

Methodisch-technische Aspekte bei der GIS-gestützten Infrastrukturplanung am Beispiel “Erschließungsqualität der Wohnbauflächen durch ÖPNV-Haltestellen in Karlsruhe”

Susanne KICKNER

(Mag. Susanne KICKNER, Institut für Geographie II, Universität Karlsruhe, Kaiserstraße 12, D-76128 Karlsruhe;
e-mail: susanne.kickner@bio-geo.uni-karlsruhe.de)

1. VERKEHR UND INFRASTRUKTURPLANUNG

Der Flächenverbrauch durch Siedlungsentwicklung und Verkehr und die damit einhergehenden Folgen für die Umwelt wie Versiegelung und Verkehrsemissionen sind nur in geringem Maße auf Bevölkerungs- und Beschäftigungsveränderungen zurückzuführen. Nach APEL (1995, S.19) ist das ungebremste Wachstum unter anderem bedingt durch veränderte:

- Lebensformen (z.B. Mobilitätsansprüche),
- spezifische Flächenansprüche einzelner Funktionen,
- Geschwindigkeiten von Verkehrsmitteln.

Das Verkehrsaufkommen, definiert als die Gesamtzahl aller zurückgelegten Wege, hat in den meisten Städten während der letzten drei oder vier Jahrzehnte nur in dem Maße, in dem die Bevölkerungszahl gewachsen ist, zugenommen. Im Gegensatz zu der relativ konstanten Größe Wegehäufigkeit haben sich die Längen der Wege und die Anteile der verschiedenen Verkehrsmittel am Gesamtverkehr gravierend verändert. Während noch 1960 über 60% aller Wege in der Bundesrepublik nichtmotorisiert durchgeführt wurden, waren es 1990 nur noch 36%. Durch den sehr großen spezifischen Flächenbedarf des Autoverkehrs ist das Verkehrssystem einer der größten Flächenverbraucher geworden und gerade in den Städten städtebaulich und funktional sehr problematisch (APEL, 1995, S.34).

Die typischen Formen der Bebauung und Verkehrserschließung der 60er und 70er Jahre mit einer flächenhaften dispersen Siedlungsentwicklung erschwerten eine wohnungsnahere Erschließung der Neubaugebiete mit Bussen und Bahnen von vornherein. “Breite Autoschnellstraßen dagegen wurden schon gebaut, bevor die ersten Häuser standen und bezogen werden konnten, dagegen erfolgte die Anbindung an Busse und Bahnen verspätet und lückenhaft. Die Folge war eine Festlegung der Bewohner auf die ausschließliche Autonutzung“ (MONHEIM, 1990, S.42).

Um diesen Trend zu bremsen bedarf es bestimmter Leitbilder der Planungskonzepte, die die Realisierbarkeit folgender Zielvorstellungen gewährleisten:

- Zentralaxiale Erweiterung des Siedlungsgebietes (z.B. FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN, 1995, LUDWIG, 1992)
- Kompakte Stadt der kurzen Wege (z.B. APEL, 1995; BECKMANN, 1992)

Die vorhandene Siedlungsstruktur ist eine stabile Größe, Planungskonzepte greifen nur für neu geschaffene Siedlungsflächen. Verkehrsvermeidung oder -Verlagerung kann daher nur erreicht werden durch Verbesserung des ÖPNV-Angebotes und durch Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer. Dies setzt wiederum eine gründliche Analyse der bestehenden Situation und der Verhaltensmotivationen voraus.

Wenn Infrastruktureinrichtungen hinsichtlich ihrer Trag- oder Funktionsfähigkeit bewertet werden sollen, wird in sehr vielen Untersuchungen ähnlich vorgegangen:

- Nachfrage und Angebot an Einrichtungen werden stadtteilweise bilanziert und damit eine Versorgungslücke oder Versorgungsüberschuß errechnet.
- Einzugsbereiche um bestehende oder geplante Infrastruktureinrichtungen werden festgelegt und damit versorgte und defizitäre Gebiete ausgewiesen.

