

**Modellierung von Abbiegerwiderständen des  
MIV in makroskopischen  
Verkehrsnachfragemodellen**  
**Methodik für ausdehnungslos modellierte Knotenpunkte  
in PTV Visum**

Dipl.-Ing. Emely Richter, Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich

Stand: 01.02.2018



Universität Stuttgart

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Voraussetzungen in Visum</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Grundlegendes</b>	<b>4</b>
2.1	Allgemeine Annahmen	4
2.2	Festlegen von Knotenpunkttypen und Abbiegerstandards	5
2.3	Einfügen der benutzerdefinierten Attribute	5
2.4	Anpassen der CR-Funktionen und des Verfahrensablaufs	6
<b>3</b>	<b>Lichtsignalgeregelte Knotenpunkte</b>	<b>9</b>
3.1	Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen	9
3.2	Attributierung	9
3.3	CR-Funktion	11
3.4	Bewertung des Verfahrens	11
<b>4</b>	<b>Knotenpunkte mit Vorfahrtbeschilderung</b>	<b>12</b>
4.1	Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen	12
4.2	Attributierung	13
4.3	CR-Funktion	14
4.4	Bewertung des Verfahrens	15
<b>5</b>	<b>Kreisverkehre</b>	<b>17</b>
5.1	Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen	18
5.2	Attributierung	18
5.3	CR-Funktion	18
5.4	Bewertung des Verfahrens	19
<b>6</b>	<b>Knotenpunkte mit Regelungsart „Rechts vor Links“</b>	<b>20</b>
6.1	Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen	20
6.2	Attributierung	20
6.3	CR-Funktion	21
6.4	Bewertung des Verfahrens	22
<b>7</b>	<b>Typische Parametersätze</b>	<b>23</b>
7.1	Parametrisierung CR-Funktionen	23
7.2	Mischfahrstreifen	24
<b>8</b>	<b>Kurzanleitung</b>	<b>25</b>
8.1	Einmalig vor der ersten Anwendung auszuführende Schritte	25
8.2	Notwendige Schritte der Attributierung an Einzelknoten	25
8.3	Optionale Schritte der Attributierung an Einzelknoten	25
<b>9</b>	<b>Beispielnetz</b>	<b>25</b>

## 1 Einleitung und Voraussetzungen in Visum

In der makroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung ist es üblich, Verlustzeiten im Straßennetz überwiegend den Strecken und nicht den Knotenpunkten zuzuordnen. Vor allem in innerstädtischen Bereichen mit einer großen Dichte von Knotenpunkten werden die Wartezeiten jedoch zu einem großen Teil durch Kapazitätsbeschränkungen der Knotenpunkte verursacht. Daraus ergibt sich die Aufgabenstellung, auch in makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen möglichst realitätsnahe Knotenwartezeiten abzubilden. Ziel ist es, die nach dem aktuellen Regelwerk HBS 2015 berechneten Wartezeiten bei möglichst geringem Aufwand für den Modellanwender gut wiederzugeben.

Abgeleitet aus dem HBS werden zur Wartezeitermittlung

- Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage (LSA),
- Knotenpunkte, die mit Hilfe der Verkehrszeichen Z 205 „Vorfahrt gewähren“ oder Z 206 „Halt. Vorfahrt gewähren.“ geregelt werden (VZ-Knoten),
- Kreisverkehre (KV) und
- Knotenpunkte mit Regelungsart „rechts vor links“ (RvL)

unterschieden.

Die Umsetzung der Wartezeitberechnung in Visum soll mit Hilfe der Abbieger- und Knoten-CR-Funktionen realisiert werden. Im Folgenden werden beide Verfahren kurz vorgestellt und Rahmenbedingungen, die sich aus ihnen für die Methodik zur Wartezeitermittlung ergeben, aufgezeigt.

Im Rahmen der Funktionsweise der Abbieger-CR-Funktion wird jedem Abbiegerstrom eine Kapazität und  $t_0$ -Zeit zugewiesen. Zur Berechnung des auslastungsabhängigen Wartezeitanteils kann in den Allgemeinen Verfahrenseinstellungen je Abbiegetyp eine CR-Funktion samt Parametrisierung festgelegt werden, die sich auf Eigenschaften des Abbiegers, wie zum Beispiel dessen Auslastung, bezieht. In Visum stehen insgesamt 10 Abbiegetypen (0 bis 9) zur Verfügung, von denen die Abbiegetypen 0 bis 4 entsprechend Tabelle 1 automatisch belegt werden. Hieraus ergibt sich, dass alle Abbieger unabhängig von der Regelungsart des Knotens die gleiche Abbieger-CR-Funktion zugewiesen bekommen.

Typ-Nummer	Belegung
0	unbelegt
1	Rechtsabbieger (RA)
2	Geradeausfahrer (G)
3	Linksabbieger (LA)
4	U-Turn (UT)

Tabelle 1: Vordefinierte Abbiegetypen in Visum

Knoten-CR-Funktionen beziehen sich auf die Eigenschaften des Knotenpunkts, dem sie zugeordnet werden. Eigenschaften des Knotens können zum Beispiel die Knotenkapazität oder die Summe der Verkehrsstärken aller über den Knoten führenden Abbiegerströme sein. Die Zuordnung der CR-Funktion wird mittels der Knotentypnummern durchgeführt. Visum ermöglicht die Verwendung von 100 verschiedenen Knotentypen (0 bis 99), die für erstellte Knoten manuell vergeben werden müssen.

Zeitzuschläge, die mit Hilfe von Knoten-CR-Funktionen ermittelt werden, wirken stets additiv zu den mittels Abbieger-CR-Funktionen berechneten Wartezeiten. Es kann mit Hilfe der Knoten-Attribute „Eingestellte Methode für Widerstand am Knoten verwenden“ und „Methode für Widerstand am Knoten“ für jeden Einzelknoten entschieden werden, ob Abbieger-CR-Funktionen oder die Kombination aus Abbieger- und Knoten-CR-Funktionen verwendet werden soll. Wird die Knoten-CR-Funktion ausgewählt, legt das Strecken-Attribut „TModelSpezial“ für alle Abbieger dieser Strecker fest, ob der zusätzlichen Zeitzuschlag der Knoten-CR-Funktion erhalten sein soll (siehe Berechnungsvorschrift (1.1)). Es ist also keine abbiegerfeine Unterscheidung der knotenabhängigen Wartezeiten möglich, sondern lediglich eine Bündelung dieser in Abbieger aus übergeordneten Zufahrten und Abbieger aus untergeordneten Zufahrten.

WENN Knoten  $k$  keine Strecke mit  $TModelSpezial = 1$  hat, DANN  
 $t_{akt,a} = Zuschlag(a) + Zuschlag(k)$  für alle Abbieger  $a$  an Knoten  $k$

WENN Knoten  $k$  mindestens eine Strecke mit  $TModelSpezial = 1$  hat, DANN (1.1)  
 $t_{akt,a} = Zuschlag(a)$  für alle Abbieger  $a$ , für deren Von-Strecke  $TModelSpezial = 0$   
 $t_{akt,a} = Zuschlag(a) + Zuschlag(k)$  für alle Abbieger  $a$ ,  
für deren Von-Strecke  $TModelSpezial = 1$

Die Unterscheidung von untergeordneten und übergeordneten Zufahrten kann mithilfe der Hauptstromrichtung eines Knotenpunkts erfolgen. Die Hauptstromrichtung eines Knotenpunkts kann entweder manuell für einzelne Knoten festgelegt werden oder wird standardmäßig automatisch von Visum nach der geometrischen Anordnung der an den Knoten anliegenden Strecken festgelegt. Mit Hilfe der Abbiegerstandards wird in Abhängigkeit des Hauptstroms die Stromhierarchie eines jeden Abbiegers bestimmt.

Als CR-Funktionen können entweder die bereits in Visum vordefinierten oder aber selbst erstellte, benutzerdefinierte Funktionsvorschriften genutzt werden (Näheres zur Implementierung der benutzerdefinierten CR-Funktionen in Kapitel 2.4).

In den folgenden Kapiteln 2 bis 6 werden die dem vorgeschlagenen Verfahren zu Grunde liegenden Annahmen und hinterlegten Berechnungsvorschriften erläutert. Kapitel 7 gibt typische Parametersätze der genutzten Attribute und CR-Funktionen wieder, während Kapitel 8 eine Kurzanleitung zur Anwendung beinhaltet. Die beiliegende Beispielfunktionsdatei wird im abschließenden Kapitel 9 kurz erklärt.

## 2 Grundlegendes

Bevor die Wartezeiten einzelner Knotenpunkte bestimmt werden können sind einige grundlegende Annahmen zu treffen (Abschnitt 2.1) und vorangehende Arbeitsschritte durchzuführen. Diese bestehen aus dem Einführen von Knotentypen und Abbiegerstandards (Abschnitt 2.2), dem Implementieren der benötigten benutzerdefinierten Attribute (Abschnitt 2.3) sowie dem Anpassen des Verfahrensablaufs und der Abbieger- und Knoten-CR-Funktionen (Abschnitt 2.4).

### 2.1 Allgemeine Annahmen

Um zum einen den Berechnungsaufwand im makroskopischen Modell gering zu halten und zum anderen den Anwendungsbereich der hier vorgestellten Methodik weiter einzugrenzen, wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Knotenpunkte werden unabhängig von ihrer Regelungsart ausdehnungslos modelliert
2. Keine direkte Berücksichtigung von Einflüssen des ÖV sowie Rad- und Fußverkehr
3. Bei Mischfahrstreifen: Die Stromkapazität bei Nutzung eines Mischfahrstreifens entspricht der Stromkapazität bei separaten Fahrstreifen dividiert durch die Anzahl der den Mischfahrstreifen nutzenden Ströme.
4. Eingangsdaten als Stundenwerte, also z. B. Kapazitäten in Kfz/h und Verkehrsstärken in Kfz/h

Die Auswirkungen, die diese Annahmen haben, werden im Folgenden näher beschrieben:

- Die erste Annahme dient dem Zweck, ein einheitliches System der Modellierung als Grundlage zu schaffen.
- Dadurch, dass der Einfluss von ÖV, Rad- und Fußverkehr nicht im Verfahren berücksichtigt wird, werden die Berechnungsverfahren des HBS vereinfacht. Indirekt können die Einflüsse jedoch, falls gewünscht, durch manuelle Anpassung der Eingangsgrößen der Wartezeitberechnung wie beispielsweise der Abflusszeitanteile,  $t_0$ -Zeiten oder Kapazitäten einzelner Abbiegerströme trotzdem berücksichtigt werden.

- Annahme drei ermöglicht eine stark vereinfachte Kapazitätsberechnung für Mischfahrstreifen: Im Berechnungsverfahren nach HBS ist die Kapazität eines Mischfahrstreifens an LSA und VZ-Knoten sowohl von der Verkehrsstärke als auch dem Auslastungsgrad verschiedener Ströme des Knotenpunkts abhängig und wird bei LSA nur als Fahrstreifenkapazität angegeben. Sowohl Verkehrsstärken als auch Auslastungsgrade werden in der Verkehrsnachfrageberechnung erst mit Hilfe des Modells berechnet und können somit nicht vorab zur Ermittlung konstanter Kapazitäten herangezogen werden. Mit Hilfe der dritten Annahme kann die Kapazität eines den Mischfahrstreifen nutzenden Stroms jedoch gemäß Formel (2.1) ausgedrückt werden.

$$C_{MFS,i} = \frac{C_{FS,i}}{n_{i,MFS}} \quad (2.1)$$

$C_{MFS,i}$  Kapazität des Abbiegerstroms  $i$  auf einem Mischfahrstreifen [Pkw-E/h]

$C_{FS,i}$  Kapazität des Abbiegerstroms  $i$  ohne Mischfahrstreifen [Pkw-E/h]

$n_{i,MFS}$  Anzahl der Ströme, die den Mischfahrstreifen nutzen [-]

- Dadurch, dass von Stundenwerten ausgegangen wird, ist die Vergleichbarkeit zum HBS leichter herzustellen. Die Anpassung der Methodik an 24h-Werte oder andere Zeitspannen lässt sich mittels der Parameter  $a$  und  $c$  der CR-Funktionen realisieren.

