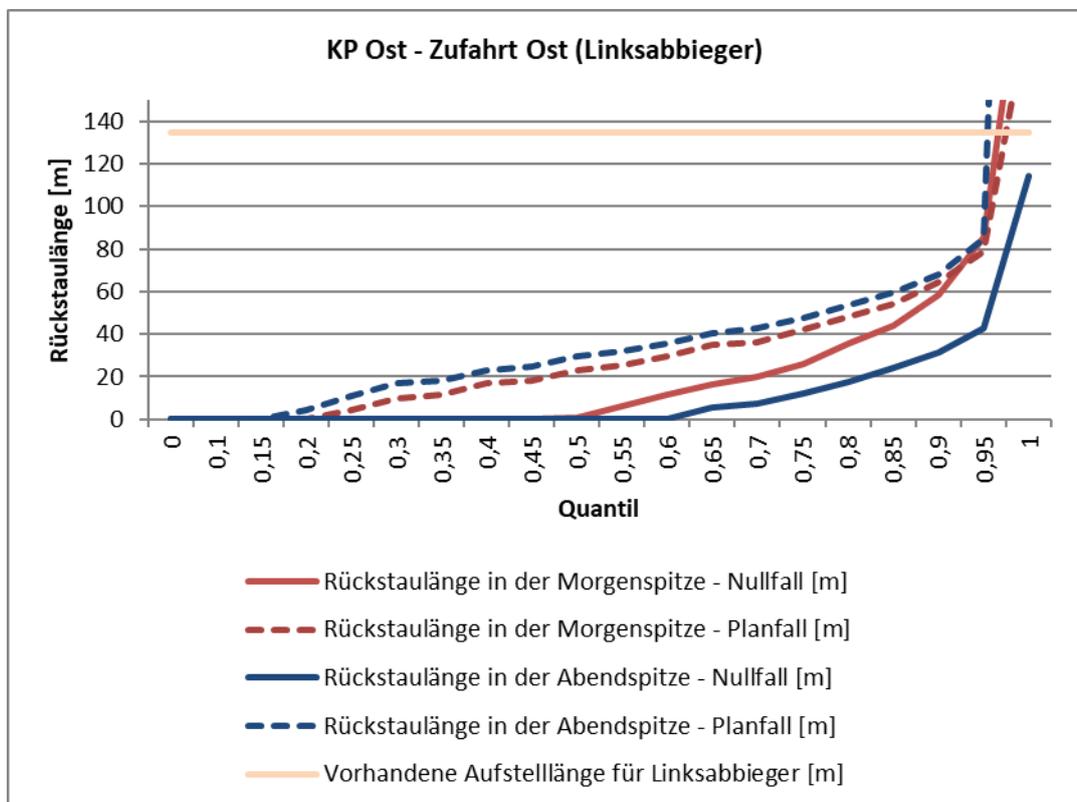


Abbildung 15: Rückstauauswertung für den Linksabbieger auf der Zufahrt Ost (B 16) an KP Ost im Vergleich Analysenullfall 2019 – Analyseplanfall 2019

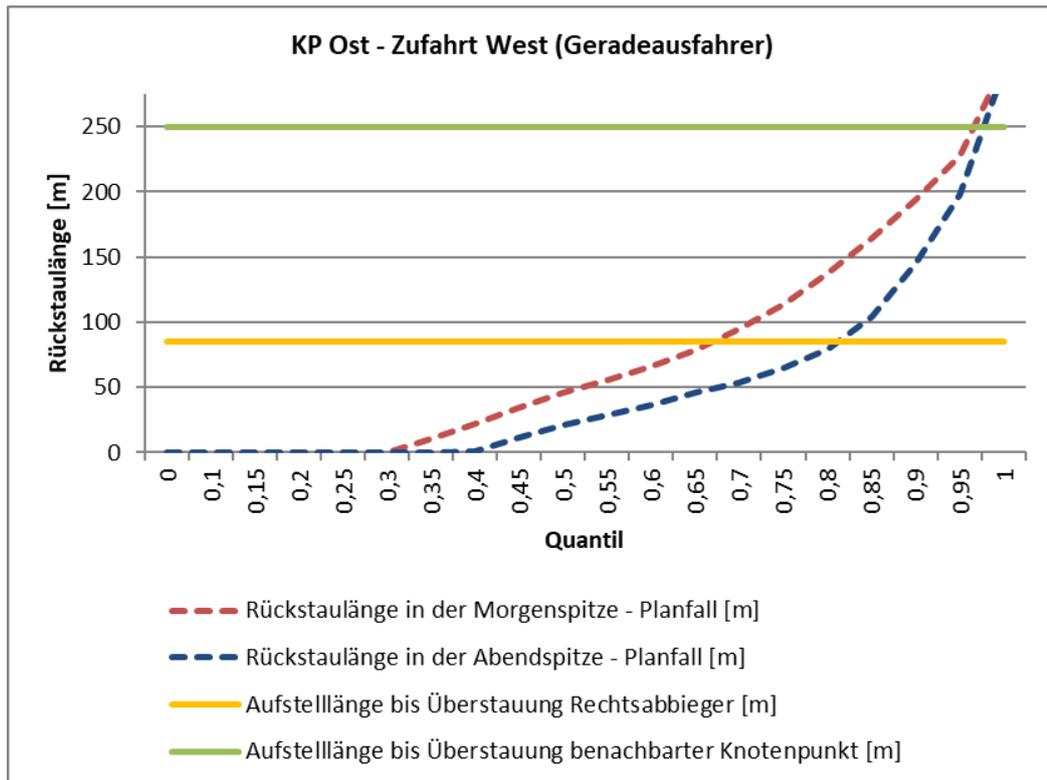


Abbildung 16: Rückstauauswertung für den Geradeausfahrer auf der Zufahrt West (B 16) an KP Ost im Analyseplanfall 2019 – Morgenspitze vs. Abendspitze

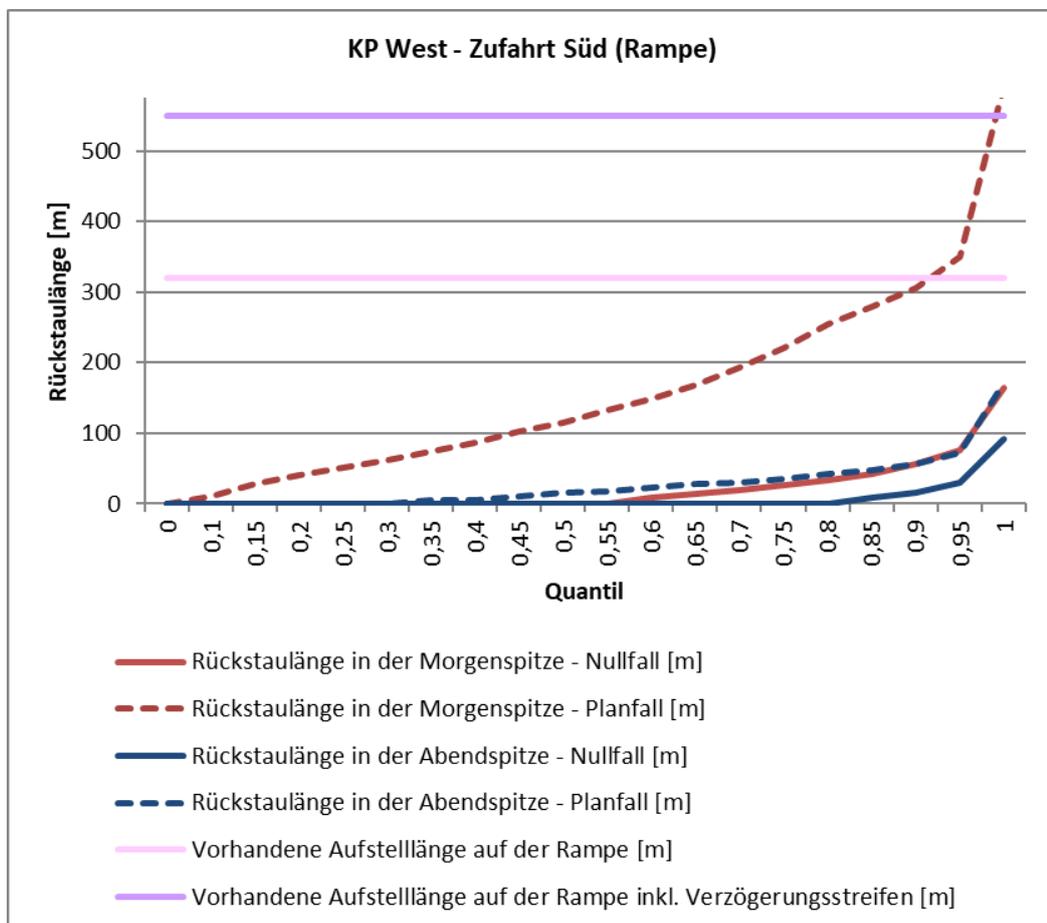


Abbildung 17: Rückstauauswertung für den Rechtsabbieger auf der Zufahrt Süd (Rampe) an KP West im Vergleich Analysenullfall 2019 – Analyseplanfall 2019

### 3.2.4 Zwischenfazit

In Zusammenfassung der simulativen Untersuchung des Analyseplanfalls ist festzuhalten, dass die Errichtung von Lichtsignalanlagen gewisse Vorzüge im Vergleich zur Vorfahrtsregelung bietet. So kann sich eine Signalsteuerung bei richtiger Planung positiv hinsichtlich der Verkehrssicherheit auswirken. Beispielsweise wird im Planfall mit LSA die im Bestand kritische Rückstaulänge der östlichen Rampe (KP Ost – Zufahrt Süd) auf ein verträgliches Maß reduziert. Zudem kann für den KP Ost in beiden Spitzenstunden eine ausreichende Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Dabei werden die beiden Linksabbieger am Knoten (Zufahrt Ost und Zufahrt Süd/Rampe) mit einer noch ausreichenden QSV D bewertet. Es ist anzumerken, dass dieser Leistungsfähigkeitsnachweis nur für die gegenwertige Situation gilt. Abhängig von täglichen/saisonalen Verkehrsmengenschwankungen und auch zukünftig zu erwarten Verkehrsmengensteigerung kann der Nachweis ggf. nicht mehr erbracht werden. Davon abgesehen bezieht sich der genannte Leistungsfähigkeitsnachweis auf die isolierte Betrachtung des KP Ost. Bei Betrachtung der gesamten Anschlussstelle durch Mikrosimulation kann bereits im Analyseplanfall keine ausreichende Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass mittels Lichtsignalsteuerung eine ausreichende Leistungsfähigkeit, d.h. ein Verkehrsfluss mit geringen bis moderaten Wartezeiten jederzeit auf allen Fahrstreifen, und gleichzeitig geringen Rückstaulängen nicht sichergestellt werden können. KP West wird in der Morgenspitze der unzureichenden QSV E/F zugeordnet. Verursacht wird diese Situation im Wesentlichen durch die in der östlichen Abfahrt des KP West im Konflikt stehenden Verkehrsströme. Betroffen sind der Rechtsabbieger kommend von der Rampe sowie der Geradeausfahrer kommend von Westen. Letzterer weist gemäß Simulationsergebnisse moderate Wartezeiten jedoch große Rückstaulängen auf. Der konfligierende Rechtsabbieger der Rampe zeigt darüber hinaus große Rückstaulängen und gleichzeitig lange Wartezeiten. In Abhängigkeit der gewählten Freigabezeitverteilung bestimmt sich der für die QSV-Bewertung maßgebende Verkehrsstrom zwischen den genannten zwei Strömen. Bei gegebener Knotenpunktgeometrie ist es nicht möglich die anfallenden Verkehrsmengen stets leistungsfähig abzuwickeln. Die Verkehrssituation wird überdies maßgeblich durch Wechselwirkungen zwischen den Knotenpunkten West und Ost bestimmt. Die Abflusskapazität im Osten des KP West wird durch die LSA bzw. Stau an KP Ost stark eingeschränkt. Die zur Verfügung stehenden Kapazitäten an den Knotenpunkten bzw. der gesamten Anschlussstelle sind ausgeschöpft, für den Nachweis der Leistungsfähigkeit beider Knotenpunkte im Netzzusammenhang werden Ausbaumaßnahmen (z.B. Querschnittserweiterungen) erforderlich.