Die Entfernungen zu Haltestellen und anderen Infrastruktureinrichtungen werden üblicherweise als Luftlinienentfernungen berechnet, bzw. kartiert, indem Kreise mit dem als zumutbar geltenden Entfernungsmaß als Radius um die Haltestellen gezeichnet werden. Gebiete, die innerhalb dieser Kreisflächen liegen oder deren Flächen sich teilweise überschneiden, gelten dann als gut oder ausreichend

erschlossen. Einige Untersuchungen berücksichtigen die Tatsache, daß über die direkte Luftlinienentfernung selten Einrichtungen zu erreichen sind durch die Einführung eines sogenannten Umwegfaktors, durch den die tatsächlichen Fußwegentfernungen angenähert werden sollen (z.B. RÄPPEL, 1984, S. 151; WALTHER, 1980, S.33).

Wie groß der Anteil der Fläche ist, der noch innerhalb des Kreises liegt, oder wieviele Personen in diesem Teilstück leben, wird oft nicht weiter untersucht, für die Bewertung gilt als ausreichend die Aussage: Fläche liegt innerhalb oder außerhalb der Kreiszone.

Als Beispiel für diese Vorgangsweise möchte ich eine Untersuchung zur Infrastruktur in Karlsruhe (STADTPLANUNGSAMT KARLSRUHE, 1995) heranziehen. Mit dieser Studie sollte eine Beurteilungsgrundlage für die Beratung des Siedlungskonzeptes bereitgestellt werden. Bezüglich der Ausstattung mit Haltestellen wird für Karlsruhe festgestellt, "daß ein hohes Maß an Erschließungsqualität besteht" (S.23). Belegt wird diese Aussage durch einen beigefügten Liniennetzplan, der das Straßenbahnnetz, die Haltestellen mit deren Einzugsbereichen und die geplanten Baugebiete darstellt. Abgesehen von der Erwähnung einzelner Stadtviertel, die nicht optimal erschlossen sind, erfolgt keine weitere Analyse.

Für das gesamte Stadtgebiet Karlsruhe läßt sich die ÖPNV-Versorgungssituation nach dieser Vorgangsweise wie in Abb. 1 darstellen:

