

# Kopplung makroskopischer und mikroskopischer Verkehrsmodelle - ein Verfahren für die Integration von großräumiger Planung und Detailplanung

M. Fellendorf<sup>a,1</sup>, M. Friedrich<sup>b,2</sup> und P. Vortisch<sup>c,3</sup>

<sup>a</sup> PTV AG  
Stumpfstr. 1, D-76131 Karlsruhe, Germany

<sup>b</sup> PTV AG  
Stumpfstr. 1, D-76131 Karlsruhe, Germany

<sup>c</sup> PTV AG  
Stumpfstr. 1, D-76131 Karlsruhe, Germany

**Kurzfassung:** Im Verkehrswesen wird je nach Einsatzbereich mit sehr speziellen Netz- und Wirkungsmodellen gearbeitet. EDV-Anwendungen für die strategische Planung, die operative Planung oder die Steuerung des Verkehrsablaufes betrachten das Netz mit einem unterschiedlichen Detaillierungsgrad. Diese Unterschiede führen dazu, dass ein Austausch von Daten zwischen verschiedenen Einsatzbereichen aufwendig ist. Ziel der Kopplung makroskopischer und mikroskopischer Datenmodelle ist es, diesen Datenaustausch zu vereinfachen. Makroskopische Modelle liefern dabei die Grunddaten des Verkehrsangebotes und der Verkehrsnachfrage. Diese Daten bilden den Ausgangspunkt für mikroskopische Simulationsmodelle, die sich für eine genaue Analyse des Verkehrsablaufes eignen. Die mikroskopische Simulation liefert als Ergebnis Messwerte in Form von Wartezeiten und Fahrzeiten, die für die strategische Planung mit makroskopischen Modellen verwendet werden können.

**Schlagworte:** Makroskopisches Netzmodell, Mikroskopisches Netzmodell, Umlegung, Simulation

---

<sup>1</sup> E-mail: martin.fellendorf@ptv.de, URL: [www.ptv.de](http://www.ptv.de)

<sup>2</sup> E-mail: markus.friedrich@ptv.de, URL: [www.ptv.de](http://www.ptv.de)

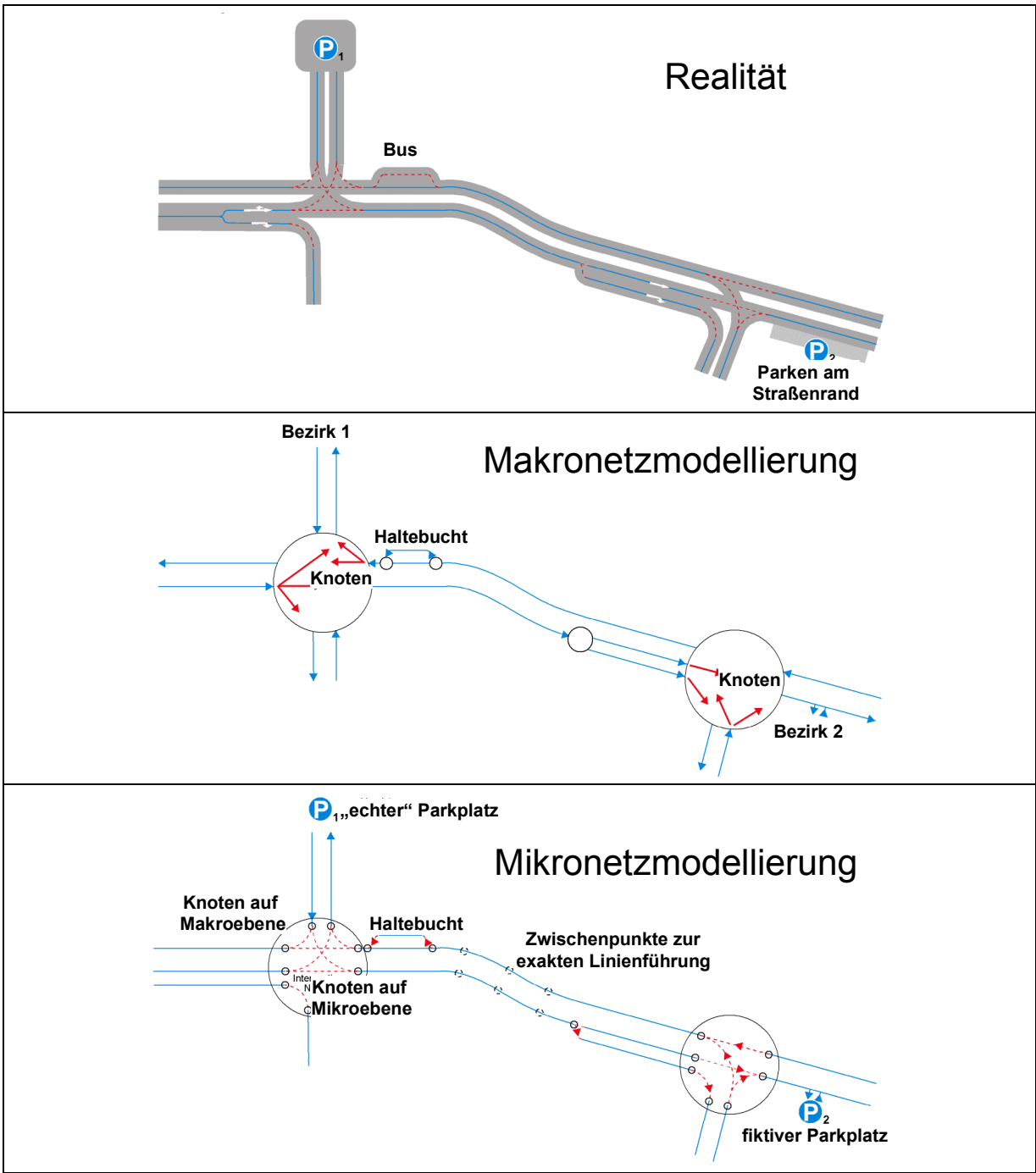
<sup>3</sup> E-mail: peter.vortisch@ptv.de, URL: [www.ptv.de](http://www.ptv.de)

# 1 Einleitung

Makroskopische Verkehrsmodelle werden für die Modellierung großer Räume eingesetzt, d.h. sie beschreiben das Verkehrsgeschehen in einer Stadt, einer Region oder auch in einem ganzen Land. Mikroskopische Modelle werden im Gegensatz dazu für Detailuntersuchungen eingesetzt und betrachten vergleichsweise kleine Untersuchungsräume, die üblicherweise von einer einzelnen Kreuzung bis zu einer Stadt oder einem Teilnetz reichen.

Für die Anforderungen makroskopischer Modelle genügt es, das Verkehrsangebot durch ein relativ einfaches Netzmodell zu beschreiben: Verkehrszellen definieren die Quellen und Ziele der Verkehrsnachfrage. Knoten stellen Kreuzungen oder Haltestellen dar. Sie werden durch Kanten verbunden, die so das Straßen- und Schienennetz festlegen. ÖV-Linien werden als Folge von Knoten bzw. Haltestellen und durch einen Fahrplan abgebildet.

Die Anforderungen mikroskopischer Modelle, die den Verkehrsfluss einzelner Fahrzeuge und die Steuerungslogik der Signalanlagen simulieren, erfordern dagegen eine wesentlich detailliertere Beschreibung der Verkehrsinfrastruktur. Hier wird das Straßennetz durch einzelne Fahrstreifen und das Schienennetz durch die einzelnen Gleise beschrieben. An Kreuzungen sind Angaben über die Kreuzungstopologie (Zahl der Fahrstreifen), über die Kreuzungsgeometrie (Länge von Aufweitungen, Radien) und über die genaue Knotensteuerung erforderlich. Im Öffentlichen Verkehr genügt es nicht mehr nur die Lage einer Haltestelle anzugeben, vielmehr müssen die exakten Haltepunkte dieser Haltestelle in jeder Fahrtrichtung, d.h. die Lage der Masten und die bauliche Gestaltung (Haltebucht, Haltekap) bekannt sein.



**Abbildung 1:** Gegenüberstellung einer makroskopischen und einer mikroskopischen Netzmodellierung

Aufgrund dieser sehr unterschiedlichen Datenanforderungen basieren heute verfügbare makroskopische und mikroskopische Verkehrsmodelle auf Netzmodellen, die nicht oder nur sehr begrenzt kompatibel sind. Für einen direkten Export von einem makroskopischen in ein mikroskopisches Modell fehlen i.d.R. umfangreiche Detaildaten, so dass ein vollständiger Export nicht möglich ist und umfangreiche manuelle Nacharbeiten im mikroskopischen Modell erforderlich sind.

Trotzdem gibt es von Seiten der Verkehrsingenieure ein berechtigtes Interesse an einer nahtlosen Verknüpfung beider Modelltypen. Auf der makroskopischen Ebene sind heute umfassende digitale Daten sowohl über das Verkehrsangebot (z.B. aus Geografischen Informationssystemen und Fahrplanauskunftssystemen) als auch über die Verkehrsnachfrage (aus Nachfragemodellen und Umlegungen) verfügbar, die man gerne in den mikroskopischen Modellen weiter nutzen möchte. Umgekehrt ist eine Übernahme der mikroskopischen Ergebnisse, zum Beispiel in Form von Fahrzeiten öffentlicher Verkehrsmittel oder als mittlere Pkw-Wartezeiten, in das makroskopischen Modell wünschenswert.

