

Modellierung von Erreichbarkeit in GIS - Optimierung der Haltestellenplanung im ÖPNV

Beate OVERKÄMPING & Christoph RÜTHER

Beate Overkämping und Christoph Rüter, Institut für Geoinformatik/WWU Münster, Robert-Koch-Str. 26-28, D-48149 Münster,
email: {overkab, ruether}@ifgi.uni-muenster.de

KURZFASSUNG

Die Liberalisierung des Verkehrsmarktes in der EU führte in der Vergangenheit zu wachsendem Wettbewerb und Kostendruck für die Unternehmen im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Eine kostengünstige Möglichkeit zur Optimierung des Angebots eines Nahverkehrsunternehmens ist die EDV-gestützte Analyse und Planung von Haltestellen auf Basis von Umgebungsdaten. In der vorliegenden Fallstudie wird die Frage untersucht: Wie lässt sich der optimale Standort einer Haltestelle im ÖPNV unter Berücksichtigung der fußläufigen Erreichbarkeit mit einem Geoinformationssystem (GIS) bestimmen? Die Lösung dieser Fragestellung mit einem GIS erfordert die Implementierung eines Modells, das die Erreichbarkeit eines Raumpunktes annähernd gut beschreibt. Hierzu dient das Potentialmodell. Ein solches Instrument erlaubt neben der Neuplanung von Haltestellen auch die Analyse bestehender Haltestellennetze.

1 ANALYSE UND PLANUNG VON HALTESTELLEN

Die Rahmenbedingungen für den ÖPNV innerhalb des liberalisierten Verkehrsmarktes der EU sind geprägt durch zunehmenden Wettbewerb und Kostendruck, der durch die leeren Kassen der Kommunen noch verstärkt wird. Dieser Druck wird in Zukunft weiter zunehmen und die Verkehrsunternehmen vor neue Aufgaben stellen. Will ein Nahverkehrsunternehmen auf dem Markt bestehen, muss es den Kunden ein besseres Angebot bieten, gleichzeitig aber eine Senkung seiner Kosten erreichen (VDV 2000).

Die Notwendigkeit der Kostensenkung führte häufig zu einer Rationalisierung im ÖPNV. Viele Haltestellen wurden abgeschafft, wodurch lange Zugangswege entstanden. Wege von 500 Metern und mehr kommen in der Praxis häufig vor, nicht nur weil der Bus regelmäßig die Wohngebiete meidet, sondern auch aufgrund der langen Distanzen zwischen zwei Haltestellen. Die Auflösung von Haltestellen bedeutet eine Beschleunigung des Busses, der pro nicht bedienter Haltestelle, also ohne Bremsen, Beschleunigen und den Fahrgastwechsel, viel Fahrtzeit einsparen kann. Ist es dann nicht konsequent, die Zahl der Haltestellen zu minimieren und nur die Quell- und Zielgebiete zu bedienen? Bedienungsformen wie der Schnellbus bieten heute eine solche Lösung an.

Nur wenn ein ÖPNV-System geeignete Zugänge bietet, kann es erfolgreich sein. Die Zahl der Kunden eines solchen Unternehmens richtet sich neben anderen Faktoren nach Zahl und Lage der Haltestellen. So werden in der Innenstadt viele öffentliche Einrichtungen und Betriebe nicht direkt angefahren, so dass ein längerer Fußweg in Kauf genommen werden muss. Vielfach sind Parkplätze wesentlich näher gelegen, der Autofahrer wird dadurch bevorzugt und der ÖPNV verliert potentielle Kunden.

Ein Instrument zur Verbesserung der Zugänglichkeit eines ÖPNV-Systems ist die Analyse und Planung von Haltestellen auf Basis von Umgebungsdaten. Diese Analyse sollte sowohl den Forderungen des Fahrgastes nach hoher Haltestellendichte und gleichzeitiger hoher Beförderungsgeschwindigkeit nachkommen, als auch die Wünsche des Betreibers nach einem wirtschaftlich optimalen, kapazitätsgerechten Haltestellenangebot berücksichtigen. Neben den Umgebungsdaten spielen bei der Planung von Haltestellen noch eine Reihe von anderen Aspekten eine Rolle. Zu nennen sind hier beispielsweise wirtschaftliche, finanzielle, innerbetriebliche oder politische Faktoren. Die Ausprägung dieser Faktoren gestaltet sich je nach Betreiber und Verkehrsgebiet unterschiedlich, so dass sie hier unberücksichtigt bleiben.

