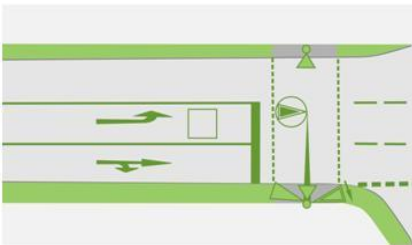


Weihmichl

Ergebnisbericht



Mikrosimulation zweier benachbarter Kreisverkehre an der B 299 bei Weihmichl/Arth

Auftraggeber: Herr Karl-Heinz Grotz
Staatliches Bauamt Landshut
Innere Regensburger Straße 7-8
84034 Landshut

Auftragnehmer: SCHLOTHAUER & WAUER
Ingenieurgesellschaft für Straßenverkehr mbH
Zweigniederlassung München
Maximilianstraße 45, 81927 München

Projektnummer: 16-132

bearbeitet von: Dipl.-Ing. Martin Heinze
E-Mail: m.heinze@schlothauer.de
Telefon: 089 / 211 878 - 06

Datum: 24.01.2018

Version: 1.1

INHALT

1	Kontext und Aufgabenstellung	4
2	Eingangsdaten	5
2.1	Bisherige Verkehrsgutachten	5
2.1.1	Makroskopische Verkehrsuntersuchung aus dem Jahr 2011	5
2.1.2	Mikrosimulation der Vorzugsvariante	5
2.2	Verkehrsstärken	5
3	Mikrosimulation	8
3.1	Verkehrsnetz	8
3.2	Parametereinstellung.....	8
3.2.1	Gewählte Funktionen der Beschleunigung und Verzögerung.....	8
3.2.2	Gewählte Geschwindigkeitsverteilung.....	10
3.2.3	Verkehrsflussmodell	13
3.3	Modellkalibrierung	13
3.3.1	Grundlagen	13
3.3.2	Ergebnisse einstreifiger Kreisverkehrsplatz	16
3.3.3	Ergebnisse zweistreifiger Kreisverkehrsplatz.....	17
3.4	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisverkehrsplatz.....	21
3.5	Simulationsvideos.....	25

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Geplante Topologie	4
Abbildung 2: Verkehrsstärken am (einstreifigen) Kreisverkehrsplatz in der Morgenspitze (2030) ...	6
Abbildung 3: Verkehrsstärken am zweistreifigen Kreisverkehrsplatz in der Morgenspitze (2030) ...	6
Abbildung 4: Verkehrsstärken am Kreisverkehrsplatz in der Abendspitze (2030)	7
Abbildung 5: Verkehrsstärken am zweistreifigen Kreisverkehrsplatz in der Abendspitze (2030)	7
Abbildung 6: Knotenpunktgestaltung der Untersuchungsknotenpunkte in Vissim	8
Abbildung 7: Wunschbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw]	9
Abbildung 8: Maximalbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw]	9
Abbildung 9: Wunschverzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw]	10
Abbildung 10: Maximalverzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw]	10
Abbildung 11: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Pkw - außerorts	11
Abbildung 12: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Lkw - außerorts	11
Abbildung 13: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Kfz - innerorts	11
Abbildung 14: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Kfz - Kreisfahrbahn und Kurvenfahrten im Knotenpunkt	12
Abbildung 15: Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse	17
Abbildung 16: Kalibrierungsergebnisse südöstliche Kreisverkehrszufahrt	19
Abbildung 17: Kalibrierungsergebnisse nordwestliche Kreisverkehrszufahrt	19
Abbildung 18: Verlustzeiten am geplanten zweistreifigen Kreisverkehrsplatz	23
Abbildung 19: Rückstau am geplanten zweistreifigen Kreisverkehrsplatz	24
Abbildung 20: Ausschnitt aus Video 2 (Abendspitze 2030)	25

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Im Modell hinterlegte Eckwerte der Wunschgeschwindigkeitsverteilungen	12
Tabelle 2: Intervalle mit Zuflüssen in den jeweiligen Zufahrten	15
Tabelle 3: Kennwerte der Iterationsschritte	16
Tabelle 4: Vergleich einstreifiger Kreisverkehrsplätze mit zweistreifigen Kreisverkehrsplätzen	18
Tabelle 5: Qualitätsstufen im Verkehrsablauf nach HBS 2015 für unsignalisierte Knotenpunkte	21

1 Kontext und Aufgabenstellung

Im Rahmen der OU B 299 Wehmichl gibt es Überlegungen die Neubaustrecke an das bestehende Straßennetz über einen zweistreifigen Kreisverkehr anzuschließen. In unmittelbarer Nähe befindet sich ein Kreisverkehr, der den Verkehr auf das untergeordnete Straßennetz verteilt.

Um die Funktionstüchtigkeit der neuen Knotenpunktombination zu überprüfen und zu veranschaulichen, wird eine Mikrosimulation angefertigt. Besonderes Augenmerk soll dabei auf den Rückstau in Richtung des bestehenden Kreisverkehrsplatzes gelegt werden.

Benötigt werden dabei die Darstellungen des Verkehrsablaufes als Ergebnis der Mikrosimulation für:

- die morgendliche Spitzenstunde und
- die abendliche Spitzenstunde des Prognosehorizonts 2030.

Folgende Darstellung zeigt die Planungsüberlegung:

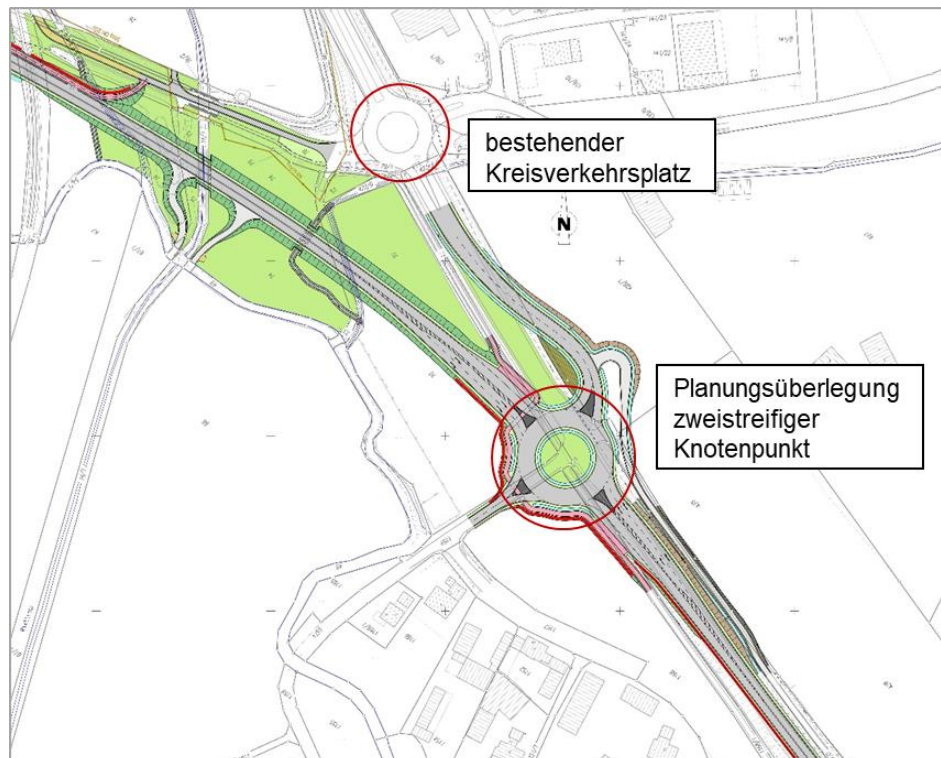


Abbildung 1: Geplante Topologie
(Quelle: StBA Landshut)

Die zu erwartende verkehrliche Nachfrage wurde durch die Schlothauer & Wauer GmbH (TRANSVER GmbH) in einem Verkehrsgutachten berechnet, welches die verkehrlichen Effekte der Ortsumfahrung mit einem makroskopischen Verkehrsmodell bewertet hat. Die Kalibrierung des Analyseverkehrsmodells erfolgt auf Basis von Zählraten aus dem Jahr 2010. Die Datengrundlage ist auf Basis der Rohdaten der SVZ 2015 zu aktualisieren und anschließend auf den Prognosehorizont 2030 hochzurechnen. Über Spitzenstundenfaktoren und Abbiegeraten sind die Verkehrsmengen der Spitzenstunde für das Jahr 2030 abzuleiten, welche als Eingangsgrößen für die Mikrosimulation dienen.

2 Eingangsdaten

2.1 Bisherige Verkehrsgutachten

2.1.1 Makroskopische Verkehrsuntersuchung aus dem Jahr 2011

Die Verkehrsuntersuchung vom 01.02.2011 bewertet die Ortsumfahrungen Weihmichl und Neuhausen hinsichtlich des Verkehrsverlagerungspotenzials. Zusätzlich erfolgte eine Bewertung der Leistungsfähigkeit von den Verknüpfungspunkten, welche die Ortsumfahrungen mit dem untergeordneten Netz verbinden. Untersucht wurden dabei die folgenden Knotenpunktformen:

- Lichtsignalanlage
- Kreisverkehrsplatz (einstreifig)
- Höhenfreier Anschluss

Dabei erwies sich die Knotenpunktkombination aus dem bestehenden Kreisverkehr mit einer Lichtsignalanlage an der Ortsumfahrung als Vorzugsvariante.