## 2 Netzinfrastruktur

### 2.1 Aufbau eines Netzmodells

Im Gegensatz zu früher, als der Aufbau eines Netzmodells mit einem zeitaufwendigen manuellen Datenerfassungsaufwand, z.B. über ein Digitalisierbrett, verbunden war, gibt es heute zahlreiche Quellen für digitale Daten, die als Grundlage für ein Netzmodell zur Verfügung stehen:

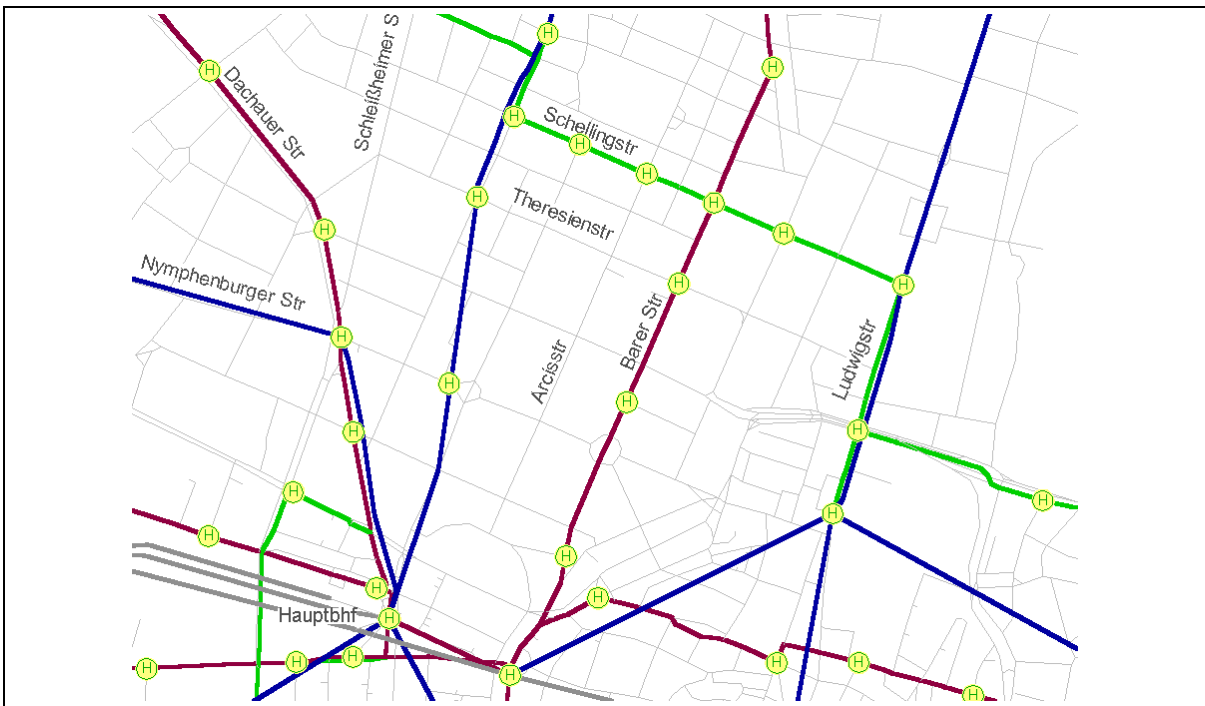
- *Straßennetz*: Kommerzielle Anbieter (NavTech [www.navtech.com](http://www.navtech.com), Teleatlas [www.teleatlas.com](http://www.teleatlas.com)) bieten digitale Straßennetzdaten für ganz Europa an. Diese Daten werden zum Beispiel von Routensuchprogrammen oder Navigationssystemen verwendet und stellen aufgrund ihrer Verbreitung einen Quasi-Standard dar.
- *ÖV-Angebot*: Daten über das ÖV-Angebot, d.h. über Haltestellen, Linienwege und Fahrpläne sind derzeit nicht käuflich erwerbbar. Sie stehen als Fahrplanauskunftssystem in aufbereiteter Form allgemein zur Verfügung (z.B. [www.bahn.de](http://www.bahn.de)), eignen sich so aber nicht für ein Netzmodell. Hierfür benötigt man die Rohdaten, die von den Betreibern des Öffentlichen Verkehrs in verschiedenen Formaten (z.B. Hafas, EFA/Diva, Infopool) zur Verfügung gestellt werden können.
- *Verkehrszellen*: Die Anbieter digitaler Straßennetzdaten bieten zusätzlich Daten über die Lage von Landkreisen, Gemeinden und Orten, die als Verkehrszellen verwendet werden können.

Diese Daten können durch weitere digitale Informationen, die z.B. in Geografischen Informationssystemen verfügbar sind, ergänzt werden. Unter Verwendung dieser Datenquellen ist es möglich ein integriertes Netzmodell für den IV und den ÖV aufzubauen, das sich für strategische Netzplanungen und die operative Planung der Fahrzeugumläufe im ÖV, d.h. für eine makroskopische Betrachtung, eignet. Dazu sind folgende Schritte erforderlich:

1. Übernahme und Aufbereitung der digitalen Straßennetzdaten: In diesem Schritt werden aus den verfügbaren Informationen über die Straßenkategorie die für die Modellierung relevanten Attribute wie z.B. die Kapazität und die Geschwindigkeit abgeleitet (vgl. **Abbildung 2**).
2. Geocodierung der Haltestellen: Ziel dieses Schrittes ist es, jede Haltestelle einem Knoten des Netzes zuzuordnen. Für Haltestellen, die nicht in der Nähe eines Netzknoten liegen, müssen dabei neue Knoten eingeführt und vorhandene Strecken gesplittet werden. Je nach Verfügbarkeit und Qualität von Haltestellenkoordinaten kann dieser Schritt automatisch erfolgen oder erfordert eine manuelle Geocodierung.
3. Übernahme der ÖV-Linienwege: Fahrgastinformationssysteme oder Fahr- und Dienstplanungssysteme stellen die Linienwege i.d.R. nur als Folge von Haltestellen zur Verfügung, d.h. die Beschreibung des Fahrweges zwischen zwei Haltestellen fehlt. Aus diesem Grund müssen die Linienwege straßengebundener ÖV-Verkehrssysteme bei der Übernahme in das digitale Straßennetz geroutet werden. Bei diesem Schritt, der mit Hilfe von Bestwegalgorithmen weitgehend automatisch erfolgen kann, wird die Haltestellenfolge des Linienweges um eine Folge von Straßenknoten ergänzt. Sofern kein digitales Schienennetz verfügbar ist, werden die Linienwege schienengebundener ÖV-Verkehrssysteme ohne Zwischenknoten in das Netzmodell eingefügt. Dabei werden die Schienenstrecken automatisch erzeugt (vgl. **Abbildung 3**).
4. Übernahme der ÖV-Fahrpläne: Die Fahrzeiten des Fahrplanes werden als Fahrzeitprofil mit dem Linienweg abgespeichert. Die Abfahrtszeiten an der Starthaltestelle definieren einzelne Linienfahrten. Viele Linienfahrten verkehren nicht regelmäßig, sondern sind für einzelne Verkehrstage, z.B. Werktag, Samstag oder Sonntag, definiert. Bei der Übernahme in ein Netzmodell für die strategische Planung ist daher zu entscheiden, ob nur die Fahrten eines bestimmten Verkehrstages oder alle Fahrten einschließlich der Information über die Verkehrstage übernommen werden sollen. Für die strategische Planung kann das sinnvoll sein. Eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation wird dagegen immer nur der Fahrplan eines Tages benötigen.



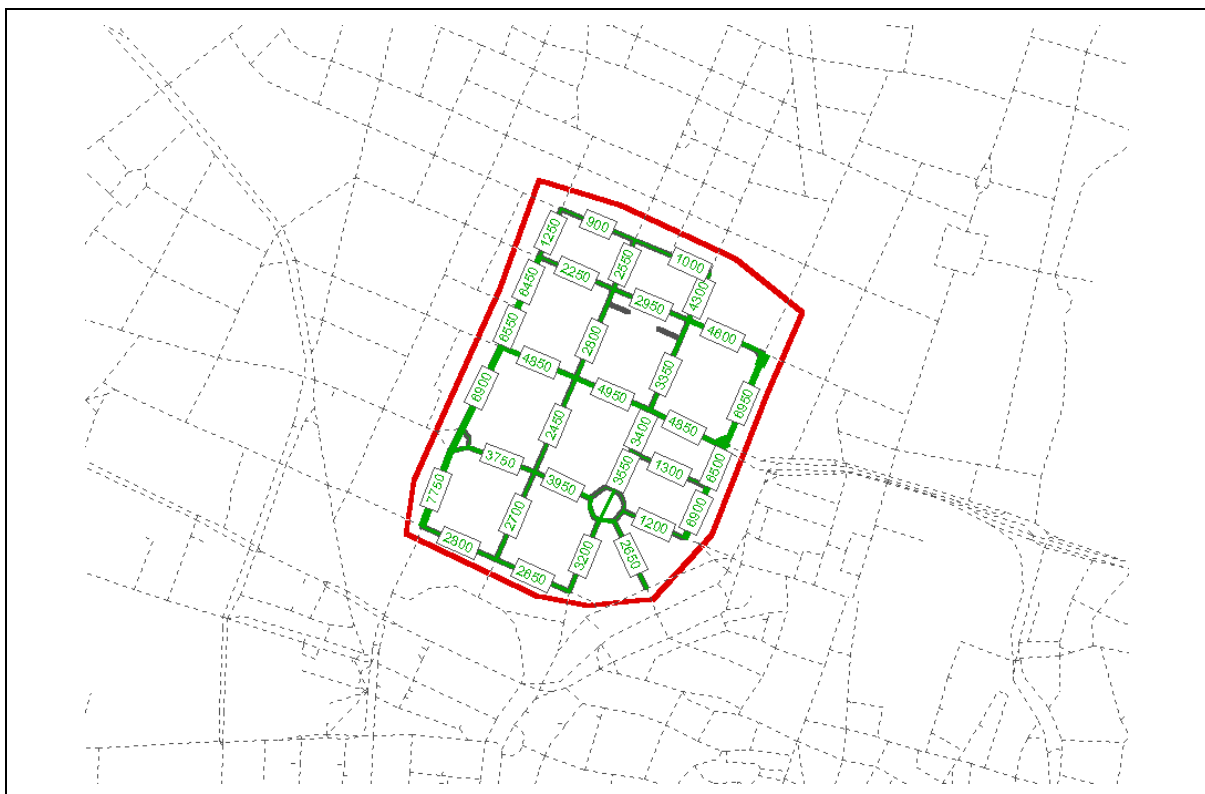
**Abbildung 2:** Beispiel für ein digitales Straßennetz mit Haupt- und Nebenstraßen



**Abbildung 3:** Beispiel für integriertes Netzmodell mit Straßen- und Schienennetz, Haltestellen und ÖV-Linienwegen

## 2.2 Generierung eines Teilnetzes

Für Leistungsfähigkeitsuntersuchungen einzelner Kreuzungen und für die Planung von Lichtsignalsteuerungen mit einem mikroskopischen Verkehrsflussmodell genügt es i.d.R. ein Teilnetz mit einigen wenigen Knoten zu betrachten. Dazu können aus dem Gesamtnetz Teilnetze für beliebige Gebiete ausgeschnitten werden. Um für das Teilnetz die vollständige Information über das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage zu erhalten, müssen dabei nicht nur das Verkehrsnetz sondern auch die Verkehrsströme geschnitten werden. Dazu ist es notwendig den räumlichen Verlauf der Verkehrsströme, d.h. die Fahrtrouten mit ihren Belastungen, z.B. als Ergebnis einer Umlegung zu kennen. Bei der Generierung des Teilnetzes werden die Fahrtrouten an der Gebietsgrenze abgeschnitten und Koordonzellen für eine Teilmatrix erzeugt. Das Teilnetz besteht dann aus den Netzelementen des Gebietes und aus den Koordonzellen an den Gebietsgrenzen, die den Quell- Ziel- und Durchgangsverkehr in das Netz einspeisen.