2 FORSCHUNGSSTAND

Der Einsatz geographischer Informationssysteme in der Angebotsplanung und Fahrgastinformation hat in den letzten Jahren stark zugenommen (Müller-Elschner 1999). Seit Jahren gibt es im Bereich der Bearbeitung von Verkehrsproblemen spezifisch angepasste Software, die als mehr oder weniger geschlossene Systeme konzipiert und auf Teilaufgaben der Verkehrsplanung angepasst sind (Helmert 1999). Durch den Einsatz von GIS-Technologie kann die bisher vorherrschende Teilung in plan- bzw. tabellenorientierte Programmsysteme überwunden werden (Krahl 1999). Für einzelne Bereiche innerhalb der EDV-gestützten Angebotsplanung und Fahrgastinformation existieren bereits GIS-basierte Lösungen (Müller-Elschner 1999). Von besonderem Interesse ist in dieser Arbeit die Verkehrsplanung und -analyse. Typische Tätigkeitsbereiche sind hier:

- *Fahrangebotsplanung*: Orientierung des Fahrplan- und Linienangebotes an der Fahrgastnachfrage, Tourenplanung (Müller-Elschner 1999)
- *Infrastrukturplanung*: Planung und Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen, Bewertung von Alternativen (Müller-Elschner 1999)
- *Verkehrsflusssimulationen*: Darstellung des Verkehrsablaufs durch Einbeziehung von realen Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen (LSA) (Krahl 1999)
- *Erreichbarkeitsanalysen*: Darstellung von Versorgungs- bzw. Einzugsbereichen von Haltestellen auf Basis der realen Wegenetze, Verschneidung mit flächigen Verteilungen, dynamische Start- und Ziel-Haltestellenermittlung (Krahl 1999)

Durch die Verknüpfung der zunächst heterogenen Datenbestände und verteilten Fachdatenbestände über den gemeinsamen Raumbezug ergeben sich in diesen Bereichen vielfältige Möglichkeiten der Analyse (Müller-Elschner 1999).

Für den GIS-Einsatz im Bereich der Haltestellenverwaltung existieren heute schon zahlreiche Softwarelösungen. Ein Beispiel ist das System MICROBUS der IVU Berlin, es stellt ein GIS-basiertes Instrument zur Verfügung (<http://www.mircobus.de>) vgl. Abb. 1.