2.1.2 Mikrosimulation der Vorzugsvariante

Für die Vorzugsvariante der Knotenpunktkombination Lichtsignalanlage und Kreisverkehr wurde bereits eine Mikrosimulation angefertigt, die die Funktionalität nachgewiesen hat. Dazu wurde die Datenbasis auf das Prognosejahr 2030 fortgeschrieben und ein Leistungsfähigkeitsnachweis nach dem HBS 2015 durchgeführt. Eine Beeinträchtigung des Verkehrsablaufs am Kreisverkehr ist durch die Lichtsignalanlage nicht zu erwarten. Durch gesicherte Freigabe des Verkehrsstromes vom Kreisverkehr kommen, kann der sich gebildete Rückstau meist in einer Phase abgebaut werden. Der Rückstau wächst somit nicht stetig an und behindert nicht den Verkehrsablauf im Kreisverkehr.

2.2 Verkehrsstärken

Um die Vergleichbarkeit zur bereits durchgeführten Mikrosimulation zu gewährleisten, wurden die berechneten und fortgeschriebenen Verkehrsmengen sowie deren Verkehrsverteilungen als Grundlage für dieses Gutachten übernommen. Diese wurden in der bereits angefertigten Mikrosimulation der Vorzugsvariante (Kreisverkehr und LSA) aus dem bei der Schlothauer & Wauer GmbH vorhandenen Verkehrsmodell ermittelt und mittels Hochrechnungsfaktoren auf die Spitzenstunde umgerechnet. Dadurch wird eine Vergleichbarkeit beider Mikrosimulationen gewährleistet.

Für die Morgen- und Abendspitze ergaben sich für den Prognosehorizont 2030 an den zwei Knotenpunkten die folgenden Verkehrsstärken:

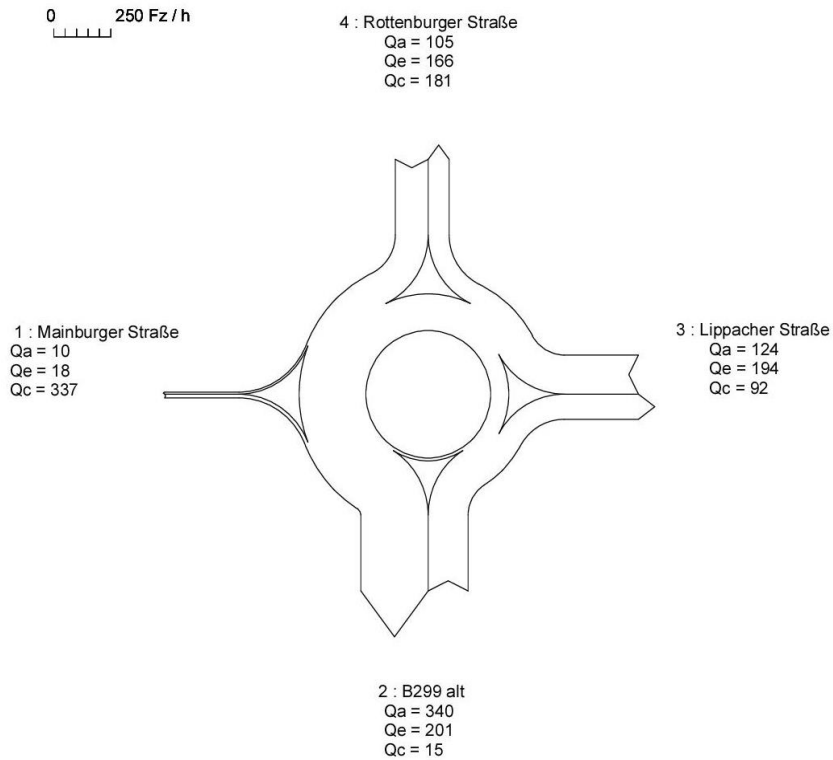


Abbildung 2: Verkehrsstärken am (einstreifigen) Kreisverkehrsplatz in der Morgenspitze (2030)
Quelle: Kreisel 8.1

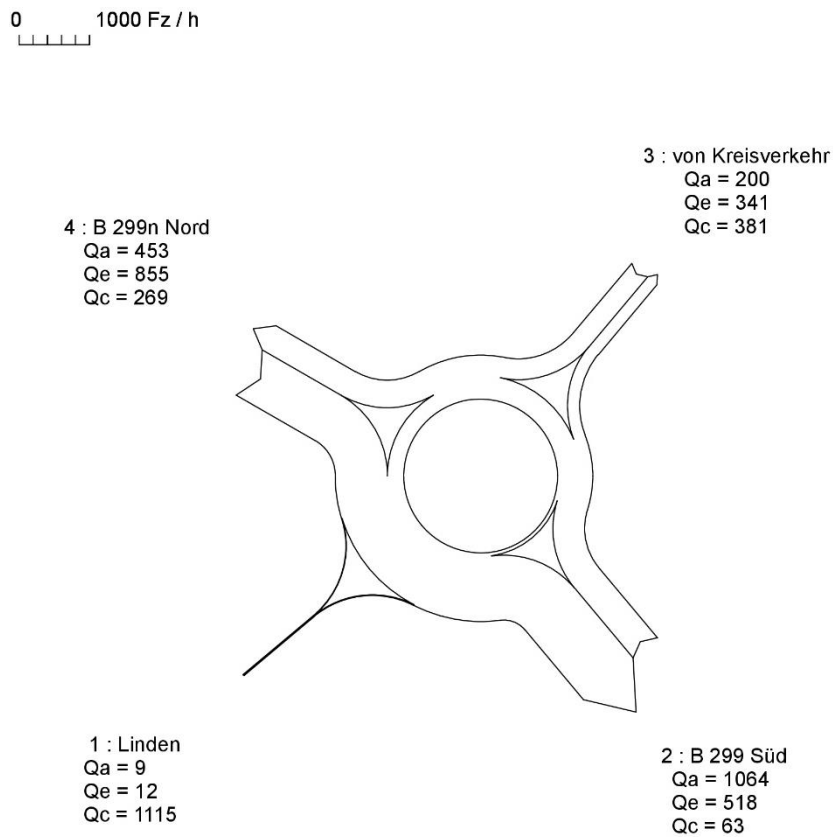


Abbildung 3: Verkehrsstärken am zweistreifigen Kreisverkehrsplatz in der Morgenspitze (2030)
Quelle: Kreisel 8.1

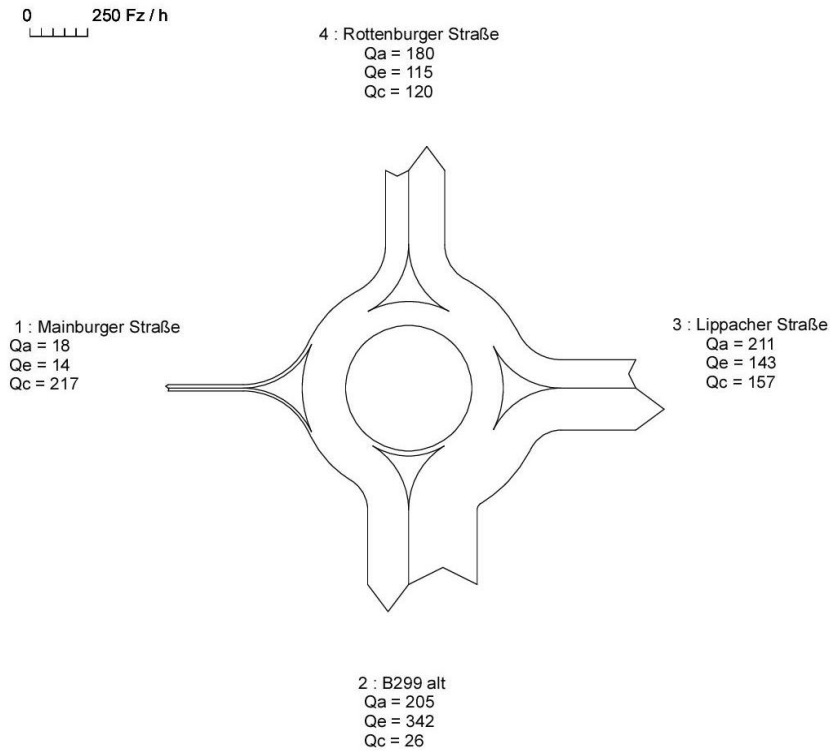


Abbildung 4: Verkehrsstärken am Kreisverkehrsplatz in der Abendspitze (2030)
Quelle: Kreisel 8.1