## 2.2 Festlegen von Knotenpunkttypen und Abbiegerstandards

Um unterschiedliche CR-Funktionstypen und Parametrisierungen nutzen zu können, ist die Unterscheidung von Knotentypen notwendig (siehe Tabelle 2). Die Armanzahl hat an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten Einfluss auf die mittlere Wartezeit eines Stroms, sodass auch nach dieser in den Knotentypen unterschieden wird. Dreiarmige und vierarmige Knoten bilden die Standardfälle. Unter Umständen kann es zielführend sein, weitere Knotentypen zur Abbildung von Sonderfällen einzuführen. Die in Tabelle 2 angegebenen Knotentypnummern sind im Prinzip frei wählbar, müssen aber konsequent verwendet werden. Da auf die Typnummern Bezug genommen wird, müssten bei einer Änderung die im Verfahrensablauf hinterlegten Berechnungsvorschriften und die Zuordnung der CR-Funktionen angepasst werden.

Knotentypnummer	Regelungsart	Armanzahl
0	Zuschlagsfreier Knotenpunkt (z. B. Anbindungsknoten, zweiarmige Knoten)	beliebig
10	LSA	4
15	LSA	3
20	Verkehrszeichengeregelt	4
25	Verkehrszeichengeregelt	3
50	Kreisverkehr	4
55	Kreisverkehr	3
60	Rechts vor Links	4
65	Rechts vor Links	3

Tabelle 2: Vergebene Knotentypen

Um die in den Abbiegerstandards hinterlegten Stromhierarchien zu erzeugen, müssen auch für die Abbieger Standards hinterlegt werden, für die die Abbiegerkapazitäten und  $t_0$ -Zeiten nicht aus diesen generiert werden. Lediglich an VZ-Knoten werden differenzierte Abbiegerstandards benötigt (weitere Ausführungen dazu in Kapitel 4). Sämtliche benötigte Abbiegerstandards sind in der Datei „Abbiegerstandards.net“ hinterlegt und können mittels additivem Lesen der Netzdatei in die Visum-Versionsdatei übernommen werden.

## 2.3 Einfügen der benutzerdefinierten Attribute

Zur Anwendung der hier vorgestellten Methodik werden zusätzlich zu den standardmäßig in Visum hinterlegten Attributen neun benutzerdefinierte Attribute benötigt. In Tabelle 3 sind diese Attribute aufgelistet. Tabelle 3 gibt außerdem Aufschluss darüber, auf welches Netzelement sich ein Attribut bezieht, wofür und an welchen Knotenarten es verwendet wird, welcher Standardwert hinterlegt ist und

in welcher Einheit es genutzt werden sollte. Weiterhin gibt die Spalte „Benutzereingabe empfohlen“ an, ob das Attribut, wenn möglich, mit realen Werten gefüllt werden sollte, um die Ergebnisgüte zu verbessern.

Bezugselement	Bezeichnung/ Beschreibung	Attributname	Standardwert	Einheit	Benutzereingabe empfohlen	Benötigt für Knotenregelungsart			
						LSA	VZ	KV	RvL
Abbieger	Es soll ein manuell eingegebener Wert und nicht der Standardwert für das Attribut ABB_fA verwendet werden	ABB_fA_manuell	Nein	Ja/Nein	x	x	-	-	-
Abbieger	Abflusszeitanteil	ABB_fA	Zuordnung nach Abbiegetyp und Stromhierarchie	-	x	x	-	-	-
Abbieger	Progressionsfaktor koordinierter Ströme	ABB_fk	1,0	-	x	x	-	-	-
Abbieger	Sättigungsverkehrsstärke	ABB_qS	1800	Pkw-E/h	x	x	-	-	-
Abbieger	Anzahl der vom Abbiegerstrom genutzten Fahrstreifen (inklusive Mischfahrstreifen)	ABB_FS	1	-	x	x	x	-	-
Abbieger	(einer) der vom Abbiegerstrom genutzte(n) Fahrstreifen ist ein Mischfahrstreifen	ABB_MFS	Nein	Ja/Nein	x	x	x	-	-
Abbieger	Rechnerische Fahrstreifenanzahl unter Beachtung der Mischfahrstreifen	ABB_FSxMFS	Berechnungsvorschrift	-	-	x	x	-	-
Knoten	Umlaufzeit	KP_tU	90	s	x	x	-	-	-
Knoten	Außendurchmesser des Kreisverkehrs	KP_KV_D	30	m	x	-	-	x	-

Tabelle 3: Benutzerdefinierte Attribute

Zusätzlich zu den aufgeführten, zur Berechnung notwendigen benutzerdefinierten Attributen sind in der Beispielfunktionsdatei drei Abbieger-Attribute definiert, die der grafischen Darstellung der Wartezeiten als Knotenströme dienen. Diese Attribute namens „ABB\_tAKT\_Bew“, „ABB\_tAKT\_Bew\_G“ und „ABB\_tAKT\_G“ sind als Formelattribute implementiert, sodass sie stets aktuell gehalten werden.

Die in Tabelle 3 aufgelisteten Attribute müssen in die bestehende Visum-Versionsdatei implementiert werden. Zu diesem Zweck stehen zwei Verfahren zur Auswahl:

1. Einlesen der benutzerdefinierten Attribute mittels Netzdatei:  
Zu diesem Zweck muss die beigefügte Datei „BenutzerdefAttribute.net“ in Visum geöffnet und die Attribute mittels Konfliktbehandlungstyp „Attribute überschreiben“ additiv in die vorhandene Netzdatei eingelesen werden.
2. Erstellen der benutzerdefinierten Attribute mittels VBS-Skript:  
Im Verfahrensablauf muss einmal das Skript „UDA\_Create\_benutzerdefAtt.vbs“ ausgeführt werden.

Es ist empfehlenswert, die erste Variante zu nutzen, da so auch die in den benutzerdefinierten Attributen gespeicherten Kommentare sowie die benutzerdefinierten Formelattribute zur grafischen Darstellung übernommen werden. Variante Zwei weist jedoch den geringeren Eingabeaufwand auf.

## 2.4 Anpassen der CR-Funktionen und des Verfahrensablaufs

Den Kern der Methodik zur Erstellung der Knotenwiderstände bilden zum einen die teilweise benutzerdefinierten CR-Funktionen und zum anderen die im Verfahrensablauf hinterlegten Schritte zur Änderung der relevanten Attribute.

In einem ersten Schritt müssen die beigefügten \*.dll-Dateien, die die Funktionsvorschriften der benutzerdefinierten CR-Funktionen enthalten, und die dazugehörigen \*.bmp-Dateien in das von PTV dafür vorgesehene Verzeichnis kopiert werden. Das Verzeichnis findet man unter dem Dateipfad

%APPDATA%\PTV Vision\PTV Visum 16\UserVDF-DLLs. Um dieses Verzeichnis auf Ihrem Rechner zu finden, können Sie die Adresse direkt in die Explorer-Adressleiste kopieren. Damit die kopierten CR-Funktionen verwendet werden können, muss Visum anschließend neu gestartet werden.

Anschließend kann der Verfahrensablauf entsprechend Abbildung 1 ergänzt werden. Um die zusätzlichen Schritte einzufügen, werden die Verfahrensparameter aus der Datei „Verfahrensschritte.xml“ geladen. Die in der Datei gespeicherten Verfahren, die in Tabelle 4 näher beschrieben sind, sollten in der angegebenen Reihenfolge als neue Verfahren vor der Umlegung eingefügt werden.

Verfahrensablauf					
Anzahl: 14	Ausführung	Aktiv	Verfahren	Bezugsobjekt(e)	Variante/Datei
1		<input type="checkbox"/>	Skript ausführen		UDA_Create_benutzerdefAtt.vbs
2	▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Init Umlegung		Alle
3		<input type="checkbox"/>	Kombination von Matrizen und Vektoren	Matrix([NR] = 1);=Matrix([NR] = 1)*1.1	
4		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ABB_fa	
5		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Knoten - EingestellteMethodeWidAmKnoten	
6		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Knoten - MethodeWidAmKnoten	
7		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Strecken - TModelSpezial	
8		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ABB_MFS	
9		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ABB_FSxMFS	
10		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - KapIV	
11		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - t0IV	
12		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Knoten - ZWert3	
13		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ZWert3	
14		<input checked="" type="checkbox"/>	IV-Umlegung	P PKW	Sukzessivumlegung

Abbildung 1: Verfahrensablauf

Nr.	Verfahren	Bezugsobjekt/ Attributname	Beschreibung	Benötigt für Knotenregelungsart			
				LSA	VZ	KV	RvL
1	Attribut ändern	Abbieger - ABB_fa	Zuordnen von Abflusszeitanteilen für Abbieger, die keine manuelle Eingabe für den Abflusszeitanteil aufweisen, in Abhängigkeit von Knotentyp, Abbiegetyp und Stromhierarchie	x	-	-	-
2	Attribut ändern	Knoten - EingestellteMethodeWidAmKnoten	Aktivieren der Verwendung der am einzelnen Knoten eingestellten Methode zur Widerstandsberechnung (und nicht der Standard-Methode)	x	x	x	x
3	Attribut ändern	Knoten - MethodeWidAmKnoten	Festlegen der Methode zur Berechnung der Knotenwiderstände in Abhängigkeit des Knotentyps (Abbieger-CR-Funktion oder Knoten-CR-Funktion)	x	x	x	x
4	Attribut ändern	Strecken - TModelSpezial	Festlegen der Zufahrtsstrecken eines Knotens, deren Abbieger Zeitzuschläge aus der Knoten-CR-Funktion erhalten sollen	-	x	x	x
5	Attribut ändern	Abbieger - ABB_MFS	Benutzereingabe bereinigen: MFS = 0 für U-Turns setzen	x	x	-	-
6	Attribut ändern	Abbieger - ABB_FSxMFS	Berechnen der theoretischen Fahrstreifenanzahl unter Beachtung der Mischfahrstreifen	x	x	-	-
7	Attribut ändern	Abbieger - KapIV	Berechnen der Kapazität eines Abbiegers	x	x	-	-
8	Attribut ändern	Abbieger - t0IV	Berechnen des auslastungsunabhängigen Zeitzuschlags eines Abbiegers	x	x	-	-
9	Attribut ändern	Knoten - ZWert3	Hinterlegen des Außendurchmessers eines Kreisverkehrs bzw. Knotenkapazität eines VZ-Knotens zur Nutzung in der Knoten-CR-Funktion	-	x	x	-
10	Attribut ändern	Abbieger - ZWert3	Hinterlegen der Abbiegerkapazität zur Nutzung in der Abbieger-CR-Funktion	x	x	-	-

Tabelle 4: Zusätzliche Schritte des Verfahrensablaufs

Zusätzlich zum Übernehmen der Verfahrensschritte besteht im sich öffnenden Auswahlfenster die Möglichkeit die Allgemeinen Verfahrenseinstellungen aus der Verfahrensparameter-Datei zu übernehmen. Dadurch werden unter anderem auch die Einstellungen zur Widerstandsberechnung an

Knoten übernommen. Da jedoch sämtliche Allgemeine Verfahrenseinstellungen übernommen werden, ist dies für die Implementierung in bereits bestehende Versionsdateien nicht zu empfehlen! Die Zuweisung der CR-Funktionstypen für Abbieger- und Knoten-CR-Funktionen erfolgt besser manuell entsprechend Abbildung 2 und Abbildung 3. Näheres zu den gewählten CR-Funktionstypen und deren Parametrisierung findet sich ausführlich in den folgenden knotentypspezifischen Kapiteln 3 bis 6 im jeweiligen Unterkapitel zu CR-Funktionen sowie, auf Vorschläge zur Parametrisierung beschränkt, in Kapitel 7.1.