**Abbildung 4:** Beispiel für das Erzeugen eines Teilnetzes mit Angebots- und Nachfrage- und Durchgangsverkehr

## 2.3 Strecken

Am einfachsten gestaltet sich der Übergang vom makroskopischen zum mikroskopischen Modell bei den freien Strecken, also den Straßen außerhalb der Kreuzungsbereiche. Für die Umlegungsrechnung genügt es in der Regel, wenn für eine Strecke ihre Kapazität, ihre Länge und eine Angabe über die mögliche Geschwindigkeit bekannt sind.

Für eine mikroskopische Modellierung muss zunächst die Fahrstreifenanzahl ermittelt sein. Falls sie nicht manuell im makroskopischen Modell zusätzlich eingegeben werden soll, kann sie aus der Kapazität abgeleitet werden, wenn bekannt ist, wie die Kapazitätswerte im makroskopischen Modell verwendet werden. Bei manchen Modellen wird mit eher verkehrstechnisch orientierten Kapazitätswerten von etwa 2000 Fz/h pro Fahrstreifen gearbeitet, meistens aber findet man in planerisch verwendeten Modellen niedriger angesetzte Kapazitäten. Problematisch kann sich auch auswirken, dass oft die Kapazitätseinschränkung des auf die Strecke folgenden Knotens in die Streckenkapazität mit einmodelliert wird. Im allgemeinen muss für jeden Streckentyp im makroskopischen Modell geprüft werden, welche Fahrstreifenkapazität für die Umlegungsrechnung angesetzt wurde, um daraus dann die tatsächliche Anzahl der Fahrstreifen der Strecke zu bestimmen.

Der geometrische Verlauf der Strecken muss in den meisten mikroskopischen Modellen bekannt sein, weil sie von der Konsistenz der geometrischen Streckenlänge und des modellierten Streckenverlaufs ausgehen. In makroskopischen Modellen besteht dagegen oft die Möglichkeit, eine Länge explizit anzugeben, und damit die sich aus der Entfernung der Knoten ergebende Länge zu überschreiben. In so einem Fall kann kein sinnvoller tatsächlicher Verlauf der Strecke abgeleitet werden. Hieraus ergibt sich die Forderung, dass die Streckenverläufe schon im makroskopischen Netzmodell digitalisiert sein sollten; diese Bedingung ist üblicherweise erfüllt, wenn das Netzmodell aus einer digitalen Straßenkarte abgeleitet wird.

Falls im makroskopischen Modell die Strecken typisiert sind, kann daraus weitere Information für das mikroskopische Modell abgeleitet werden. Eine wesentliche Information ist zum Beispiel, ob es sich um städtische Straßen oder um Autobahnen handelt, weil sich das mikroskopische Fahrverhalten auf diesen Arten von Straßen deutlich unterscheidet. Auch innerhalb einer Straßenkategorie muss noch auf unterschiedliche Geschwindigkeitsregelungen geachtet werden. Die Widerstandsfunktionen im makroskopischen Modell geben Auskunft über die Fahrgeschwindigkeiten bei freiem Verkehr. Dies wird mikroskopisch abgebildet, indem auf einer Strecke eine Verteilung von Wunschgeschwindigkeiten der Fahrzeuge definiert wird, deren Mittelwert diese Freifahrgeschwindigkeit ist.

## 2.4 Plangleiche Kreuzungen

Üblicherweise ist auf der makroskopischen Ebene eine plangleiche Kreuzung durch einen ausdehnungslosen Knoten abgebildet, zu dem die möglichen Abbiegebeziehungen abstrakt aufgezählt werden. Sowohl die auf den Knoten zuführenden und die wegführenden Strecken als auch die Abbiegebeziehungen können mit Kapazitäten und Fahrzeiten attribuiert sein, aber über die genaue Topologie oder gar den geometrischen Entwurf der Straßenkreuzung sagt die makroskopische Modellierung nichts aus.

Im vorgestellten Verfahren wird die makroskopische Modellierung eines Knotens um Information über seine Topologie ergänzt. Die Topologie besteht im wesentlichen aus der Anzahl von Fahrstreifen, die im Knotenpunktbereich zur Verfügung stehen, sowie deren Verknüpfung untereinander, d.h. von welchem Fahrstreifen eines eingehenden Arms auf welche Fahrstreifen der ausgehenden Arme gefahren werden kann. In jeder Zufahrt des Knotens steht zunächst eine Menge von Fahrstreifen zur Verfügung, die der ankommenden Strecke entsprechen. Zu diesen Fahrstreifen können dann bis zur Haltlinie weitere Fahrstreifen als Aufweitungen dazukommen. In der unten abgebildeten beispielhaften Implementierung ist die tabellarische Eingabemöglichkeit für die Fahrstreifenkombination eines Knotenarms dargestellt.

The image shows a software interface for configuring a node topology. On the left is a network diagram with a central node '6' connected to nodes '4', '5', '7', '8', and '9'. Node '4' is on the left, '5' on the right, '7' on the bottom, and '8' on the top. Node '6' is the central intersection point.

The dialog box 'Arme und Fahrstreifen Knoten 6' contains the following data:

Arme	StreckenNr	Schablone	Armschablone	Haltlinie Abstand[m]
	7	<input type="checkbox"/>	1023 (1LR/100)	
	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1003 (1/100)	
	6	<input checked="" type="checkbox"/>	1023 (1LR/100)	
	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1003 (1/100)	

Buttons: neue Knotenvorlage

Fahrstreifen am Arm Strecke 7 (fahrstreifenfein)						
Nr	Fahrstreifentyp	Länge	4 (links)	6 (gerade...)	5 (rechts)	7 (U-Turn)
1	Ausgang		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Aufweitung links	100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Eingang		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Aufweitung rechts	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Buttons: Zusatzstreifen, Neu links, Neu rechts, Entfernen, neue Armvorlage, OK, Abbrechen

**Abbildung 5:** Dialog zur tabellarischen Beschreibung der Knotentopologie

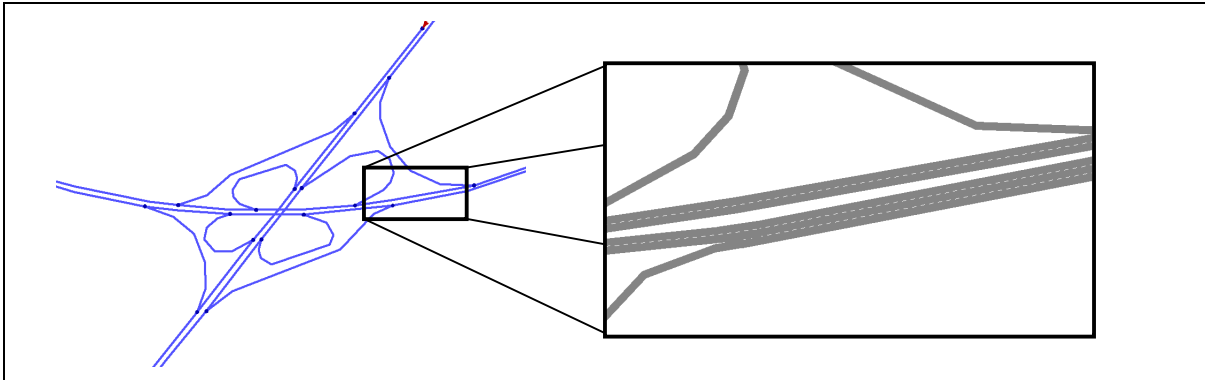
Der geometrische Entwurf der Kreuzung wird aus der angegebenen Topologie weitgehend automatisch erzeugt. Die vorzugebenden geometrischen Informationen sind die Fahrstreifenbreiten und die Länge der Aufstellfahrstreifen. Die Abmessungen des Knotens ergeben sich dann aus den Entwurfsrichtlinien für plangleiche Knotenpunkte, in denen zum Beispiel die erforderlichen Abbiegeradien enthalten sind. Die Geometrieerzeugung ist in weiten Teilen parametrisierbar und kann auch an andere Entwurfsrichtlinien angepasst werden.

Um eine schnelle und einfache Datenversorgung für große Netze zu ermöglichen, werden Schablonen zur Definition von Standardknoten angeboten. Eine Knotenschablone setzt sich dabei aus mehreren Armschablonen zusammen, die die Fahrstreifen für jeden Arm des Knoten angeben. Diese Schablonen können dem Knoten manuell oder automatisch über einen Knotentyp und die Richtung des Hauptstromes zugewiesen werden. Dabei werden nur Schablonen berücksichtigt, bei denen die Anzahl von Armen und die Fahrstreifenanzahlen in den Armen mit den auf den Knoten zuführenden Strecken übereinstimmt. Die Sammlung von Schablonen kann erweitert werden, indem manuell modellierte Knoten als Schablone gespeichert werden.

## **2.5 Planfreie Kreuzungen**

Falls planfreie Kreuzungen im makroskopischen Modell wie die plangleichen als ein Knoten abgebildet sind, ist der oben beschriebene Schablonenmechanismus im Prinzip übertragbar. In vielen Fällen und besonders bei Planungsnetzen, die aus digitalen Straßenkarten abgeleitet wurden, sind die planfreien Knoten im Außerortsbereich schon im makroskopischen Netz geometrisch aufgelöst modelliert, d.h. dass zum Beispiel für ein Autobahnkreuz alle Fahrbahnen und Rampen als separate Strecken modelliert sind. Der Knoten stellt sozusagen ein kleines Teilnetz dar.

Innerhalb eines solchen planfreien Knotens werden aufeinandertreffende Strecken mittels eines Verflechtungsbereichs zusammengeführt, bei abzweigenden Strecken werden Verzögerungstreifen angelegt. Um das mikroskopische Modell zu erzeugen, werden im makroskopischen Modell zunächst die Strecken im planfreien Knoten als durchgehende Fahrbahnen oder als Rampen klassifiziert. Bei der Geometrieerzeugung wird dann an allen dreiarmligen Knoten innerhalb des Teilnetzes, das den planfreien Knoten darstellt, aus den Typen der aufeinandertreffenden Strecken geschlossen, ob zusätzlich ein Beschleunigungs- oder Verzögerungstreifen anzulegen ist.