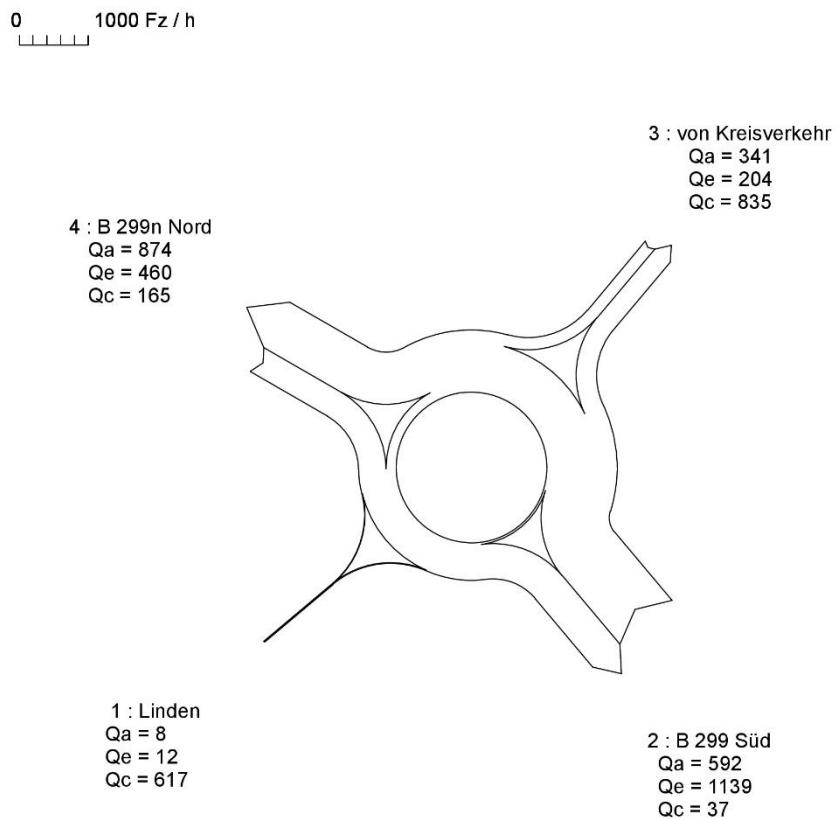


Abbildung 5: Verkehrsstärken am zweistreifigen Kreisverkehrsplatz in der Abendspitze (2030)
Quelle: Kreisel 8.1

3 Mikrosimulation

3.1 Verkehrsnetz

Anhand des Lageplans erfolgte die Erstellung eines Netzmodells. Die Fahrlinien insbesondere in Knotenpunktbereichen wurden realitätsnah modelliert. Damit ist auch eine plausible Abbildung der Schleppekurven in der Simulation möglich.

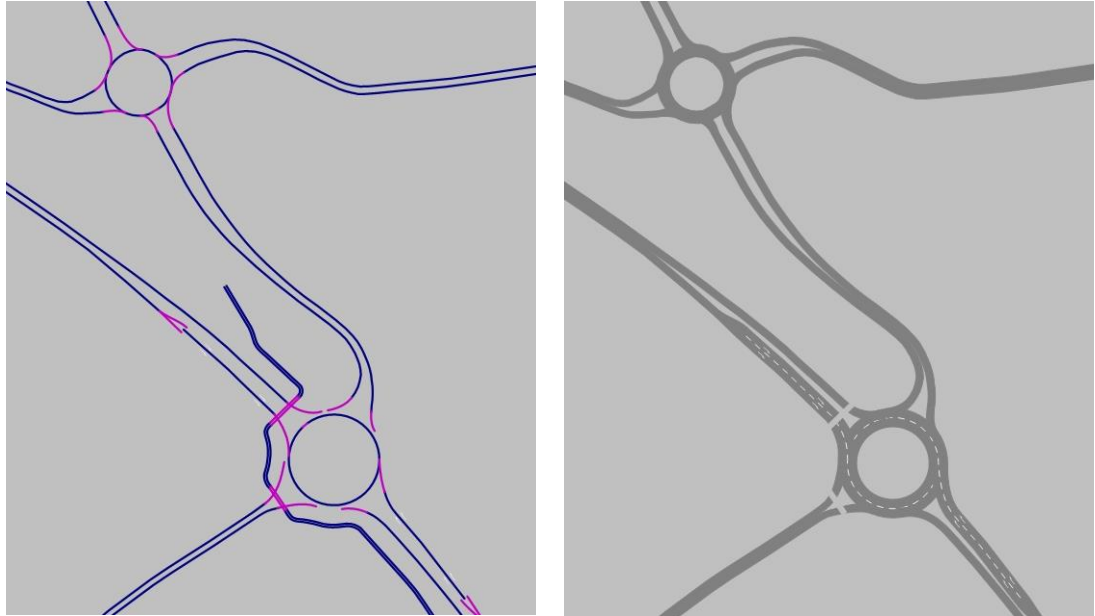


Abbildung 6: Knotenpunktgestaltung der Untersuchungsknotenpunkte in Vissim
[links = Drahtgitterdarstellung (blau = Strecken, magenta = Verbinders zwischen zwei Strecken), rechts = Fahrbahndarstellung]

3.2 Parametereinstellung

3.2.1 Gewählte Funktionen der Beschleunigung und Verzögerung

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

Sowohl für die Beschleunigung als auch für die Verzögerung sind in der Simulationssoftware zwei Funktionen hinterlegt. Es wird unterschieden zwischen einer technisch, maximal machbaren und einer vom Fahrzeugführer angestrebten Wunschbeschleunigung resp. -verzögerung. Die zwei folgenden Abbildungen zeigen die Funktionen der Wunsch- und Maximalbeschleunigung für die im Modell hinterlegten Fahrzeugkategorien Pkw und Lkw (Schwerverkehr).

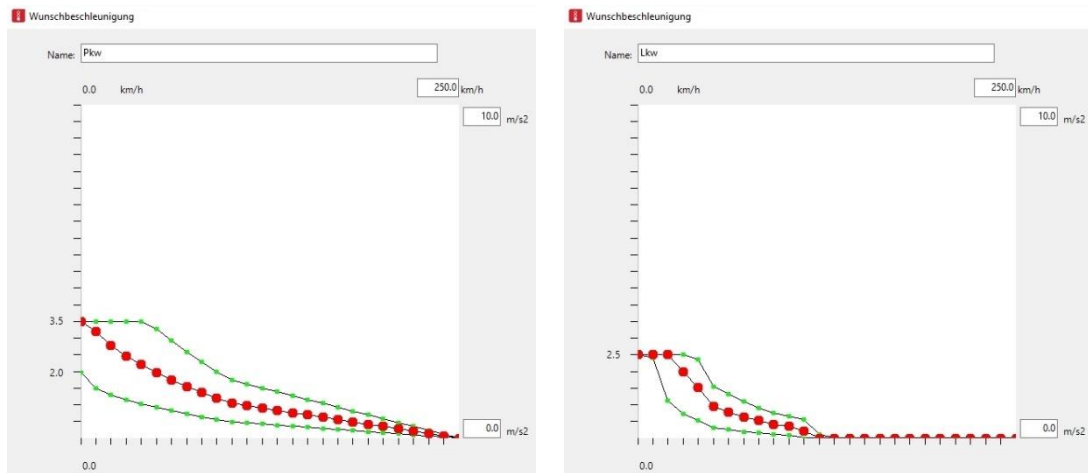


Abbildung 7: Wunschbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw]
Quelle: Vissim

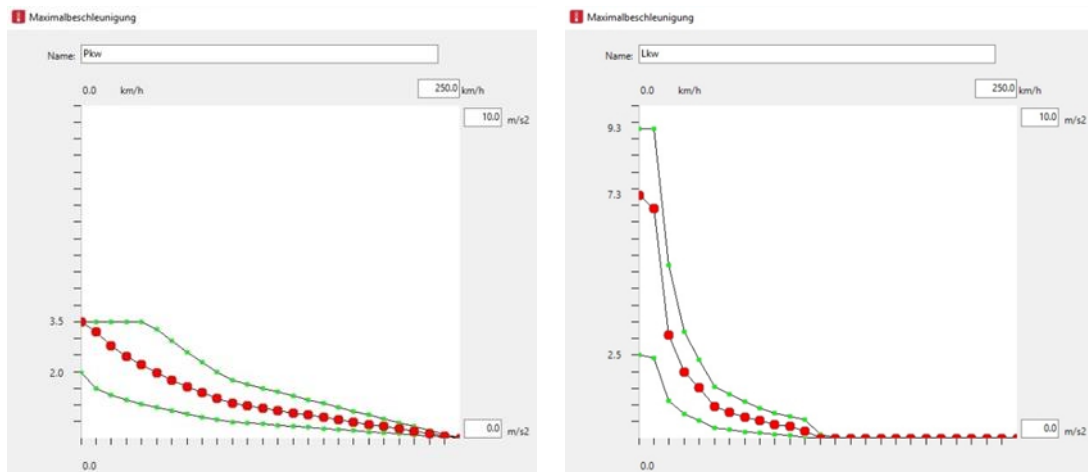


Abbildung 8: Maximalbeschleunigung [links = Pkw; rechts = Lkw]
Quelle: Vissim

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. Die folgenden Abbildungen zeigen die im Modell hinterlegten Wunsch- und Maximalverzögerungen der beiden Fahrzeugklassen Pkw und Lkw (Schwerverkehr).