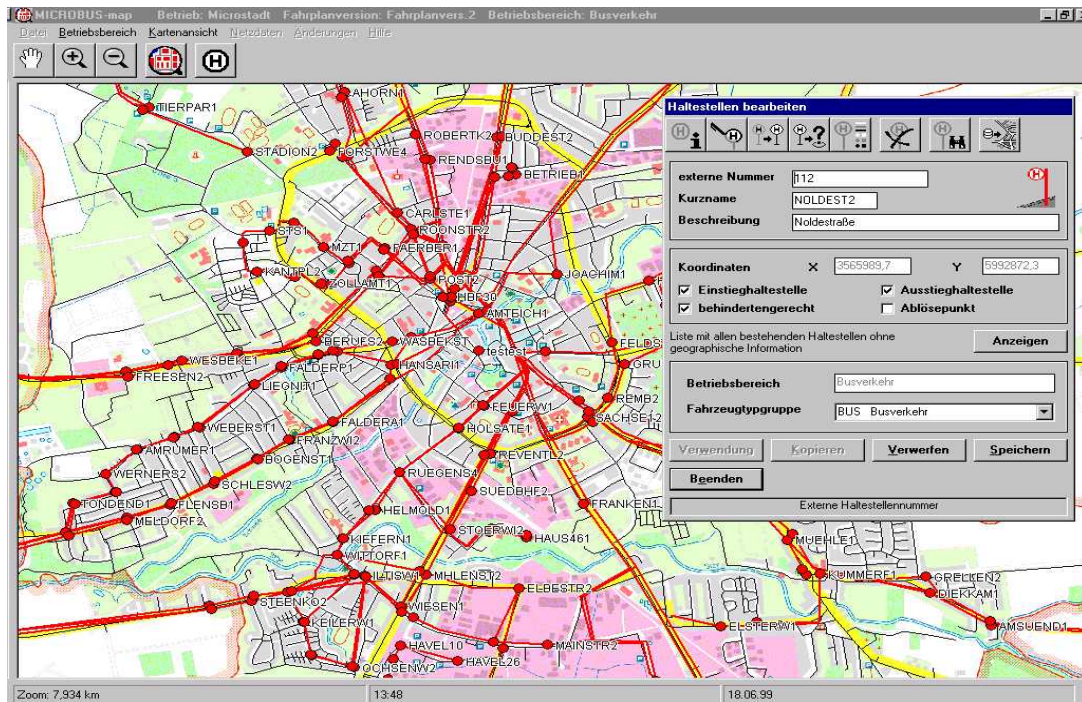


Abb.1: System MICROBUS (Quelle: IVU Berlin, <http://www.mircobus.de>)

Die Unterscheidung der einzelnen Haltestellen erfolgt anhand von Koordinatenangaben (Georeferenzierung), da es zur Zeit kein einheitliches bundesweites Verfahren zur Numerierung oder Benennung gibt. Die Verwaltung und Handhabung eines solchen Haltestellen-Pools überschreitet schnell die Fähigkeiten von einfachen tabellarischen Datenbanksystemen und erfordert den Einsatz eines GIS-Systems. Die Daten einer Haltestelle werden zur Verwaltung der Ausstattung der Haltestellen, zur Beurteilung der Haltestelle und ihrer Umgebung, zur Schaffung der Ausgangsbasis für planerische Analysen und zur Verwendung der Information für Auskunftssysteme eingesetzt (Krahl 1999).

3 UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND

Eine Haltestelle besteht im allgemeinen aus mehreren Haltepunkten, die örtlich voneinander getrennt sind. Beide Fahrtrichtungen und gegebenenfalls jede Linie hat ihren eigenen Haltepunkt im Bereich einer Haltestelle mit gemeinsamen Haltestellennamen (VDV 2000). Die meisten Haltestellen werden in beiden Fahrtrichtungen von einer Linie bedient und bestehen somit aus zwei Haltepunkten, die selten eine starke räumliche Trennung aufweisen. Da im ÖPNV selten ein einzelner Haltepunkt geplant wird, wird in dieser Arbeit der Begriff Haltestelle, der als Sammlung von Haltepunkten definiert wird, verwendet.

Die Entscheidungsfindung innerhalb der Haltestellenplanung beruht auf einem umfangreichen Informationskatalog. Für die Ermittlung von Haltestellenstandorten sind sowohl Informationen über umliegende Start- und Zielgebiete (Umgebungsdaten) als auch Informationen über die Attraktivität der Haltestelle wichtig. Letztere wird definiert durch die relative Nutzungshäufigkeit, d.h. den Anteil der potentiellen Kunden, die diese Haltestelle nutzen.

Informationen über Start- und Zielgebiete im Einzugsbereich einer Haltestelle:

- *Demographische Daten (Bevölkerungsverteilung, Bevölkerungsstruktur)*
- *Arbeitsplatzdichte und -verteilung*
- *Zentralität des Gebietes*
- *Öffentliche Einrichtungen*
- *Versorgungsstandorte*
- *Erholungseinrichtungen*
- *Größe des Einzugsgebietes*
- *Erreichbarkeit der Haltestelle*

Informationen über die Attraktivität der Haltestelle:

- *Lage der Haltestelle*
- *Dichte und Lage anderer Haltestellen*
- *Bedienungshäufigkeit der Haltestelle*
- *Linienführung, Fahrtdauer zum Zielpunkt und Anschlussmöglichkeiten*
- *Bedienungsformen, Qualität und Komfort des Verkehrsmittels*
- *Kosten (Beförderungsentgelt)*
- *Informationsstand des Kunden*
- *Ausstattung der Haltestelle (Überdachung, Parkplätze)*

In der Arbeit wird, unter Ausschluss aller anderen Parameter, die Erreichbarkeit einer Haltestelle in Abhängigkeit von der Entfernung betrachtet. Untersucht wird: Wie lässt sich mit Hilfe von Geoinformationssystemen der optimal erreichbare Standort einer Haltestelle im ÖPNV unter Berücksichtigung der fußläufigen Erreichbarkeit bestimmen?