**Abbildung 6:** Makroskopisches Modell eines Autobahnkreuzes und Ausschnitt aus der mikroskopischen Modellierung

## 2.6 ÖV-Haltestellen und Linien

Eine ÖV-Linie wird durch einen Linienweg mit Fahrzeiten und durch einen Fahrplan, d.h. eine Menge von Linienfahrten, beschrieben. Der Linienweg bedient in der realen Welt nicht eine Folge von Haltestellen, sondern eine Folge von Haltepunkten (**Abbildung 7**). In den meisten Fällen umfasst eine Haltestelle zwei gegenüberliegende Haltepunkte, die beide den gleichen Namen haben. Jeder Haltepunkt wird dabei nur von den ÖV-Fahrzeugen einer Fahrtrichtung bedient. Komplexere Haltestellen, z.B. Busbahnhöfe oder ÖV-Kreuzungspunkte, können aber auch mehr als zwei Haltepunkte umfassen.

In einem makroskopischen Netzmodell werden üblicherweise nur die Haltestellen abgebildet, da dieser Detaillierungsgrad den Anforderungen einer strategische Liniennetzplanung entgegenkommt. Eine Haltestelle ist einem Knoten des Netzes zugeordnet und liegt oft direkt auf einem Kreuzungsknoten (**Abbildung 8**). Fahr- und Dienstplanungsprogramme und Rechnergestützte Betriebsleitsysteme arbeiten im Gegensatz dazu auf der Ebene der Haltepunkte. Das gleiche gilt für mikroskopische Verkehrsflussmodelle. Hier ist die genaue Position und die Art des Haltepunktes wichtig. Die Position beschreibt, ob der Haltepunkt vor oder hinter einer Kreuzung liegt, die Art gibt an, ob es sich um eine Haltebucht handelt oder um ein Kap, durch das nachfolgende Fahrzeuge gestört werden.

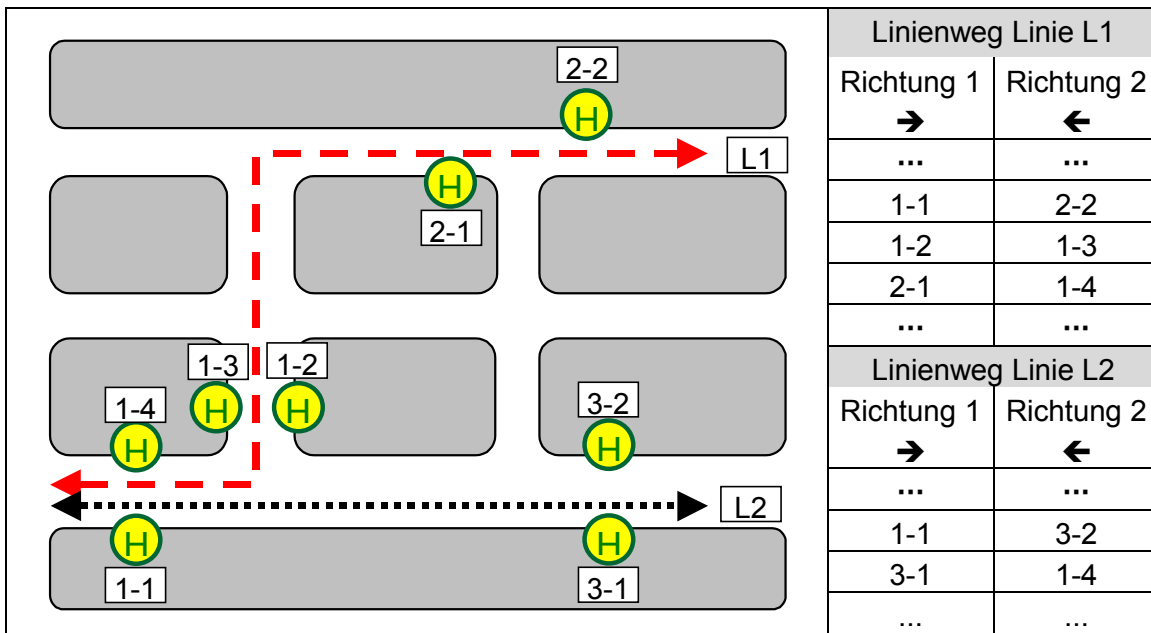


Abbildung 7: Beispiel-Netzausschnitt mit 3 Haltestellen, 8 Haltepunkten und 2 Linien

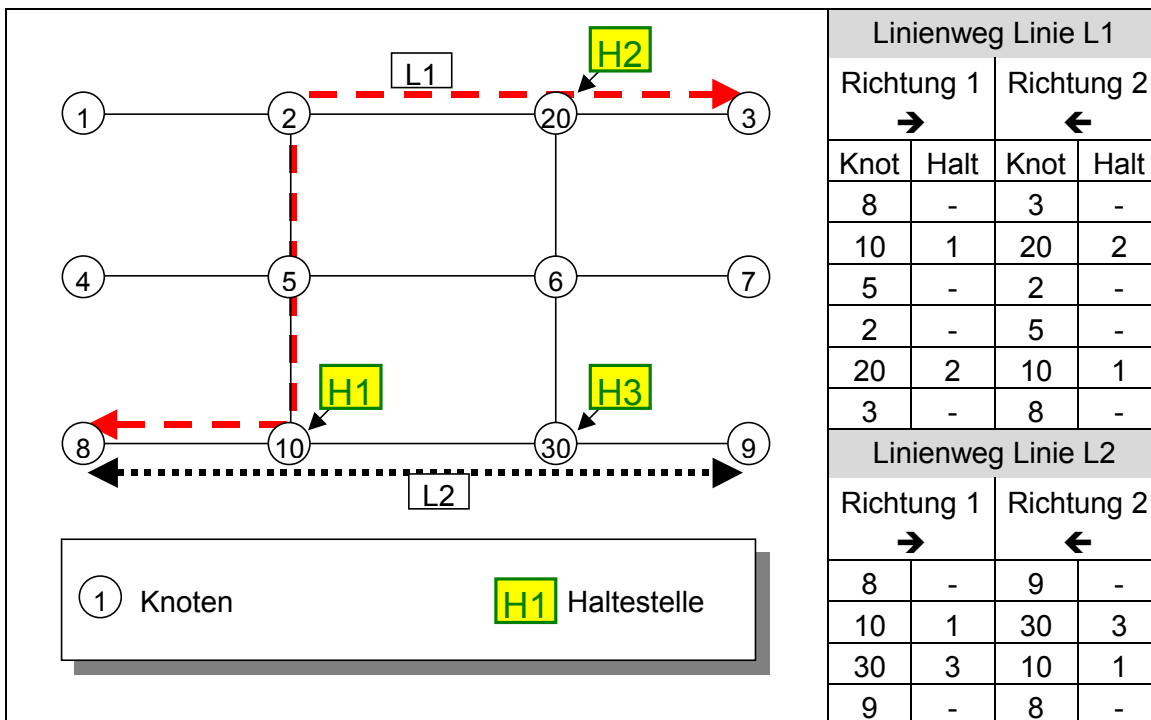


Abbildung 8: Beispiel-Netzausschnitt bei einer makroskopischen Modellierung: Linienweg wird als eine Folge vom Knoten bzw. Haltestellen beschrieben.

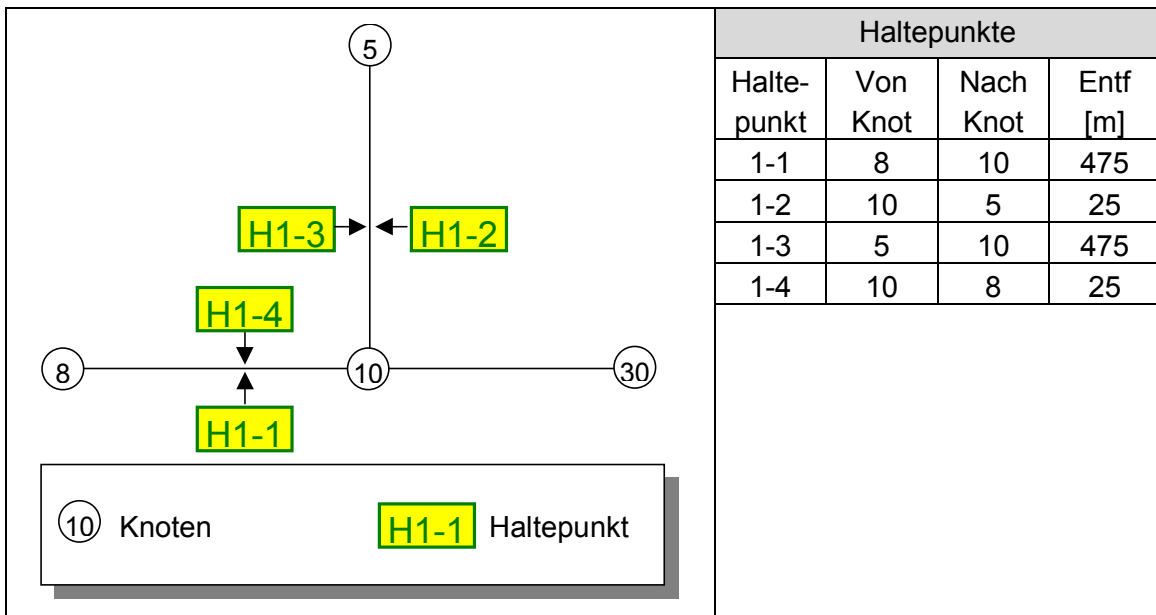
Für die Modellierung von Haltepunkten in einem makroskopischen Netzmodell gibt es zwei verschiedene Ansätze:

1. Haltepunkte als Punkte auf Strecken: Bei diesem Ansatz wird die Position des Haltepunktes durch einen Verweis auf die Strecke definiert, an der der Haltepunkt liegt. Die Strecke gibt als gerichtete Kante die am Haltepunkt zulässige Fahrtrichtung an (**Abbildung 9**).
2. Haltepunkte als zusätzliche Knoten: Dieser Ansatz ordnet jedem Haltepunkt genau einen Knoten zu, ein Knoten kann aber mehrere Haltepunkte umfassen. Eine zusätzliche Datenrelation „Haltepunkt-Fahrtrichtung“ definiert die zulässige Fahrtrichtung wie bei einer Abbiegebeziehung an einer Kreuzung über den Von-Knoten und den Nach-Knoten. (**Abbildung 10**).