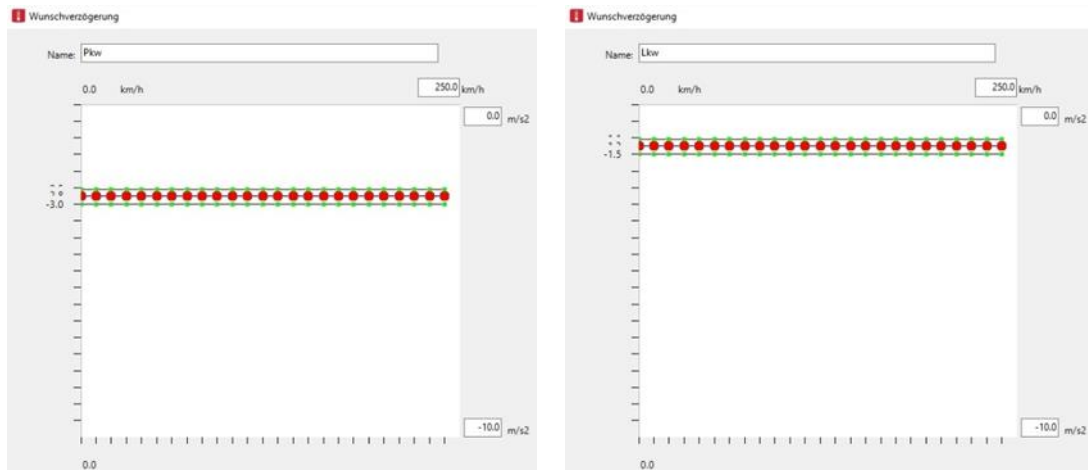


Abbildung 9: Wunscherzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw]
Quelle: Vissim

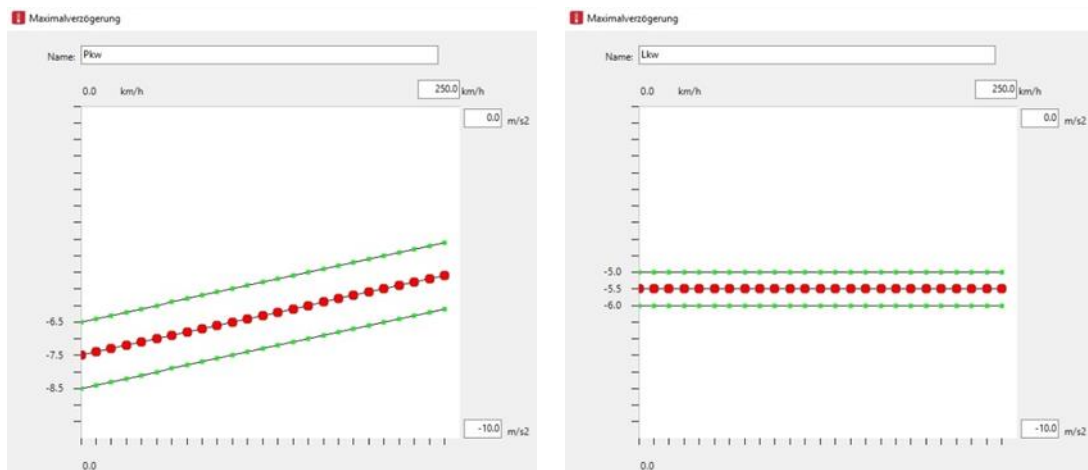


Abbildung 10: Maximalverzögerung [links = Pkw; rechts = Lkw]
Quelle: Vissim

3.2.2 Gewählte Geschwindigkeitsverteilung

Die Geschwindigkeiten der Fahrzeugführer sind im Modell durch eine Verteilung 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. Die folgenden Abbildungen zeigen die im Modell implementierten Wunschgeschwindigkeitsverteilungen für die zwei unterschiedlichen Straßenklassen. Die außerörtlichen Verteilungen wurden noch hinsichtlich der zwei Fahrzeugkategorien (Pkw und Lkw) unterschieden, wobei davon ausgegangen wurde, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h beschränkt ist.

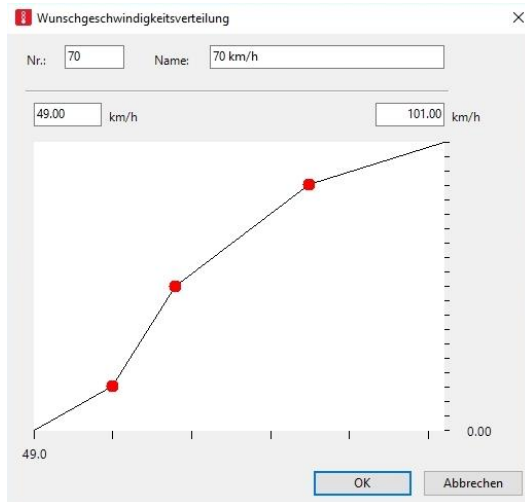


Abbildung 11: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Pkw - außerorts

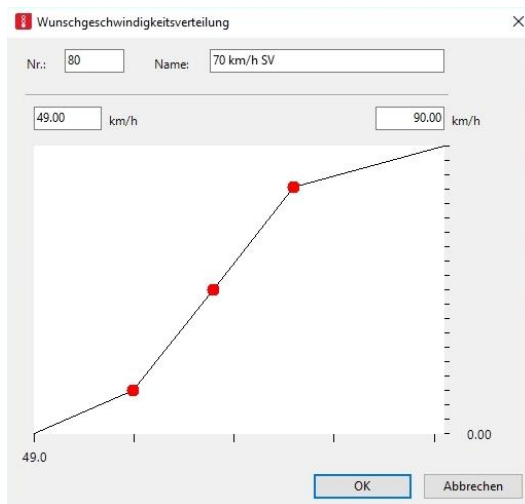


Abbildung 12: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Lkw - außerorts

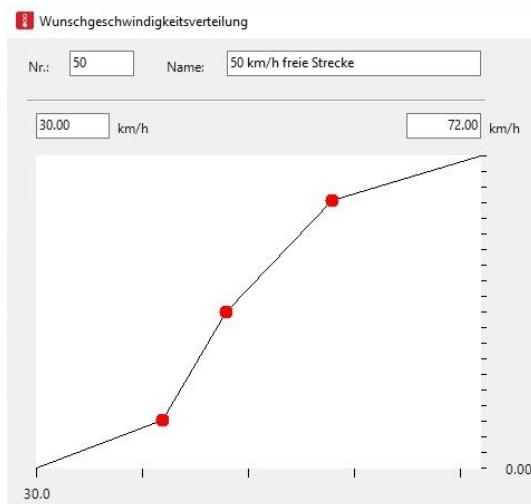


Abbildung 13: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Kfz - innerorts

Darüber hinaus wurden für die Kreisfahrbahn und die Kurvenfahrten im Kreuzungsbereich Langsamfahrbereiche angelegt, um eine realitätsnahe Kurvenfahrt abbilden zu können. Bei Langsamfahrbereichen reduziert ein Fahrzeug bereits vor Beginn des Langsamfahrbereichs

seine Geschwindigkeit automatisch und fährt mit der reduzierten Geschwindigkeit in den Langsamfahrbereich ein. Nach dem Verlassen des Langsamfahrbereichs beschleunigt das Fahrzeug automatisch, um seine Wunschgeschwindigkeit zu erreichen. Für die Langsamfahrbereiche wurden sowohl für Pkw als auch für Lkw die folgende Verteilung zu Grunde gelegt:

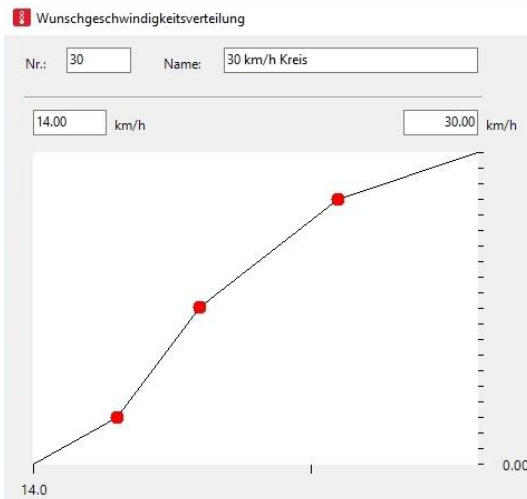


Abbildung 14: Wunschgeschwindigkeitsverteilung Kfz - Kreisfahrbahn und Kurvenfahrten im Knotenpunkt

Zusammenfassend sind die Kennwerte der Wunschgeschwindigkeitsverteilung in der folgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Im Modell hinterlegte Eckwerte der Wunschgeschwindigkeitsverteilungen

	Außerorts ($v_{zul} = 70 \text{ km/h}$)		Innerorts ($v_{zul} = 50 \text{ km/h}$)	
	Pkw	Lkw	Freie Strecke	Langsamfahrbereiche
v_0	42 km/h	42 km/h	30 km/h	14 km/h
v_{15}	59 km/h	59 km/h	42 km/h	17 km/h
v_{50}	67 km/h	67 km/h	48 km/h	20 km/h
v_{85}	84 km/h	75 km/h	58 km/h	25 km/h
v_{100}	101 km/h	90 km/h	72 km/h	30 km/h

3.2.3 Verkehrsflussmodell

Das Verkehrsflussmodell der Simulationssoftware 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 psycho-physisches Fahrzeugfolgemedell und für die Querbewegungen ein regelbasiertes Modell. Beide Modelle basieren auf Forschungsarbeiten von WIEDEMANN¹.