## 4 Zusammenfassung und Fazit

Im vorliegenden Gutachten wurde die Autobahnanschlussstelle A9 Manching mittels Leistungsfähigkeitsberechnungen und Mikrosimulation verkehrlich bewertet. Der Untersuchungsumgriff umfasst die Anschlussknotenpunkte West und Ost, d.h. alle Auf- und Abfahrtsrampen, der A9 an die B 16.

Untersuchungen der Leistungsfähigkeit in Anlehnung an das HBS<sup>4</sup> mittels mittlerer Wartezeiten für die Verkehrsströme am Knotenpunkt (KP) sowie der Rückstausituation erfolgten für die morgendliche und abendliche Belastungsspitzenstunde in folgenden Untersuchungsfällen:

- **Analysenullfall 2019**  
(= vorfahrtsregelte Bestandsknotenpunkte + Analysebelastung 2019)
- **Analyseplanfall 2019**  
(= signalisierte Knotenpunkte + Analysebelastung 2019)

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden Verkehrserhebungen durchgeführt. Die auf diese Weise ermittelten Verkehrsmengen bilden die Grundlage der Mikrosimulation.

Die Leistungsfähigkeitsbewertung des KP West im **Analysenullfall 2019** (= Bestand) ergab insgesamt eine QSV C (**QualitätsStufe des Verkehrsablaufes**) sowie unkritische Rückstaulängen. Damit ist der Nachweis der Leistungsfähigkeit erbracht. KP Ost zeigt hingegen Defizite, die sowohl in der Morgen- als auch Abendspitze eine unzureichenden QSV E/F zur Folge haben. Maßgebend sind dabei die hohen Wartezeiten (im Mittel ca. 5 bis 7 min) der Linksabbieger kommend von der Autobahnausfahrtstampe. Dies spiegelt sich auch in der Rückstauanalyse in Form von kritischen Staulängen wider. Damit bestätigen sich Vor-Ort-Beobachtungen, die auf Defizite im Verkehrsablauf des östlichen Knotenpunktes und regelmäßig Rückstau bis über die Autobahn hinwiesen. Damit geht ein erhöhtes Unfallgefahrenpotenzial und folglich Handlungsbedarf zur Optimierung der Verkehrsabläufe einher.

Zur Abbildung des **Analyseplanfalls 2019** wurden auf Grundlage der abzuwickelnden Verkehrsbelastungen Festzeiterersatzprogramme mit Hilfe des Verkehrsingenieurarbeitsplatzes LISA 7.2 entworfen und in die Mikrosimulation integriert. Den unterschiedlichen Belastungsrichtungen und -mengen entsprechend, wurden für die Morgen- und Abendspitze verschiedene Signalzeitenpläne erarbeitet. Beim Entwurf wurde auf eine gleichmäßige Verteilung der Sättigung aller Verkehrsströme geachtet. Priorität hatte zudem das Ziel, Rückstaulängen, die sich über die Rampe hinaus bis auf die Autobahn erstrecken, zu verhindern.

Grundsätzlich zeigt die Untersuchung des Analyseplanfalls Verbesserungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Bestandsfall an KP Ost und gleichzeitig Verschlechterungen an KP West. Die Gesamtsituation der Anschlussstelle wird im Analyseplanfall daher nicht maßgeblich verbessert. Für KP Ost kann in beiden Spitzenstunden eine ausreichende QSV D nachgewiesen werden. Zudem werden die Rückstaulängen auf der Rampe auf ein unkritisches Maß reduziert. Folglich bietet die

---

<sup>4</sup> Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Ausgabe 2015, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln

Lichtsignalanlagen an KP Ost gewisse Vorzüge im Vergleich zur Vorfahrtsregelung. Die Verkehrsabläufe an KP West werden hingegen maßgeblich beeinträchtigt. Eine große Rolle spielen dabei Rückstauereignisse in östlicher Zufahrt des KP Ost, die regelmäßig bis zum KP West reichen. Insgesamt wird KP West in die QSV E/F eigeordnet. Große Rückstaulängen sind dabei in der Zufahrt West und Süd (Rampe) zu verzeichnen. Die zur Verfügung stehenden Kapazitäten an den Knotenpunkten bzw. der gesamten Anschlussstelle sind ausgeschöpft, für den Nachweis der Leistungsfähigkeit beider Knotenpunkte im Netzzusammenhang sind Ausbaumaßnahmen (z.B. Querschnittserweiterungen) erforderlich.

Eine Verbesserung der Situation ist durch die alleinige Anpassung bzw. Umgestaltung der Signalzeitenpläne nicht realisierbar. Dies ist damit zu begründen, dass die an den Knotenpunkten zur Verfügung stehenden Kapazitäten ausgeschöpft sind. Diese werden zum einen durch die vorhandenen Fahrstreifen und zum anderen durch die übergeordneten Rahmenbedingungen der Signalzeitenplanung, wie z.B. Mindestfreigabezeiten und -sperrzeiten, begrenzt. Möglichkeiten der Signalzeitenplanung (z.B. Umverteilung der Freigabezeiten) wurden erschöpfend untersucht, bieten jedoch kein zufriedenstellendes Ergebnis.

Mit ergänzenden Maßnahmen können Kapazitäten und Auslastungsgrade optimiert werden (z.B. Optimierung der Knotenpunktgeometrie, verkehrabhängige Lichtsignalsteuerung, Ausbau einzelner Querschnitte), jedoch genügen diese Maßnahmen keinesfalls zur leistungsfähigen Abwicklung aller Verkehre bzw. wesentlichen Reduzierung entstehender Wartezeiten und Rückstaulängen.

Die Kapazität der gesamten Anschlussstelle ist in erster Linie durch die geringe Entfernung zwischen KP West und Ost sowie den daraus resultierenden Wechselwirkungen geprägt. Zudem sind Ausbaumöglichkeiten durch den Querschnitt des Brückenbauwerks stark eingeschränkt.

**In Zusammenfassung der Untersuchung kann festgehalten werden, dass mittels bestandsorientierter LSA-Lösungen keine ausreichend leistungsfähige Abwicklung der Verkehre sichergestellt werden kann. Die Errichtung von LSA an den KP der Anschlussstelle kann jedoch Vorteile hinsichtlich der Verkehrssicherheit (z.B. Vermeidung von Rückstau bis auf die Autobahn) bieten. Dem steht allerdings eine massive Beeinträchtigung des Verkehrsflusses auf der B 16, d.h. in Spitzenstunden stetig wachsender Rückstau, entgegen. Eine maßgebliche Verbesserung der Verkehrssituation unter den Aspekten Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs ist lediglich im Fall einer starken Abnahme der Verkehrsmengen oder durch umfangreiche Ausbaumaßnahmen (insbesondere Erweiterung des Hauptstraßenquerschnitt, d.h. der Kapazität der B 16, über die gesamte Länge der Anschlussstelle und darüber hinaus) zu erwarten.**

# Anhang

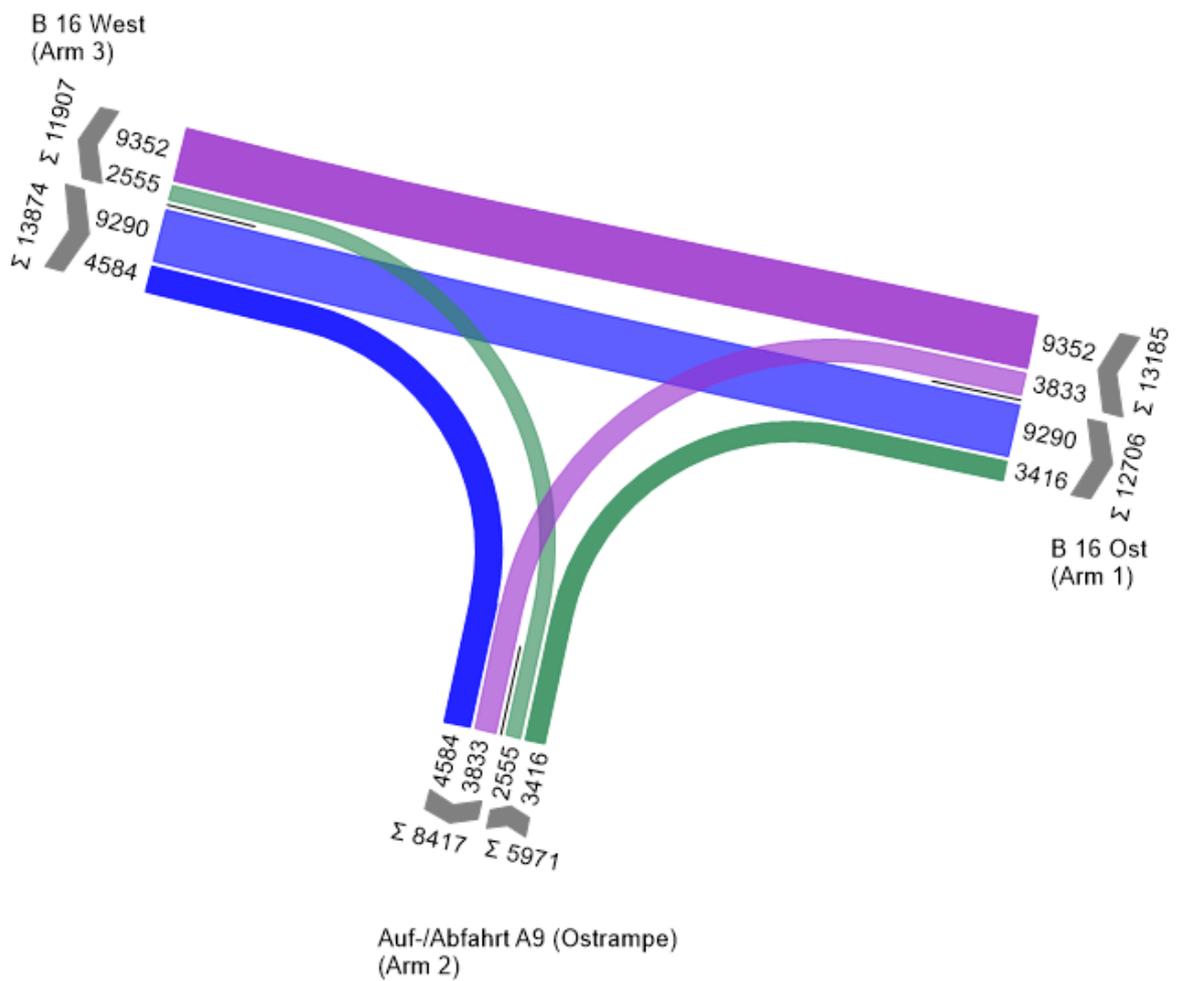
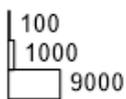
## A.1 – Erhebung Knotenpunkt Ost, 23.10.2019 (Analyse 2019) Tagesverkehr [Kfz / 24 h]