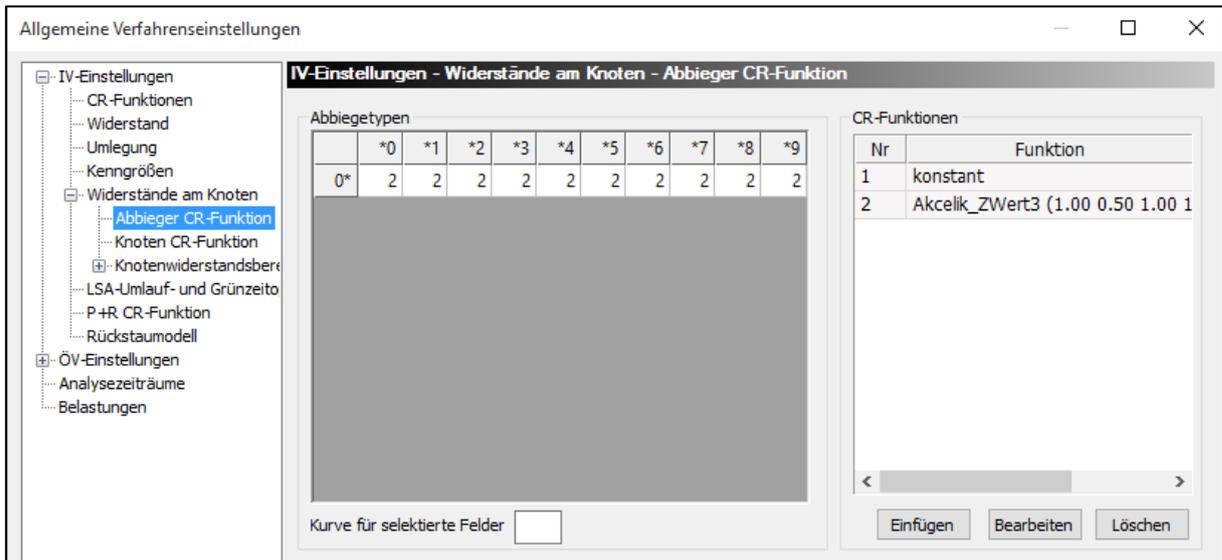


Abbildung 2: Einstellungen zu Abbieger-CR-Funktionen

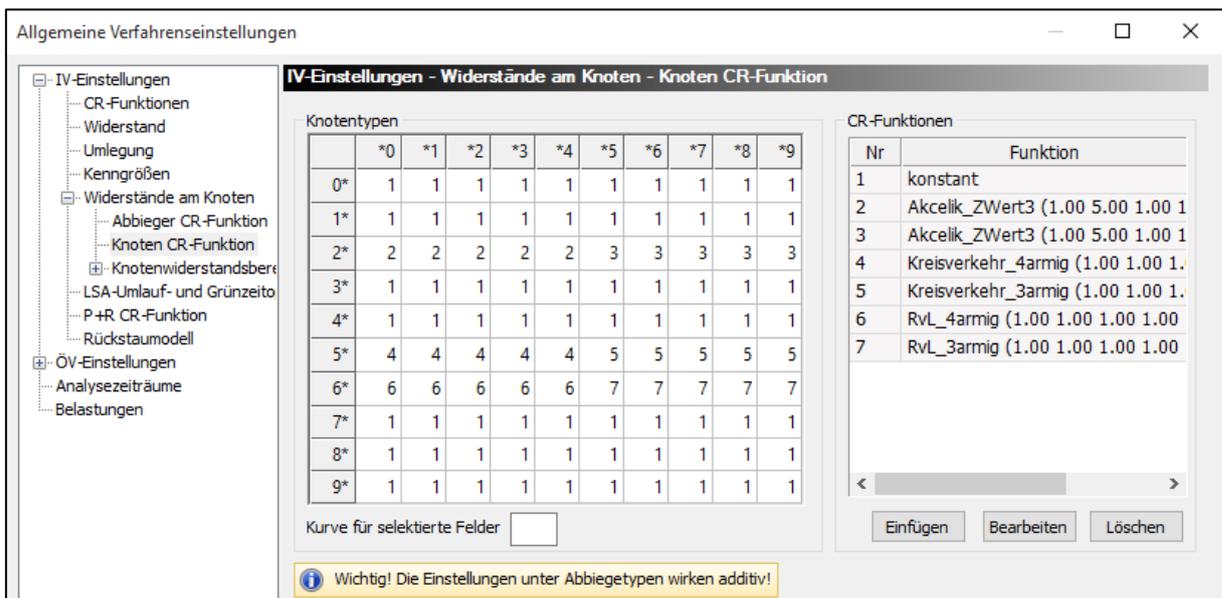


Abbildung 3: Einstellungen zu Knoten-CR-Funktionen

### 3 Lichtsignalgeregelter Knotenpunkte

Im HBS 2015 wird die Wartezeit an LSA fahstreifenbezogen berechnet. In Visum hingegen wird die Berechnung stromfein durchgeführt. Überträgt man die Berechnungsvorschriften zur fahstreifenbezogenen mittleren Wartezeit auf die strombezogene, ergeben sich als dem HBS entsprechende Berechnungsverfahren die Funktionsvorschriften (3.1) bis (3.4).

$$t_W = t_{W,G} + t_{W,R} \quad (3.1)$$

$$t_{W,G} = \frac{t_U \cdot (1 - f_A)^2}{2 \cdot (1 - \min(1; x) \cdot f_A)} \quad (3.2)$$

$$t_{W,R} = \frac{N_{GE} \cdot 3600}{C} \quad (3.3)$$

$$N_{GE} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,58 \cdot T \cdot C}{4} \cdot \left[ (f_{in} \cdot x - 1) + \sqrt{(f_{in} \cdot x - 1)^2 + \frac{4 \cdot f_{in} \cdot x}{0,58 \cdot T \cdot C}} \right] \\ \frac{T \cdot C}{4} \cdot \left[ (x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{4 \cdot x}{T \cdot C}} \right] \end{array} \right. \quad (3.4)$$

$t_W$	mittlere Wartezeit [s]
$t_{W,G}$	Grundwartezeit [s]
$t_{W,R}$	Wartezeit auf Grund des Reststaus bei Freigabezeitende [s]
$t_U$	Umlaufzeit [s]
$f_A$	Abflusszeitanteil [-]
$x$	Auslastungsgrad $\left(x = \frac{q}{c}\right)$ [-]
$N_{GE}$	mittlere Rückstaulänge bei Freigabezeitende [Kfz]
$C$	Kapazität [Kfz/h]
$T$	Betrachtungszeitraum (i. d. R. $T = 1$ h) [h]
$f_{in}$	Instationaritätsfaktor [-]

Die Kapazität eines Verkehrsstroms auf einem Fahrstreifen bei unbehindertem Abfluss ergibt sich nach HBS 2015 als Produkt aus Abflusszeitanteil  $f_A$  und Sättigungsverkehrsstärke  $q_s$ .

#### 3.1 Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen

1. Die kapazitätsmindernden Auswirkungen bedingter Freigaben etc. können im Attribut Abflusszeitanteil  $f_A$  abgebildet werden
2. Zur Übertragung der Grundwartezeit in die auslastungsunabhängige  $t_0$ -Zeit fällt der auslastungsabhängige Anteil der Grundwartezeit weg
3. Keine Berücksichtigung des Instationaritätsfaktors  $f_{in}$

#### 3.2 Attributierung

Die folgende Tabelle 5 listet die sowohl benutzerdefinierten als auch standardmäßig in Visum implementierten Attribute auf, die für die Berechnung der abbiegerfeinen Wartezeiten an LSA benötigt werden. Die Spalte „Benutzereingabe empfohlen“ gibt an, ob das Attribut, wenn möglich, mit realen Werten gefüllt werden sollte, um die Ergebnislänge zu verbessern. Ist in der Spalte „Standardwert“ vermerkt, dass dieser nach einer Berechnungsvorschrift festgelegt wird, so ist die entsprechende

Vorschrift in Tabelle 6 zu finden. Die hinterlegten Standardwerte der Abflusszeitanteile können Tabelle 7 entnommen werden.

Bezugselement	Bezeichnung/ Beschreibung	Attributname	Standardwert	Einheit	Benutzereingabe empfohlen
Abbieger	Es soll ein manuell eingegebener Wert und nicht der Standardwert für das Attribut ABB_fA verwendet werden	ABB_fA_manuell	Nein	Ja/ Nein	x
Abbieger	Abflusszeitanteil	ABB_fA	Zuordnung nach Abbiegetyp und Stromhierarchie	-	x
Abbieger	Progressionsfaktor	ABB_fk	1,0	-	x
Abbieger	Sättigungsverkehrsstärke	ABB_qS	1800	Pkw-E/h	x
Abbieger	Anzahl der vom Abbiegerstrom genutzten Fahrstreifen (inklusive Mischfahrstreifen)	ABB_FS	1	-	x
Abbieger	(einer) der vom Abbiegerstrom genutzte(n) Fahrstreifen ist ein Mischfahrstreifen	ABB_MFS	Nein	Ja/ Nein	x
Abbieger	Rechnerische Fahrstreifenanzahl unter Beachtung der Mischfahrstreifen	ABB_FSxMFS	Berechnungsvorschrift	-	-
Abbieger	Eingangsgröße für CR-Funktion = Kapazität des Abbiegerstroms	ZWert3	Berechnungsvorschrift	Pkw-E/h	-
Abbieger	Kapazität des Abbiegerstroms	KapIV	Berechnungsvorschrift	Pkw-E/h	-
Abbieger	Auslastungsunabhängiger Zeitzuschlag des Abbiegerstroms	t0IV	Berechnungsvorschrift	s	-
Knoten	Umlaufzeit	KP_tU	90	s	x
Knoten	Knotentypnummer	TypNr	0	-	x
Knoten	Eingestellte Methode für Widerstand am Knoten verwenden	EingestellteMethodeWidAmKnoten	Aktivierung in Verfahrensablauf	Ja/ Nein	-
Knoten	Methode für die Berechnung des Widerstands am Knoten	MethodeWidAmKnoten	Zuordnung nach Knotentyp	-	-