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

- **Freies Fahren** (Es existiert kein Einfluss eines vorausfahrenden Fahrzeugs, der Fahrzeugführer versucht seine Wunschgeschwindigkeit zu erreichen und beizubehalten.)
- **Annäherung** (Der Fahrzeugführer muss seine Geschwindigkeit an ein vorausfahrendes langsames Fahrzeug anpassen. Im Idealfall ist die Geschwindigkeitsdifferenz zum Vorderfahrzeug Null, wenn der gewünschte Sicherheitsabstand erreicht ist.)
- **Folgen** (Der Fahrzeugführer fährt hinter dem vorausfahrenden Fahrzeug her, ohne bewusst zu bremsen oder zu beschleunigen.)
- **Bremsen** (Der Fahrzeugführer leitet diese durch den Einsatz einer mittleren bis starken Verzögerung ein, falls sich der Wunschsicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug verringert.)

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.

3.3 Modellkalibrierung

3.3.1 Grundlagen

Um das Fahrverhalten so realitätsnah wie möglich abzubilden, sind Kalibrierungen der Fahrverhaltensparameter notwendig. Bei den Fahrverhaltensparametern kann der mittlere Stillstandsabstand a_x , der additive Sicherheitsabstand $b_{x_{add}}$ und der multiplikative Sicherheitsabstand $b_{x_{mult}}$ sowie ein reduzierter Sicherheitsfaktor an Haltelinien von Lichtsignalanlagen kalibriert werden. Aus diesen Parametern berechnet sich der Wunschsicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug.

¹ Wiedemann, R. Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8 (1974)

Ziel der Kalibrierung ist es, dass die nach HBS berechneten Kapazitäten mit den tatsächlich fließenden Kapazitäten übereinstimmen.

Die Kontrolle erfolgt über den Vergleich der prozentualen und absoluten Abweichung. Für die Kalibrierung gilt, je kleiner die absolute Abweichung, desto besser wird die Realität abgebildet. Die prozentuale Abweichung sollte kleiner als 5 % sein. Besonders im Bereich der Kapazitätsgrenzen sollten die berechneten und die simulierten Werte annähernd übereinstimmen, um realitätsnah zu simulieren.

Für die Berechnungsvorschriften wurden die folgenden Formeln angewandt:

Betrachtet wurden vier unterschiedliche Abflusszeitanteile bei einer Umlaufzeit von 120 s. Damit die maximale Anzahl an Fahrzeugen während den Freigabezeiten abfließen konnte, wurde das Netz zunächst „gefüllt“. Die Auswertung erfolgte erst nach dem dritten vollständigen Umlauf (zur Simulationssekunde 360) und dauerte eine volle Stunde. Aus zehn Simulationläufen mit unterschiedlichen Startzufallszahlen wurde der Mittelwert der simulierten Kapazität ermittelt.

$$d = ax + (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n^{sim} - x_n^{obs})^2}$$

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{x_n^{sim} - x_n^{obs}}{x_n^{obs}} \right)^2}$$

mit

d = Wunschsicherheitsabstand

ax = mittlerer Stillstandsabstand

bx_{add} = additiver Sicherheitsabstand

bx_{mult} = multiplikativer Sicherheitsabstand

z = Nettozeitlücke

v = Geschwindigkeit

RMSE = Root Mean Square Error

RMSPE = Root Mean Square Percentage Error

N = Anzahl der Messwerte

x_n^{sim} = Simulierte Kapazität der Kreisverkehrszufahrt

x_n^{obs} = Berechnete Kapazität der Kreisverkehrszufahrt

Um das Ziel der Kalibrierung im Modell zu simulieren, wurde die vorfahrtsrechtlich übergeordnete Zufahrt am Kreisverkehrsplatz in zehn Intervallen mit einer Dauer von je 3.600 s schrittweise mit 200 bis 2.000 Kfz/h belastet. Die Verkehrsstärke des untergeordneten Stro-

mes blieb über alle Intervalle mit 2.000 Kfz/h konstant. Die ersten 300 s dienen zum „Volllaufen“ des Systems und fließen in die Auswertung nicht mit ein.

Tabelle 2: Intervalle mit Zuflüssen in den jeweiligen Zufahrten

Intervall	Zeit [s]	Übergeordnete Zufahrt [Kfz/h]	Untergeordnete Zufahrt [Kfz/h]
1	300	200	2.000
2	3.900	200	2.000
3	7.500	400	2.000
4	11.100	600	2.000
5	14.700	800	2.000
6	18.300	1.000	2.000
7	21.900	1.200	2.000
8	25.500	1.400	2.000
9	29.100	1.600	2.000
10	32.700	1.800	2.000
11	36.300	2.000	2.000

Durch diese Simulation kann ermittelt werden, wie viele Fahrzeuge vom untergeordneten Strom ihrem Routenwunsch nachkommen können, wenn sich die Verkehrsstärke des übergeordneten Stromes füllt und die Abstände zwischen den Fahrzeugen geringer werden. Die Fahrzeuge werden im Programm mit Hilfe von Messquerschnitten gezählt, um anschließend datenbankgestützt ausgewertet zu werden.

3.3.2 Ergebnisse einstreifiger Kreisverkehrsplatz

Zunächst erfolgte die Auswertung für die Grundeinstellungen der Fahrverhaltensparameter. Die HBS-Parameter blieben bei allen Simulationsläufen konstant. In einem iterativen Prozess wurden die Parametereinstellungen so angepasst, dass die simulierten Kapazitäten des Modells annähernd mit den berechneten Kapazitäten nach HBS übereinstimmen.

Tabelle 3: Kennwerte der Iterationsschritte

Iterationsschritt	Parameter Fahrverhalten	Nettozeitlücke [s]	RMSE
0 (Grundeinstellung)	ax = 2,0	3,0	242,13
	bX _{add} = 2,0		
	bX _{mult} = 3,0		
1	ax = 1,9	3,0	100,42
	bX _{add} = 3,1		
	bX _{mult} = 4,3		
2	ax = 2,0	3,4	104,29
	bX _{add} = 3,3		
	bX _{mult} = 4,5		
3	ax = 2,0	3,8	131,23
	bX _{add} = 3,5		
	bX _{mult} = 4,7		

Dies lässt sich wie folgt grafisch veranschaulichen:

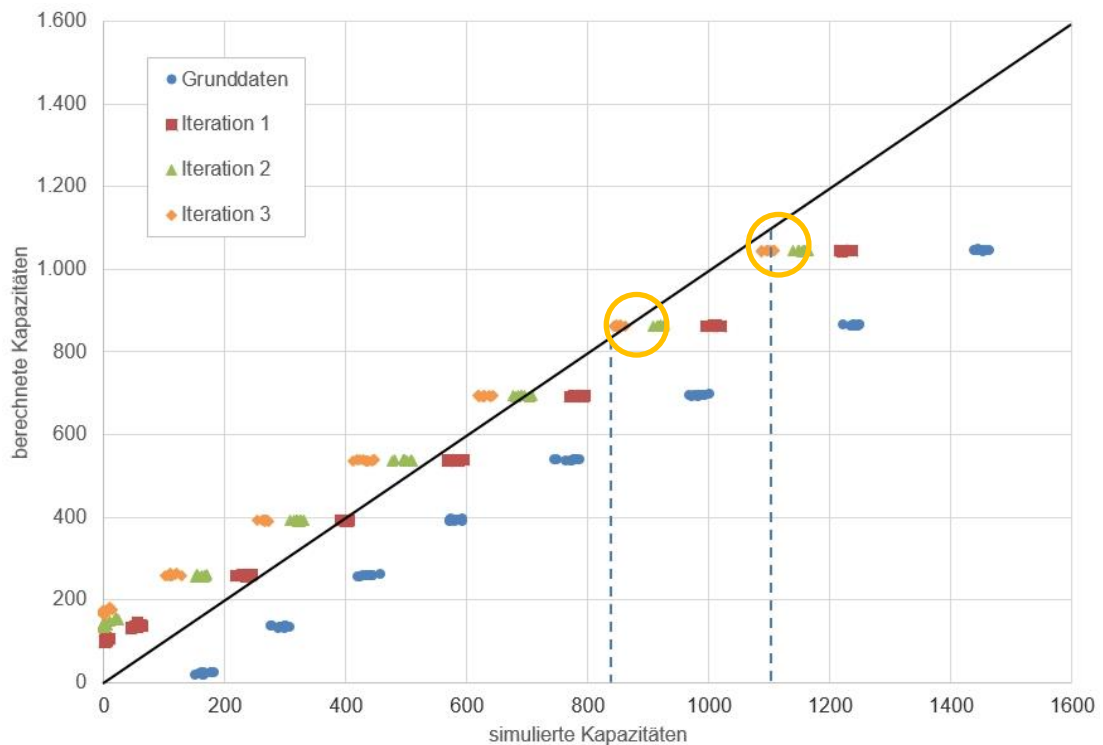


Abbildung 15: Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse

Im Diagramm ist zu erkennen, dass ohne eine Kalibrierung die Simulationswerte (x-Achse) nicht mit den berechneten Werten aus dem HBS (y-Achse) übereinstimmen. Nach dem 3. Iterationsschritt konnte eine hinreichend genaue Übereinstimmung zwischen berechneten und simulierten Kapazitäten im zu untersuchenden Bereich (zwischen 825 Kfz/h und 1.100 Kfz/h je Zufahrt im Kreisverkehr - im Diagramm durch gestrichelte Linien gekennzeichnet) erzielt werden. Die hinreichend genaue Übereinstimmung zwischen simulierten und berechneten Werten ist in der Abbildung 15 durch gelbe Kreise gekennzeichnet.