Zählung 23.10.2019

Summe Auf Basis eines Zeitintervalls 23.10.2019 00:00 - 24.10.2019 00:00

33030 Pkw + Krad + Lkw + Bus + Liefer + Lz

von\nach	1	2	3
1		3833	9352
2	3416		2555
3	9290	4584	



### Schwerverkehr [SV / 24 h]

Zählung 23.10.2019

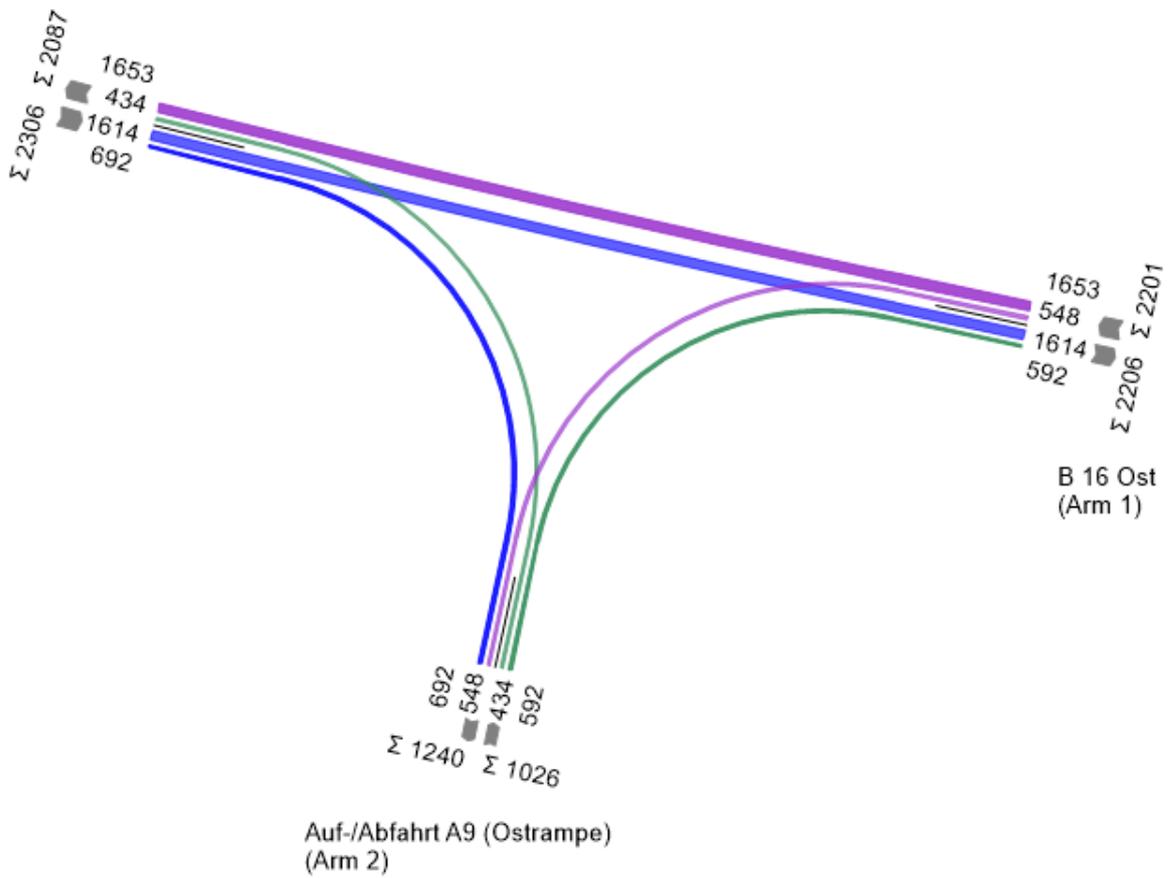
Summe Auf Basis eines Zeitintervalls 23.10.2019 00:00 - 24.10.2019 00:00

5533 Lkw + Bus + Lz

von\nach	1	2	3
1		548	1653
2	592		434
3	1614	692	



B 16 West  
(Arm 3)



### Morgenspitze [Kfz / h]

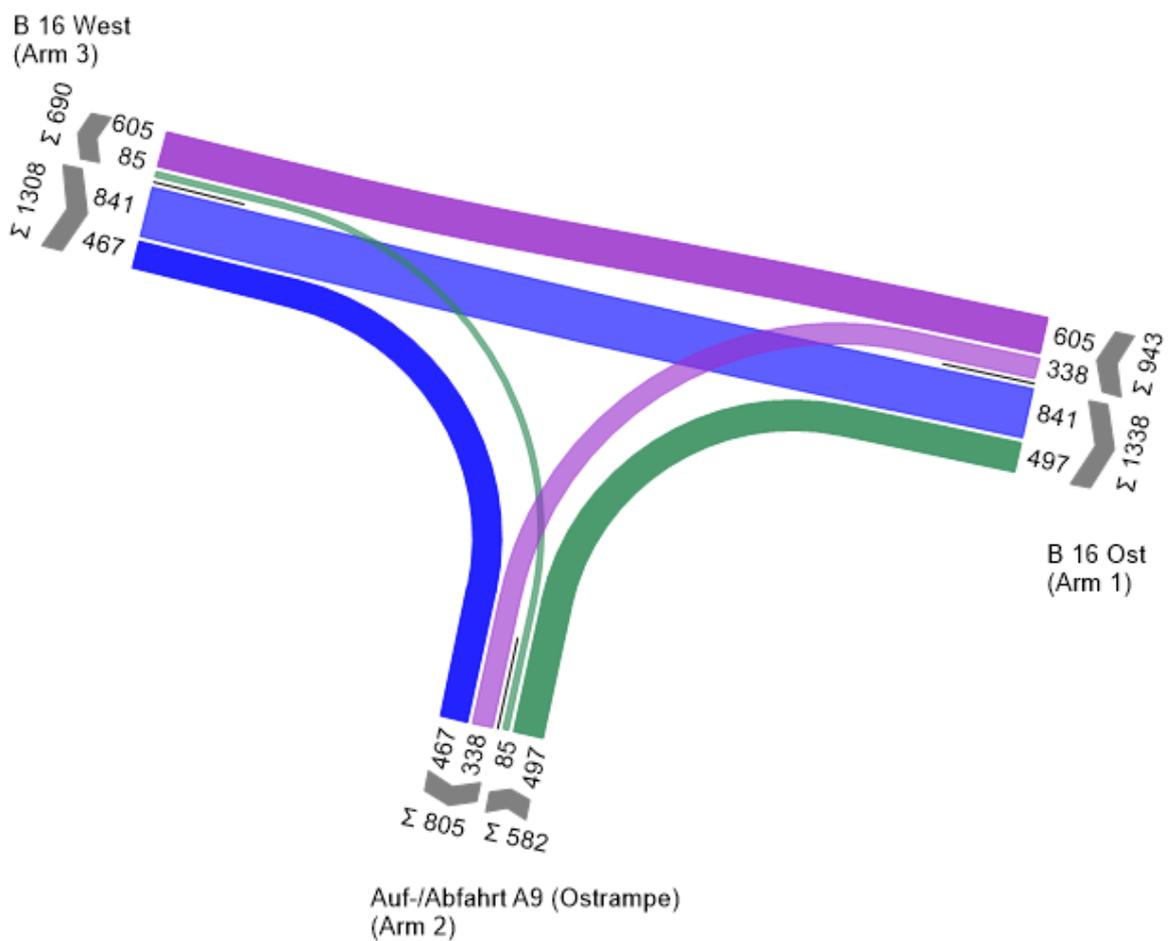
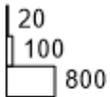
Zählung 23.10.2019

Spitzenstunde 06:45 - 07:45

Auf Basis eines Zeitintervalls 23.10.2019 00:00 - 23.10.2019 12:00

2833 Pkw + Krad + Lkw + Bus + Liefer + Lz

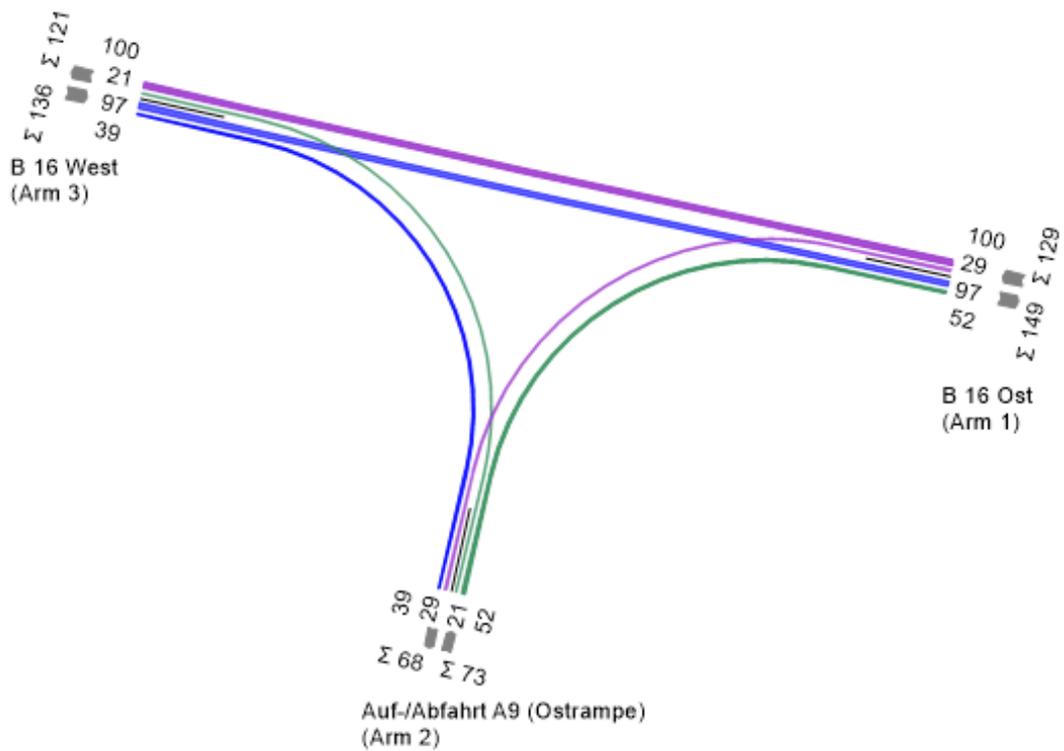
von\nach	1	2	3
1		338	605
2	497		85
3	841	467	