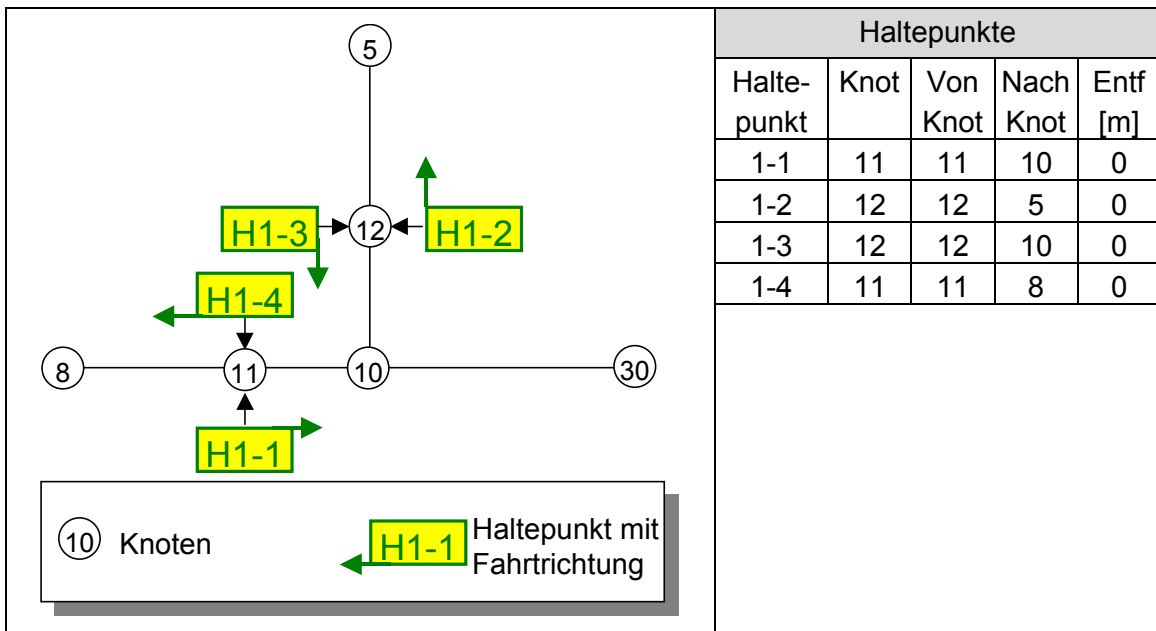
Der Vorteil des ersten „streckenorientierten“ Ansatzes liegt darin, dass für Haltepunkte, die zwischen zwei Kreuzungen liegen, keine zusätzlichen zweiarmigen Knoten eingefügt werden müssen. Der zweite „knotenorientierte“ Ansatz bietet im Gegensatz dazu den Vorteil, dass ein Haltepunkt sowohl auf einem zweiarmigen als auch auf einem mehrarmigen Knoten positioniert werden kann. Dadurch sind flexible Modellierungsvarianten möglich:

- Haltepunkte nur auf zweiarmigen Knoten: Diese Modellierung entspricht dem ersten Ansatz und gewährleistet eine Kopplung mit einem mikroskopischen Modell. Die Übersichtlichkeit für die strategische Planung wird allerdings durch die zusätzlichen Haltepunkt-Knoten verringert (**Abbildung 10**).
- Haltepunkte auf mehrarmigen Knoten: Bei dieser Modellierung verringert sich die Zahl der notwendigen Haltepunkt-Knoten und folglich auch die Zahl der Strecken. Für die strategische Planung erhöht sich die Übersichtlichkeit, da alle Haltepunkte einer Haltestelle auf einem Knoten liegen. Da die Lage der Haltepunkte bezogen auf den Knoten bekannt ist, ist eine Kopplung mit einem mikroskopischen Modell oder einem RBL möglich (**Abbildung 11**).
- Keine Haltepunkte: Bei dieser Modellierung umfasst jede Haltestelle genau einen Haltepunkt, der auf dem Knoten liegt und für alle Fahrtrichtung zulässig ist. Diese Modellierung wird gewählt, wenn keine Kopplung mit einem mikroskopischen Modell geplant ist (**Abbildung 12**).

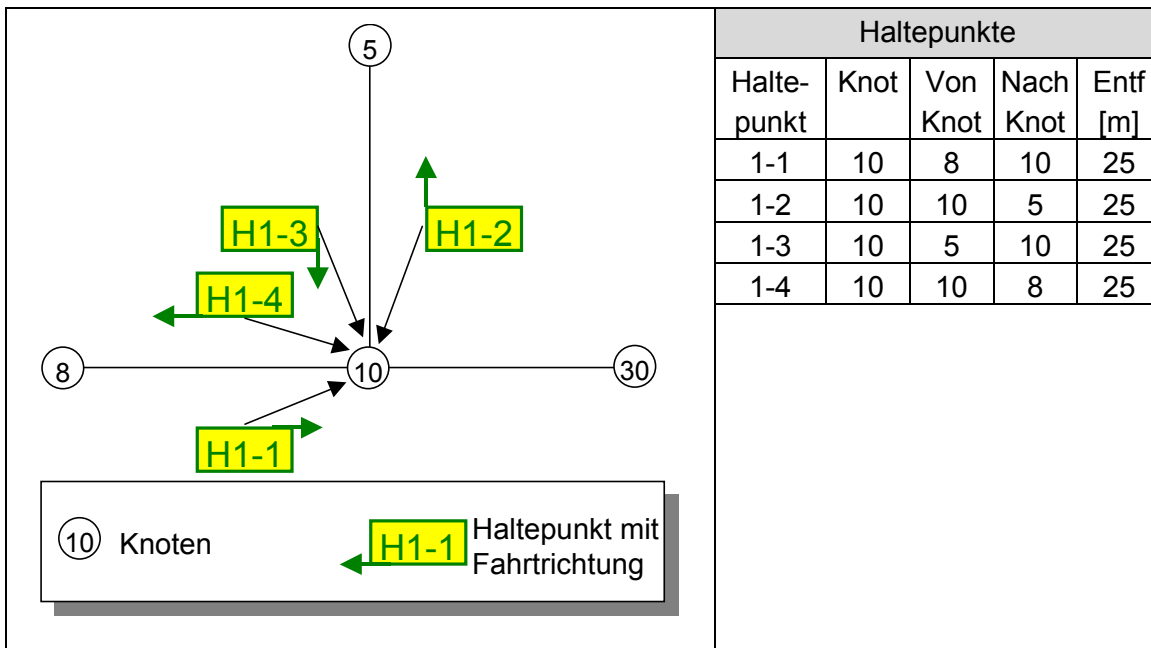
Das knotenorientierten Datenmodell ermöglicht also eine flexible Modellierung, der Haltepunkte bei der der Planer den Detaillierungsgrad je nach Anwendung festlegen kann. Ein Netzeditor, dem dieses Datenmodell zugrunde liegt, kann dem Planer bei der strategischen Liniennetzplanung die Haltepunkte nur dann anzeigen, wenn es für eine eindeutige Definition des Linienweges erforderlich ist. Aufgrund der Richtung des Linienweges kann ein Netzeditor in den meisten Fällen die gewünschten Haltepunkte innerhalb einer Haltestelle automatisch bestimmen und so die zusätzlichen Datendetails vor dem Planer verbergen.



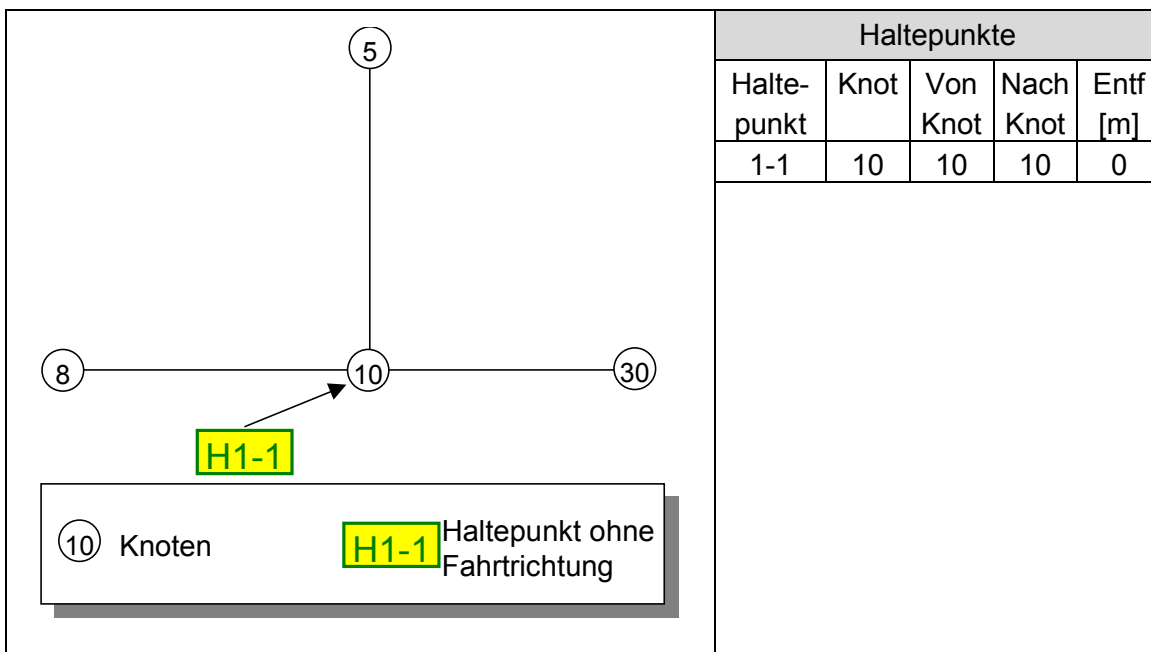
**Abbildung 9:** Definition der Haltepunkte als Punkte auf einer Strecke.



**Abbildung 10:** Definition der Haltepunkte als zweiarmige Knoten mit Fahrtrichtung.



**Abbildung 11:** Definition der Haltepunkte als mehrarmige Knoten mit Fahrtrichtung.



**Abbildung 12:** Definition der Haltepunkte als Haltestelle.

Eine ÖV-Linie, deren Linienweg und Fahrzeitprofil in einem makroskopischen Modell als Folge von Haltepunkten und Straßenkreuzungen definiert ist, enthält alle räumlichen und zeitlichen Informationen, die für eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation notwendig

sind. Das makroskopische Modell liefert mit dem Soll-Fahrplan die Vorgabe für die Generierung der Fahrpläne einzelner ÖV-Fahrzeuge. Diese Fahrzeuge werden in das mikroskopische Modell eingespeist. Sie versuchen die Vorgaben des Soll-Fahrplans zu erfüllen, d.h. sie fahren an den Haltepunkten nicht vor der im Fahrplan angegebenen Abfahrtszeit ab. Je nach Simulationsvorgaben versuchen die Fahrzeuge außerdem eventuelle Verspätungen abzubauen, indem sie eine Geschwindigkeit anstreben, die möglichst nahe an der zulässigen bzw. möglichen Geschwindigkeit liegt. Ursachen für Verspätungen gegenüber dem Soll-Fahrplan können dabei z.B. sein:

- Behinderungen durch IV-Fahrzeuge,
- verlängerte Haltezeiten aufgrund eines hohen Fahrgastwechsels,
- Wartezeiten an Lichtsignalanlagen.