Die verwendeten Parameter wurden bereits in der Mikrosimulation der Lichtsignalanlage ermittelt. Damit ist eine vollständige Vergleichbarkeit hinsichtlich dem Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer gegeben.

3.3.3 Ergebnisse zweistreifiger Kreisverkehrsplatz

An zweistreifigen Kreisverkehrsplätzen ist die Kapazität an den Zufahrten höher als an einstreifigen Kreisverkehrsplätzen. Entgegen der Vermutung das sich die maximale Kapazität einer zweistreifigen Zufahrt im Vergleich zu einer einstreifigen Zufahrt verdoppelt, steigt die maximale Kapazität gemäß dem HBS 2015 nur um ca. 33%. Dies ist dadurch zu begründen, dass innenliegende Fahrstreifen von einer deutlich geringeren Anzahl von Fahrzeugführern genutzt wird, da bspw. Rechtsabbieger sofort wieder auf den äußeren Fahrstreifen wechseln müssten, um die Ausfahrt nutzen zu können. Hinzu kommt, dass ein Fahrstreifenwechsel im Kreisverkehr nur über eine vergleichsweise kurze Distanz erfolgt. Damit die Fahrzeugführer Ihre Ausfahrt nicht verpassen, werden diese zu riskanten Fahrmanövern verleitet. Vor diesem Hintergrund wird ebenfalls der innenliegende Fahrstreifen gemieden. Mit Berücksichti-

gung dieses Fahrverhalten und der Leistungsfähigkeitssteigerung nur um ca. 32% ist die Annahme zu treffen, dass nur jeder vierte Verkehrsteilnehmer den zweiten Fahrstreifen als Zufahrt nutzt (vgl. folgende Tabelle am Beispiel der Grundkapazität).

Tabelle 4: Vergleich einstreifiger Kreisverkehrsplätze mit zweistreifigen Kreisverkehrsplätzen

	Einstreifige Zufahrt und einstreifiger Kreisfahrbahn		Zweistreifige Zufahrt und zweistreifige Kreisfahrbahn	
Grundkapazität (absolut)	1.250 Kfz/h		1.650 Kfz/h	
Grundkapazität (prozentual)	100 %		132 %	
Fahrstreifenaufteilung (absolut)	1.250	0	1.250	400
Fahrstreifenaufteilung (prozentual)	100 %		75,8 %	24,2 %

Die prozentuale Aufteilung des Verkehrs auf die Zufahrten der Fahrstreifen wurde dabei als Zielkenngröße bei der Kalibrierung des zweistreifigen Kreisverkehrsplatzes gesetzt. Die Fahrverhaltensparameter blieben bei der Kalibrierung unverändert. Die Kalibrierung erfolgte über das Verhalten bei Routenwahlentscheidung über den Parameter „Einordnen“.

Die Kenngröße „Einordnen“ in Vissim bestimmt die Wunschentfernung des Fahrstreifenwechsels auf den für den abbiegevorgangsrelevanten Fahrstreifen (ausfädeln aus dem Kreisverkehr). Bei einem zu hohen Wert würde kein Kraftfahrzeugführer den zweiten Fahrstreifen benutzen, da dieser nicht als Ausfahrt genutzt werden kann. Ein zu niedriger Wert würde zu einer Vielzahl von Halten im Kreisverkehr führen, da sich die Verkehrsteilnehmer erst kurz vor der Ausfahrt auf den Fahrstreifen einordnen wollen.

Die Kalibrierung wurde für beide Zufahrten durchgeführt. Als Eingangsgröße für die Verkehrsmengen dienten die prognostizierten Verkehrsstärken mit der entsprechenden Verkehrsverteilung. Um eine statistische Grundsicherheit zu gewährleisten wurden zehn Simulationsläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen durchgeführt und ausgewertet.

Die Ergebnisse der südöstlichen Zufahrt sind in der folgenden Abbildung als Diagramm dargestellt, wobei die oberen Werte die gezählten Verkehrsmengen auf dem rechten Fahrstreifen repräsentieren und die die unteren Werte auf die berechneten und simulierten Verkehrsmengen auf dem linken Fahrstreifen.

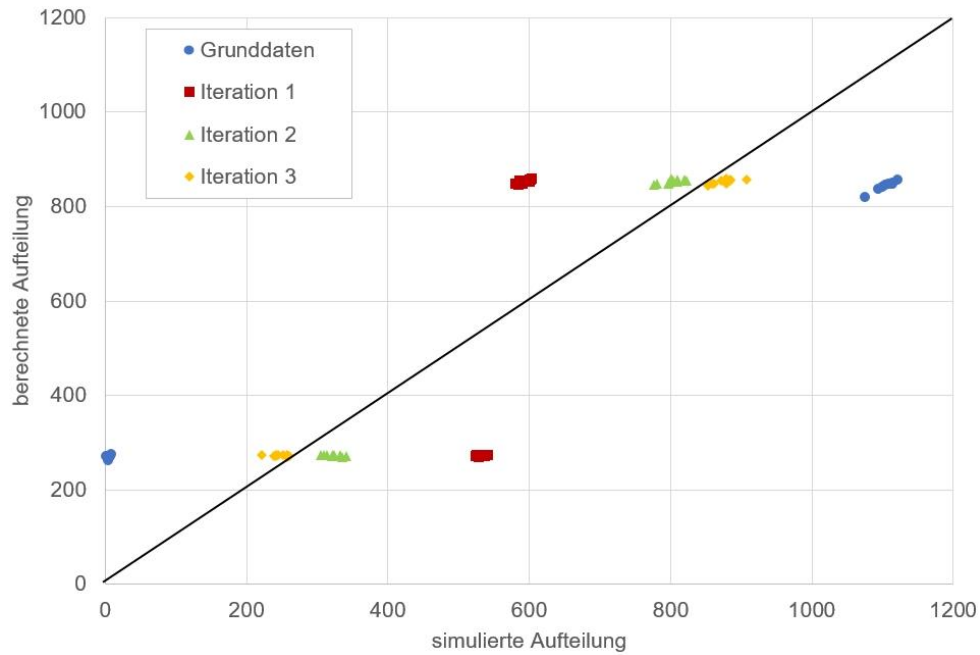


Abbildung 16: Kalibrierungsergebnisse südöstliche Kreisverkehrszufahrt

Ohne die Kalibrierung des Parameters „Einordnen“ verkehren nahezu alle Fahrzeuge auf dem rechten Fahrstreifen. Nach dem 3. Iterationsschritt konnte eine hinreichend genaue Übereinstimmung zwischen der berechneten und simulierten Fahrstreifenaufteilung erreicht werden. Die berechnete Fahrstreifenaufteilung stimmt mit der simulierten Fahrstreifenaufteilung nahezu überein. Dieser Zustand stellt sich beim „Einordnen“ 120 m vor der Kreisverkehrsausfahrt ein.

Die Ergebnisse der nordwestlichen Zufahrt sind in der folgenden Abbildung ebenfalls als Diagramm dargestellt.