4 ERREICHBARKEIT VON HALTESTELLEN

„Unfortunately, accessibility is yet another term used frequently in a wide range of literature but which has been given a number of different definitions.“ (Gould 1969). Dieses Zitat von Peter Gould ist auch heute noch gültig und kann auf die GIS-Welt übertragen werden. Manche Geoinformationssysteme enthalten heute den Befehl „accessibility“, der in Wirklichkeit nur potentielle Werte berechnet (De Jong 1996). Es ist also zunächst notwendig zu definieren, was in dieser Arbeit unter Erreichbarkeit verstanden wird.

Eine Haltestelle wird als erreichbar betrachtet, wenn der Aufwand sie zu erreichen für die Zielgruppe akzeptabel ist. In der klassischen Verkehrsplanung werden Einzugsbereiche für die fußläufige Erreichbarkeit einer Haltestelle häufig in Luftlinienentfernung angegeben, außerhalb dessen die Entfernung zur Haltestelle für den Kunden nicht mehr annehmbar ist. Traditionell werden solche Probleme mit den GIS-Werkzeugen „Buffer“ und „Overlay“ gelöst. Bei der Berechnung des Potentials eines Haltestellenstandortes sollte jedoch das Wegenetz nicht unberücksichtigt bleiben. Der kürzeste Weg zur nächsten Haltestelle im tatsächlichen Wegenetz ist unter Umständen wesentlich länger als der durch die Luftlinienentfernung bestimmte Weg. Von besonderer Bedeutung bei Erreichbarkeitsanalysen ist deshalb die Netzwerkanalyse. Sie wird in dieser Arbeit verwendet, um Einzugsbereiche von Haltestellen auf Basis des realen Wegenetzes zu bestimmen. Das Konzept der Erreichbarkeit beinhaltet nicht nur die Verbindung zwischen einer Quelle und einem Ziel und die Möglichkeit der Nutzung derselben durch den Kunden, sondern auch Eigenschaften der Quell- und Zielgebiete. So werden mit der „Buffer/Overlay“-Lösung alle Bevölkerungsstandorte im Einzugsgebiet gleich gewichtet, d.h. ein Wohnstandort, der 300m von der Haltestelle entfernt ist, geht mit gleichem Gewicht in die Berechnung ein, wie ein Wohnstandort, der in einer Entfernung von 500m liegt.

Keijer 1999 untersuchte die Erreichbarkeit von Bahnhöfen im Schienenpersonennahverkehr in den Niederlanden und stellte fest, dass die Wahl des Verkehrsmittels zum und vom Bahnhof stark von der Distanz abhängt.

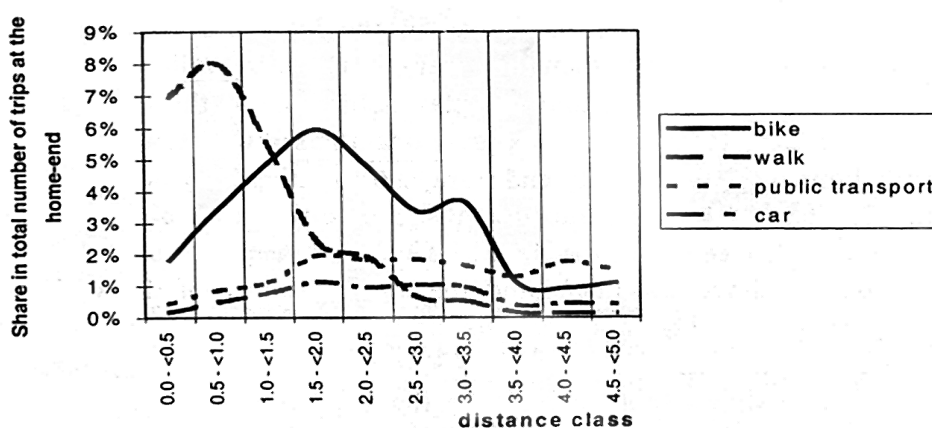


Abb.2: Bedeutung von Verkehrsmitteln in Relation zur Distanz (home-end) (Quelle: Keijer 1999)