Als Ergebnis mehrerer Simulationsläufe erhält man simulierte Messwerte der Fahr- und Haltezeiten für heutige oder geplante Netzzustände und LSA-Steuerungsverfahren. Eine Simulation kann also ähnliche Messergebnisse liefern wie ein Messsystem, das in einem realen ÖV-Fahrzeug installiert ist, gleichzeitig aber auch die Wirkung von Planungen auf den Fahrplan prognostizieren. Aus der Häufigkeitsverteilung dieser Messwerte kann unter Angabe einer Sicherheitswahrscheinlichkeit, mit der der Fahrplan eingehalten werden soll, eine neue Soll-Fahrzeit ermittelt und dem bisherigen Soll-Fahrplan gegenüber stellen werden (vgl. Kirchhoff und Holz, 1987). Auf diese Weise lassen sich Linienabschnitte identifizieren, auf denen die Fahrzeitvorgaben zu knapp oder zu großzügig sind. Eine Rückgabe der neuen Soll-Fahrzeiten an das makroskopische Modell ermöglicht dann der strategischen oder operativen ÖV-Planung eine Planung auf der Basis realistischer Fahrzeiten.

Um in der Planung Aussagen über die Zuverlässigkeit des Fahrplans zu machen, kann es sinnvoll sein, nicht nur einzelne Linienfahrten sondern ganze Fahrzeugumläufe an das mikroskopische Modell zu übergeben. Ein Fahrzeugumlauf umfasst die Folge aller Linienfahrten, die ein Fahrzeug innerhalb eines Zeitraumes zwischen dem Aus- und Einrücken bedient. Die Standzeiten zwischen der Ankunft einer Linienfahrt und der Abfahrt der folgenden Linienfahrt dienen neben dem Wenden und eventuellen Fahrerpausen auch als Puffer für eventuelle Verspätungen. Wenn diese Pufferzeit zu knapp bemessen ist, kann die Verspätung der Vorgängerfahrt zu einer verspäteten Abfahrt der Nachfolgefahrt führen. Dieses Fortpflanzen einer Verspätung und eine eventuelle Pulkbildung der ÖV-Fahrzeuge lässt sich in einem mikroskopischen Modell nur dann abbilden, wenn Fahrzeugumläufe übergeben werden.

### 3 Knotensteuerung

Verkehrsknotenpunkte, an denen Straßen und/oder Schienenwege zusammentreffen, sind in städtischen Verkehrsnetzen meist der wesentliche Engpassfaktor. An den Knotenpunkten müssen die Konfliktpunkte von den nicht verträglichen Verkehrsströme nacheinander passiert werden. Die Reihenfolge, in der die Verkehrsströme über die Konflikflächen fahren, hängt von der Verkehrsregelung ab. Bei niveaugleichen Knotenpunkten wird zwischen unterschieden zwischen

- lichtsignalgeregelten Knotenpunkten,
- Rechts-vor-Links,
- statische Vorfahrtregelung mit den Zeichen StVO 306 bzw. 301 für die Vorfahrtstraße und StVO 205 bzw. 206 für die untergeordnete Straße.

In der Verkehrstechnik werden für die unterschiedliche Regelungsarten Modellansätze aus der Warteschlangentheorie eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit und die Wartezeit der einzelnen Verkehrsströme zu ermitteln. Die Modellansätze basieren auf der Idee eines Schalters mit zufälliger Ankunftsrate (Markov; poissonverteilt) und deterministischen Abflussraten (1/M/D-Systeme). Bei vorfahrtgeregelten Knotenpunkten oder bedingt verträglich geführten Verkehrsströmen an Lichtsignalanlagen wird die mehrfache Wartepflicht untergeordneter Verkehrsströme durch geschachtelte Schaltersysteme modellmäßig berücksichtigt. Die maximale Leistungsfähigkeit eines Schalters ist durch die deterministischen Abflussraten begrenzt. Demgegenüber verwenden makroskopische Modelle der Verkehrsplanung nur sehr vereinfachte Ansätze, um Reisezeitzuschläge in Abhängigkeit von der Auslastung zu berücksichtigen. Obwohl Verkehrsplanungsmodelle die Möglichkeiten bieten, für einzelne Abbiegeströme den belastungsabhängigen Zeitzuschlag in Anlehnung an die Widerstandsfunktion auf der freien Strecke zu berechnen, werden Zeitzuschläge für einzelne Abbiegebeziehungen in zahlreichen Anwendungen heutzutage entweder belastungsinvariant versorgt oder gar völlig vernachlässigt. Als Grund sind die fehlende Datenverfügbarkeit auf der makroskopischen Ebene zu sehen.

Für lichtsignalgesteuerte Knotenpunkte muss die Widerstandskurve an eine Wartezeitformel für Lichtsignalanlagen angenähert werden. Im Vergleich zu neueren Ansätzen von Wu oder Akcelik benötigt die Wartezeitformel von Webster vergleichsweise wenig Eingangsparameter mit dem Nachteil bei einem Auslastungsgrad von 1 asymptotisch gegen Unendlich zu laufen. Die Wahl eines hohen Wertes für den Parameter  $\beta$  lässt allerdings Abbiegebelastungen von  $q > K_{ap}$  möglichst unwahrscheinlich werden. Für den Zeitzuschlag pro Abbiegebeziehung an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten sollte folgende Beziehung näherungsweise gelten:

$$t = 0.9 \cdot \left[ \frac{t_U}{2} \cdot \frac{\left(1 - \frac{t_{GR}}{t_U}\right)^2}{\left(1 - \frac{q}{Kap}\right)} + \frac{1800 \cdot \left(\frac{q \cdot t_U}{Kap \cdot t_{GR}}\right)^2}{q \cdot \left(1 - \frac{q \cdot t_U}{Kap \cdot t_{GR}}\right)} \right] \approx t_0 \left[ 1 + \alpha \left(\frac{q}{Kap}\right)^\beta \right] \quad (1)$$

wobei  $t_0$  den mittleren Zeitverlust des Abbiegevorgangs bei fehlender Belastung darstellt.  $q$  ist die aktuelle Belastung der Abbiegebeziehung und  $Kap$  die maximal mögliche Kapazität pro Grünzeitstunde (Sättigungsverkehrsstärke).  $t_u$  ist die Umlaufzeit und  $t_{GR}$  die Grünzeit der Abbiegebeziehung. Als zusätzliche Eingangsgrößen werden für das Verkehrsplanungsmodell damit Umlaufzeit und Grünzeit benötigt. In der Praxis ist allenfalls die Umlaufzeit durch äußere Zwänge (tageszeitlich gleiche Umlaufzeiten für ein Regelgebiet ; z.B. 90s Morgenspitze, 72s Tagesprogramm; 100s Abendspitze; 60s Nachprogramm) vorgegeben. Die Grünzeitanteile ergeben sich durch verkehrsabhängige Steuerungen oder werden durch Verkehrsingenieurarbeitsplätze rechnergestützt ermittelt. Überschlagsmäßig können Umlaufzeit und Grünzeitanteile auch im Verkehrsplanungsmodell nach folgender Methodik bestimmt werden:

#### 1. Erforderliche Eingangsgrößen:

- Zuordnung von Signalgruppe zu Abbiegebeziehung für alle MIV-Verkehrsströme eines Knotenpunktes; Signalgruppen sind die kleinste Einheit von Verkehrsströmen, deren Signalbilder zu jedem Zeitpunkt identisch sind. Für jede Signalgruppe wird abhängig von der Fahrstreifenanzahl die Kapazität (Sättigungsverkehrsstärke) bestimmt.
- Festlegung des Phasensystems (2-; 3- oder 4-phasig); in einer Phase sind verträgliche Signalgruppen enthalten, die gleichzeitig freigegeben werden sollen
- Festlegung von Zwischenzeiten entweder als Übergangsmatrix zwischen den Phasen oder als Zwischenzeitenmatrix zwischen den Signalgruppen
- Optionale Vorgabe einer Umlaufzeit

#### 2. Berechnungsverfahren:

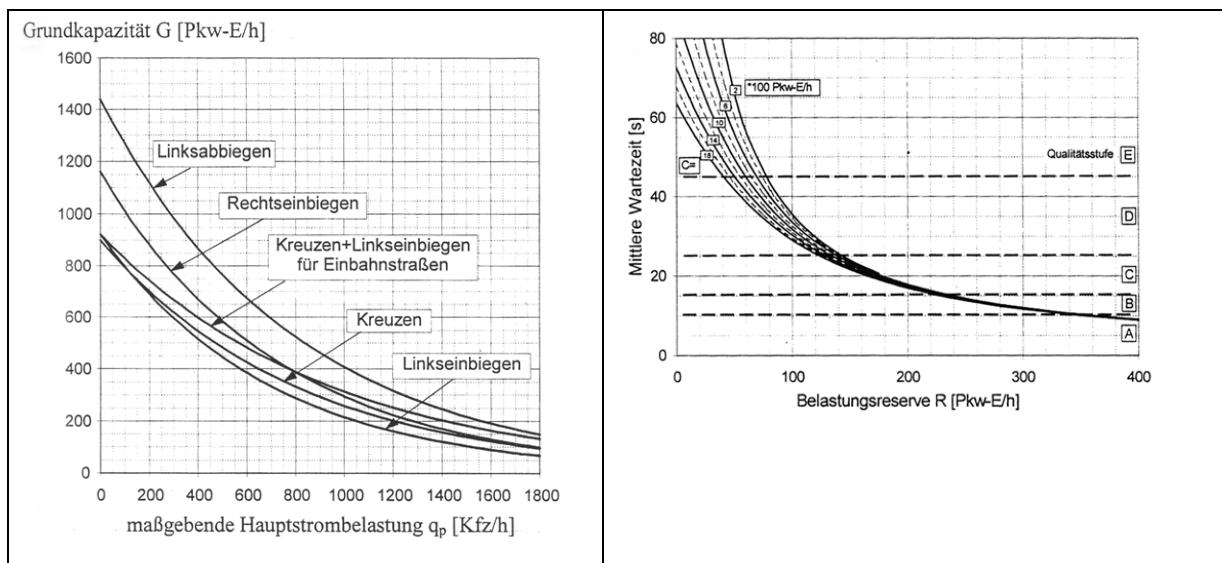
- Bestimme für jede Phase die maßgebende Signalgruppe; d.h. die Signalgruppe deren Quotient aus Belastung aus der Umlegung und Kapazität am höchsten ist. Falls die Signalgruppe in mehreren Phasen freigegeben wird, ist die Belastung aufzuteilen.
- Für jede Permutation der Phasenfolge bestimme die Umlaufzeit  $t_u$ , die zu einer Minimierung des maximalen Auslastungsgrads führt. Die Minimierung des maximalen Auslastungsgrads ist eine lineare Optimierungsaufgabe während die Wartezeitminimierung eine nichtlineare, konvexe Problemstellung ist, die nur mit ungleich höherem Berechnungsaufwand zu lösen wäre (Fellendorf, 1991).
- Wähle die Phasenfolge, die zu dem niedrigsten Auslastungsgrad führt und bestimme die Wartezeit nach (1)

### 3. Ergebnis:

Umlaufzeit  $t_u$ ; Freigabedauern der Phasen und darüber Freigabedauern und Wartezeit der Signalgruppen  $t_{GR}$  bzw. Verkehrsströme; die Wartezeit ist gleichzusetzen mit der Abbiegezeitzuschlag  $t$  für jeden Verkehrsstrom.