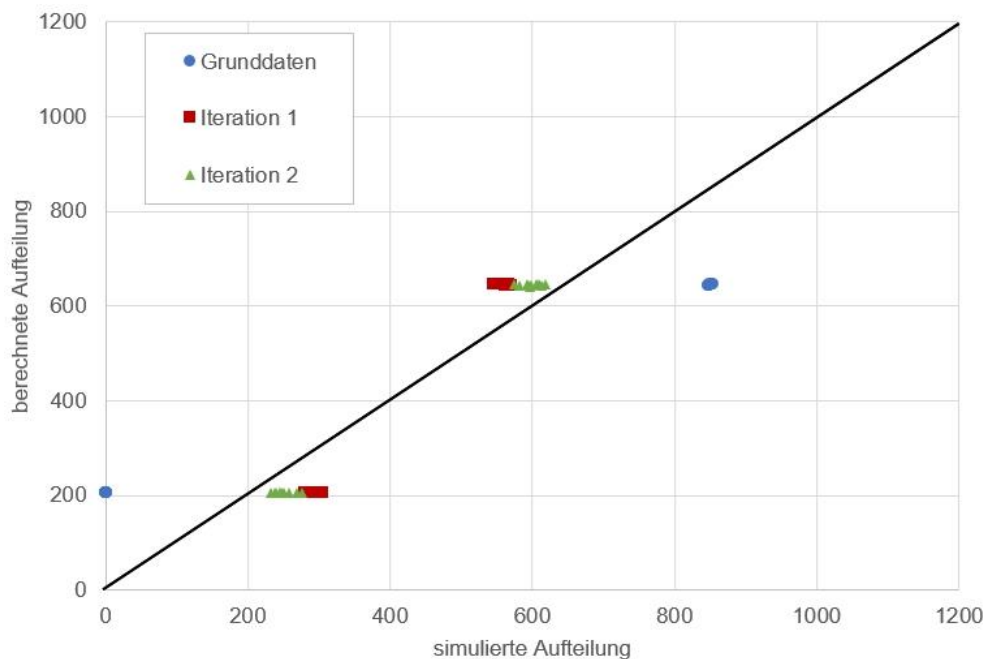


Abbildung 17: Kalibrierungsergebnisse nordwestliche Kreisverkehrszufahrt

Auch in der nordwestlichen Zufahrt würden ohne Kalibrierung keine Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen verkehren. Für diese Zufahrt konnte bereits nach dem zweiten Iterationsschritt eine hinreichend genaue Verteilung auf die einzelnen Fahrstreifen erreicht werden. Dies wird erreicht, wenn sich die Verkehrsteilnehmer 90 m vor der Ausfahrt beginnen einzusortieren resp. den Wunsch dazu verfolgen.

3.4 Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisverkehrsplatz

Für unsignalisierte Knotenpunkte gelten nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) folgende Qualitätsstufen gemäß der mittleren Wartezeiten.

Tabelle 5: Qualitätsstufen im Verkehrsablauf nach HBS 2015 für unsignalisierte Knotenpunkte (Quelle: FGSV, Tabelle 5-1 HBS 2015)

QSV	Beschreibung	Regelung durch Vorfahrtsbeschilderung		Rechts-vor-links Mittlere Wartezeit Kfz [s]	
		Mittlere Wartezeit für Kfz [s]	Wartezeit für FG und R [s]	Kreuzung	Einmündung
A	Die Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer kann nahezu ungehindert den Knotenpunkt passieren. Die Wartezeiten sind sehr gering.	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 10
B	Die Abflussmöglichkeiten der wartepflichtigen Verkehrsströme werden vom bevorrechtigten Verkehr beeinflusst. Die dabei entstehenden Wartezeiten sind gering.	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10
C	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.	≤ 30	≤ 15	≤ 15	≤ 15
D	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.	≤ 45	≤ 25	≤ 20	≤ 15
E	Es bilden sich Staus, die sich bei der vorhandenen Belastung nicht mehr abbauen. Die Wartezeiten nehmen sehr große und dabei stark streuende Werte an. Geringfügige Verschlechterungen der Einflussgrößen können zum Verkehrszusammenbruch (d.h. ständig zunehmende Staulänge) führen. Die Kapazität wird erreicht.	> 45	≤ 35	≤ 25	≤ 20

F	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.	Sättigungsgrad $g > 1,0$	> 35	> 25	> 20
----------	---	--------------------------	--------	--------	--------

Die QSV bestimmen sich über die mittleren Wartezeiten des Kfz-Verkehrs auf dem jeweiligen Fahrstreifen. Die Einteilung der QSV erfolgt in die Stufen A bis F, wobei A die beste und F die schlechteste QSV repräsentiert. Üblicherweise gilt der Verkehrsablauf als noch leistungsfähig, wenn die QSV D erreicht wird

Zur Ermittlung der mittleren Wartezeiten wurde der Verkehrsablauf in der Mikrosimulation über eine volle Stunde simuliert. Die Wartezeiten wurden in 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, bei der es keine Beeinträchtigung durch andere Fahrzeuge, Signalisierung oder aus andere Gründen für Fahrzeughalte gäbe, beschreiben.

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

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, wurden die Verlustzeiten in zehn Simulationsläufen mit unterschiedlichen Startzufallszahlen ermittelt. Die Ergebnisse aller Simulationsläufe wurden anschließend gemittelt.

Den berechneten mittleren Verlustzeiten ließ sich anschließend eine Qualitätsstufe nach HBS zuordnen. Für die morgendliche und abendliche Spitzenstunde konnten die folgenden Ergebnisse berechnet werden.

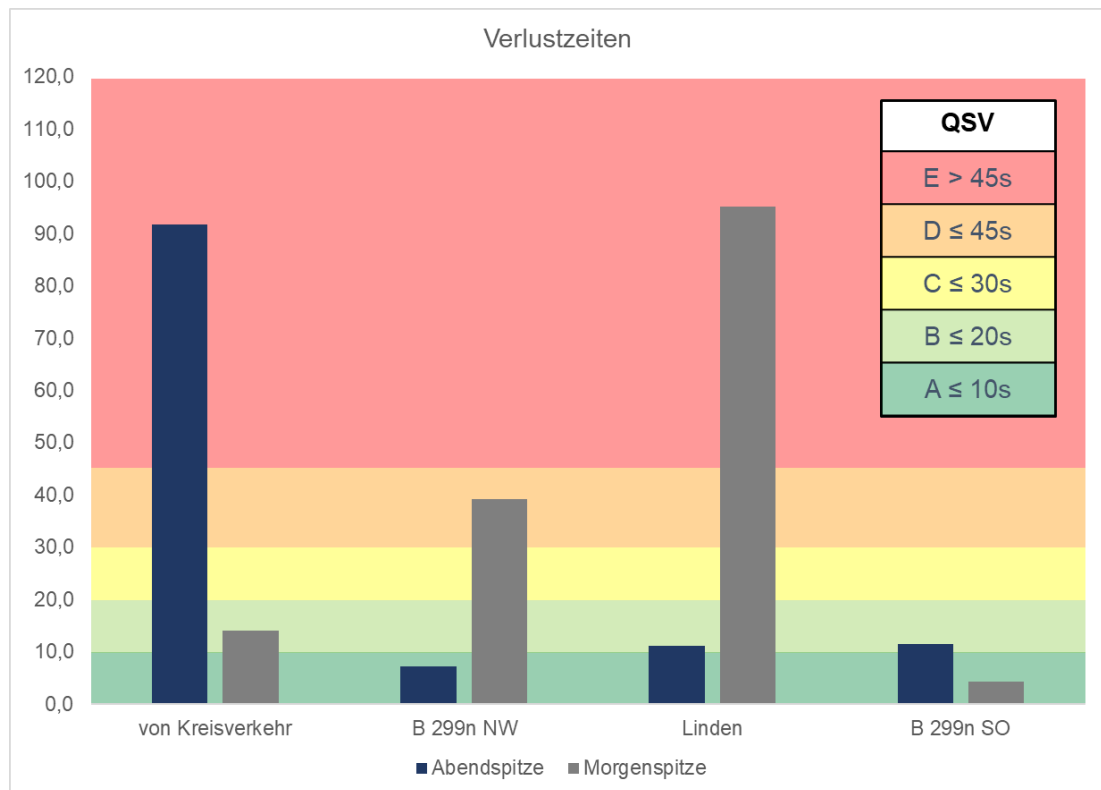


Abbildung 18: Verlustzeiten am geplanten zweistreifigen Kreisverkehrsplatz

Sowohl in der Morgenspitze als auch in der Abendspitze ist keine Leistungsfähigkeit am Knotenpunkt gegeben. In der Abendspitze kommt es zu sehr langen mittleren Verlustzeiten am nordöstlichen Knotenpunktarm (vom bestehenden Kreisverkehr in Arth kommend). Es lässt sich nur die Qualitätsstufe E nachweisen. Hauptgrund dafür ist die hohe Verkehrsmenge des übergeordneten Verkehrsstromes im Kreisverkehr. Für die Fahrzeugteilnehmer entstehen nur wenige Zeitlücken, die ausreichend groß sind, um in den Kreisverkehr einfahren zu können. Ähnliches ist in der Morgenspitze festzustellen. Die mittleren Verlustzeiten der südwestlichen Zufahrt „Linden“ betragen ca. 90 s. Es wird ebenfalls nur die QSV E erreicht. Aufgrund der geringen Verkehrsmenge auf diesem Knotenpunktarm sind die weiteren Zufahrten noch zu betrachten. Die Verlustzeiten für den Verkehrsstrom auf der B299n (aus nordwestlicher Richtung kommend) sind in der Morgenspitze dort am größten. Aufgrund der hohen Verkehrsmengen dieses Stromes lässt sich für diese Zufahrt nur QSV D nachweisen.

