

Anbindungszeiten in Verkehrsnetzen

FA 18.015

Forschungsstelle: Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen (Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich)
 Bearbeiter: Galster, M.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn
 Abschluss: Oktober 2007

1 Aufgabenstellung

Wie bei allen Modellen besteht eine Problematik bei der Modellierung von Anbindungen darin, dass einerseits eine möglichst genaue Abbildung der Realität erreicht werden soll, auf der anderen Seite aber der Aufwand der Planungsaufgabe angemessen sein muss.

Bei der Erstellung von Anbindungen in einem Verkehrsplanungsmodell stellen sich drei wesentliche Fragen:

1. An welche Knoten wird eine Verkehrszelle angebunden?
2. An wie viele Knoten wird eine Verkehrszelle angebunden?
3. Welche Zeiten werden der Anbindung zugewiesen?

Die ersten beiden Fragen haben einen Einfluss auf die Verteilung der Fahrten im Netz. Nur wenn die Verkehrsnachfrage an mehreren Knoten eingespeist wird, ergeben sich realitätsnahe Verkehrsstärken im Nahbereich der Verkehrszelle. Die dritte Frage beeinflusst dann die Reisezeit. Die Schwierigkeit bei der Zuweisung von Anbindungszeiten hat dabei zwei Dimensionen. Die eine Dimension betrifft die Abbildung der Verkehrszellen. Sie können sich in ihrer Größe und in der Verteilung der Einwohner bzw. der Nutzungen innerhalb der Zelle unterscheiden. Die zweite Dimension betrifft den Detaillierungsgrad des abgebildeten Verkehrsnetzes. Enthält das Netzmodell alle Verkehrswege, kann realitätsnäher angebunden werden, als wenn es im IV nur das Hauptstraßennetz und im ÖV (Öffentlicher Verkehr) nur den Schienenverkehr umfasst.

Vor diesem Hintergrund zielt das Forschungsvorhaben darauf ab, praxisnahe Werte für Anbindungszeiten in Verkehrsnetzen in Abhängigkeit von der Netzstruktur und der Siedlungsstruktur zu ermitteln. Ein weiteres Ziel ist es, Verkehrsmodellierern handhabbare Regeln für die Modellierung von Anbindungen an die Hand zu geben, um auf diese Weise zu einer reproduzierbaren Vorgehensweise beizutragen.

2 Untersuchungsmethodik

Die vorgesehene Vorgehensweise kombiniert Erhebungen und Modellberechnungen (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1: Methoden zur Ermittlung der Zeitkomponenten

Zeitkomponente	Befragung	Beobachtung	Verkehrsplanungsmodell
Zu- und Abgangszeit Pkw	✓		
Parkplatzsuchzeit Pkw	✓		
Fahrzeit im untergeordneten Netz Pkw			✓
Zu- und Abgangszeit ÖV	✓		✓
Startwartezeit ÖV		✓	
Fahrzeit im untergeordneten Netz ÖV			✓

- Die Zugangs-, Abgangs- und Parkplatzsuchzeiten im Pkw-Verkehr werden durch eine Befragung von rund 500 Pkw-Fahrern ermittelt. Die Befragung erfolgt am Pkw-Stellplatz im öffentlichen Straßenraum bzw. im öffentlich zugänglichen Parkhaus.
- Die Pkw-Fahrzeiten im untergeordneten Netz werden mit einem Verkehrsplanungsmodell bestimmt. Dazu werden in verschiedenen Netzmodellen die Fahrzeiten von allen Netzknoten ausgewählter Verkehrszellen zu ausgewählten Zielknoten bestimmt. Die so für eine Verkehrszelle zu einem Zielknoten ermittelten Fahrzeiten werden nun gemittelt und mit der Fahrzeit zwischen der Verkehrszelle und dem Zielknoten verglichen. Die Differenz der Fahrzeiten entspricht dann der Fahrzeit im untergeordneten Netz.
- Die Zugangs- und Abgangszeiten im ÖV werden aus einer Befragung von rund 500 ÖV-Fahrgästen abgeleitet. Modellrechnungen, in denen die Entfernung von definierten Netzknoten zur nächsten Haltestelle ermittelt wird, ergänzen die Befragungsergebnisse.
- Die Startwartezeiten im ÖV werden mit einer Beobachtung der Ankunftszeiten von Fahrgästen an ihrer Einstiegshaltestelle gemessen.
- Die ÖV-Fahrzeiten im untergeordneten Netz werden mit einem Verkehrsplanungsmodell bestimmt. Dazu werden von allen Haltestellen des Nahverkehrs die Beförderungszeiten zum nächsten Bahnhof berechnet.