Es wird deutlich, dass bei kurzen Distanzen (bis zu 1 km) eindeutig der Prozentsatz an Personen, die den Bahnhof zu Fuss erreichen, am größten ist. Bei der Betrachtung von Bushaltestellen werden je nach Bedienungsform Analogien zur Schiene erwartet, wobei in städtischen Gebieten die Größe des Einzugsbereiches selten 1 km überschreitet. Die Größe des Einzugsbereiches ist im wesentlichen abhängig von der Attraktivität einer Haltestelle.

5 UNTERSUCHUNGSMETHODE

Das Newton'sche Gravitationsgesetz, benannt nach dem englischen Physiker Sir Isaac Newton, besagt, dass die gravitationsbedingte Anziehung zwischen zwei Körpern direkt proportional (verhältnismäßig) ist zum Produkt der Massen der beiden Körper und indirekt proportional zum Quadrat ihrer Entfernung. Carey (1858) erkannte, dass das Gravitationsgesetz auch auf sozioökonomische Fragestellungen anwendbar ist und prägte für diese Forschungsrichtung den Begriff Sozialphysik. Er stellte fest, dass die Anzahl der Wege sich proportional zu den attraktiven Kräften und antiproportional zur Distanz verhält. Eine Weiterentwicklung des Gravitationsmodells ist das Potentialmodell. Das klassische Potentialmodell wird folgendermaßen dargestellt:

$$Pot(i) = \sum_j \frac{P_j}{d_{ij}^\beta} \quad j \neq i$$

wobei $Pot(i)$ das Potential an Punkt i , P_j die Größe (Bevölkerung) eines Punktes j und d_{ij} die Distanz zwischen i und j darstellt. In dieser Gleichung ist β ein Parameter, der den Widerstand beschreibt. Er wird u.a. angewendet, um den unterschiedlichen Geschwindigkeiten verschiedener Verkehrsmittel gerecht zu werden und je nach Anwendungsfall kalibriert (Taaffe E. J. 1996).

Das Potentialmodell ist in der geographischen Forschung häufig verwendet und modifiziert worden. Spätere Verbesserungen, insbesondere durch Argumente der statistischen Theorie, führten zu einer negativen Exponentialfunktion (Wilson 1967):

$$Pot(i) = \sum_j P_j \exp(-\beta d_{ij})$$

Die allgemeine lagebezogene Nutzbarkeit, das Potential $Pot(i)$ eines Standortes i , wächst, wie auch beim ersten Modell, mit der realen Nutzungsintensität der umgebenden Standorte und nimmt mit deren Entfernung d_{ij} ab. Dieses Modell wird in dieser Fallstudie als Approximation für die tatsächliche Distanzempfindlichkeit der fußläufigen Erreichbarkeit (vgl. Abb.2) verwendet. Da es keine allgemein gültigen Regeln zur Bestimmung des Parameters β gibt, wird dieser Wert aufgrund von theoretisch, normativen Überlegungen bestimmt. Hierzu werden Richtwerte aus der Literatur verwendet.

Das Modell wird exemplarisch in ein GIS implementiert, das die Berechnung und Visualisierung leistet. Die Berechnung des Potentialmaßes $Pot(i)$ erfolgt für jeden einzelnen in Frage kommenden Punkt im Wegenetz. Betrachtet werden für diese Fallstudie nur Punkte, die auf dem Linienweg eines Busses liegen. Die Distanz zu jedem Wohnstandort erfolgt durch einen „shortest path“-Algorithmus, was der tatsächlichen Entfernung im Wegenetz gerecht wird. In einem ersten Schritt wird von einer Gleichverteilung der Bevölkerung ausgegangen. In der Praxis werden häufig verschieden große Einzugsbereiche (300 m oder 500 m) für eine Haltestelle angegeben, die Bestimmung des Potentialmaßes wird also für verschiedene Raumgrößen durchgeführt. Als Ergebnis sind je nach Raumgröße unterschiedliche optimale Standorte zu erwarten. Zur Lösung dieses Konfliktes wird der Standort ausgewählt, an dem sich für jeden Einzugsbereich ein ausreichender Wert ergibt. Auf diese Weise wird ein Haltestellenstandort ermittelt, der auf Grundlage des tatsächlichen Wegenetzes als der optimal erreichbare Standort gilt.