Ein leistungsfähiger Verkehrsablauf an allen Zufahrten im Sinne des HBS (mind. QSV D) ist für die morgendliche und abendliche Spitzenstunde nicht gegeben.

Neben den mittleren Verlustzeiten wurden in den Simulationsläufen auch die Rückstaulängen im 95%-Perzentil ermittelt, da mit diesen überprüft werden kann, ob der Verkehrsablauf am benachbarten bestehenden Kreisverkehr beeinflusst wird. Bei Rückstaubetrachtungen gilt das 95%-Perzentil als Bewertungsgrundlage, welches die Rückstaulänge beschreibt, die nur in 5 % der Fälle überschritten wird. Zum Vergleich wurden die Ergebnisse der Lichtsignalanlage dem gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

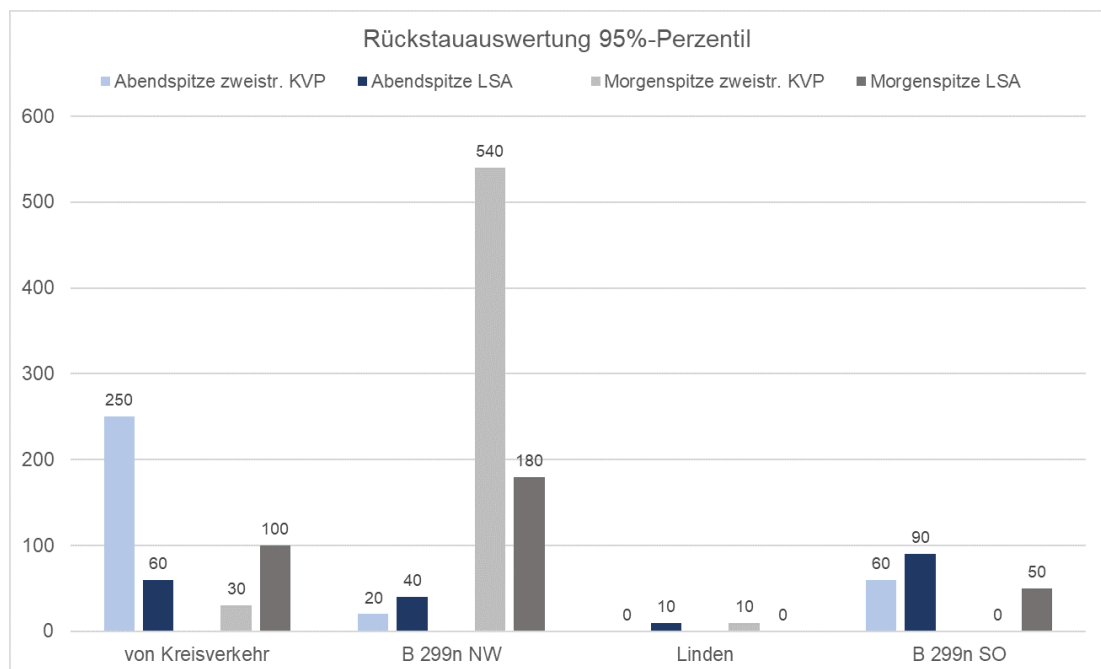


Abbildung 19: Rückstau am geplanten zweistreifigen Kreisverkehrsplatz

Um zu bewerten, ob der Rückstau den Verkehrsablauf am benachbarten Kreisverkehr beeinflussen wird, ist die Zufahrt „von Kreisverkehr“ ausschlaggebend. Die maximale Länge des Aufstellbereichs, bis zu dem der Verkehrsablauf am benachbarten Kreisverkehr nicht beeinflusst wird, beträgt ca. 175 m. Kritisch ist der Rückstau daher in der Abendspitze zu bewerten. Der Rückstau im 95%-Perzentil beträgt in diesem Zeitraum 250 m, wodurch ein Verkehrsablaufs ohne Beeinträchtigungen am Kreisverkehr im Ortsteil Arth nicht nachgewiesen werden kann, da der Aufstellbereich deutlich und regelmäßig überstaut wird.

Um dies zu veranschaulichen wurden Simulationsvideos erstellt, die den Verkehrsablauf auszugsweise aus der Spitzenstunde darstellen (vgl. folgender Abschnitt 3.5).

Zusätzlich ist auch der Rückstau im 95%-Perzentil in der Morgenspitze auf der Ortsumfahrung kritisch zu betrachten. Mit einer Länge von 540 m sind deutliche Beeinträchtigungen zu erwarten.

Aus Sicht der Leistungsfähigkeit unter zusätzlicher Berücksichtigung der Rückstaulängen ist die Variante des zweistreifigen Kreisverkehrs nicht zu empfehlen und sollte im Folgenden nicht weiterverfolgt werden.

Auch Gründe der Verkehrssicherheit lassen diese Rückschlüsse zu.

Gemäß einer Studie des ADAC weisen zweistreifige Kreisverkehre zwar grundsätzliche höhere Verkehrssicherheiten auf, als signalregelte oder vorfahrtsregelte Knotenpunkte, jedoch wird dabei lediglich die Unfallkostenrate als Kriterium bewertet und nicht die Gesamtzahl an Unfällen. Daraus lässt sich schließen, dass zwar die Anzahl der Unfälle an zweistreifigen Kreisverkehren deutlich höher ist im Vergleich zur Anzahl der Unfälle an signal- oder vorfahrtsregelten Knotenpunkten – die Unfallschwere fällt jedoch aufgrund des geringeren Geschwindigkeitsniveaus deutlich geringer aus.

An einstreifigen Zufahrten in einen zweistreifigen Kreisverkehr ist das Sicherheitsniveau deutlich höher als an zweistreifigen Zufahrten. Auch vor diesem Hintergrund ist der zweistreifige Kreisverkehr an diesem Verknüpfungspunkt nicht zu empfehlen.

3.5 Simulationsvideos

Für die zu untersuchenden Zeiträume erfolgte die Erstellung zwei kurzer Videosequenzen im Umfang von jeweils ca. 2 bis 3 Minuten. **Die Übergabe erfolgt über einen Downloadlink.**

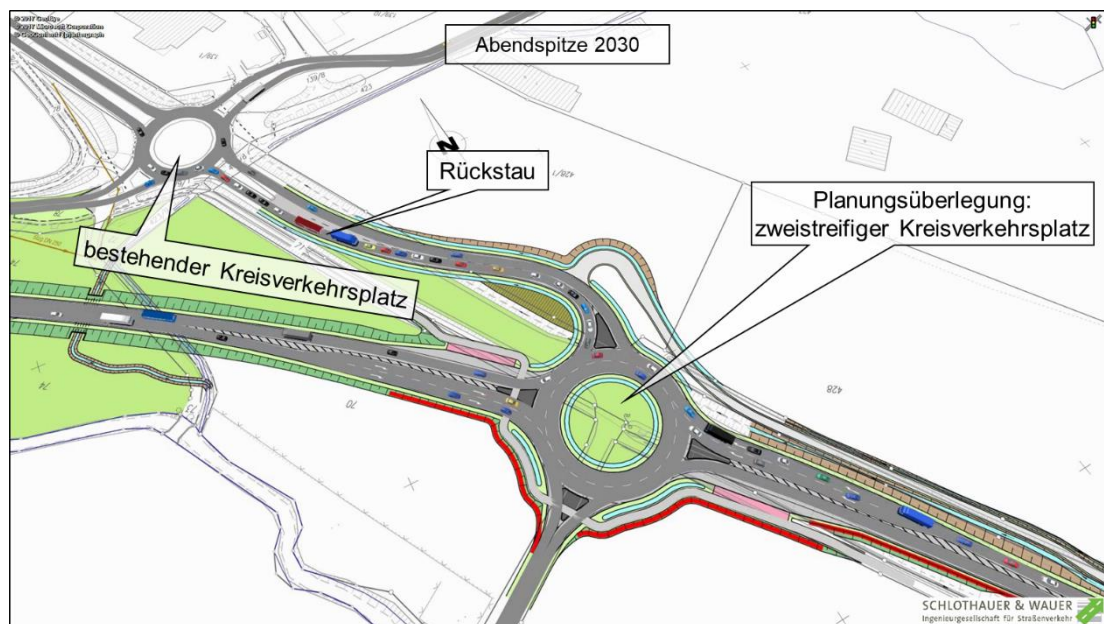


Abbildung 20: Ausschnitt aus Video 2 (Abendspitze 2030)

Folgende Videos wurden für das staatliche Bauamt Landshut erstellt:

- Video 1: Morgenspitze für den Prognosehorizont 2030
- Video 2: Abendspitze für den Prognosehorizont 2030

Die Abbildung 20 zeigt einen Ausschnitt aus dem Simulationsvideo der Abendspitze für den Prognosehorizont 2030. Der Bildausschnitt zeigt einen mittleren Zustand, der Situation am zweistreifigen Kreisverkehrsplatz in der Abendspitze. Es ist zu erkennen, dass der Rückstau den Verkehrsablauf am Kreisverkehr beeinträchtigt und teilweise ein Einfahren auf die Kreisfahrbahn nicht möglich ist.