Der größte Aufwand ist mit der Ermittlung der Pkw-Fahrzeiten im untergeordneten Netz verbunden. Da hier insbesondere die

Anzahl und die Auswahl der angebotenen Knoten von Bedeutung ist, müssen verschiedene Modellierungsansätze untersucht werden. Es werden folgende Anbindungsszenarien untersucht:

- Anzahl der angebotenen Knoten: ein Knoten, n % der Knoten, alle Knoten;
- Vollständigkeit des Straßennetzes: gesamtes Straßennetz, nur klassifiziertes Straßennetz;
- Zellengröße: Baublock, Teil einer Gemeinde, Gemeinde, Landkreis;
- Siedlungsfläche: Es werden alle Knoten einer Verkehrszelle oder nur die Knoten in besiedelten Gebieten bei der Auswahl der Anbindungen berücksichtigt.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Pkw-Verkehr

Die Zu- und Abgangszeiten sowie die Parkplatzsuchzeiten sind netzmodellunabhängig. Sie hängen vor allem ab von der Nutzungsstruktur, der Bebauungsdichte und vom Parkdruck. Anhand dieser Kriterien werden verschiedene Gebietscharakteristiken unterschieden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Zugangsdauer, Abgangsdauer und Parksuchdauer im Pkw-Verkehr

Gebietscharakteristik	t_{ZU}/t_{AB} [min]	t_{PS} Parkdruck	
		normal [min]	hoch [min]
Kernbereich Oberzentrum • vorrangige Nutzung Einkauf, Erledigung • kaum Wohnnutzungen	2,5	2,0	4,0
Kernbereich Mittelzentrum • Mischnutzung Einkauf, Erledigung, Arbeiten • geringe Wohnnutzungen	2,0	1,0	3,0
Kernbereich Unterzentrum • Mischnutzung Einkauf, Erledigung, Arbeiten • mittlere Wohnnutzungen	1,0	1,0	2,0
Innenstadtrandbereich Oberzentrum • Mischnutzung Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Erledigen • Bewohnerparken findet in größerem Umfang im Straßenraum statt.	2,0	2,0	4,0
Sonstige Gebiete • vorrangige Wohnnutzung • Bewohnerparken findet vor allem auf privaten Stellplätzen und nur in geringem Umfang im Straßenraum statt.	1,0	0,0	-

Aus der Gesamtheit der Quelle-Ziel-Relationen wird eine Funktion geschätzt, die die oben genannten Kriterien beinhaltet. Bild 1 zeigt diese Funktion für Zellen, in denen 100, 20 und 5 % der Knoten angebotenen sind. Außerdem wird unterschieden, ob nur Knoten in besiedelten Gebieten oder alle Knoten in der gesamten Zelle angebotenen werden. Die Funktion eignet sich für Zellen, bei denen Informationen über die Lage des Zellen- bzw. Aufkommensschwerpunktes fehlen.

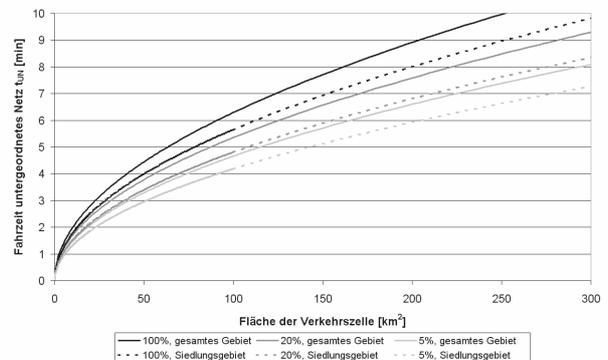


Bild 1: Fahrzeit im untergeordneten Netz aus gemeinsamer Schätzung

Es hat sich gezeigt, dass diese Methode nur bei relativ groben Zelleinteilungen (z. B. Gemeindeebene) zuverlässig funktioniert. Bei feineren Zelleinteilungen sowie der Verwendung eines kompletten Straßennetzes ergibt die zufällige Knotenauswahl eine zu große Streuung.

Daher stellt ein zweiter Ansatz einen Zusammenhang aus der Fahrzeit im untergeordneten Netz und der Anbindungslänge her. Die längenabhängige Fahrzeit im untergeordneten Netz ergibt sich gemäß Bild 2. Die Kurven zeigen, getrennt nach Zentralitäten, sowohl die Verläufe für die Fahrzeit t_0 im unbelasteten Netz sowie für die Fahrzeit t_B im belasteten Netz.

Es wird sichtbar, dass die Belastung zu einem deutlichen Anstieg der Fahrzeiten führt. Der Anstieg wächst mit der Luftlinienentfernung. Wenn Reisezeiten für die Hauptverkehrszeit ermittelt werden sollen, sollte die auf die Anbindung entfallende Fahrzeit im untergeordneten Netz den aus der Netzbelastung resultierenden Anstieg der Fahrzeit berücksichtigen.