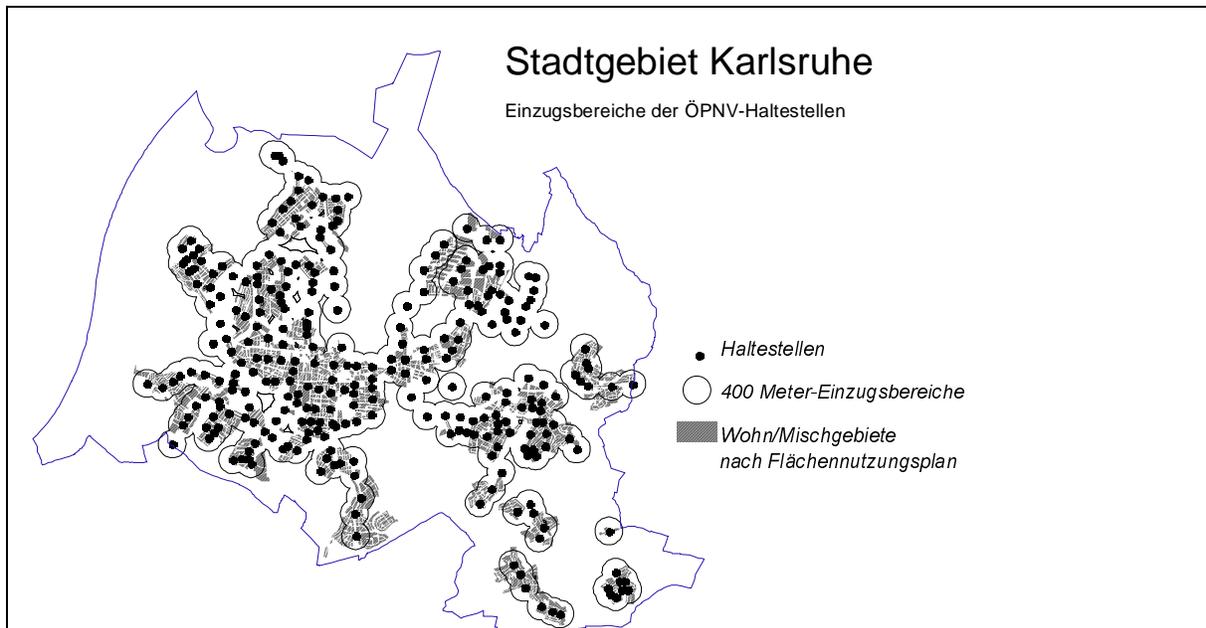


Abb.1: Kreisförmige Einzugsbereiche der ÖPNV-Haltestellen in Karlsruhe

Schon rein optisch ergibt sich aus dieser Abbildung der Eindruck einer fast vollständigen Erschließung, die Flächenstatistik besagt, daß 92% der Flächen der Wohn/Mischgebiete innerhalb des 400 Meter Einzugsbereiches der Haltestellen liegen. Bei angenommener Gleichverteilung der Bevölkerung über die Fläche ergibt sich bei dieser Methode, daß 98,5 % der Bevölkerung guten bzw. ausreichenden Zugang zum ÖPNV haben.

2. ANALYSE DES ÖPNV-ANGEBOTES MIT EINEM GEOGRAPHISCHEN INFORMATIONSSYSTEM

Im folgenden sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie mit verschiedenen Funktionen, die mit einem geographischen Informationssystem zur Verfügung stehen, die ÖPNV-Versorgungsqualität differenzierter beschrieben und dargestellt werden kann.

Die Anforderungen an einen attraktiven Öffentlichen Nahverkehr werden z.B. vom Verkehrsclub der Schweiz so konkretisiert: Außer der Forderung nach einem schienengebundenen Haupt-System, das alle Wohn-, Arbeits-, Erholungsflächen etc. einer Stadt in maximal 5 Minuten Fußdistanz - rund 300 Meter - an eine Haltestelle anschließt, sollen im Haupt-System die Intervalle einheitlich sein und möglichst fünf

Minuten in der verkehrsstarken, sechs oder siebeneinhalb in der Zwischenzeit und zehn Minuten in den Abendstunden nicht überschreiten. Auch bei einem Regionalsystem sollen die Intervalle 15 oder zehn Minuten betragen, ein minimales Angebot (Ein-Stunden-Takt) ist auch in der Nacht aufrechtzuerhalten (SCHALLER, 1993, S.98). Ob und wie gut das ÖPNV-System von Karlsruhe diese Forderungen erfüllt, soll das Ergebnis der GIS-Analysen zeigen, die im folgenden beschrieben werden.

2.1. Ermittlung der Gebiete mit Wohnnutzung

Kleinräumige Einwohnerzahlen für Karlsruhe sind nur auf Baublockbasis verfügbar. Baublöcke sind aber vom Amt für Statistik definierte Einheiten, deren Flächengrößen stark variieren, wodurch eine genaue Verortung der Wohnbevölkerung nicht möglich ist. Durch eine Verschneidung der Wohnbauflächen und der gemischten Bauflächen nach Flächennutzungsplan mit den Baublöcken erhält man die bewohnten Teilflächen der Baublöcke (Layer: FNPBLOCK). Die Gesamteinwohnerzahl eines Baublockes muß nun verteilt werden auf die entstandenen Teilflächen. Eine Verteilung nur nach dem Flächenanteil an der Gesamtfläche eines Baublocks würde zu einer nicht der Realität entsprechenden gleichmäßigen Verteilung der Wohnbevölkerung führen, die unterschiedliche Bebauungsdichten, Geschoßzahlen etc. nicht berücksichtigt. Für die Teilflächen von FNPBLOCK wurde die mittlere Geschoßanzahl der Gebäude erhoben und der prozentuale Flächenanteil der Wohngebäude nach der Grundkarte 1:5000 geschätzt.