### Morgenspitze Schwerverkehr [SV / h]

Zählung 23.10.2019  
 Spitzenstunde 06:45 - 07:45  
 338 Lkw + Bus + Lz

von/nach	1	2	3
1		29	100
2	52		21
3	97	39	



### Abendspitze [Kfz / h]

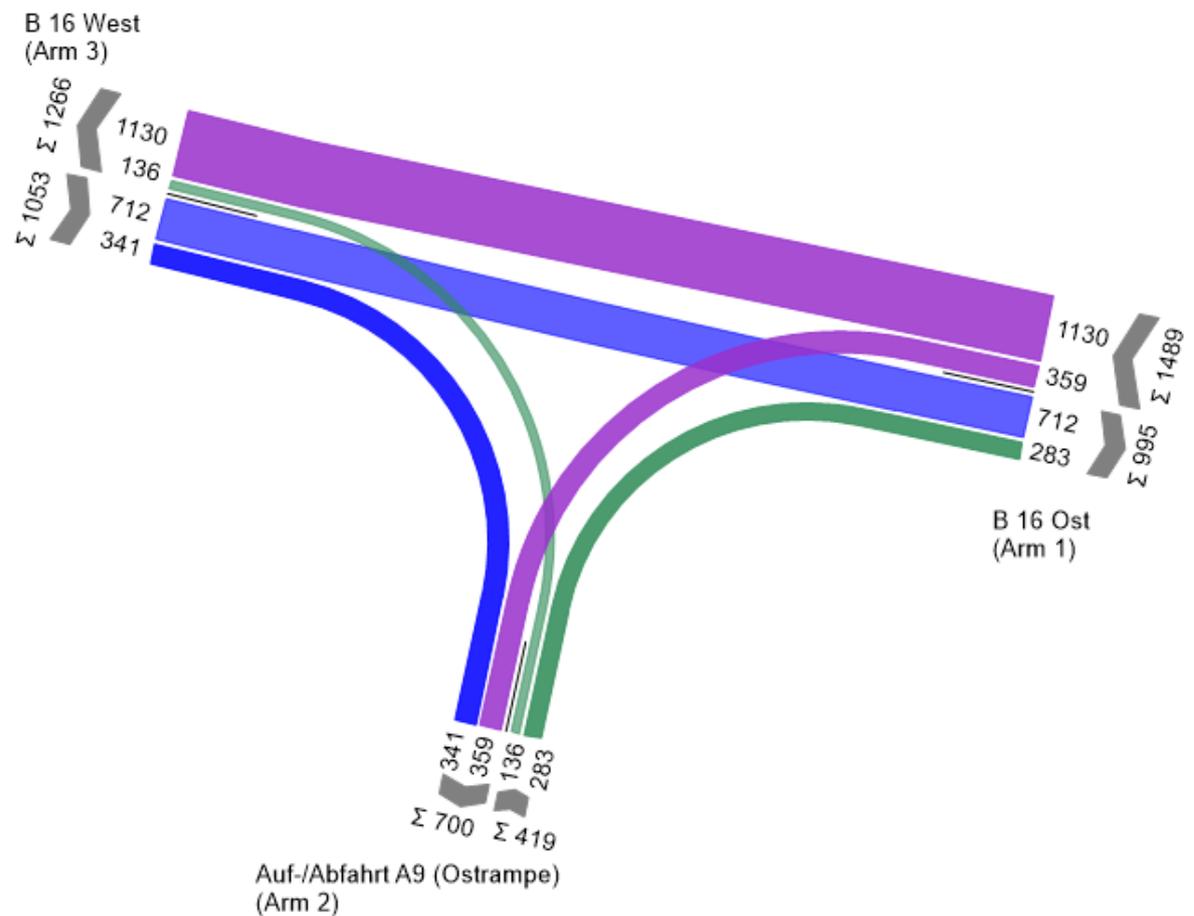
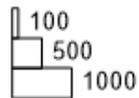
Zählung 23.10.2019

Spitzenstunde 16:15 - 17:15

Auf Basis eines Zeitintervalls 23.10.2019 12:00 - 24.10.2019 00:00

2961 Pkw + Krad + Lkw + Bus + Liefer + Lz

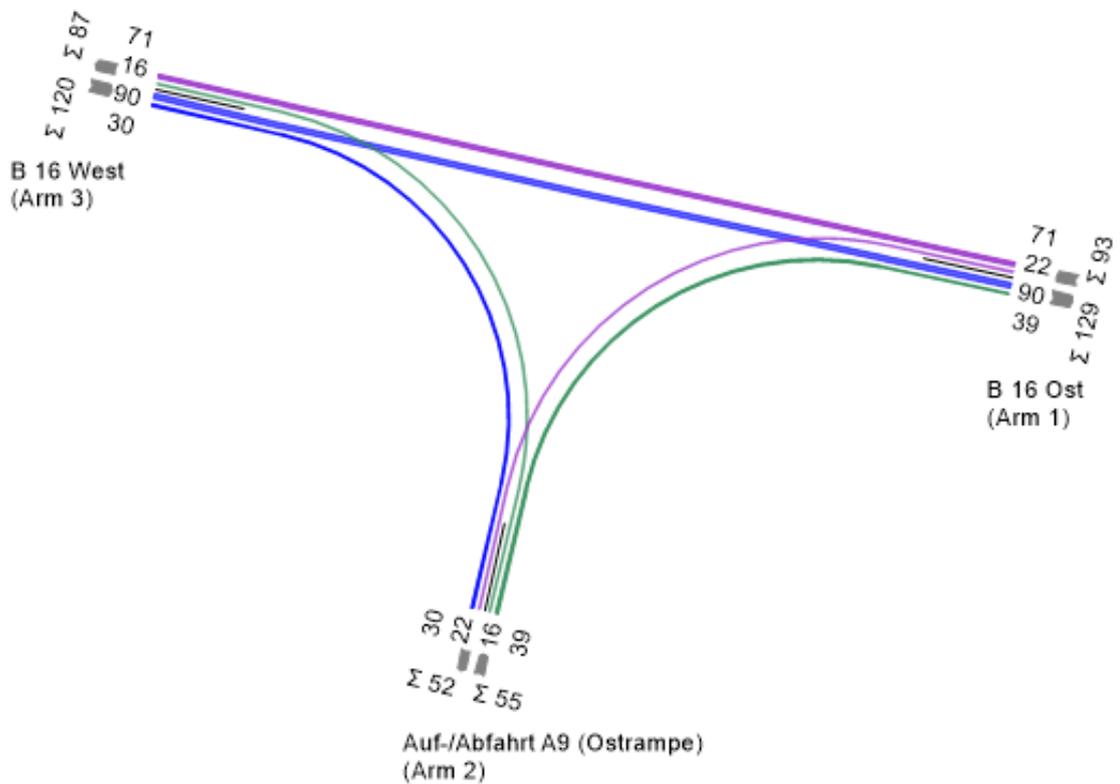
von\nach	1	2	3
1		359	1130
2	283		136
3	712	341	



## Abendspitze Schwerverkehr [SV / h]

Zählung 23.10.2019  
 Spitzenstunde 16:15 - 17:15  
 268 Lkw + Bus + Lz

von\nach	1	2	3
1		22	71
2	39		16
3	90	30	

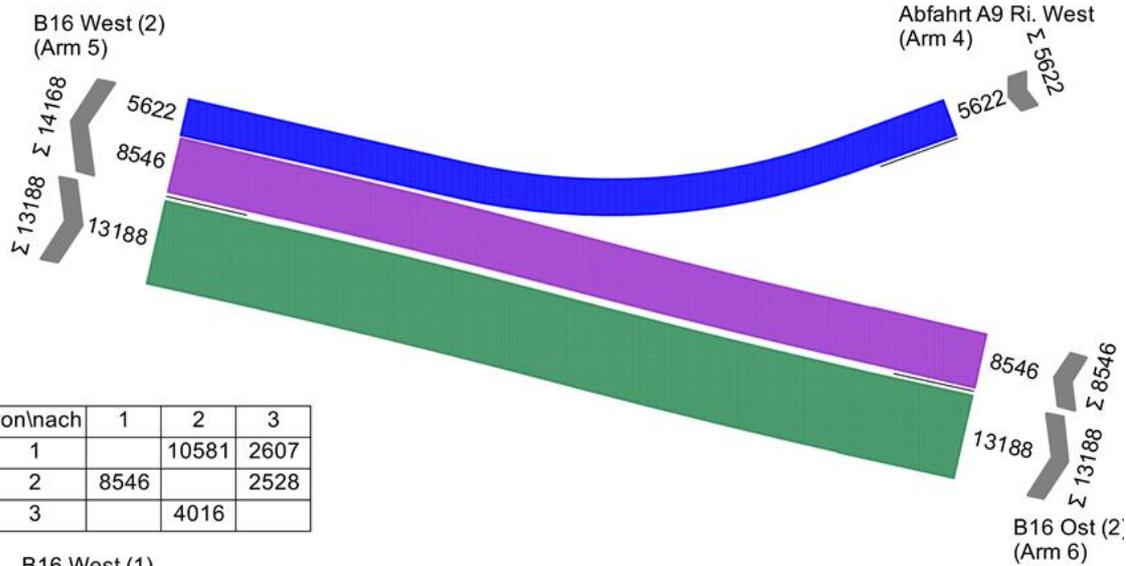
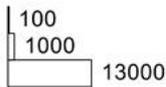


## A.2 – Erhebung Knotenpunkt West, 15.07.2020

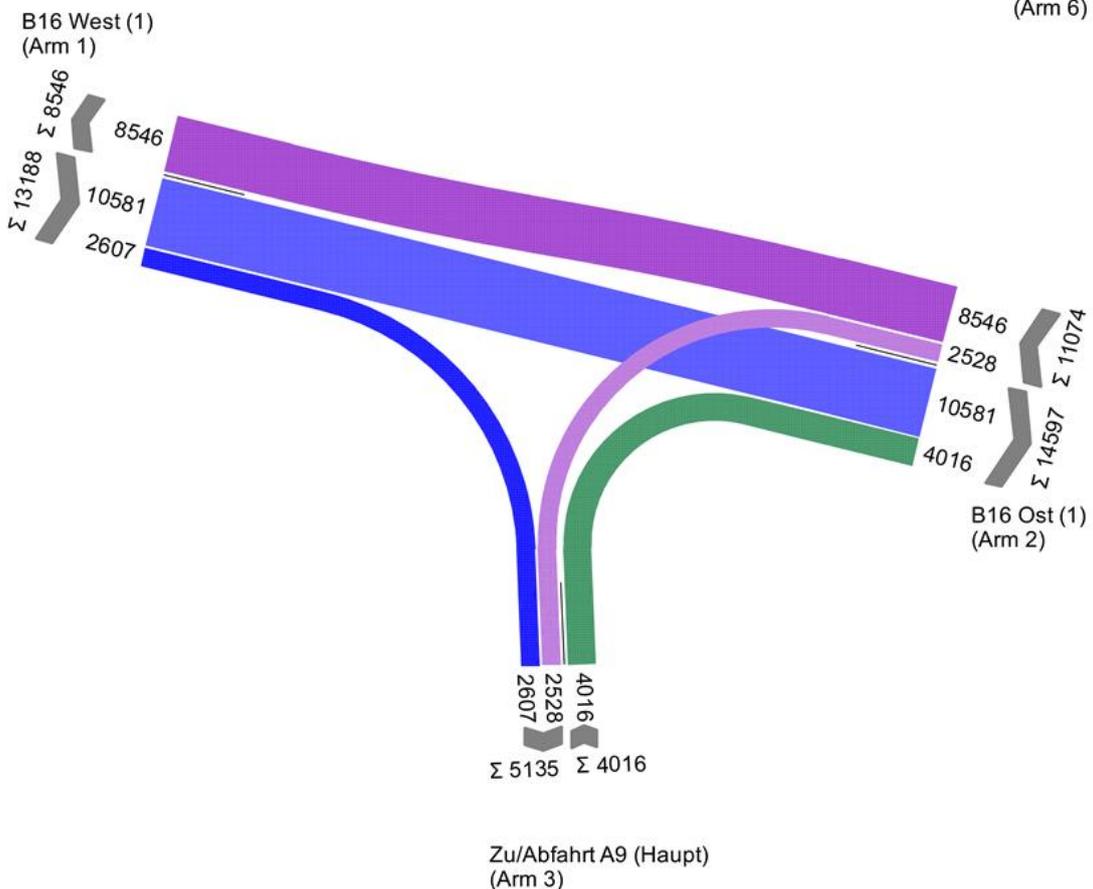
### Tagesverkehr [Kfz / 24 h]