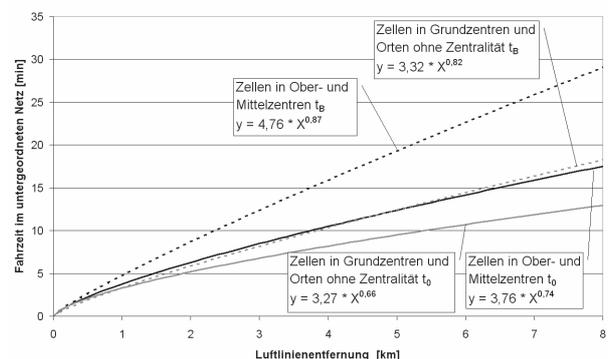


Bild 2: Fahrzeit t_0 im unbelasteten Netz und Fahrzeit t_B im belasteten Netz in Abhängigkeit von der Luftlinienentfernung

In diesem Fall ist sowohl die Lage des Zellschwerpunktes als auch die Auswahl der Anbindungsknoten von Bedeutung. Der Zellschwerpunkt kann auf folgende Arten bestimmt werden:

- geometrischer Schwerpunkt der Zellenfläche,
- Schwerpunkt der Einwohner,
- Schwerpunkt der Netzknoten sowie
- Schwerpunkt aus der Erreichbarkeit.

Bei Zellen außerhalb von Ballungsräumen mit mehreren räumlich getrennten Siedlungsgebieten sollte geprüft werden, ob entweder eine Aufteilung in mehrere Verkehrszellen oder eine prozentuale Aufteilung der Nachfrage auf die einzelnen Siedlungsgebiete möglich ist.

Um eine gleichmäßige Verteilung der angebotenen Knoten zu gewährleisten, sind neben der manuellen Methode, bei der der Modellierer mit Ortskenntnis fallspezifisch anbindet, verschiedene Methoden denkbar, die sich vom Aufwand unterscheiden. Eine einfache Möglichkeit, eine gleichmäßige Verteilung zu erreichen, ist die Unterteilung der Zellen in Sektoren. Um tatsächliche Aufkommensschwerpunkte zu identifizieren, kann eine Clusterung der Knoten durchgeführt werden.

3.2 Öffentlicher Verkehr

Die Summe aus Zugangszeit und Startwartezeit beträgt in städtischen Gebieten mit einem Takt von 10 bis 15 Minuten im Mittel rund 8 Minuten. In ländlichen Räumen und im Fernverkehr erhöht sich dieser Wert wegen der niedrigeren Bedienungshäufigkeit auf rund 14 Minuten. Davon entfallen jeweils 4,5 Minuten auf die Zu- und Abgangszeit. Dieser Mittelwert ist immer dann zu verwenden, wenn das Netzmodell nicht das komplette ÖV-Angebot umfasst.

Für eine genauere Ermittlung der Zu- und Abgangszeit in Netzmodellen mit dem kompletten Verkehrsangebot kann folgende Funktion verwendet werden, die die Zu- und Abgangszeit $t_{Zu/Ab}$ [min] aus der streckenbezogenen Haltestellendichte d [Haltestellen/km Streckenlänge] ableitet (siehe Bild 3):

$$t_{Zu/Ab} = 2,95 \cdot d^{-0,29}$$

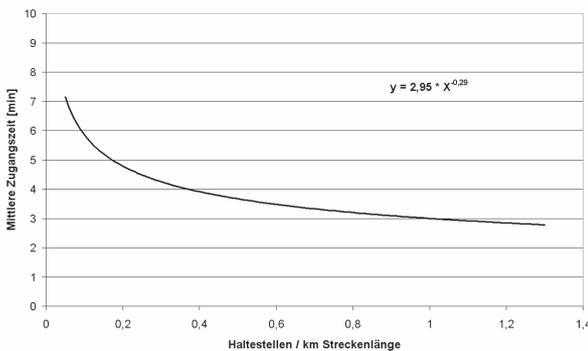


Bild 3: Zusammenhang zwischen mittlerer Zu- und Abgangszeit und streckenbezogener Haltestellendichte

Die Startwartezeit t_{SW} [min] ergibt sich aus dem Takt h [min] bzw. der mittleren Fahrzeugfolgezeit:

$$t_{SW} = 0,7 \cdot h^{0,64}$$

Grundsätzlich ist es besser, die Startwartezeit nicht aus der Bedienungshäufigkeit einer Haltestelle, sondern aus der Bedienungshäufigkeit einer Relation abzuleiten. Sie wird dann als eigenständige Komponente der Reisezeit behandelt und nicht der Quellenbindungszeit zugeschlagen.