Die Definition der Phaseneinteilung sollte vorgenommen werden, um die Anzahl der Lösungsmöglichkeiten einzuschränken. Die Zuordnung der möglichen Phasenanzahl kann über den Knotentyp erfolgen.

Zur Bestimmung der Wartezeiten an nicht-lichtsignalgeregelt Knotenpunkten gibt es analytische Berechnungsansätze, die eine zeitabhängige Warteschlangentheorie von Kimber/Hollis mit empirischen Daten verknüpfen (Semens, 1985). Diese Ansätze können allerdings nur bedingt in der Umlegung berücksichtigt werden, da die Wartezeiten nicht nur von der eigenen Belastung sondern auch von der Belastung vorfahrtberechtigter Verkehrsströme abhängt. Für Verkehrsplanungsmodelle wäre bereits viel gewonnen, wenn zumindest die Größenordnungen der Wartezeiten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen korrekt abgeschätzt werden. Dazu kann stark vereinfachend die Belastungsreserve als Differenz der Grundleistungsfähigkeit (**Abbildung 13**) und der aktuell umgelegten Belastung des Verkehrsstroms verwendet werden. Für Nebenströme 3. und 4. Ordnung (Kreuzen und Linkseinbiegen) sind Abminderungsfaktoren zu verwenden, um die Wartepflicht gegenüber höherrangigen Strömen abzubilden.



**Abbildung 13:** Grundkapazität und Wartezeit in Abhängigkeit der Belastungsreserve für vorfahrtgeregelt Knotenpunkte. Quelle: Brilon, 1998

## 4 Verkehrsnachfrage

Für die Nachbildung des Verkehrsablaufes der Verkehrsteilnehmer in einem Netz benötigt man drei Teilmodelle:

- eine *Routensuchmodell*, das für jede Quelle-Ziel Relation alle sinnvollen Routen ermittelt,
- ein *Routenwahlmodell*, das die Verkehrsnachfrage einer Quelle-Ziel Relation auf die gefundenen Routen aufteilt, und
- ein *Verkehrsflussmodell*, das die Fortbewegung der Verkehrsteilnehmer entlang ihrer Route nachbildet.

Ein Modell zur Nachbildung des Verkehrsablaufes, das alle drei Teilmodelle umfasst, wird im Verkehrswesen Umlegung genannt. Bei der Umlegung wird die Verkehrsnachfrage auf das Netz umgelegt, d.h. einzelnen Netzelementen zugeordnet. Es gibt zahlreiche Ansätze für Umlegungsverfahren:

- Umlegungsverfahren für den IV und den ÖV unterscheiden sich aufgrund der spezifischen Eigenschaften des IV und ÖV. Während im IV eine kapazitätsabhängige Routenwahl üblich ist, spielt im ÖV die Koordinierung des Fahrplanes, d.h. verfügbare Umsteigemöglichkeiten, eine besondere Rolle.
- Umlegungsverfahren unterscheiden sich außerdem im Detaillierungsgrad des verwendeten Verkehrsflussmodells. Einfache statische Ansätze haben keine Zeitachse, so dass sie das Raum-Zeit-Verhalten der Verkehrsteilnehmer überhaupt nicht abbilden können. Anders bei dynamische Umlegungsverfahren, die den Verkehrsfluss in diskreten Zeitschritten simulieren.

Die für eine Umlegung erforderlichen Verfahren zur Routensuche, zur Routenwahl und zum Verkehrsfluss können die notwendigen Informationen über das Verkehrsangebot sowohl aus einem vereinfachten makroskopischen als auch aus einem detaillierten mikroskopischen Netzmodell übernehmen. Beispiele für eine dynamische Umlegung, die auf einem makroskopischen Ansatz beruht, finden sich u.a. bei Papageorgiou (1990), Serwill (1994) und Friedrich et. al. (2000). Fellendorf und Vortisch (2000) beschreiben eine dynamische Umlegung, die auf einem mikroskopischen Ansatz beruht.

Für viele Planungsaufgaben kann es sinnvoll sein, die Ergebnisse einer makroskopischen Umlegung für einen Netzausschnitt mit einem mikroskopischen Modell genauer zu untersuchen. Aus diesem Grund ist eine Übernahme der Nachfragedaten in ein mikroskopisches Modell wünschenswert. Nachfragedaten können in zwei Formen aus einem makroskopischen Modell übernommen werden:

- als Matrix, d.h. die gesamte Umlegung findet im mikroskopischen Modell statt.
- als Fahrtrouten, d.h. die makroskopischen Umlegungsergebnisse werden als Fahrtrouten mit Belastungen übergeben. Die Modellierung des Verkehrsflusses erfolgt mikroskopisch auf der Ebene der Einzelfahrzeuge.

#### **4.1 Kfz-Nachfrage als Fahrtenmatrix**

Wenn dem mikroskopischen Modell die Verkehrsumlegung überlassen bleiben soll, wird dort wie im makroskopischen Modell die Verkehrsnachfrage in der Form einer oder mehrerer Quelle-Ziel-Matrizen beschrieben. Entsprechend den Verkehrssystemen im makroskopischen Modell, z.B. Pkw und Lkw, bietet das mikroskopische unterschiedliche Fahrzeugtypen, für die jeweils eine eigene Nachfragematrix angegeben werden kann.

Da sich die Matrizen auf Verkehrszellen beziehen, müssen diese auch im mikroskopischen Modell repräsentiert werden. Dazu wird auf der Mikroseite das Netzelement Parkplatz eingeführt. Parkplätze sind Quellen oder Senken von Fahrzeugen und gehören zu einer oder mehreren Verkehrszellen. Sie übernehmen die Aufgaben der Anbindungen bei der makroskopischen Modellierung. Anbindungen beziehen sich im makroskopischen Fall auf Knoten, d.h. die in der Nachfrage beschriebene Verkehrsmenge fließt an den Knoten in das Straßennetz und aus ihm heraus. Bei einer mikroskopischen Modellierung ist der voll ausmodellerte Knotenpunkt, der eine reale Straßenkreuzung darstellt, kein geeigneter Ort, Fahrzeuge in das System einzusetzen oder aus ihm herauszunehmen. Es wird deshalb auf der makroskopischen Ebene eine „wohlwollende“ Modellierung erwartet, bei dem die Verkehrszellen an Knoten angebunden sind, die nur das Ende einer Strecke sind, aber nicht für eine reale Kreuzung stehen. Diese Modellierung ist ohnehin auch aus Sicht der makroskopischen Berechnungen sinnvoll. Für jede Anbindung im makroskopischen Netz wird an korrespondierender Stelle ein Parkplatz angelegt, die im mikroskopischen Umlegungsverfahren dann als Quellen und Ziele der Fahrten dienen.

#### **4.2 Kfz-Nachfrage als Fahrtrouten**

Soll das Umlegungsergebnis aus dem makroskopischen Modell übernommen werden, müssen die berechneten Routen und deren Belastungen in das mikroskopische Modell übersetzt werden. Die Quellen der Fahrzeuge sind wieder die Orte, an denen die Anbindungen auf das Netz treffen, es werden aber statt Parkplätzen nun Fahrzeugzuflüsse erzeugt. Ein Fahrzeugzufluss generiert Fahrzeuge in einer bestimmten Flottenzusammensetzung mit einer vorgegebenen Verkehrsstärke am Anfang einer Strecke. Für jede makroskopische

Anbindung wird die Zuflussverkehrsstärke als die Summe der Belastungen aller von ihr ausgehenden Routen berechnet. Die Flottenzusammensetzung ergibt sich aus den Anteilen der Verkehrssystemen, die über die betrachtete Anbindung ins Netz fließen.

Die Routen werden im mikroskopischen Modell als Folge der durchfahrenen Strecken beschrieben. Diese Folge kann aus der Route im makroskopischen Netz abgeleitet werden, wo sie als Folge von Knoten beschrieben ist. Die Aufgabe ist allerdings nicht trivial, weil durch die an den verschiedenen Stellen eingesetzte automatische Geometrieerzeugung die Beziehung zwischen Netzelementen im makroskopischen und im mikroskopischen Netz nicht mehr bijektiv ist.

Die in einem Zufluss erzeugten Fahrzeuge werden nach dem Einfahren ins Netz auf die Routen gemäß dem Umlegungsergebnis verteilt. Sie erhalten zudem noch verschiedene Informationen, die für ein korrektes Fahrverhalten im mikroskopischen Netz notwendig ist, so wird zum Beispiel aus den Freifahrtgeschwindigkeiten der auf den Zufluss folgenden Strecken eine Wunschgeschwindigkeitsverteilung für die Fahrzeuge generiert.

### **4.3 ÖV-Nachfrage als Ein- und Aussteigerzahlen**

Die Zahl der Ein- und Aussteiger einer ÖV-Linienfahrt können einen Einfluss auf den Fahrtablauf eines ÖV-Fahrzeugs haben. Jeder Fahrgastwechselfvorgang benötigt einen bestimmten Zeitaufwand. Ist der benötigte Zeitaufwand für alle Ein- und Aussteigevorgänge größer als die fahrplanmäßige Haltezeit, dann kommt es zu einer verspäteten Abfahrt. Um die Zahl der Ein- und Aussteiger einer ÖV-Linienfahrt in einem mikroskopischen Modell abzubilden, können die Ein- und Aussteigerzahlen einer fahrplanfeinen makroskopischen ÖV-Umlegung (vgl. Friedrich, 2001) verwendet werden. Dazu werden folgende Daten übergeben:

- Name und Richtung der Linie,
- Nummer der Haltestelle,
- Zahl der Ein- und Aussteiger,
- Ganglinie des zeitlichen Verlaufs.