Zählung A9 Anschlussstelle Manching West  
 Summe Auf Basis eines Zeitintervalls 15.07.2020 00:00 - 16.07.2020 00:00  
 55634 Pkw + Krad + Lieferfgz + Lkw + Lastzug + Bus

von\nach	4	5	6
4		5622	
5			13188
6		8546	



von\nach	1	2	3
1		10581	2607
2	8546		2528
3		4016	





### Morgenspitze [Kfz / h]

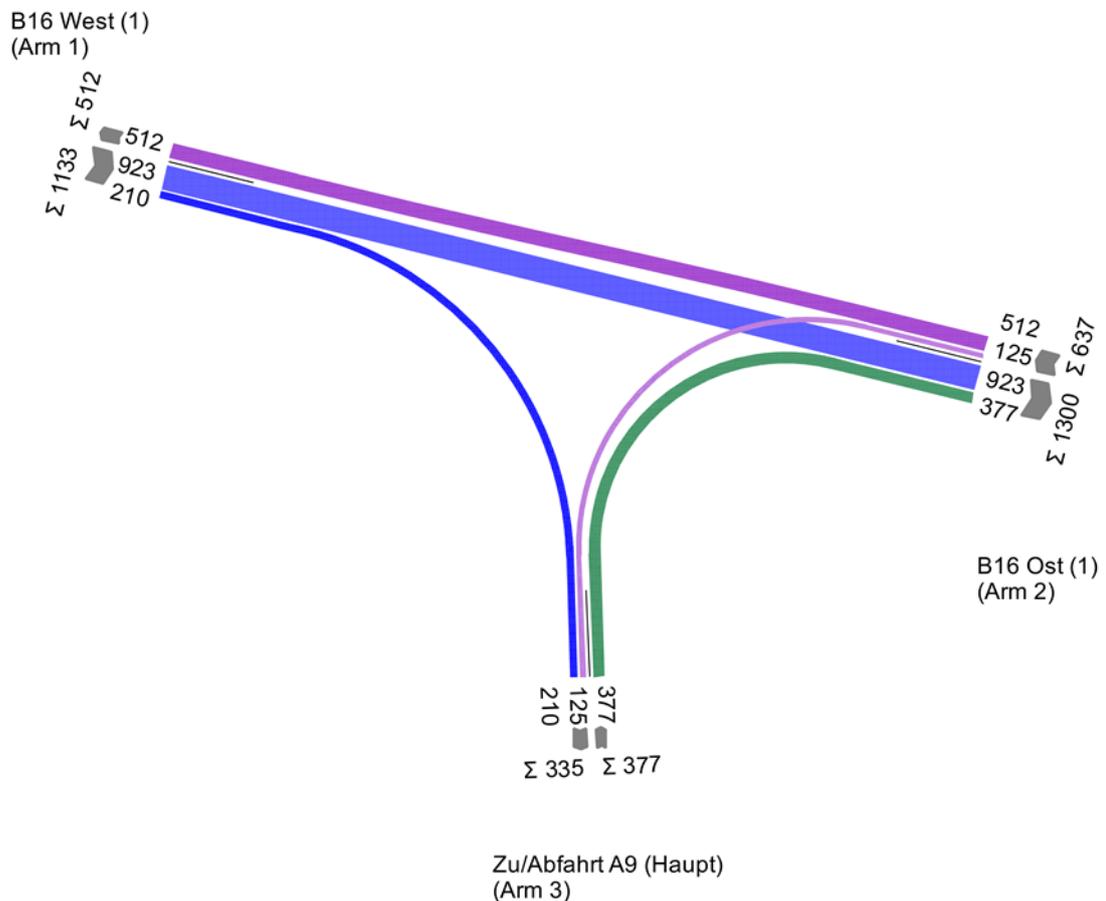
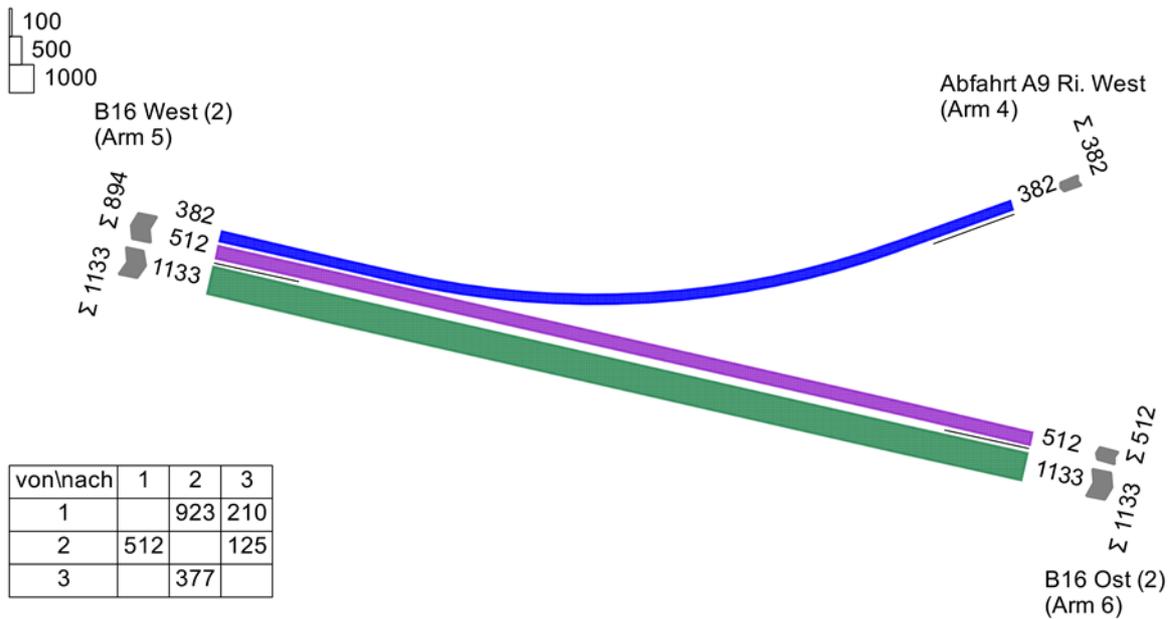
Zählung A9 Anschlussstelle Manching West

Spitzenstunde 07:00 - 08:00

Auf Basis eines Zeitintervalls 15.07.2020 00:00 - 15.07.2020 12:00

4174 Pkw + Krad + Lieferfzg + Lkw + Lastzug + Bus

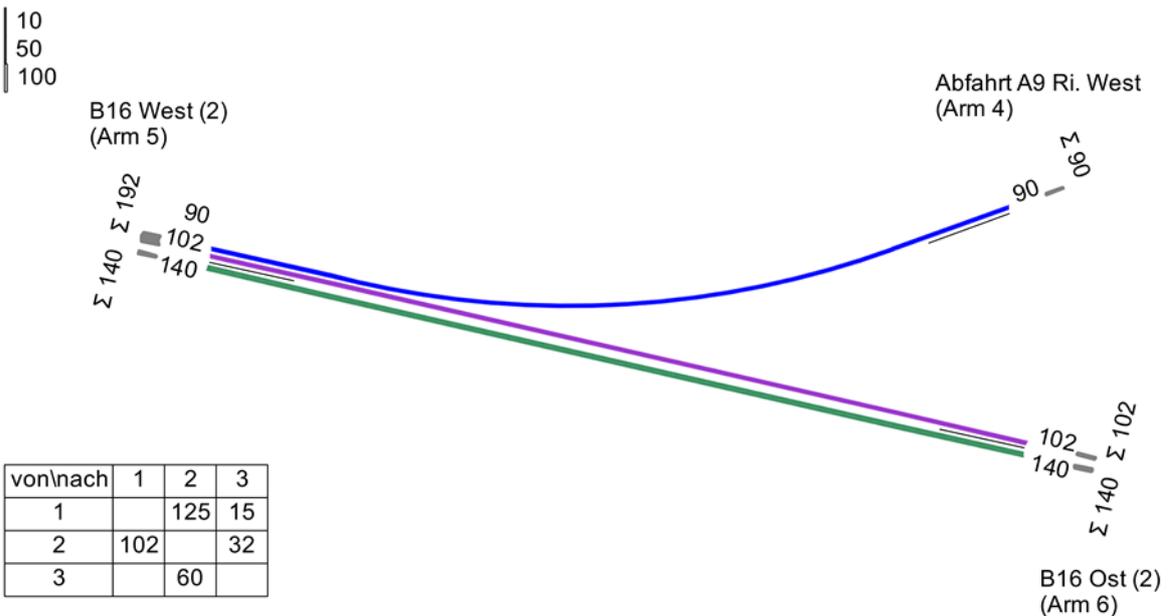
von/nach	4	5	6
4		382	
5			1133
6		512	



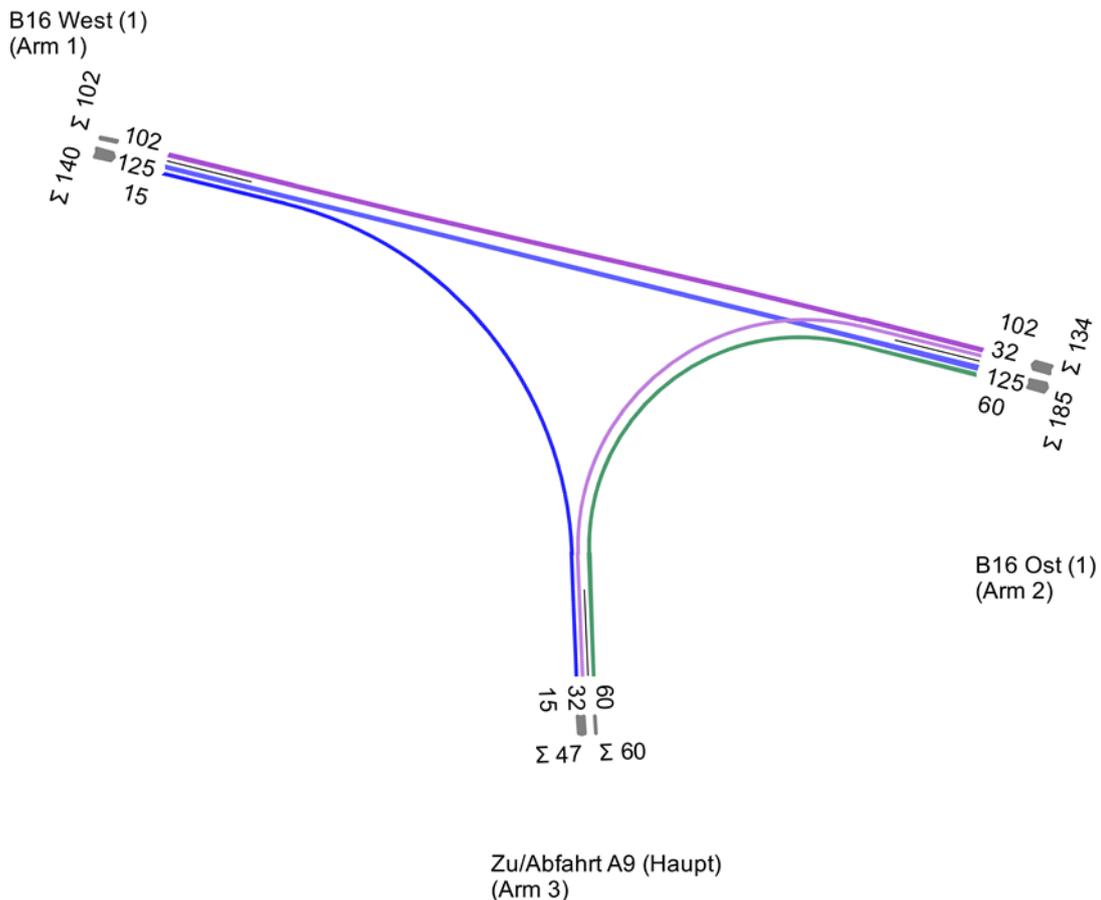
### Morgenspitze Schwerverkehr [SV / h]