Die Einwohnerzahl eines Baublockes wurde wie folgt auf die Teilflächen von FNPBLOCK umgelegt:

$$GF_{\text{FNPBLOCK}} = ((\text{Fläche}_{\text{FNPBLOCK}} / 100) * GB_{\text{FNPBLOCK}}) * GA_{\text{FNPBLOCK}}$$

$$EW_{\text{FNPBLOCK}} = (EW_{\text{BLOCK}} * GF_{\text{FNPBLOCK}}) / SF_{\text{BLOCK}}$$

Um die Lage der bewohnten Flächen in den Einheiten des Flächennutzungsplanes zu erhalten wurde die gescannte Stadtkarte von Karlsruhe (Maßstab 1:20.000) georeferenziert und in eine Rasterkarte transformiert. Die Farbwerte der orange eingezeichneten Wohngebäude wurden selektiert und binär kodiert. Um geschlossene Polygone einer gewissen Mindestgröße zu erhalten und einzelne Pixel zu eliminieren, wurden anschließend mit dieser Binärkarte mehrere Aggregations- und Filteroperationen durchgeführt, das Ergebnis mit FNPBLOCK verschnitten und als Polygonlayer (GEBÄUDE) gespeichert. Auf diese Weise entstanden zwar stark generalisierte Umrißlinien um die Wohnbebauungsflächen der Stadtkarte, die Lokalisierung der Wohnbevölkerung wird aber dadurch räumlich differenzierter.

Die Einwohnerzahl einer Fläche von FNPBLOCK wurde dann wie folgt auf die GEBÄUDE-Flächen umgelegt:

$$EW_{\text{GEBÄUDE}} = (EW_{\text{FNPBLOCK}} * \text{Fläche}_{\text{GEBÄUDE}}) / SFF_{\text{FNPBLOCK}}$$

GB: Flächenanteil der Wohngebäude

GA: Geschoßanzahl

EW: Einwohner

GF: Geschoßfläche

SF: Summe von GF je Teilfläche

SFF: Summe der Gebäudeflächen je Teilfläche

2.2. Bedienungsfrequenz der Haltestellen

Ein Defizit vieler Untersuchungen ist, daß jede Haltestelle als gleichwertig betrachtet wird, bestenfalls erfolgt eine Unterscheidung zwischen Bushaltestelle oder Straßenbahnhaltestelle. Je nachdem von wievielen Linien eine Haltestelle angefahren wird oder wie dicht die Taktfolgezeit dieser Linien ist, unterscheidet sich aber die Bedeutung dieser Haltestellen für die Anwohner beträchtlich.

Vom digitalen Liniennetzplan für Karlsruhe wurde daher die Knotenattributstabelle ausgewertet, indem für jede Haltestelle die werktägliche Zahl der Abfahrten aller Linien, die diese Haltestelle bedienen aufsummiert wurden. Die kleinsten Werte, die hier für Haltestellen vorkommen, sind 26 Abfahrten/Tag, der größte Wert reicht bis über 1600. Als zweites Attribut, das die Bedienungsfrequenz beschreiben soll, wurde für jede Haltestelle die Anzahl der Stunden pro Werktag summiert, in denen die Haltestelle von keiner Linie angefahren wird.

2.3. Fußweglänge zur Haltestelle

Bei Analysen über die Reisezeiten der Fahrgäste wird meist die reine Fahrzeit mit der Reisezeit gleichgesetzt und dabei übersehen, daß die tatsächliche Tür-zu-Tür-Reisezeit wesentlich mehr

Zeitkomponenten umfaßt. Die Länge der Zu- und Abgangswege zur Haltestelle beeinflussen aber die Reisezeiten ganz wesentlich.

In der Realität sind Personen bei der Überwindung von Distanzen an ein Netz von Verkehrswegen gebunden, daher wurde in dieser Untersuchung die Funktion „Routensuche“ eines GIS eingesetzt und die Netzdistancen anschließend auf die Flächeneinheiten umgelegt.

Ausgangsdaten für die Berechnung sind:

- die Haltestellen des ÖPNV als Punktdaten
- das Straßennetz der Stadt Karlsruhe einschließlich der Fußwege als planarer Graph, in dem Knoten durch Kanten verbunden sind.

Durch eine Allokation werden die besten Netzwerkverbindungen den Zentren, in diesem Fall den Haltestellen zugeordnet. Als beste Verbindung im Netzwerk ist diejenige definiert, deren Summe der Widerstände vom Ausgangspunkt zum nächsten Zentrum minimal ist. Je nach Thematik können Widerstände definiert werden z.B. als Zeit, die zur Distanzüberwindung notwendig ist, als Kosten oder als Distanz in Längeneinheiten.