Tabelle 5: Benötigte Attribute LSA

Attributname	Berechnungsvorschrift
ABB_FSxMFS	$ABB\_FSxMFS = \begin{cases} ABB\_FS - 1 + \frac{1}{\text{Anzahl auf dem MFS geführter Ströme}} & , \text{ wenn } ABB\_MFS = 1 \\ ABB\_FS & , \text{ sonst} \end{cases} \quad (3.5)$
KapIV	$KapIV = ABB\_FSxMFS \cdot ABB\_fA \cdot ABB\_qS \quad (3.6)$
t0IV	$t0IV = KP\_tU \cdot \frac{(1 - ABB\_fA)^2}{2} \quad (3.7)$
ZWert3	$ZWert3 = KapIV \quad (3.8)$

Tabelle 6: Berechnungsvorschriften für Attributwerte an LSA

Armanzahl des Knotens	Stromhierarchie des Abbiegers	Abbiegetyp	Standard-Abflusszeitanteil
4	++	1 (RA), 2 (G), 3 (LA)	0,4
	+-	1 (RA), 2 (G)	0,4
		3 (LA)	0,3
	-+	1 (RA), 2 (G)	0,2
		3 (LA)	0,15
--	1 (RA), 2 (G), 3 (LA)	0,2	
3	++	1 (RA), 2 (G), 3 (LA)	0,5
	+-	1 (RA), 2 (G)	0,5
		3 (LA)	0,4
	-+	1 (RA), 2 (G), 3 (LA)	0,3
?	??	4 (UT)	0,1

Tabelle 7: Standardwerte für Abflusszeitanteile an LSA

### 3.3 CR-Funktion

Als CR-Funktion wird für LSA eine Abbieger-CR-Funktion gewählt. Als Funktionstyp „Akcelik\_ZWert3“ (benutzerdefiniert). Die in Formel (3.9) dargestellte Funktionsvorschrift von Akcelik\_ZWert3 entspricht dem der standardmäßig in Visum implementierten Akcelik-Funktion mit der Ausnahme, dass ZWert3 an die Stelle des Parameters d tritt. Dadurch wird ermöglicht, die Funktion abbiegerspezifisch zu parametrisieren. Wird  $t_0$  entsprechend der Vorschrift (3.7) festgelegt, der konstante Parameter b auf 0,5 gesetzt und ZWert3 als Abbiegerkapazität festgelegt, entspricht die Funktionsvorschrift unter den in Abschnitt 3.1 genannten Bedingungen der des HBS. Richtwerte zur Parametrisierung der CR-Funktion sind in Kapitel 7.1 aufgelistet.

#### Genutzte CR-Funktion:

Bezugsobjekt: Abbieger

Funktionsvorschrift:

$$t_{\text{akt}} = t_0 + \frac{3600}{4} \cdot a \cdot \left[ (\text{sat} - 1) + \sqrt{(\text{sat} - 1)^2 + \frac{8 \cdot b \cdot \text{sat}}{\text{ZWert3} \cdot a}} \right] \quad (3.9)$$

$t_{\text{akt}}$	auslastungsabhängige Wartezeit [s]
$t_0$	auslastungsunabhängige Wartezeit [s]
a	Betrachtungszeitraum (i. d. R.: a = 1 h) [h]
sat	Auslastung $\left(\text{sat} = \frac{q}{C \cdot c}\right)$ [-]
q	Verkehrsstärke [Pkw-E/h]
C	Kapazität [Pkw-E/h]
c	Parameter (z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte) [-]
b	Parameter (für Übereinstimmung mit LSA-HBS-Berechnung b = 0,5) [-]
ZWert3	Abbiegerspezifischer Parameter

### 3.4 Bewertung des Verfahrens

Abweichungen der Modellwerte von denen des HBS können auf Grund verschiedener Fehlerquellen entstehen. Neben solchen, die durch ungenaue Eingangswerte wie beispielsweise Abflusszeitanteile oder die Systematik zu Mischfahrstreifen (siehe Kapitel 2.1) entstehen, gibt es Abweichungen, die auf die CR-Funktionsvorschrift zurückzuführen sind. Dies ist zum einen bei der Überführung der Grundwartezeit (Formel (3.2)) in die auslastungsunabhängige  $t_0$ -Zeit (Formel (3.7)) und zum anderen bei Weglassen des Instationaritätsfaktors  $f_{\text{in}}$  der Fall.

Die Abweichung, die durch die Anpassung der  $t_0$ -Zeit entsteht, lässt sich mittels der Funktionsvorschrift (3.10) genau ermitteln. Unter der Bedingung, dass die Umlaufzeit  $t_U$  maximal 120 s beträgt, befindet sich die Stelle der maximalen absoluten Abweichung bei Auslastungsgrad  $x = 1$  und Abflusszeitanteil  $f_A = 0,5$  und beträgt -15 s. Das entspricht an dieser Stelle einer relativen Abweichung zu  $t_{w,G}$  von -0,5. Diese relative Abweichung findet ihr Maximum stets bei  $x = 1$  und entspricht  $-f_A$ . Die maximale Abweichung wird in Hinblick auf die Komplexität und die einfache Handhabbarkeit der Funktionsvorschrift als vertretbar eingestuft.

$$t_0 - t_{w,G} = -\frac{t_U \cdot (1 - f_A)^2 \cdot \min(1; x) \cdot f_A}{2 \cdot (1 - \min(1; x) \cdot f_A)} \quad (3.10)$$

$t_0$	auslastungsunabhängiger Zeitzuschlag der CR-Funktion [s]
$t_{w,G}$	Grundwartezeit nach HBS [s]
$t_U$	Umlaufzeit [s]
$f_A$	Abflusszeitanteil [-]
$x$	Auslastungsgrad [-]

Die Abweichungen zwischen HBS und Modell, die durch das Weglassen des Instationaritätsfaktors  $f_{in}$  bzw. der Annahme von  $f_{in} = 1$  entstehen, fallen tendenziell größer aus. Durch den Instationaritätsfaktor werden die Schwankungen der Verkehrsstärke innerhalb des Betrachtungszeitraums berücksichtigt. Da makroskopische Modelle jedoch nicht dafür ausgelegt sind, diese Schwankungen abzubilden, wird der Instationaritätsfaktor nicht weiter berücksichtigt.

Ferner werden Abweichungen durch die stark vereinfachte Berechnung von Mischfahrstreifenkapazitäten (siehe Kapitel 2.1) verursacht. Diese Vereinfachungen sind jedoch notwendig und können daher nicht umgangen werden.

Es lässt sich jedoch zusammenfassen, dass Wartezeiten an LSA mittels der vorgestellten Methodik gut abgebildet werden können, wenn reale Werte von Eingangsdaten wie Abflusszeitanteil und Umlaufzeit nicht zu stark von den im Modell hinterlegten abweichen.

## 4 Knotenpunkte mit Vorfahrtbeschilderung

Nach HBS 2015 wird die mittlere Wartezeit eines Fahrzeugs stromfein nach Formel (4.1) berechnet.

$$t_w = \frac{3600}{C} + 900 \cdot \left[ (x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8 \cdot x}{C}} \right] \quad (4.1)$$

$t_w$	mittlere Wartezeit [s]
$x$	Auslastungsgrad $\left(x = \frac{q}{C}\right)$ [-]
$q$	Verkehrsstärke [Fz/h]
$C$	Kapazität [Fz/h]

Die Kapazität eines Stroms wird stark von den Verkehrsstärken und Auslastungsgraden übergeordneter Ströme beeinflusst.

### 4.1 Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen

1. Keine Unterscheidung von Knotenpunkten, die durch Z 205 „Vorfahrt gewähren“ oder Z 206 „Halt. Vorfahrt gewähren.“ geregelt werden
2. Abbiegerkapazitätsminderungen durch erhöhte Verkehrsstärken übergeordneter Ströme und daraus resultierende Wartezeitunahmen eines einzelnen Abbiegers können mittels der Knoten-CR-

Funktion abgebildet werden, während die Wartezeitzunahme infolge der steigenden Verkehrsbelastung des Abbiegers selbst mittels Abbieger-CR-Funktionen berechnet werden.

## 4.2 Attributierung

Die folgende Tabelle 8 listet die sowohl benutzerdefinierten als auch standardmäßig in Visum implementierten Attribute auf, die für die Berechnung der abbiegerfeinen Wartezeiten an VZ-Knoten benötigt werden. Die Spalte „Benutzereingabe empfohlen“ gibt an, ob das Attribut, wenn möglich, mit realen Werten gefüllt werden sollte, um die Ergebnisgüte zu verbessern. Ist in der Spalte, die den voreingestellten Standardwert des Attributs angibt, vermerkt, dass dieser nach einer Berechnungsvorschrift festgelegt wird, so ist die entsprechende Vorschrift in Tabelle 9 zu finden.

Als zusätzliches Element werden für VZ-Knoten Abbiegerstandards in Abhängigkeit von Knotentyp, Abbiegertyp und Stromhierarchie verwendet. Richtwerte zur Belegung der Abbiegerstandards sind in Tabelle 10 gegeben. Auf die Herleitung dieser Werte wird näher im Unterkapitel 4.4 zur Bewertung des Verfahrens eingegangen. Gleiches gilt für die in Tabelle 14 in Kapitel 7.1 enthaltenen Werte für Knotenkapazitäten und Parameterwerte der CR-Funktionen.

Bezugselement	Bezeichnung/ Beschreibung	Attributname	Standardwert	Einheit	Benutzereingabe empfohlen
Abbieger	Anzahl der vom Abbiegerstrom genutzten Fahrstreifen (inklusive Mischfahrstreifen)	ABB_FS	1	-	x
Abbieger	(einer) der vom Abbiegerstrom genutzte(n) Fahrstreifen ist ein Mischfahrstreifen	ABB_MFS	Nein	Ja/ Nein	x
Abbieger	Rechnerische Fahrstreifenanzahl unter Beachtung der Mischfahrstreifen	ABB_FSxMFS	Berechnungsvorschrift	-	-
Abbieger	Abbiegertyp	TypNr	-	-	-
Abbiegerstandard	Stromhierarchie	StromHierarchie	-	-	-
Abbieger	Eingangsgröße für CR-Funktion = Kapazität des Abbiegerstroms	ZWert3	Berechnungsvorschrift	Pkw-E/h	-
Abbieger	Kapazität des Abbiegerstroms	KapIV	Berechnungsvorschrift & Abbiegerstandard	Pkw-E/h	-
Abbieger	Auslastungsunabhängiger Zeitzuschlag des Abbiegerstroms	t0IV	Berechnungsvorschrift	s	-
Knoten	Kapazität	KapIV	Zuordnung nach Fahrstreifenanzahl des Hauptstroms	Pkw-E/h	x
Knoten	Auslastungsunabhängiger Zeitzuschlag für ausgewählte Abbiegerströme	t0IV	0	s	-
Knoten	Knotentypnummer	TypNr	0	-	x
Knoten	Eingestellte Methode für Widerstand am Knoten verwenden	EingestellteMethode WidAmKnoten	Aktivierung in Verfahrensablauf	Ja/ Nein	-
Knoten	Methode für die Berechnung des Widerstands am Knoten	MethodeWid AmKnoten	Zuordnung nach Knotentyp	-	-
Strecke	Ausgangsabbieger erhalten Zeitzuschlag aus Knoten-CR-Funktion	TModelSpezial	Aktivierung für untergeordnete Zufahrten	0/ 1	-