Zählung A9 Anschlussstelle Manching West  
 Spitzenstunde 07:00 - 08:00  
 Auf Basis eines Zeitintervalls 15.07.2020 00:00 - 15.07.2020 12:00  
 4174 Pkw + Krad + Lieferfgz + Lkw + Lastzug + Bus

von\nach	4	5	6
4		90	
5			140
6		102	



von\nach	1	2	3
1		125	15
2	102		32
3		60	



### Abendspitze [Kfz / h]

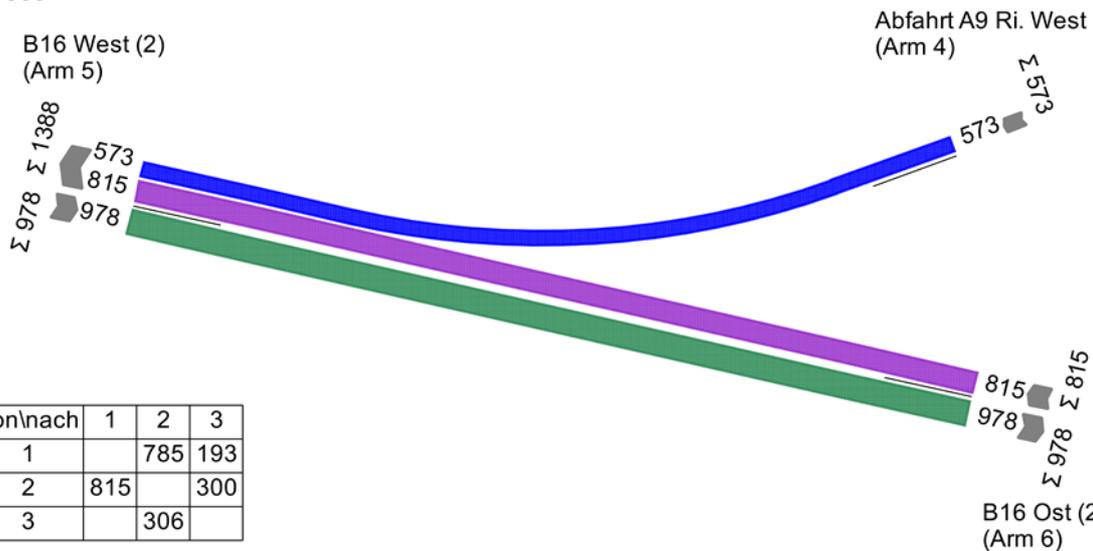
Zählung A9 Anschlussstelle Manching West

Spitzenstunde 16:00 - 17:00

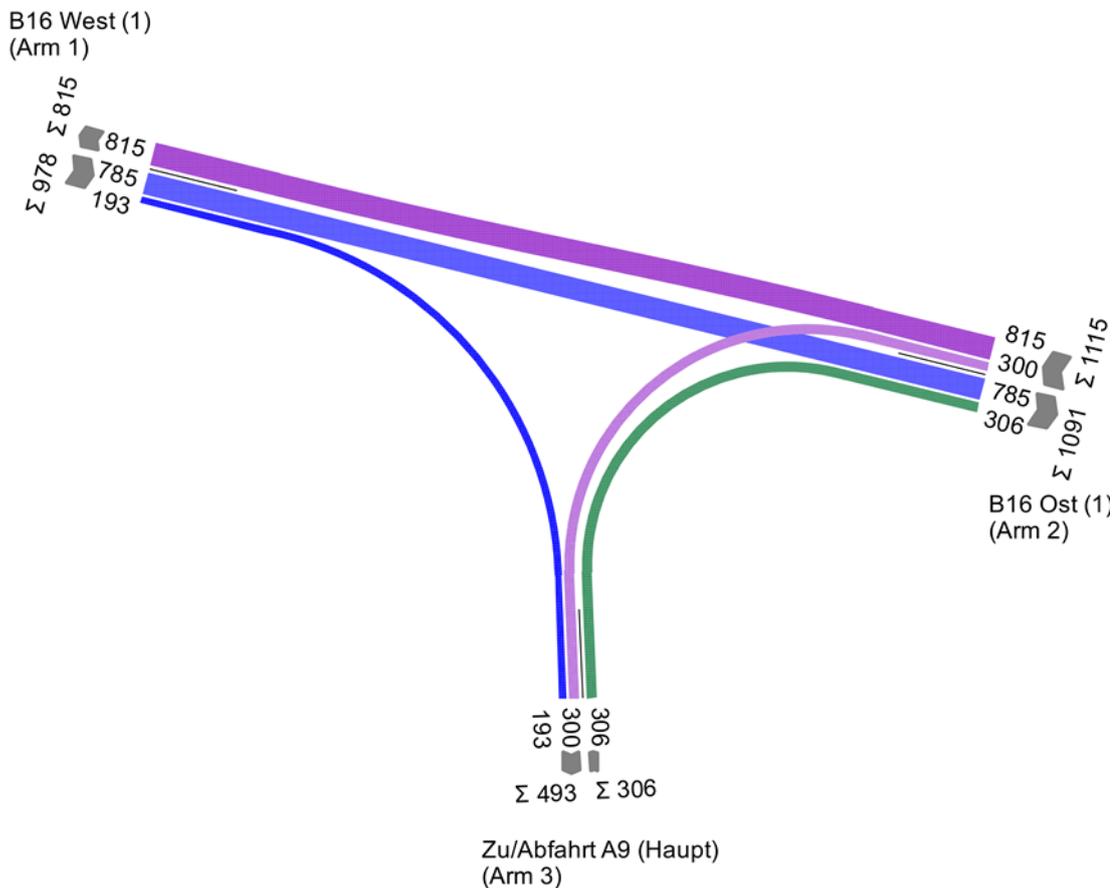
Auf Basis eines Zeitintervalls 15.07.2020 12:00 - 16.07.2020 00:00

4765 Pkw + Krad + Lieferfzg + Lkw + Lastzug + Bus

von\nach	4	5	6
4		573	
5			978
6		815	



von\nach	1	2	3
1		785	193
2	815		300
3		306	



### Abendspitze Schwerverkehr [SV / h]

Zählung A9 Anschlussstelle Manching West

Spitzenstunde 16:00 - 17:00

Auf Basis eines Zeitintervalls 15.07.2020 12:00 - 16.07.2020 00:00

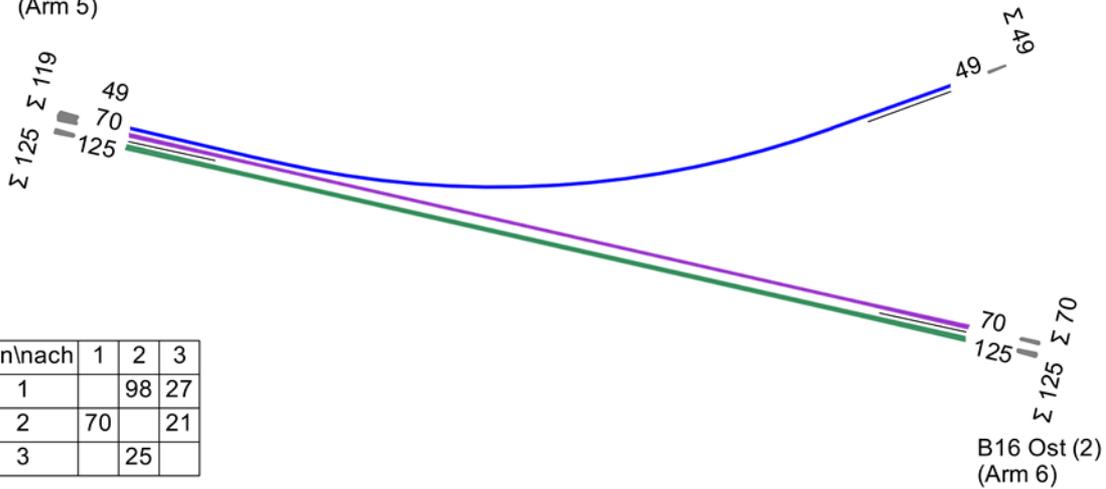
4765 Pkw + Krad + Lieferfg + Lkw + Lastzug + Bus

von\nach	4	5	6
4		49	
5			125
6		70	

10  
50  
100

B16 West (2)  
(Arm 5)

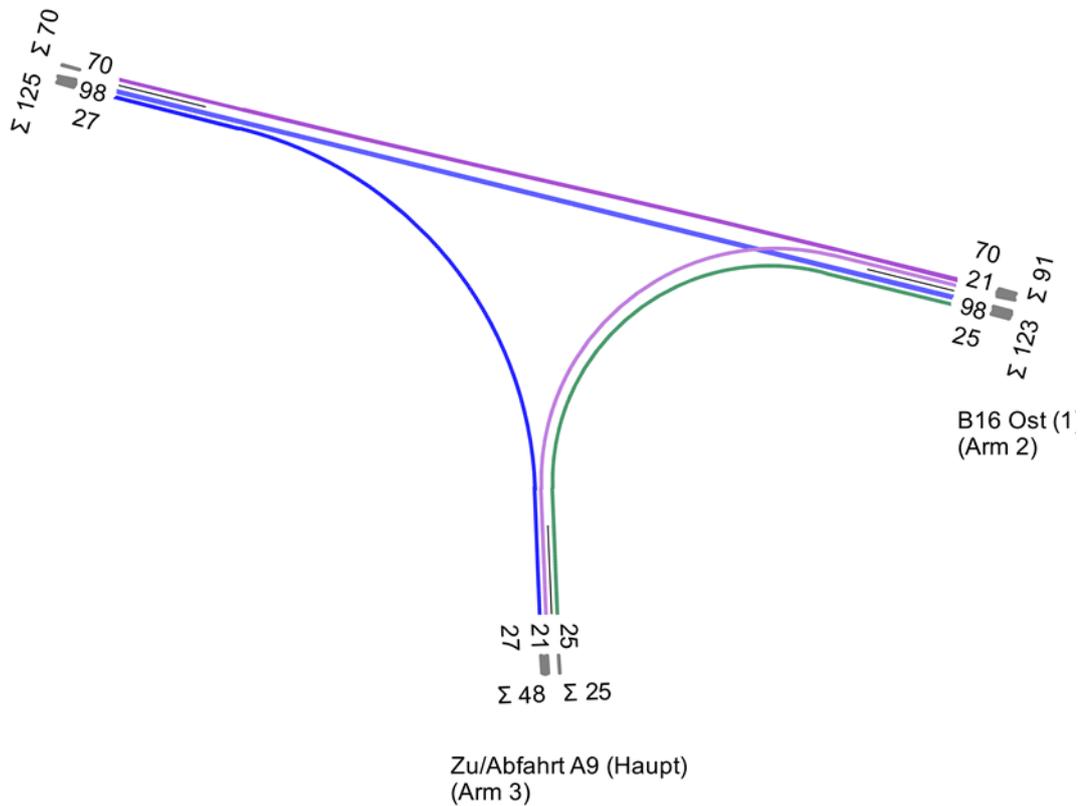
Abfahrt A9 Ri. West  
(Arm 4)



von\nach	1	2	3
1		98	27
2	70		21
3		25	

B16 West (1)  
(Arm 1)

B16 Ost (2)  
(Arm 6)