Als Ergebnis erhält man in diesem Beispiel für jede Haltestelle eine Route, wobei jede Route aus einem Set von Linien besteht und jeder dieser Linien je ein Distanzwert für den Anfangs- und den Endknoten zugewiesen wurde. Da ein Knoten unterschiedliche Entfernungswerte erhalten kann - je nachdem für welche Linie er gerade den Anfangs- oder Endknoten darstellt - wird für jeden Knoten der Minimalwert ermittelt. Da Knoten in einem Netzwerk üblicherweise nur an Kreuzungen von zwei oder mehr Linien, bzw. an kreuzungsfreien Endstücken vorkommen, ist eine Verdichtung des Knotenbestandes sinnvoll, da sonst längere kreuzungsfreie Straßenabschnitte zu Informationslücken in der Fläche führen. Im digitalen Straßennetz von Karlsruhe wurden daher zu diesem Zweck den Linien alle 50 m ein Knoten hinzugefügt und die Allokation dann mit diesem „gesplitteten“ Netz durchgeführt.

2.4. Generierung von Abstandsflächen

Im nächsten Schritt werden aus den Knotenpunkten Flächen generiert, indem „Thiessenpolygone“ berechnet werden. Dafür werden von der GIS-Routine nach einer Triangulation, die das Delaunay-Kriterium erfüllt, die Senkrechten der Dreieckseitenmitten gebildet. Die Schnittpunkte dieser Senkrechten sind die Eckpunkte der entstandenen Polygone. Jedes Thiessenpolygon hat die Eigenschaft, daß alle Standorte innerhalb dieser Fläche näher zu dem Punkt in dieser Fläche liegen als zu allen anderen Punkten. Als Ergebnis erhält man damit Abstandsflächen zu Haltestellen, die als Attribut jeweils die auf Straßen zurückzulegende Distanz mitführen.

2.5. Subjektives Zeitempfinden

Bei der bewußten Wahl eines Verkehrsmittels werden die öffentlichen Personen-Nahverkehrsmittel nach Kriterien wie Zeit- und Kostenaufwand, Flexibilität, Bequemlichkeit, Unfallrisiko, Umweltschutz usw. mit dem individuellen Verkehrsmittel verglichen, wobei Zeit- und Kostenaufwand sowie die Bequemlichkeit im Vordergrund stehen, während die übrigen Kriterien im allgemeinen weniger stark gewichtet werden. "Außerdem kann die Alternative ÖPNV nur gewählt werden, wenn ein entsprechendes Angebot vorhanden und auch bekannt ist. Weiterhin ist beim Vergleich ÖPNV/MIV nicht die Situation entscheidend, wie sie tatsächlich ist, sondern wie eine Person glaubt, daß sie ist" (SCHAHN, 1993, S.148).

Distanzen allein besagen daher noch zu wenig,

- da zum einen die Aussagen über die Länge der zumutbaren Fußwege weit auseinandergehen
- und zum anderen die Beurteilung aus der Sicht der Nahverkehrskunden unberücksichtigt bleibt, denn die Einstellung der Fußgänger gegenüber dem Fußweg zur Haltestelle bis zu einem vorgegebenen Grenzwert wird damit als gleichbleibend zugrunde gelegt.

Verschiedene Untersuchungen haben aber ergeben, daß diese Voraussetzung nicht dem menschlichen Empfinden entspricht, denn die Bereitschaft potentieller Fahrgäste, eine Haltestelle des ÖPNV anzunehmen, sinkt überproportional mit der Haltestellenentfernung, d.h. mit dem zurückzulegenden Fußweg. Nach

MONHEIM (1990, S.480) wird im Einzugsbereich von 200 Metern um die Haltestelle das maximale Potential der Nachfrage ausgeschöpft, schon bei der doppelten Entfernung fällt die Fahrtenhäufigkeit auf die Hälfte ab, jenseits von 600 Metern ist die Nachfrage nur noch minimal. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam eine Untersuchung von WALTHER (1973, S.480), die ergab, daß im Ausbildungsverkehr der Fußweg bei einer Haltestellenentfernung von 300 m mit 2 Minuten Fußwegzeit geschätzt wurde, die Fußwegzeit bei 600 m Entfernung aber bereits mit 10 Minuten Fußwegzeit bewertet wurde.