Tabelle 8: Benötigte Attribute VZ-Knoten

Attributname	Berechnungsvorschrift
ABB_FSxMFS	$\text{ABB\_FSxMFS} = \begin{cases} \text{ABB\_FS} - 1 + \frac{1}{\text{Anzahl auf dem MFS geführter Ströme}} & , \text{ wenn } \text{ABB\_MFS} = 1 \\ \text{ABB\_FS} & , \text{ sonst} \end{cases} \quad (3.5)$
KapIV	$\text{KapIV} = \text{Abbiegestandard\_KapIV} \cdot \text{ABB\_FSxMFS} \quad (4.2)$
t0IV	$t0IV = \frac{3600}{\text{KapIV}} \quad (4.3)$
ZWert3	$\text{ZWert3} = \text{KapIV} \quad (3.8)$

Tabelle 9: Berechnungsvorschriften für Attributwerte an VZ-Knoten

Abbiegertyp	Stromhierarchie	Armanzahl des Knotens	Kapazität [Kfz/h]
1 (RA), 2 (G), 3 (LA)	++	3, 4	1 800
1 (RA), 2 (G)	+-	3, 4	1 600
3 (LA)	+-	3, 4	1 000
1 (RA), 2 (G)	-+	3, 4	950
3 (LA)	-+	3	750
		4	700
1 (RA), 2 (G), 3 (LA)	--	3	750
		4	700
4 (UT)	??	3, 4	200

Tabelle 10: Abbiegerstandards VZ-Knoten

Armanzahl	Fahstreifenanzahl der Ströme der Hauptrichtung	Kapazität [Kfz/h]
3	1	2 500
	2	2 800
4	1	2 300
	2	2 800

Tabelle 11: Knotenkapazitäten VZ-Knoten

### 4.3 CR-Funktion

Im Gegensatz zu den vorgeschlagenen CR-Funktionen der Knotenpunkte anderer Regelungsarten kommt für VZ-Knoten die Kombination von Knoten- und Abbieger-CR-Funktionen zum Einsatz. Für aus untergeordneten Zufahrten kommende Abbieger ergibt sich die Wartezeit eines Abbiegers als Summe aus Knoten- und Abbieger-CR-Funktionswert, während für Abbieger der übergeordneten Zufahrten lediglich die Abbieger-CR-Funktionswerte eingehen. Als CR-Funktionstyp können die gleichen Typen genutzt werden, wobei bei der Knoten-CR-Funktion knotenbezogene Attribute als Eingangsattribute dienen und bei der Abbieger-CR-Funktion die entsprechenden abbiegerspezifischen Attribute. Die Knoten- und die Abbieger-CR-Funktionen können unabhängig voneinander parametrisiert werden. In Bezug auf die Abbieger-CR-Funktion ist jedoch zu beachten, dass der gleiche Funktionstyp und auch die gleiche Parametrisierung wie bei LSA verwendet werden muss. Richtwerte zur Parametrisierung der CR-Funktionen sind in Kapitel 7.1 aufgelistet.

**Genutzte CR-Funktion:**

Bezugsobjekt: Knoten + Abbieger

Funktionsvorschrift Knoten-CR-Funktion:

$$t_{\text{akt}} = t_0 + \frac{3600}{4} \cdot a \cdot \left[ (\text{sat} - 1) + \sqrt{(\text{sat} - 1)^2 + \frac{8 \cdot b \cdot \text{sat}}{\text{ZWert3} \cdot a}} \right] \quad (3.9)$$

$t_{\text{akt}}$	auslastungsabhängige Wartezeit [s]
$t_0$	auslastungsunabhängige Wartezeit [s]
$a$	Betrachtungszeitraum (i. d. R.: $a = 1$ h) [h]
$\text{sat}$	Auslastung $\left(\text{sat} = \frac{q}{c \cdot c}\right)$ [-]
$q$	Verkehrsstärke [Pkw-E/h]
$C$	Kapazität [Pkw-E/h]
$c$	Parameter (z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte) [-]
$b$	Parameter [-]
ZWert3	wird als Kapazität $C$ des Knotens festgelegt [Pkw-E/h]

Funktionsvorschrift Abbieger-CR-Funktion:

$$t_{\text{akt}} = t_0 + \frac{3600}{4} \cdot a \cdot \left[ (\text{sat} - 1) + \sqrt{(\text{sat} - 1)^2 + \frac{8 \cdot b \cdot \text{sat}}{\text{ZWert3} \cdot a}} \right] \quad (3.9)$$

$t_{\text{akt}}$	auslastungsabhängige Wartezeit [s]
$t_0$	auslastungsunabhängige Wartezeit [s]
$a$	Betrachtungszeitraum (i. d. R.: $a = 1$ h) [h]
$\text{sat}$	Auslastung $\left(\text{sat} = \frac{q}{c \cdot c}\right)$ [-]
$q$	Verkehrsstärke [Pkw-E/h]
$C$	Kapazität [Pkw-E/h]
$c$	Parameter (z. B. zur Umrechnung von Stundenwerten auf Tageswerte) [-]
$b$	Parameter (für Übereinstimmung mit LSA-HBS-Berechnung $b = 0,5$ ) [-]
ZWert3	wird als Kapazität $C$ des Abbiegerstroms festgelegt (entspricht Vorgehen nach HBS 2015) [Pkw-E/h]

**4.4 Bewertung des Verfahrens**

Das Verfahren zur Bestimmung der Wartezeiten an VZ-Knoten weist im Vergleich zu Knotenpunkten der sonstigen Regelungsarten die größten Schwächen auf. Dies lässt sich auf die in makroskopischen Modellen generell schwer umsetzbare Kapazitätsabhängigkeit von Verkehrsbelastungen anderer Ströme zurückführen. Die Problematik wird durch softwarebedingte Beschränkungen noch verstärkt. Es ist beispielsweise nicht möglich aus übergeordneten Zufahrten kommende Linksabbieger mit einer knotenauslastungsabhängigen Wartezeit zu bedenken. Ebenso ist es nicht möglich, unterschiedlich parametrisierte Knoten-CR-Funktionen für die einzelnen Einbieger/ Geradeausfahrer der untergeordneten Zufahrten zu verwenden, obwohl dies realitätsnäher wäre. Abbildung 4 zeigt, dass schon die Zunahme der  $t_0$ -Zeit untergeordneter Ströme auf Grund der Minderung der Stromkapazität infolge zunehmender Gesamtverkehrsaufkommen des Knotens für einzelne Ströme unterschiedlich ausfällt.

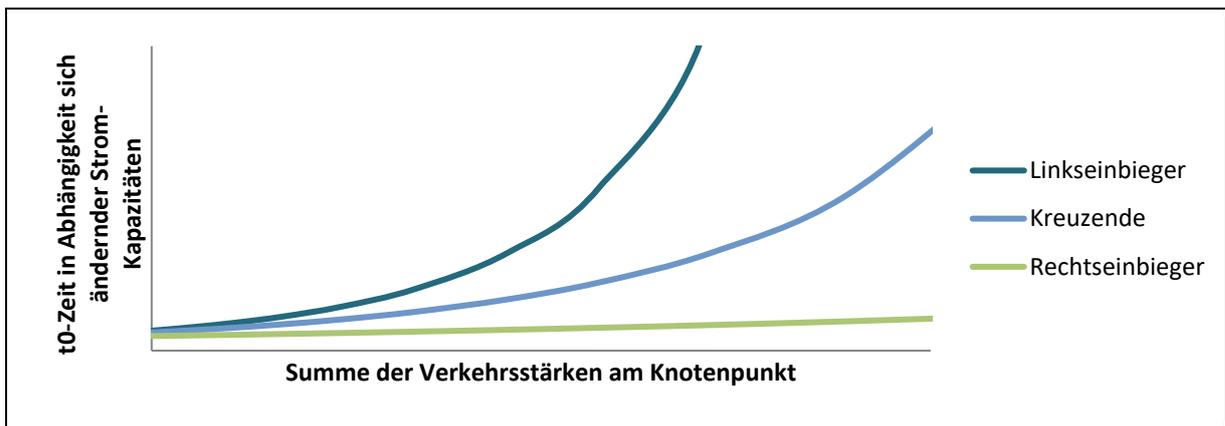


Abbildung 4: Beispielhafte Änderungsverläufe der  $t_0$ -Zeit bei Zunahme der Gesamtverkehrsbelastung eines Knotenpunkts

Um trotzdem eine möglichst gute Abbildung der Wartezeiten zu erzielen, wurden die Eingangsgrößen  $b$ ,  $t_0$  und  $C_{KP}$  der Knoten-CR-Funktion (Formel (3.9)) mithilfe einer Excel-Solver-Rechnung so bestimmt, dass die Abweichungen des Modellwerts möglichst gering ausfallen. Das Vorgehen ist im Folgenden stichpunktartig zusammengefasst.

#### Vorgehen zur Schätzung von Abbiegerstandards und Parametrisierung der Knoten-CR-Funktion:

- Grundlage: Beispielknotenpunkte mit je einem Fahrstreifen pro Strom (Aufstelllänge für Linksabbieger  $n_L = 10$ ) und Beispielbelastungen
- Berechnung HBS:
  - Berechnen der Kapazität eines betrachteten Stroms  $i$  für Beispielbelastung des Knotenpunkts
  - Berechnen der Wartezeit des Stroms  $i$  bei steigendem Auslastungsgrad dieses Stroms  $i$  (Belastung der restlichen Knotenströme wird als konstant angenommen)
- Berechnung Vergleichs-Modellwert:
  - Kapazität eines betrachteten Stroms  $i$  aus Abbiegerstandard
  - Knotenkapazität,  $t_0$ -Zeit des Knotens und Parameter nach Knotentyp
  - Berechnen der Wartezeit des Stroms  $i$  aus der Summe von
    1. Abbieger-CR-Funktion (Parametrisierung wie bei LSA)  
Eingangsgrößen: Kapazität aus Abbiegerstandard und Verkehrsstärke, die Auslastungsgrad der HBS-Kapazität entspricht
    2. Knoten-CR-Funktion  
Eingangsgrößen: Kapazität nach Knotentyp und Verkehrsstärke, die Ausgangsbelastung des Beispielknotens entspricht (mit Ausnahme des angepassten betrachteten Stroms  $i$ )
- Berechnung  $g$ -Wert (HBS; Modellwert) für jeden einzelnen Auslastungsgrad, anschließend Mittelwertbildung über Auslastungsgrade und wiederum Mittelwert über alle betrachteten Ströme und Beispielknotenbelastungen
- Zur Bestimmung von Abbiegerstandards der untergeordneten Ströme und Parametern für Knoten-CR-Funktion Suche nach Maximum für diesen mittleren  $g$ -Wert mittels Excel-Solver

#### Datengrundlage für Solverrechnungen:

4 in Bezug auf Startbelastungen unterschiedliche Knoten

Je 9 Variationen der Startbelastungen je Knoten

Betrachten der 12 Ströme je Knoten (8 sind für Abbiegerstandards/Parametrisierung relevant, da dem Hauptstrom Folgende und Rechtsabbiegende konstante Abbiegerkapazitäten von 1800 bzw. 1600 Kfz/h erhalten, da keine Abhängigkeit von anderen Strömen besteht)

Einzelwerte der Auslastungsgrade der HBS-Kapazität  $0,05 < x < 1,1$  (Schrittweite 0,005)

Die Ergebnisse der Solver-Berechnungen dienen als Anhaltspunkt zur Schätzung von geeigneten Abbiegerstandards und Parametern der CR-Funktionen. Die auf dieser Grundlage vorgeschlagenen Werte finden sich in Tabelle 10 und Tabelle 11 (S. 14) sowie Tabelle 14 (S. 23). Je nach

Knotenpunktzusammensetzung und Verteilung der Verkehrsstärken können jedoch sehr große Abweichungen der Wartezeit im Modell von den HBS-Wartezeiten entstehen. Eine genaue, quantitative Abschätzung der Abweichungen ist auf Grund der Vielzahl an möglichen Kombinationen von Strombelastungen eines Knotenpunkts an dieser Stelle nicht möglich.