Enthält das Netzmodell nicht das komplette Verkehrsangebot, sondern nur das Angebot im Schienenverkehr, kann die Beförderungszeit t_{UN} [min] zum nächsten Bahnhof entweder aus der Zellenfläche oder der Anbindungsgröße bestimmt werden:

- Liegt der Bahnhof in der Verkehrszelle, dann wird die Zeit aus der Zellenfläche F_Z [km²] und der Zahl der Bahnhöfe n in der Verkehrszelle ermittelt:

$$t_{UN} = 8,37 \cdot \sqrt{\frac{F_Z}{2 \cdot \Pi \cdot n}}^{0,54}$$

- Liegt der Bahnhof außerhalb der Verkehrszelle, dann wird die Zeit aus der Anbindungsgröße l [km] zwischen dem Zellschwerpunkt und dem Bahnhof ermittelt (siehe Bild 4):

$$t_{UN} = 8,37 \cdot l^{0,54}$$

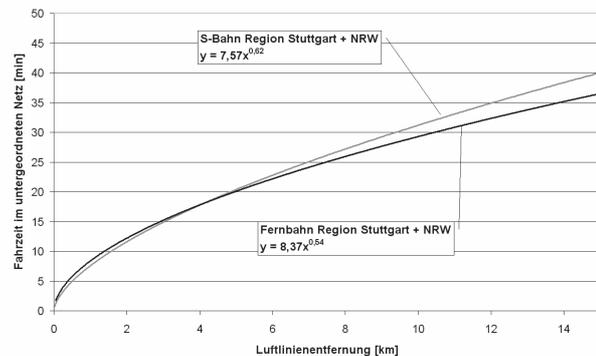


Bild 4: Kurve Fahrzeit zum nächsten Fernbahnhof und S-Bahnhof in Abhängigkeit von der Luftlinienentfernung

4 Folgerungen für die Praxis

Die dargestellten Methoden zur Auswahl von Anbindungsknoten und zur Bestimmung der Anbindungszeiten bieten Anwendern von Verkehrsplanungsmodellen eine Vorgehensweise zur Modellierung von Anbindungen. Die angegebenen Anbindungszeiten können auch für eine einfache Ermittlung der mittleren Reisezeit einer einzelnen Relation zwischen zwei Städten mit einem Routenplaner verwendet werden:

- Im Pkw-Verkehr ermittelt man hierfür die Reisezeit der Route vom Zentrum des Startorts zum Zentrum des Zielorts und addiert die Zugangszeit, die Abgangszeit und die Parksuchzeit nach Tabelle 2.
- Im ÖV ermittelt man die Reisezeit vom Bahnhof des Startorts zum Bahnhof des Zielorts und addiert für die Zugangszeit, die Abgangszeit und die Startwartezeit einen Wert von 19 Minuten (= 2 · 4,5 + 14). Dieser Wert wird dann um die Fahrzeit im untergeordneten Netz ergänzt, der sich aus der Zellengröße ergibt. Er beträgt zum Beispiel für eine Stadt der Größe Kölns (ca. 400 km²) im Mittel 33 Minuten.

Die ermittelten mittleren Zeitwerte können aus zwei Gründen nur bedingt repräsentativ sein. Zum einen ist die verfügbare Stichprobe der Befragungen und die Zahl der untersuchten

Gebiete im Pkw-Verkehr relativ klein. Hier könnten umfassendere Erhebungen weitere Erkenntnisse liefern. Zum andern stand nur ein Netzmodell mit einem kompletten Straßennetz zur Verfügung, sodass alle Auswertungen, die ein komplettes Straßennetz erfordern, auf einer Quelle basieren. Dennoch erscheinen die Werte plausibel, sodass zusätzliche Erhebungen und Berechnungen vermutlich nur kleine Änderungen ergeben. Für die Anwendung in makroskopischen Verkehrsplanungsmodellen sollten die Werte ausreichend genau sein.

Die größten Hemmnisse bei der Übertragung der Ergebnisse in die Praxis der Modellierung stellen die Methoden zur Bestimmung der Zellenschwerpunkte und der Auswahl der Anbindungsknoten insbesondere im IV dar. Die beschriebenen Methoden sind mit Aufwand verbunden und erfordern Erweiterungen in den Softwareprodukten für die Verkehrsplanung. Die im Rahmen des Projekts entwickelten Prototypen benötigen manuelle Eingriffe und decken nicht alle Sonderfälle ab.

Bessere Daten über die Verteilung der Nutzungen, z. B. aus automatisierten Luftbildauswertungen, würden ebenfalls die Ergebnisqualität verbessern.