Als Möglichkeit zur Quantifizierung dieses Problems hat SCHEELHAASE (1970, zit.n. RÄPPEL,1984, S.106). vorgeschlagen, die Verhaltensweise der Fußgänger mit Hilfe der Gauß'schen Glockenkurve anzunähern.

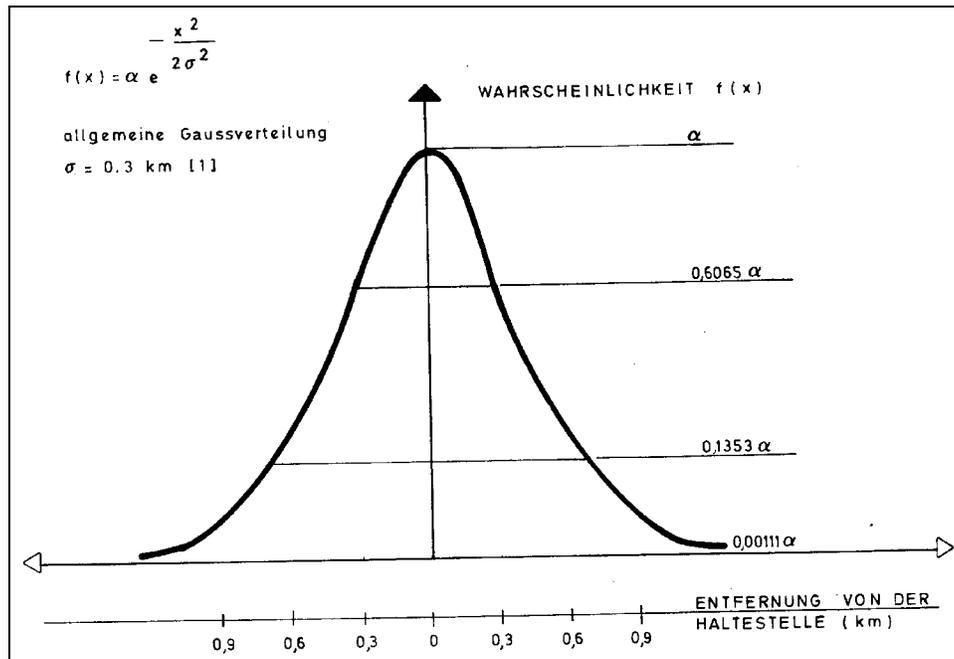


Abb.2: Wahrscheinlichkeit der Benutzung eines öffentlichen Verkehrsmittels in Abhängigkeit zur Haltestellenentfernung

Die errechneten Distanzwerte aller Flächen werden durch Einsetzen in die Formel, die in Abb.2 wiedergegeben ist, in Akzeptanzwahrscheinlichkeiten umgerechnet.

Diese Akzeptanzwerte geben an, wieviel Prozent der Einwohner dieser Fläche die Haltestelle bei gegebener Distanz wahrscheinlich als Angebot wahrnehmen und nützen werden, wobei die Ansprechbarkeit für den Bereich in unmittelbarer Umgebung der Haltestelle mit 100% festgesetzt wird, da davon ausgegangen werden kann, daß in direkter Haltestellennähe die Widerstände zu Überwindung eines Fußweges am geringsten sind.

Berechnet man nach den gegebenen Einwohnerzahlen und diesen bewerteten Distanzen die Anzahl der Personen, die als ÖPNV-Benutzer hinsichtlich ihrer Entfernung zur Haltestelle diese Infrastruktur potentiell nachfragen werden, ergibt sich folgendes Ergebnis:

	Fläche in%	Einwohner in %	%-Anteil der Einwohner, die die Haltestelle bei gegebener Weglänge akzeptieren
Wohngebiete	100	100	65.09
Wohngebiete mit Weglänge unter 400 m	77.50	82.42	60.80
Weglänge unter 300 m	56.82	61.73	50.09

2.6. Erreichbarkeit des Stadtzentrums mit ÖPNV

Um Aussagen über die Qualität der Anbindung an das Zentrum treffen zu können, wurden für jede Haltestelle die exakten Reisezeiten zu verschiedenen Tageszeiten (7⁰⁰, 12⁰⁰, 20⁰⁰) vom Marktplatz aus berechnet. Das zu diesem Zweck geschriebene Programm ermittelt minutengenau die Gesamtreisezeit nach den fahrplanmäßigen Abfahrtszeiten unter Berücksichtigung der Wartezeiten bei Linienwechseln.