Neben dem betrachteten Fall, dass alle Verkehrsströme zugelassen und einstreifig ausgeführt sind, ist eine weitere typische Ausprägung von VZ-Knoten, dass die geradeausführenden Hauptströme je zwei Fahrstreifen aufweisen und die kreuzenden und linkeinbiegenden Ströme nicht zugelassen sind. Um keine neuen Knotentypnummern einführen zu müssen, sollten die Werte für  $b$  möglichst gleichbleiben. Passt man das vorangehend vorgestellte Verfahren zur Solver-Rechnung unter dieser Prämisse an die geänderte Knotenausprägung an, ergeben sich für den Rechtseinbieger-Abbiegerstandard sehr ähnliche Werte wie bereits in den vorangegangenen Berechnungen. Auf die Anpassung der Abbiegerkapazitäten wird daher verzichtet. Die ermittelten Knotenkapazitäten finden sich in Tabelle 11.

Die Auswirkungen der Annahme, dass keine Unterscheidung von Knotenpunkten, die durch Z 205 „Vorfahrt gewähren“ oder Z 206 „Halt. Vorfahrt gewähren.“ geregelt werden, erfolgt, haben im Vergleich zu den vorangehend erläuterten Abweichungen keine Relevanz.

Insgesamt ist festzustellen, dass in Bezug auf das Verfahren zur Wartezeitermittlung an VZ-Knoten noch große Verbesserungspotenziale bestehen. Die Parametrisierung der CR-Funktionen könnte durch eine größere Datengrundlage noch verbessert werden. Es ist davon auszugehen, dass die Wirklichkeitstreue der Wartezeiten jedoch vor allem durch den makroskopischen Charakter des Modells und die Beschränkungen der möglichen Eingangsgrößen der CR-Funktionen begrenzt wird.

## 5 Kreisverkehre

Im HBS 2015 werden die Berechnungsvorschriften zur Wartezeitermittlung an Kreisverkehren nach Minikreisverkehr, Kreisverkehren mit einstreifiger Kreisfahrbahn und Kreisverkehren mit zweistreifigen Kreisfahrbahnen unterschieden. Nach den RAS 2006 weisen Minikreisverkehre als Außendurchmesser 13 m bis 22 m auf, kleine Kreisverkehre mit einstreifiger Kreisfahrbahn 26 m bis 40 m und zweistreifige Kreisverkehre 40 m bis 60 m. Kreisverkehre mit zweistreifigen Kreisfahrbahnen werden hier nicht näher betrachtet. Eine Erweiterung der Methodik auf diesen Kreisverkehrstyp ist jedoch gut umsetzbar.

In Formel (5.1) sind die im HBS enthaltenen Berechnungsvorschriften für Zufahrtskapazitäten von Minikreisverkehren und kleinen Kreisverkehren zusammengefasst.

$$C_{\text{Zufahrt}} = \left(1 - \frac{t_{\text{min}} \cdot q_k}{3600}\right) \cdot \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_k}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{\text{min}}\right)} \cdot f_{F,R}$$

$$t_{\text{min}} = \begin{cases} 1,57 + \frac{18,61}{D} & , \text{ wenn kleiner Kreisverkehr vorliegt} \\ 2,5 & , \text{ wenn Minikreisverkehr vorliegt} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$t_f = \begin{cases} 2,84 + \frac{2,07}{D} & , \text{ wenn kleiner Kreisverkehr vorliegt} \\ 3,1 & , \text{ wenn Minikreisverkehr vorliegt} \end{cases}$$

$$t_g = \begin{cases} 3,86 + \frac{8,27}{D} & , \text{ wenn kleiner Kreisverkehr vorliegt} \\ 4,7 & , \text{ wenn Minikreisverkehr vorliegt} \end{cases}$$

$C_{\text{Zufahrt}}$	Kapazität einer Zufahrt des Kreisverkehrs [Pkw-E/h]
$t_{\text{min}}$	Mindestzeitlücke zwischen Fahrzeugen im Kreis [s]
$q_k$	Verkehrsstärke im Kreis [Pkw-E/h]
$t_f$	Folgezeitlücke [s]
$t_g$	Grenzzeitlücke [s]
$D$	Außendurchmesser des Kreisverkehrs [m]
$f_{F,R}$	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von bevorrechtigten Fußgänger- und Radverkehrsströmen [-]

Die Verkehrsstärke im Kreis  $q_k$  wird für jede Zufahrt separat für den Abschnitt der Kreisfahrbahn auf Höhe der betrachteten Zufahrt bestimmt. Zur Berechnung von  $q_k$  werden die Verkehrsstärken relevanter Ströme summiert.

Mittels der Zufahrtskapazität wird die Wartezeit nach der gleichen Berechnungsvorschrift wie für VZ-Knoten (vorangegangenes Kapitel 4) berechnet (Formel (4.1)).

## 5.1 Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen

1. Der Kreisverkehrstyp kann anhand des Außendurchmessers festgelegt werden
2. Gleichmäßige Verteilung der Gesamtverkehrsstärke des Knotenpunkts auf alle Ströme
3. Wendefahrten werden nicht berücksichtigt (Modifikation zur Berücksichtigung jedoch gut möglich)
4. Zunächst keine Berücksichtigung von zweistreifigen Kreisverkehren (Methodik kann jedoch gut auf diese erweitert werden)

## 5.2 Attributierung

Die folgende Tabelle 12 listet die sowohl benutzerdefinierten als auch standardmäßig in Visum implementierten Attribute auf, die für die Berechnung der abbiegerfeinen Wartezeiten an Kreisverkehren benötigt werden. Die Spalte „Benutzereingabe empfohlen“ gibt an, ob das Attribut, wenn möglich, mit realen Werten gefüllt werden sollte, um die Ergebnisgüte zu verbessern.

Bezugselement	Bezeichnung/ Beschreibung	Attributname	Standardwert	Einheit	Benutzereingabe empfohlen
Knoten	Auslastungsunabhängiger Zeitzuschlag für ausgewählte Abbiegerströme	t0IV	0	s	x
Knoten	Knotentypnummer	TypNr	0	-	x
Knoten	Eingestellte Methode für Widerstand am Knoten verwenden	EingestellteMethode WidAmKnoten	Aktivierung in Verfahrensablauf	Ja/ Nein	-
Knoten	Methode für die Berechnung des Widerstands am Knoten	MethodeWid AmKnoten	Zuordnung nach Knotentyp	-	-
Knoten	Außendurchmesser des Kreisverkehrs	KP_KV_D	30	m	x
Knoten	Außendurchmesser des KV (wird in CR-Funktion abgerufen)	ZWert3	Berechnungs- vorschrift	m	-
Strecke	Ausgangsabbieger erhalten Zeitzuschlag aus Knoten-CR-Funktion	TModelSpezial	Aktivierung für alle Zufahrten	0/ 1	-

Tabelle 12: Benötigte Attribute KV

## 5.3 CR-Funktion

Als CR-Funktionstyp wird wie auch schon bei den in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Knotentypen ein Funktionsterm genutzt, der einer modifizierten Akcelik-Funktion entspricht. Die Funktionsvorschrift ist in Formel (5.2) dargestellt und ist als Knoten-CR-Funktion konzipiert. Richtwerte zur Parametrisierung der CR-Funktion sind in Kapitel 7.1 aufgelistet.

### Genutzte CR-Funktion:

Bezugsobjekt: Knoten

Funktionsvorschrift:

$$t_{\text{akt}} = t_0 + \frac{3600}{4} \cdot a \cdot \left[ (\text{sat} - 1) + \sqrt{(\text{sat} - 1)^2 + \frac{8 \cdot b \cdot \text{sat}}{C_{\text{Zufahrt}} \cdot a}} \right] \quad (5.2)$$

$t_{\text{akt}}$	auslastungsabhängige Wartezeit [s]
$t_0$	auslastungsunabhängige Wartezeit [s]
$a$	Betrachtungszeitraum (i. d. R.: $a = 1 \text{ h}$ ) [h]
$\text{sat}$	Auslastung $\left( \text{sat} = \frac{q}{4 \cdot C_{\text{Zufahrt}} \cdot c} \right)$ [-]
$q$	Verkehrsstärke [Pkw-E/h]
$C_{\text{Zufahrt}}$	Kapazität einer Zufahrt des Kreisverkehrs (wird in der CR-Funktion entsprechend (5.1) berechnet) [Pkw-E/h]
$c$	Parameter (z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte) [-]
$b$	Parameter (für Übereinstimmung mit VZ-HBS-Berechnung $b = 1$ ) [-]

Das Besondere der Methodik zur Wartezeitermittlung an Kreisverkehren ist der Umstand, dass die Kapazität einer einzelnen Zufahrt in die Knoten-CR-Funktion eingeht und diese Kapazität auch erst in der CR-Funktion selbst berechnet wird, also in Anlehnung an das HBS auslastungsabhängig bestimmt wird. Da in den Abbieger- bzw. Knoten-CR-Funktionen jeweils nur auf Abbieger- bzw. Knoteneigenschaften Bezug genommen werden kann, ist es nötig zur Berechnung von einer gleichmäßigen Verteilung der Verkehrsbelastung des gesamten Knotens auf die einzelnen Ströme auszugehen. So kann das Berechnungsverfahren nach HBS für Zufahrtskapazitäten  $C_{\text{Zufahrt}}$  (Formel (5.1)) übernommen werden. Die hierfür benötigte Verkehrsstärke im Kreis  $q_k$  kann unter der genannten Annahme für dreiarmlige bzw. vierarmige Kreisverkehre in Abhängigkeit der Gesamtverkehrsstärke des Knotenpunkts bestimmt werden (Formel (5.3) bzw. (5.4)).

In Anlehnung an die RAS<sub>t</sub> wird für Außendurchmesser von 13 m bis 22 m das Berechnungsverfahren für Minikreisverkehre angewendet und bei 23 m bis 40 m das kleiner Kreisverkehre. In Abhängigkeit des Außendurchmessers des Kreisverkehrs muss manuell die im Knoten-Attribut „T0IV“ hinterlegte  $t_0$ -Zeit gewählt werden.

Bestimmung  $q_k$  an 3-armigen Kreisverkehren:

$$q_k = \begin{cases} \frac{1}{6} \cdot q_{\text{KP}} & , \text{ wenn kleiner Kreisverkehr vorliegt} \\ \left( \frac{1}{6} + 0,15 \cdot \frac{2}{6} \right) \cdot q_{\text{KP}} & , \text{ wenn Minikreisverkehr vorliegt} \end{cases} \quad (5.3)$$

Bestimmung  $q_k$  an 4-armigen Kreisverkehren:

$$q_k = \begin{cases} \frac{3}{12} \cdot q_{\text{KP}} & , \text{ wenn kleiner Kreisverkehr vorliegt} \\ \left( \frac{3}{12} + 0,15 \cdot \frac{3}{12} \right) \cdot q_{\text{KP}} & , \text{ wenn Minikreisverkehr vorliegt} \end{cases} \quad (5.4)$$

$q_k$	Verkehrsstärke im Kreis [Pkw-E/h]
$q_{\text{KP}}$	Gesamtverkehrsstärke Knotenpunkt [Pkw-E/h]

## 5.4 Bewertung des Verfahrens

Die Abweichungen, die durch die vorgeschlagene Methodik im Vergleich zur Berechnung mittels HBS entstehen, hängen davon ab, wie gut die Annahme zutrifft, dass sich die Gesamtverkehrsstärke des Knotenpunkts gleichmäßig auf alle Zufahrten des Kreisverkehrs aufteilt. Trifft diese Annahme voll zu, entspricht der auslastungsabhängige Wartezeitanteil jeder Zufahrt dem des HBS (wenn kein kapazitätsmindernder Einfluss von Fuß- oder Radverkehrsströmen besteht).