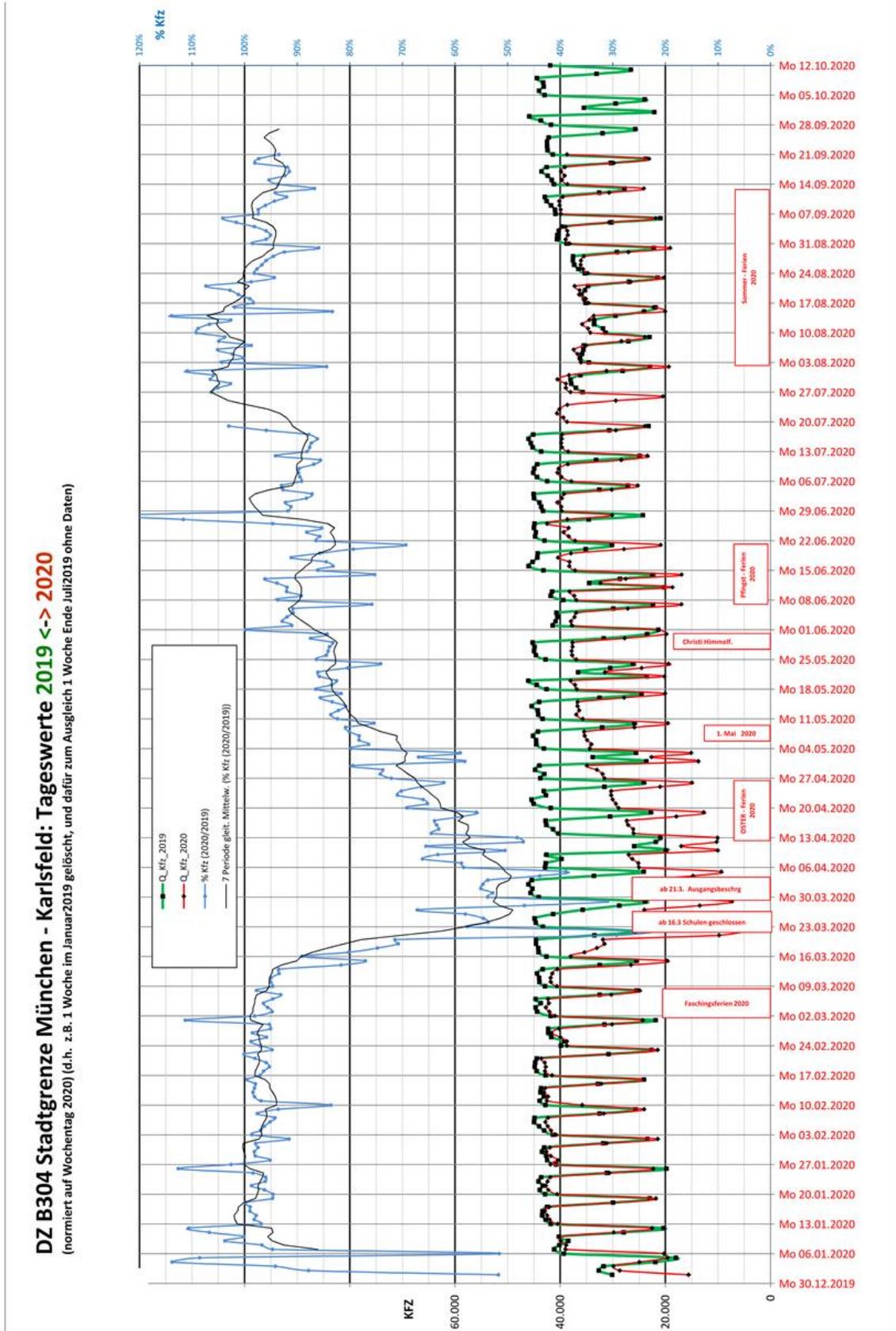


Zu/Abfahrt A9 (Haupt)  
(Arm 3)

### A.3 – Gegenüberstellung Tagesverkehr 2019 – 2020, Dauerzählstelle B 304

Quelle: Schuh & Co. GmbH

Stand: 22.09.2020



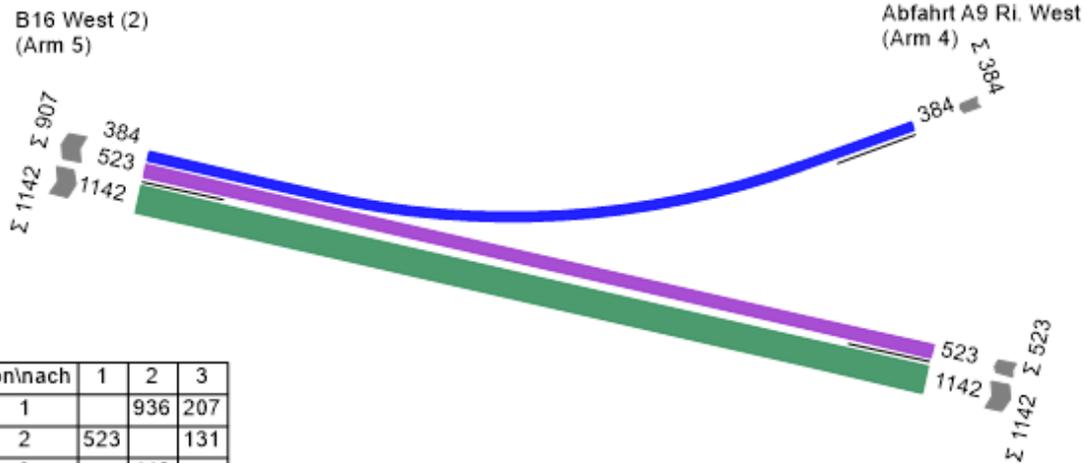
(c) Schuh & Co. GmbH  
Germering

www.verkehrsdaten.info

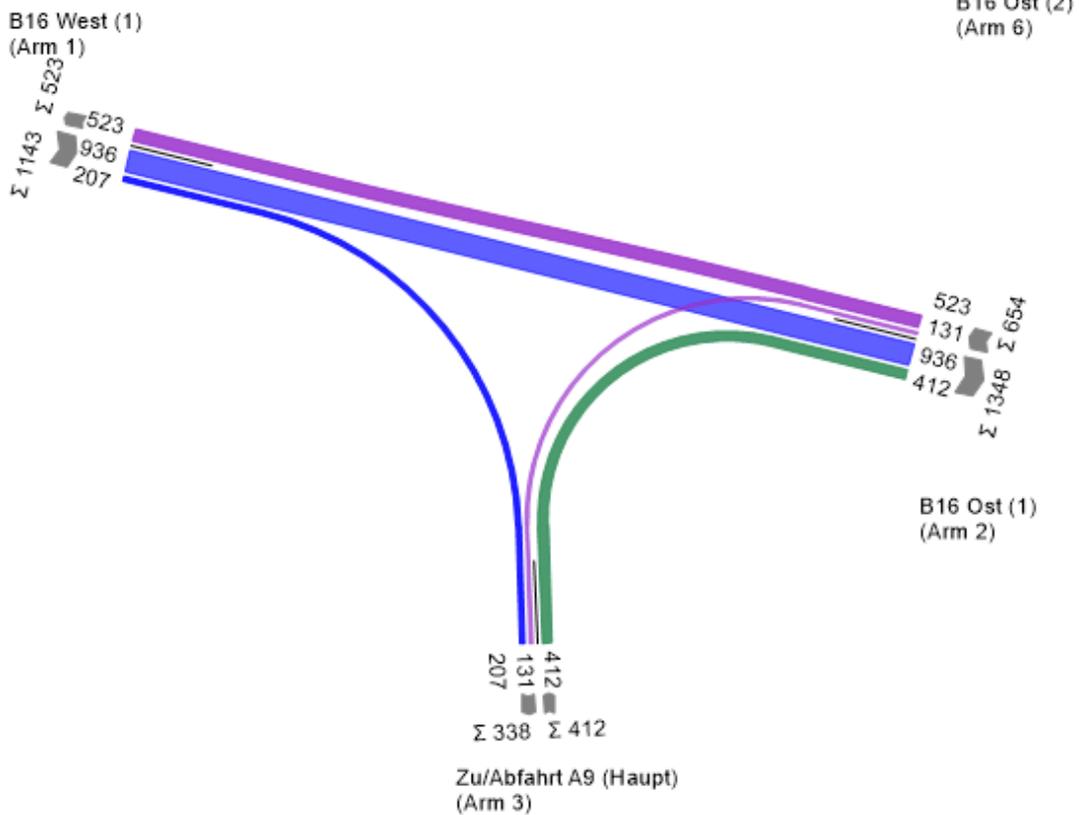
www.schuhco.de

### A.4 – Angepasste Verkehrszahlen Knotenpunkt West (Analyse 2019) Morgenspitze [Kfz / h]

von\nach	4	5	6
4		384	
5			1142
6		523	



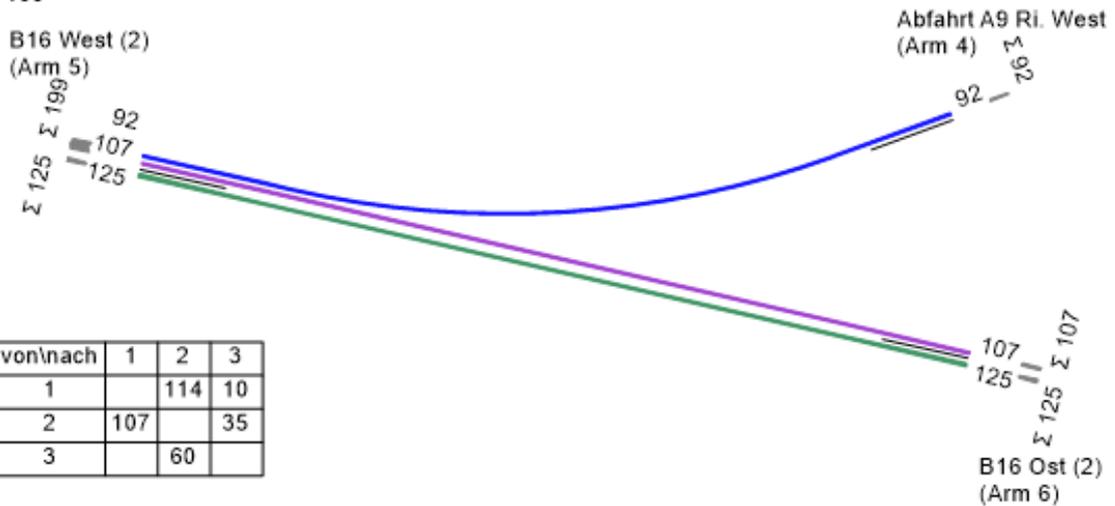
von\nach	1	2	3
1		936	207
2	523		131
3		412	