2.7. Haltestellenqualitätswert

Die Ergebnisse dieser Analysen wurden dann zusammengefaßt in einen Haltestellenqualitätswert (HSQ-Wert) für die bewohnten Flächen, der sich aus folgenden Einzelwerten zusammensetzt:

1. Distanz zur nächsten Haltestelle

Akzeptanzwahrscheinlichkeit der nächst gelegenen Haltestelle

2. Attraktivität der Haltestelle

2.1. Bedienungsfrequenz der Haltestelle

2.2. Anzahl der vollen Stunden eines Werktages, in denen die Haltestelle von keiner Linie angefahren wird

2.3. Mittelwert der Fahrzeiten um 7⁰⁰, 12⁰⁰ und 20⁰⁰ vom Zentrum Marktplatz zur Haltestelle; für die Haltestellen, die zur jeweiligen Zeit vom Marktplatz aus nur mit einer Fahrzeit von über einer Stunde erreichbar sind, werden 60 Minuten als Fahrzeit eingesetzt.

Jede dieser Kategorien wird als Zahl zwischen 0 und 100 angegeben, wobei jeweils der in Karlsruhe vorkommende schlechteste Wert mit 0 und der Beste mit 100 bewertet wird. Die skalierten Werte von 2.1. bis 2.3 werden addiert und durch 3 geteilt, anschließend wird der Mittelwert aus 1. und 2. gebildet.

Die Karte mit den bewerteten Flächen wird im Vortrag vorgestellt.

LITERATUR:

- APEL, D. et al., (1995): Flächen sparen, Verkehr reduzieren: Möglichkeiten zur Steuerung der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung.- (=Difu-Beiträge zur Stadtforschung, 16), Berlin.
- BECKMANN, J., (1992): Integrierte Verkehrsplanung auf kommunaler Ebene - Erfordernisse, Probleme und Chancen. In: Institut für Städtebau und Landesplanung (Hrsg.): Integration der Verkehrsplanung in die Raumplanung. (= Seminarbericht 1992). Karlsruhe. S.93-125.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN-UND VERKEHRSWESEN, (Hrsg.), (1995): Empfehlungen für Anlage von Erschließungsstraßen EAE 85/95.Köln
- LUDWIG, D., (1992): Wünsche der Verkehrsbetriebe an die Stadtplanung. In: Institut für Städtebau und Landesplanung (Hrsg.): Integration der Verkehrsplanung in die Raumplanung. (= Seminarbericht 1992). Karlsruhe. S.135-141.
- MONHEIM, H., MONHEIM-DANDORFER, R., (1990): Straßen für alle: Analysen und Konzepte zum Stadtverkehr der Zukunft. Hamburg.
- RÄPPEL, M., (1984): Wohnqualität in Städten. Ein Verfahren zur Bewertung der Gebieteignung für Wohnen in städtischen Teilräumen. Dortmund.
- SCHAHN, J. (1993): Umgehungsstraßen, Beschränkungen für private Pkw, ÖPNV-Förderung: Lösungen für unsere Verkehrsprobleme? In: SCHAHN; J., GIESINGER; T. (Hrsg.): Psychologie für den Umweltschutz. Weinheim. S.145-161.
- SCHALLER, T., (1993): Kommunale Verkehrskonzepte: Wege aus dem Infarkt der Städte und Gemeinden. Köln.
- STADTPLANUNGSAMT KARLSRUHE, (1995): Untersuchung zur Infrastruktur in Karlsruhe als Beitrag zum Siedlungskonzept des Nachbarschaftsverbands Karlsruhe.- (= Grundlagen zur Generalplanung, Anlage 4).
- WALTHER, K., (1973): Die Fußweglänge zur Haltestelle als Attraktivitäts-Kriterium im öffentlichen Personennahverkehr. In: Verkehr und Technik, 26.Jg., Heft 11, S.480-484.
- WALTHER, K., (1980): Verkehrsaufteilung mit gewichteten Reisezeitkomponenten. (= Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2935: Fachgruppe Umwelt, Verkehr). Opladen.