Insgesamt ist das Verfahren zur Wartezeitberechnung an Kreisverkehren als gut an das Berechnungsverfahren nach HBS angepasst einzuordnen. Zudem werden nur wenig Eingangsgrößen benötigt, was einen geringen Eingabeaufwand für den Anwender bedeutet.

## 6 Knotenpunkte mit Regelungsart „Rechts vor Links“

Im HBS wird für Knotenpunkte mit Regelungsart „Rechts vor Links“ nicht die mittlere Wartezeit eines Fahrzeugs, sondern die größte mittlere Wartezeit in der für die Verkehrsqualität maßgebenden Zufahrt bestimmt. Außerdem wird auf die Berechnung einer Kapazität verzichtet, sodass als alleinige Eingangsgröße die Gesamtverkehrsstärke des Knotenpunkts dient. Die im HBS verwendeten Funktionsvorschriften für drei- (Formel (6.1)) bzw. vierarmige (Formel (6.2)) RvL-Knoten lauten wie folgt:

Funktionsvorschrift für 3-armige RvL-Knoten:

$$t_{W, \text{maßg}} = \begin{cases} 5,1936 \cdot e^{0,0011 \cdot q_{KP}} & , \text{ wenn } 300 \text{ Kfz/h} \leq q_{KP} \leq 600 \text{ Kfz/h} \\ 4,9373 \cdot e^{0,0012 \cdot q_{KP}} & , \text{ wenn } q_{KP} > 600 \text{ Kfz/h} \end{cases} \quad (6.1)$$

Funktionsvorschrift für 4-armige RvL-Knoten:

$$t_{W, \text{maßg}} = \begin{cases} 0,000035 \cdot q_{KP}^2 - 0,0224 \cdot q_{KP} + 11,773 & , \text{ wenn } 300 \leq q_{KP} \leq 600 \text{ Kfz/h} \\ 0,000108 \cdot q_{KP}^2 - 0,1065 \cdot q_{KP} + 35,908 & , \text{ wenn } 600 < q_{KP} \leq 1000 \text{ Kfz/h} \end{cases} \quad (6.2)$$

$t_{W, \text{maßg}}$	größte mittlere Wartezeit in der für die Verkehrsqualität des Knotenpunkts maßgebenden Zufahrt [s]
$q_{KP}$	Summe der Kfz-Verkehrsstärken aller Zufahrten des betrachteten Knotenpunkts [Fz/h]

### 6.1 Knotentypspezifische Annahmen und Voraussetzungen

1. Zur Ermittlung der Abbiegerwartezeiten im Modell kann die im HBS berechnete größte mittlere Wartezeit der maßgebenden Zufahrt herangezogen werden
2. Die Wartezeitfunktionen bilden die Wartezeit auch außerhalb der gesetzten Grenzen für ein makroskopisches Modell gut ab
3. RvL-Knotenpunkte werden lediglich an Knotenpunkten mit maximal zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und einstreifigen Knotenpunktzufahrten verwendet

### 6.2 Attributierung

Zur Berechnung der Wartezeit am Knoten werden auf Grund der geringen Anzahl an Eingangsgrößen auch nur wenige Attribute benötigt. Es muss lediglich der Knotentyp festgelegt werden sowie die richtige Methode zur Widerstandsermittlung am Knoten. Dies wird in Tabelle 13 wiedergegeben.

Bezugselement	Bezeichnung/ Beschreibung	Attributname	Standardwert	Einheit	Benutzereingabe empfohlen
Knoten	Knotentypnummer	TypNr	0	-	x
Knoten	Eingestellte Methode für Widerstand am Knoten verwenden	EingestellteMethode WidAmKnoten	Aktivierung in Verfahrensablauf	Ja/ Nein	-
Knoten	Methode für die Berechnung des Widerstands am Knoten	MethodeWid AmKnoten	Zuordnung nach Knotentyp	-	-
Strecke	Ausgangsabbieger erhalten Zeitzuschlag aus Knoten-CR- Funktion	TModelSpezial	Aktivierung für alle Zufahrten	0/ 1	-

Tabelle 13: Benötigte Attribute RvL-Knoten

### 6.3 CR-Funktion

Da in den im HBS angegebenen Funktionsvorschriften zur Berechnung der Wartezeit als Eingangsgröße lediglich die Gesamtverkehrsstärke des Knotenpunkts benötigt wird (Formeln (6.1) und (6.2)), lassen sich diese Berechnungsverfahren grundsätzlich gut in CR-Funktionen umwandeln. Es müssen lediglich leichte Anpassungen des Funktionsterms erfolgen, um die Grundanforderungen von CR-Funktionen nach monotoner Steigung und Stetigkeit des Funktionsverlaufs zu erfüllen.

Um die Funktionsvorschrift für dreiarmlige RvL-Knoten anzupassen wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Weglassen der unteren Grenze für Verkehrsstärke (300 Pkw-E/h)
- Einfügen des Parameters  $c$

Die geänderte und als CR-Funktion implementierte Funktion ist in Formel (6.3) dargestellt. Der Funktionsterm impliziert eine  $t_0$ -Zeit von etwa 5 s an dreiarmligen RvL-Knoten.

Die Berechnungsmethodik zu vierarmigen RvL-Knoten bedarf stärkerer Anpassungen, da sie sonst in Visum nicht als CR-Funktion ausgeführt werden kann. Es wurde Folgendes geändert:

- Ziel: Erzeugen einer monotonen Steigung  
Anpassung: Einfügen einer weiteren Fallunterscheidung am Minimum der für geringere Verkehrsstärken vorgesehenen Funktionsvorschrift ( $q = 320$  Pkw-E/h;  $t_{akt} = 8,189$  s), wodurch eine  $t_0$ -Zeit von etwa 8 s an 4-armigen RvL-Knoten entsteht
- Ziel: Stetigkeit des Funktionsverlaufs  
Anpassung: Verschieben der zweiten Fallunterscheidung von im HBS angegebenen 600 Pkw-E/h hin zu dem nächsten Schnittpunkt der beiden Funktionsgraphen (dieser liegt bei rund 610,54 Pkw-E/h und wird in der benutzerdefinierten CR-Funktion genau berechnet, sodass keine Rundungsfehler entstehen)
- Weglassen der oberen Grenze für Verkehrsstärke (1 000 Pkw-E/h)
- Einfügen des Parameters  $c$

Die so abgeänderte Form der Funktionsvorschrift findet sich in Formel (6.4).

#### Genutzte CR-Funktionen:

Bezugsobjekt: Knoten

Funktionsvorschrift für 3-armige RvL-Knoten:

$$t_{akt} = \begin{cases} 5,1936 \cdot e^{0,0011 \frac{q}{c}} & , \text{ wenn } \frac{q}{c} \leq 600 \text{ Pkw-E/h} \\ 4,9373 \cdot e^{0,0012 \frac{q}{c}} & , \text{ wenn } \frac{q}{c} > 600 \text{ Pkw-E/h} \end{cases} \quad (6.3)$$

Funktionsvorschrift für 4-armige RvL-Knoten:

$$t_{\text{akt}} = \begin{cases} 8,189 & , \text{ wenn } \frac{q}{c} \leq 320 \text{ Pkw-E/h} \\ 0,000035 \cdot \left(\frac{q}{c}\right)^2 - 0,0224 \cdot \frac{q}{c} + 11,773 & , \text{ wenn } 320 < \frac{q}{c} \leq 610 \text{ Pkw-E/h}^* \\ 0,000108 \cdot \left(\frac{q}{c}\right)^2 - 0,1065 \cdot \frac{q}{c} + 35,908 & , \text{ wenn } \frac{q}{c} > 610 \text{ Pkw-E/h}^* \end{cases} \quad (6.4)$$

$t_{\text{akt}}$	auslastungsabhängige Wartezeit [s]
$q$	Verkehrsstärke [Pkw-E/h]
$c$	Parameter (z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte) [-]
*	genauer Wert wird in CR-Funktion berechnet ( $\approx 610,54$ Pkw-E/h)

## 6.4 Bewertung des Verfahrens

Das vorgestellte Verfahren gibt bis auf minimale Abweichungen genau die Werte des HBS wieder. Die errechneten Abbiegerwartezeiten werden jedem Knotenstrom zugeteilt. Die  $t_0$ -Zeiten liegen mit 5 bzw. 8 s vergleichsweise hoch. Die CR-Funktionen könnten in dieser Hinsicht jedoch weiter angepasst werden. Inwiefern sich die maximale Wartezeit der maßgebenden Zufahrt eines RvL-Knotens zur Verwendung als mittlere Wartezeit in einem makroskopischen Modell eignet, stellt eine Fragestellung dar, die an dieser Stelle nicht weiter untersucht werden soll.

## 7 Typische Parametersätze

Diese Parameter sind als erster Vorschlag zu sehen und können/sollen im Rahmen der Kalibrierung des Modells angepasst werden.

### 7.1 Parametrisierung CR-Funktionen

Bezugs- objekt	Funktionstyp	Parameter - Name	Parameter - Beschreibung	Parameter - Wert			
				LSA	VZ	KV	RvL
Abbieger	Akcelik_ZWert3	a	Betrachtungszeitraum [h]	1,0			
		b		0,5			
		c	Parameter z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte [-]	1,0			
		ZWert3	Abbiegerkapazität [Pkw-E/h]	KapIV			
Knoten	Akcelik_ZWert3	a	Betrachtungszeitraum [h]	-	1,0	-	-
		b		-	5,0	-	-
		c	Parameter z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte [-]	-	1,0	-	-
		ZWert3	Knotenkapazität [Pkw-E/h]	-	KapIV	-	-
Knoten	Kreisverkehr_4armig Kreisverkehr_3armig	a	Betrachtungszeitraum [h]	-	-	1,0	-
		b		-	-	1,0	-
		c	Parameter z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte [-]	-	-	1,0	-
		ZWert3	Außendurchmesser des KV [m]	-	-	KP_ KV_D	-
Knoten	RvL_4armig RvL_3armig	c	Parameter z. B. zur Umrechnung von Tageswerten auf Stundenwerte [-]	-	-	-	1,0