6 AUSBLICK

Die Anwendung von GIS in der Verkehrsplanung des ÖPNV bietet verschiedene Vorteile. Durch Kartendarstellungen werden die Untersuchungsergebnisse verständlicher dargestellt. Die Qualität der Untersuchungen lässt sich durch die Implementierung von räumlichen Modellen in GIS verbessern.

Die Implementierung des Potentialmodells in ein GIS kann zur Findung des optimalen Standortes einer Haltestelle beitragen. Durch Einbeziehung weiterer Parameter kann das angewendete Modell verbessert werden. So hat die Bevölkerungsverteilung in einem Gebiet erheblichen Einfluß auf den optimalen Haltestellenstandort. Durch Bevölkerungsstrukturdaten lässt sich der Anteil potentieller Nutzer des ÖPNV an der Wohnbevölkerung bestimmen.

In dieser Fallstudie wurde ausschließlich die fußläufige Erreichbarkeit einer Haltestelle betrachtet. Abhängig von Lage und Zweck der Haltestelle können auch Verkehrsmittel wie Fahrrad, PKW/Krad und öffentlicher Verkehr einen gewichtigen Einfluß auf die Erreichbarkeit haben und müssen mitberücksichtigt werden.

Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die Attraktivität der Haltestelle dar. Unterschiedliche Bedienungsformen und -häufigkeiten, die Fahrtdauer zum Zielpunkt und die Notwendigkeit auf der Fahrt umzusteigen bestimmen im besonderen Maße die Nutzungshäufigkeit einer Haltestelle. Das in dieser Arbeit vorgestellte Modell kann und sollte in zukünftigen Arbeiten um diese Parameter erweitert werden. Der Standort einer Haltestelle wird auch beeinflusst von der Lage anderer Haltestellen. Bei der Neuplanung von Haltestellen sind benachbarte Haltestellen in die Untersuchung mit einzubeziehen, so dass eine optimale Versorgung des Gebietes gewährleistet ist.

Neben der Neuplanung von Haltestellen bietet die hier vorgestellte Methode auch das Potential, bestehende Haltestellennetze auf ihre Erreichbarkeit zu analysieren. Dieses Vorgehen ermöglicht es, unterversorgte Gebiete leichter zu identifizieren. Die Integration der Planung und Analyse in bestehende ÖPNV-Software wird durch Interoperabilität von Geoinformationssystemen unterstützt (OGC). Durch die Schaffung neuer Möglichkeiten für Analyse und Planung von Haltestellen tragen GIS zu einer kapazitätsgerechten, optimalen Angebotsplanung bei.

LITERATUR

- De Jong, T. und Ritsema van Eck, J. (1996): "Location Profile-Based Measures as an Improvement on Accessibility Modelling in GIS." *Computers, Environment and Urban Systems* 20: 181-190.
- Gould, P. R. (1969): *Spatial Diffusion*. Washington DC: Association of American Geographers.
- Helmert, C. (1999): GIS und Verkehrsplanung - Konfrontation oder Kooperation. AGIT GIS in Verkehr und Transport, Salzburg.
- Krahl, M. (1999): Einsatz von GIS in der Verkehrstechnik. ESRI European User Conference.
- Keijer, M. J. N. und Rietveld, P. (1999): "How do people get to the railway station? The Dutch Experience." *Transportation Planning and Technology* 23: 215-235.
- Müller-Elschner, M. und Reckernagel, C. (1999): Integrierter GIS-Einsatz in der EDV-gestützten Angebotsplanung und Fahrgastinformation im öffentlichen Personenverkehr. AGIT GIS in Verkehr und Transport, Salzburg.
- Taaffe, E. J., Gauthier, H. L. und O'Kelly, M. E. (1996): *Geography of Transportation*. New Jersey.
- VDV (2000): Rahmenlastenheft GIS. Köln, VDV Arbeitsgruppe GIS: 7-8.
- Wilson, A. G. (1967): "A statistical theory of spatial distribution models." *Transportation Research* 1: 253-269.