### **4.4 ÖV-Nachfrage als Fahrtrouten**

Mikroskopische Verkehrsflussmodelle simulieren den Fahrtablauf einzelner Kraftfahrzeuge. Die Simulation kann dabei gleichermaßen Fahrzeuge des IV und des ÖV einbeziehen und so gegenseitige Beeinträchtigungen berücksichtigen. Im IV ist der Fahrtablauf eines Kraftfahrzeuges mit dem Fahrtablauf des Verkehrsteilnehmers, d.h. des Autofahrers, identisch. Im

ÖV benutzt der Fahrgast u.U. mehrere ÖV-Fahrzeuge für eine Ortsveränderung. Hier kann es also aufschlussreich sein, den Fahrtablauf eines Fahrgastes zu modellieren, um auf diese Art und Weise Informationen über tatsächliche Wartezeiten, verpasste Anschlüsse und die Auslastung einzelner Fahrzeuge zu erhalten. Außerdem können so Verfahren zur Anschlussicherung beurteilt werden, bei denen einzelne ÖV-Fahrzeuge aufgehalten werden.

Die Modellierung des Fahrablaufes eines Fahrgastes ist aufwendig, da sich der ÖV-Fahrgast im Gegensatz zu einem IV-Fahrer nicht nur für eine Route, sondern für eine Verbindung, d.h. eine im Fahrplan angebotene Abfahrtszeit entscheiden muss. In Abhängigkeit vom Abfahrtszeitpunkt können unterschiedliche Linienkombinationen zum Ziel führen. Im Fall von Verspätungen kann der Fahrgast gezwungen sein, ein späteres Fahrzeug der gleichen Linie zu verwenden oder auf andere Linien auszuweichen. Die Fahrtrouten eines Fahrgastes können wieder aus einer makroskopischen Umlegung in folgender Form übernommen werden:

- Abfahrtszeitpunkt
- 1. Teilroute: Starthaltestelle, ÖV-Linie, Umsteigehaltestelle
- 2. Teilroute: Umsteigehaltestelle, ÖV-Linie, Umsteigehaltestelle
- n. Teilroute: Umsteigehaltestelle, ÖV-Linie, Zielhaltestelle

Der Fahrgast begibt sich zum Abfahrtszeitpunkt zur Starthaltestelle und steigt hier in die erste ÖV-Linie ein. An jeder Umsteigehaltestelle wechselt er das ÖV-Fahrzeug. Im Fall einer Verspätung verfolgt der Fahrgast zwei Strategien:

1. Warte an der Haltestelle auf das nächste Fahrzeug der gleichen Linie
2. Warte an der Haltestelle auf das nächste Fahrzeug einer anderen Linie, das direkt zur nächsten gewünschten Umsteigehaltestelle fährt.

Komplexere Strategien des Fahrgastes, die im Fall von Verspätungen zu einem komplett anderen Fahrtweg führen können, z.B. aufgrund von Informationen oder eigenen Erfahrungen, erfordern den Zugriff auf ein Verbindungssuchverfahren innerhalb der mikroskopischen Simulation.

## **5 Zusammenfassung**

Im Verkehrswesen wird je nach Einsatzbereich mit sehr speziellen Netz- und Wirkungsmodellen gearbeitet. Strategische Planung, operative Planung und die Steuerung des Verkehrsablaufes betrachten das Netz mit einem unterschiedlichen Detaillierungsgrad. Dazu kommen die spezifischen Anforderungen von IV und ÖV. Diese Unterschiede führen

dazu, dass ein Austausch von Daten zwischen verschiedenen Einsatzbereichen aufwendig ist.

Ziel der Kopplung makroskopischer und mikroskopischer Datenmodelle ist es, diesen Datenaustausch zu vereinfachen. Makroskopische Modelle liefern die Grunddaten des Verkehrsangebotes und der Verkehrsnachfrage. Diese Daten bilden den Ausgangspunkt für mikroskopische Simulationsmodelle, die sich für eine genaue Analyse des Verkehrsablaufes eignen. Die mikroskopische Simulation liefert als Ergebnis Messwerte in Form von Wartezeiten und Fahrzeiten, die für die strategische Planung mit makroskopischen Modellen verwendet werden können.

**Abbildung 14** zeigt in einer Übersicht die Kopplung des makroskopischen Planungssystem VISUM und des mikroskopischen Simulationssystem VISSIM der PTV AG ([www.ptv.de](http://www.ptv.de)). Aus GIS-Daten wird ein makroskopisches Netzmodell aufgebaut, das sich für strategische Planungsaufgaben, z.B. für die Entwicklung und Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen eignet. Dieses Netzmodell kann mit den oben beschriebenen Methoden um spezifische Daten ergänzt werden, die für ein mikroskopisches Modell erforderlich sind. Im wesentlichen sind das

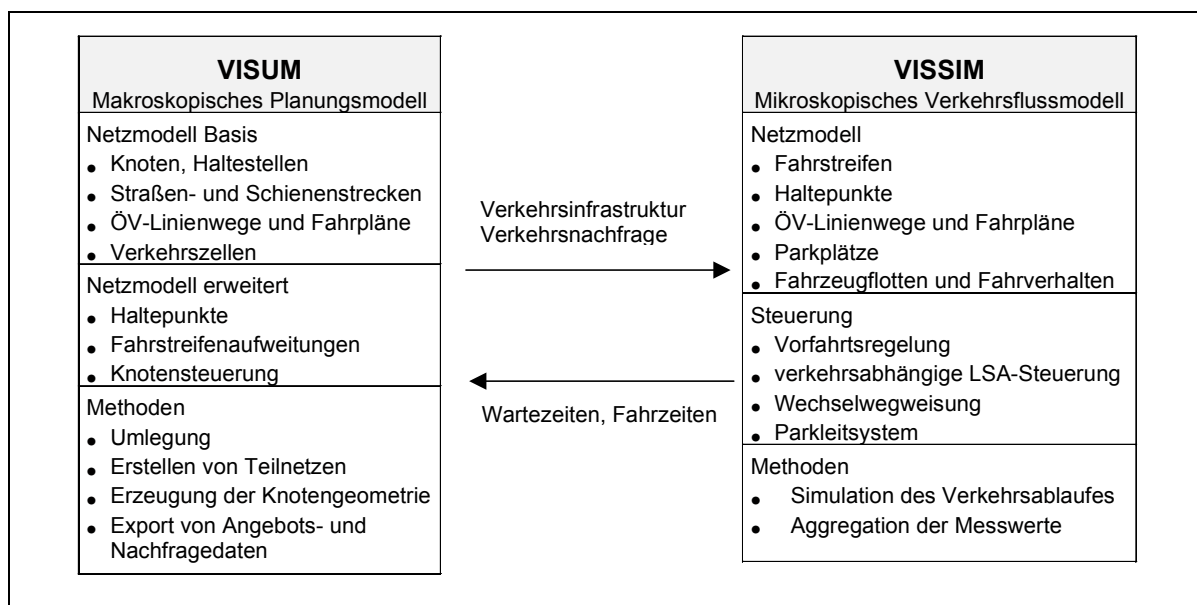
- Fahrstreifenverbreiterungen an Knotenpunkten,
- Informationen über die Knotensteuerung,
- Haltepunkte des Öffentlichen Verkehrs.

Die Angebots- und Nachfragedaten können dann für das gesamte Netz oder für ein beliebiges Teilnetz an das mikroskopische Modell übergeben werden. Hier werden dann zusätzliche Informationen insbesondere über das Fahrverhalten und über eine eventuelle verkehrabhängige Steuerung eingepflegt. Das Ergebnis der Simulation mit VISSIM kann dann für die strategische Planung in VISUM zurückgegeben werden.

Eine derartige Kopplung, bei der das makroskopische Modell um spezifische optionale Relationen ergänzt wird, bietet die Voraussetzung für ein umfassendes Verkehrsmanagement, das sowohl operative als auch strategische Anwendungen einbezieht. Damit kann erreicht werden, dass EDV-Anwendungen für verschiedene Einsatzbereiche, z.B. für

- die strategische Netzplanung,
- die verkehrstechnische Planung der Verkehrssteuerung,
- die operative Planung der Fahrzeugumläufe im Verkehrsbetrieb und
- die Echtzeitsteuerung des Verkehrsablaufes über eine Verkehrsleitzentrale

auf Netzmodellen arbeiten, die aus einem gemeinsamen Grundmodell abgeleitet sind und so eine einfache Rückgabe von gemessenen oder simulierten Daten an die strategische Planung ermöglichen.



**Abbildung 14:** Kopplung zwischen dem makroskopischen Verkehrsplanungsmodell VISUM und dem mikroskopischen Simulationsmodell VISSIM

## Literatur

1. Brilon, W. et. al.: *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*, Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE 02.171R96A der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bochum, 1998
2. Fellendorf, M., Vortisch, P.: Integrated Modeling of Transport Demand, Route Choice, Traffic Flow and Traffic Emissions, *Proceedings of TRB 2000* (Preprint CD-ROM), Washington, 2000.
3. Fellendorf, M.: *Graphentheoretisches Verfahren zur koordinierten Signalisierung von Knotenpunkten*, Dissertation am Institut für Verkehrswesen der Universität (TU) Karlsruhe, 1991.
4. Friedrich, M., Hofsäß, I., Nökel, K., Vortisch, P.: A Dynamic Traffic Assignment Method for Planning and Telematic Applications, *Proceedings of Seminar K, European Transport Conference*, Cambridge, 2000.
5. Friedrich, M., Hofsäß, I., Weckeck, S.: Timetable-based Transit Assignment Using Branch & Bound, *Preprint CD-ROM of 80<sup>th</sup> Annual TRB Meeting*, Transport Research Board, Washington, 2001.

6. Kirchhoff, P., Holz, S.: Optimierung der Fahrzeitvorgaben für Busse und Straßenbahnen, *Der Nahverkehr*, Heft 3, 1987.
7. Papageorgiou, M.: Dynamic modeling, assignment and route guidance in traffic networks, *Transportation Research* 24B, 1990.
8. Semmens, M.: *PICADY2: an enhanced program to model capacities, queues and delays at major/minor priority junctions*; TRRL Research Report 36; Crowthorne, 1985
9. Serwill, D.: DRUM – Modellkonzept zur dynamischen Routensuche und Umlegung, *Berichte Stadt, Region, Land*, Band 43, Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen, 1994.