Tabelle 14: Parametrisierung CR-Funktionen

## 7.2 Mischfahrstreifen

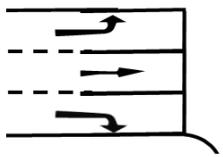
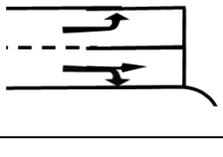
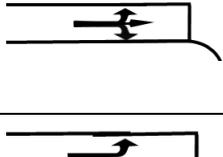
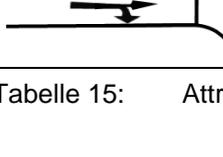
Skizze Fahrstreifenaufteilung	Strom	ABB_FS	ABB_MFS	ABB_FSxMFS
	Links	1	-	1,0
	Geradeaus	1	-	1,0
	Rechts	1	-	1,0
	Links	1	-	1,0
	Geradeaus	1	x	0,5
	Rechts	1	x	0,5
	Links	1	x	0,3
	Geradeaus	1	x	0,3
	Rechts	1	x	0,3
	Links	1	-	1,0
	Geradeaus	2	x	1,5
	Rechts	1	x	0,5
	Links	1	x	0,5
	Geradeaus	1	-	1,0
	Rechts	1	x	0,5

Tabelle 15: Attributwerte für Mischfahrstreifen

## 8 Kurzanleitung

### 8.1 Einmalig vor der ersten Anwendung auszuführende Schritte

1. Kopieren und Einfügen der \*.dll- und \*.bmp-Dateien der benutzerdefinierten CR-Funktionen unter %APPDATA%\PTV Vision\PTV Visum 16\User\VDF-DLLs und Neustart von Visum
2. Einfügen der benutzerdefinierten Attribute aus der Datei „BenutzerdefAttribute.net“ (oder mittels des Skripts „UDA\_Create\_benutzerdefAtt.vbs“)
3. Implementieren der Abbiegerstandards aus Datei „Abbiegerstandards.net“
4. Einfügen der zusätzlichen Verfahrensschritte aus der Datei „Verfahrensschritte.xml“ in den Verfahrensablauf vor den Schritt der Umlegung
5. Zuordnen der CR-Funktionsstypen entsprechend Abbildung 2 und Abbildung 3 auf S. 8 und Parametrisierung nach Tabelle 14 auf S. 23

### 8.2 Notwendige Schritte der Attributierung an Einzelknoten

1. Festlegen und Vergeben von Knotentypen entsprechend Tabelle 2 auf S. 5
2. Für VZ-Knoten: Vergeben einer Knotenkapazität zur Parametrisierung der Knoten-CR-Funktion

### 8.3 Optionale Schritte der Attributierung an Einzelknoten

Die folgenden Arbeitsschritte dienen dazu, die Realitätsnähe der Wartezeit im Vergleich zur Berechnung mit den hinterlegten Standardwerten zu verbessern. Die Rangfolge der Schritte soll einen Anhaltspunkt dafür liefern, durch welche Anpassungen die größten Verbesserungen zu erwarten sind.

1. LSA und VZ: Überprüfen der Hauptstromrichtungen und Anpassen der Fahrstreifenaufteilung mittels der Attribute ABB\_FS und ABB\_MFS  
KV: Angabe des Außendurchmessers des KV in KP\_KV\_D und der  $t_0$ -Zeit in t0IV(Knoten)
2. LSA: Angabe der Umlaufzeit KP\_tU und der Abflusszeitanteile mittels ABB\_fA und ABB\_fA\_manuell
3. LSA: Berücksichtigung von Koordinierungen mittels des Progressionsfaktors ABB\_fk
4. LSA: Anpassung der Sättigungsverkehrsstärke ABB\_qS

### 8.4 Ergänzung der Methodik zur Verwendung an Oberknoten

Für Oberknoten gilt die gleiche Vorgehensweise wie für einfache Knotenpunkte. Sind neben einfachen Knoten auch Oberknoten in der Netzdatei vorhanden, können die zusätzlichen benutzerdefinierten Attribute sowie Verfahrensschritte wie folgt in die Versionsdatei eingelesen werden:

1. Einfügen der benutzerdefinierten Attribute für Oberknoten und Oberabbieger aus der Datei „BenutzerdefAttribute\_Oberknoten.net“
2. Einfügen der zusätzlichen Verfahrensschritte aus der Datei „Verfahrensschritte\_Oberknoten.xml“ in den Verfahrensablauf vor den Schritt der Umlegung (enthält ebenfalls die Verfahrensschritte für einfache Knotenpunkte)

Die Attributierung der Oberknoten und Oberabbieger erfolgt auf gleiche Art und Weise wie bei einfachen Knoten. Werden die gleichen Attributwerte gewählt, ergeben sich bei gleichen Strombelastungen die gleichen Wartezeiten an Oberknoten und Knoten.

## 9 Beispielnetz

Dieser Dokumentation liegt eine Beispielversionsdatei für Visum 16 bei. In der Datei sind neben Anbindungsknoten acht weitere Knotenpunkte verschiedener Knotentypen (vgl. Tabelle 2) enthalten. Die Zufahrten der Knotenpunkte sind dabei jeweils an einen individuellen Bezirk angebunden, sodass den Verkehrsteilnehmern keine Wegewahl ermöglicht wird, also mit Sicherheit vorhergesagt werden kann, welche Abbiegerbelastungen zu Stande kommen. Das Netz ist in Abbildung 5 dargestellt.

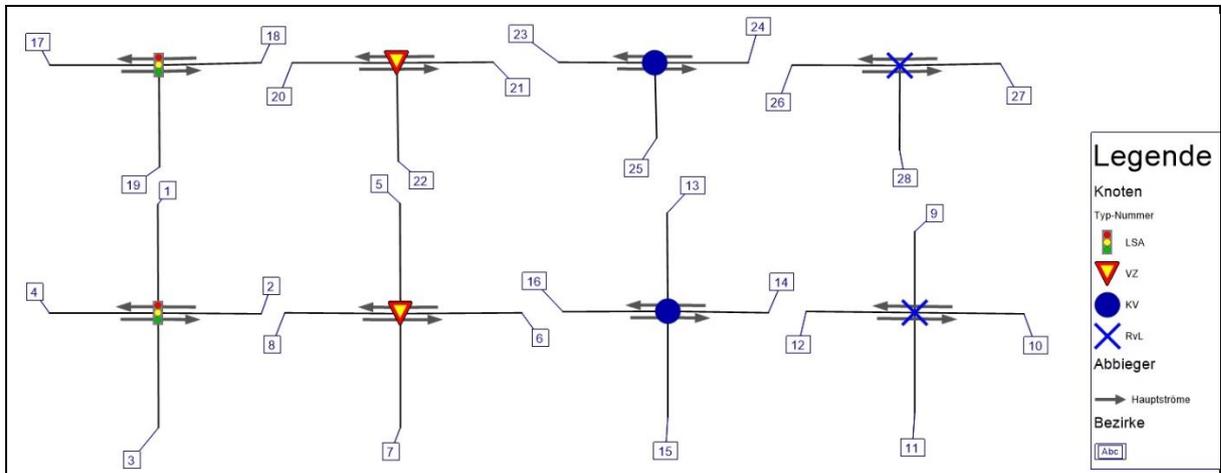


Abbildung 5: Beispielnetz

Der Verfahrensablauf und die CR-Funktionen sind entsprechend den Erläuterungen in Kapitel 2.4 eingestellt. Zusätzliche Schritte im Verfahrensablauf bilden die Schritte der Umlegung und ein Verfahrensschritt zur Erhöhung der Nachfrage (Abbildung 6). In diesem Schritt wird Nachfragematrix 1 „Pkw“, die umgelegt wird, mit dem Faktor 1,1 multipliziert, um das Verhalten der CR-Funktionen bei steigenden Verkehrsstärken beobachten zu können. Es ist daher empfehlenswert, die Ausgangsnachfrage in einer anderen Matrix zu sichern. Zu diesem Zweck wurde Matrix 2 „Pkw\_Orig“ angelegt.

Verfahrensablauf					
Anzahl: 13	Ausführung	Aktiv	Verfahren	Bezugsobjekt(e)	Variante/Datei
1	▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Init Umlegung		Alle
2		<input type="checkbox"/>	Kombination von Matrizen	Matrix([NR] = 1):=Matrix([NR] = 1)*1.1	
3		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ABB_fA	
4		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Knoten - EingestellteMethodeWidAmKnoten	
5		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Knoten - MethodeWidAmKnoten	
6		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Strecken - TModelSpezial	
7		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ABB_MFS	
8		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ABB_FSxMFS	
9		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - KapIV	
10		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - t0IV	
11		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Knoten - ZWert3	
12		<input checked="" type="checkbox"/>	Attribut ändern	Abbieger - ZWert3	
13		<input checked="" type="checkbox"/>	IV-Umlegung	P PKW	Sukzessivumlegung

Abbildung 6: Verfahrensablauf der Beispielversionsdatei

Nach Durchführung einer Umlegung können zur besseren Anschaulichkeit die Knotenströme angezeigt werden. Diese sind so eingestellt, dass die Breite des Balkens Aufschluss über die Belastung gibt (max. Skalierung bei 200 Fzg) und sich die Farbe je nach Wartezeitdauer ändert. Die Farbgebung für bestimmte Wartezeitintervalle ist dabei abhängig von der nach HBS festgelegten Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs. Diese Einteilung ersetzt jedoch in keinem Fall das Bewertungsverfahren nach HBS sondern soll nur eine grobe Orientierungshilfe bieten, wie die Wartezeiten der einzelnen Abbieger einzuschätzen sind. Ein Beispiel für die Darstellung ist in Abbildung 7 zu sehen. Zusätzlich zu den Abbiegerströmen sind die Verkehrsbelastungen der anliegenden Strecken aufgetragen. Die Grafikparameter-Einstellungen sind in der Datei „Knotenstroeme.gpa“ hinterlegt.

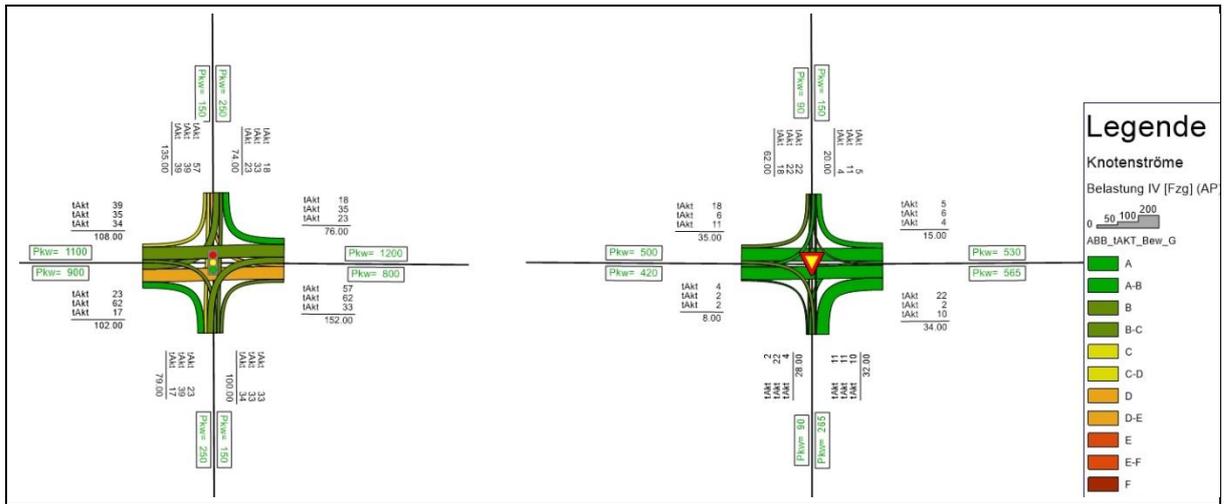


Abbildung 7: Knotenstromdarstellung in der Beispielfversionsdatei