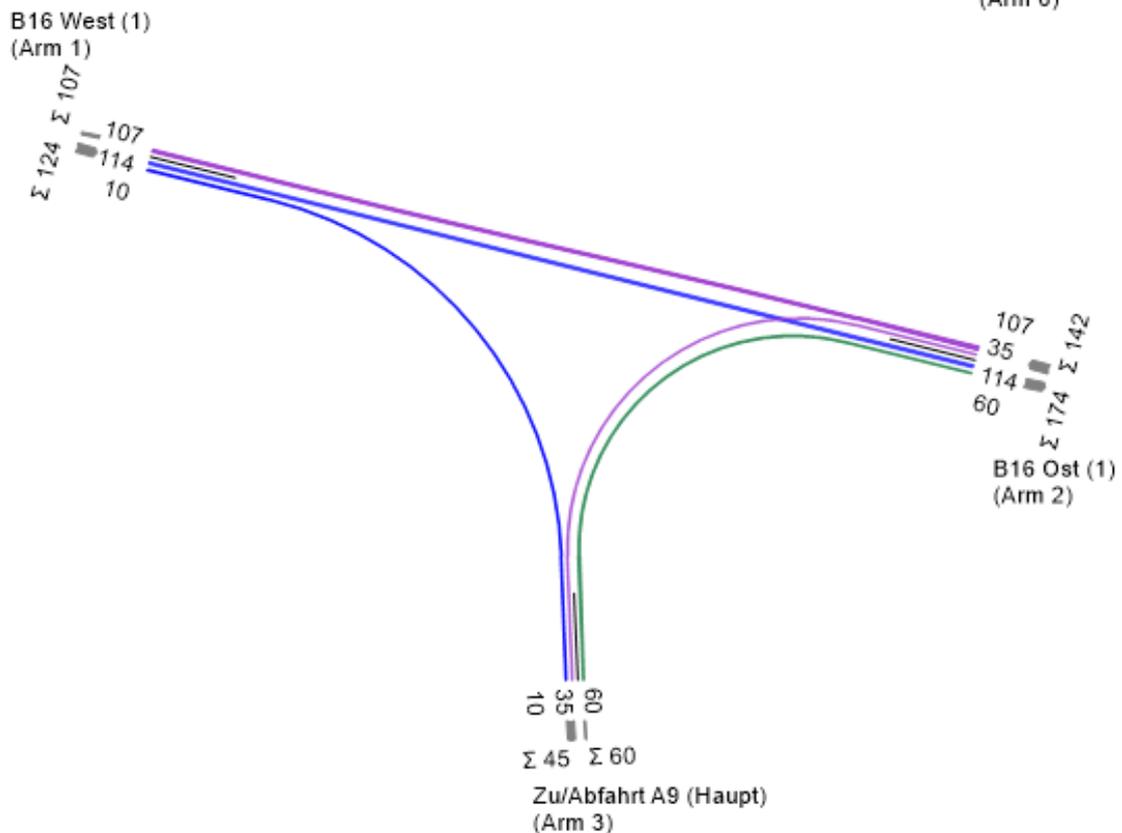
### Morgenspitze Schwerverkehr [SV / h]

von\nach	4	5	6
4		92	
5			125
6		107	

10  
50  
100

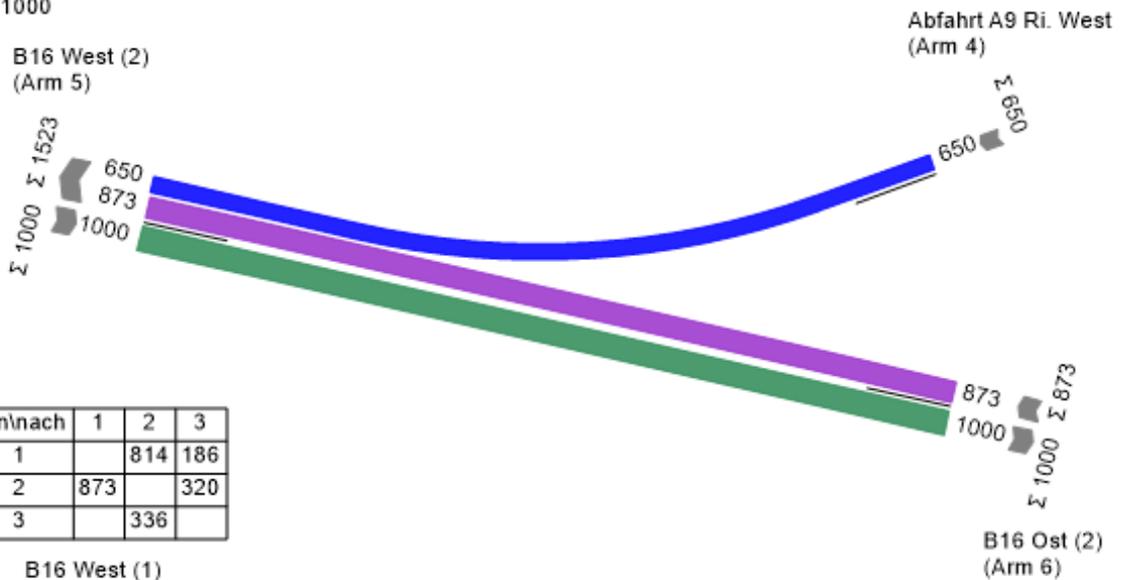


von\nach	1	2	3
1		114	10
2	107		35
3		60	

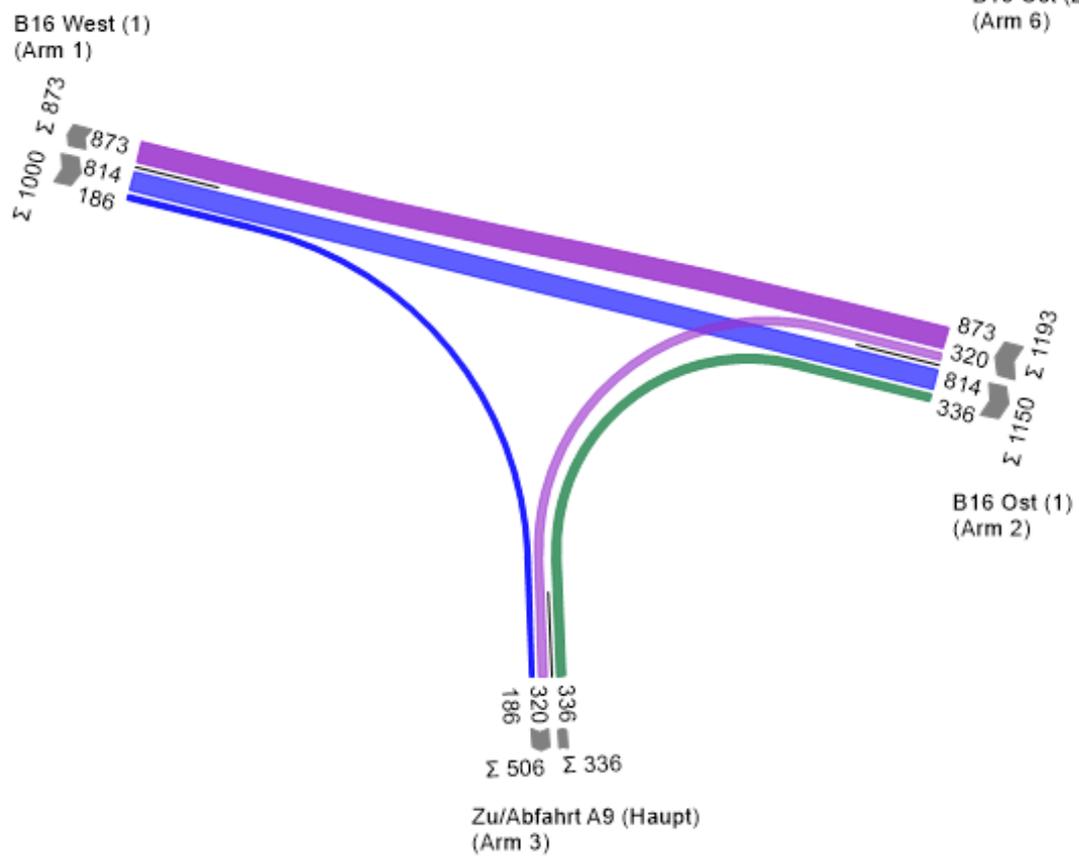


### Abendspitze [Kfz / h]

von/nach	4	5	6
4		650	
5			1000
6		873	



von/nach	1	2	3
1		814	186
2	873		320
3		336	



### Abendspitze Schwerverkehr [SV / h]

von/nach	4	5	6
4		43	
5			107
6		62	

10  
50  
100

B16 West (2)  
(Arm 5)

$\Sigma 107$   
62  
43  
107

Abfahrt A9 Ri. West  
(Arm 4)

43  
 $\Sigma 43$

von/nach	1	2	3
1		87	20
2	62		24
3		32	

B16 West (1)  
(Arm 1)

$\Sigma 107$   
62  
87  
20

B16 Ost (2)  
(Arm 6)

62  
107  
 $\Sigma 107$   
 $\Sigma 62$

B16 Ost (1)  
(Arm 2)

62  
24  
87  
32  
 $\Sigma 119$   
 $\Sigma 86$

32  
24  
20  
 $\Sigma 44$   
 $\Sigma 32$

Zu/Abfahrt A9 (Haupt)  
(Arm 3)

**A.5 – Qualitätsstufen des Verkehrsablauf nach HBS 2015****Vorfahrtsgeregelte Knotenpunkte**

(Quelle: FGSV, HBS 2015)

QSV	Beschreibung	Mittlere Wartezeit für Kfz [s]
<b>A</b>	Die Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer kann nahezu ungehindert den Knotenpunkt passieren. Die Wartezeiten sind sehr gering.	$\leq 10$
<b>B</b>	Die Abflussmöglichkeiten der wartepflichtigen Verkehrsströme werden vom bevorrechtigten Verkehr beeinflusst. Die dabei entstehenden Wartezeiten sind gering.	$\leq 20$
<b>C</b>	Die Fahrzeugführer in den Nebenströmen müssen auf eine merkbare Anzahl von bevorrechtigten Verkehrsteilnehmern achten. Die Wartezeiten sind spürbar. Es kommt zur Bildung von Stau, der jedoch weder hinsichtlich seiner räumlichen Ausdehnung noch bezüglich seiner zeitlichen Dauer eine starke Beeinträchtigung darstellt.	$\leq 30$
<b>D</b>	Die Mehrzahl der Fahrzeugführer muss Haltevorgänge, verbunden mit deutlichen Zeitverlusten, hinnehmen. Für einzelne Fahrzeuge können die Wartezeiten hohe Werte annehmen. Auch wenn sich vorübergehend ein merklicher Stau in einem Nebenstrom gebildet hat, bildet sich dieser wieder zurück. Der Verkehrszustand ist noch stabil.	$\leq 45$
<b>E</b>	Es bilden sich Staus, die sich bei der vorhandenen Belastung nicht mehr abbauen. Die Wartezeiten nehmen sehr große und dabei stark streuende Werte an. Geringfügige Verschlechterungen der Einflussgrößen können zum Verkehrszusammenbruch (d.h. ständig zunehmende Staulänge) führen. Die Kapazität wird erreicht.	$> 45$
<b>F</b>	Die Anzahl der Fahrzeuge, die in einem Verkehrsstrom dem Knotenpunkt je Zeiteinheit zufließen, ist über eine Stunde größer als die Kapazität für diesen Verkehrsstrom. Es bilden sich lange, ständig wachsende Schlangen mit besonders langen Wartezeiten. Diese Situation löst sich erst nach einer deutlichen Abnahme der Verkehrsstärken im zufließenden Verkehr wieder auf. Der Knotenpunkt ist überlastet.	<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Die QSV F ist erreicht, wenn die nachgefragte Verkehrsstärke über der Kapazität liegt.

## Signalisierte Knotenpunkte

(Quelle: FGSV, HBS 2015)

QSV	Beschreibung	Mittlere Wartezeit für Kfz [s]
A	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmer sehr kurz.	$\leq 20$
B	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmer kurz. Alle während der Sperrzeit auf dem betrachteten Fahrstreifen ankommenden Kraftfahrzeuge können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren.	$\leq 35$
C	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmer 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.	$\leq 50$
D	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmer beträchtlich. Auf dem betrachteten Fahrstreifen tritt im Kfz-Verkehr am Ende der Freigabezeit häufig ein Rückstau auf.	$\leq 70$
E	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmer lang. Auf dem betrachteten Fahrstreifen tritt im Kfz-Verkehr am Ende der Freigabezeit in den meisten Umläufen ein Rückstau auf.	$> 70$
F	Die Wartezeiten sind für die jeweils betroffenen Verkehrsteilnehmer sehr lang. Auf dem betrachteten Fahrstreifen wird die Kapazität im Kfz-Verkehr überschritten. Der Rückstau wächst stetig. Die Kraftfahrzeuge müssen bis zur Weiterfahrt mehrfach vorrücken.	<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Die QSV F ist erreicht, wenn die nachgefragte Verkehrsstärke über der Kapazität liegt.