

Komplexität von Routen in öffentlichen Verkehrssystemen

Corinna Heye, Urs-Jakob Rüetschi, Sabine Timpf

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Heye, Corinna, Urs-Jakob Rüetschi, and Sabine Timpf. 2003. "Komplexität von Routen in öffentlichen Verkehrssystemen." In *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV: Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2003*, edited by Josef Strobl, Thomas Blaschke, and G. Griesebner, 159–68. Heidelberg: Herbert Wichmann.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright

Dieses Dokument wird unter folgenden Bedingungen zur Verfügung gestellt: / This document is made available under these conditions:

Deutsches Urheberrecht

Weitere Informationen finden Sie unter: / For more information see:

<https://www.uni-augsburg.de/de/organisation/bibliothek/publizieren-zitieren-archivieren/publiz/>



Komplexität von Routen in öffentlichen Verkehrssystemen¹

Corinna HEYE, Urs-Jakob RÜETSCHI und Sabine TIMPF

Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.

Zusammenfassung

Mit den derzeit üblichen Reiseplanern im Internet ist es nur möglich, die schnellste oder die kürzeste Verbindung von einer Haltestelle zu einer anderen zu finden. In dieser Arbeit wird das Umsteigeverhalten im Hinblick auf eine einfachere Haltestellengestaltung untersucht. Dabei sollen zeitliche Phänomene wie Tageszeit oder Wetter und persönliche Merkmale wie körperliche Behinderungen oder das Mitführen von sperrigen Gegenständen unberücksichtigt bleiben. Das Anliegen dieser Arbeit besteht darin, den einfachsten Weg in öffentlichen Verkehrssystemen finden zu können. Ziel ist die Ableitung eines numerischen Maßes der Kompliziertheit einer Haltestelle, welches in einen Routenplaner integriert werden kann und einen Beitrag zum allgemeinen Verständnis der Raumwahrnehmung leistet.

1 Einleitung

Nahezu jeder Anbieter im öffentlichen Verkehr bietet seinen Kunden im Internet die Möglichkeit, eine Route von einer Haltestelle zu einer anderen zu finden. Dies geschieht üblicherweise, indem zunächst alle Direktverbindungen geprüft und zur Auswahl angeboten werden, danach folgen alle Verbindungen mit einmaligem Umsteigen, die in Abhängigkeit von der Reisedauer zur Auswahl gestellt werden. Im Anschluss daran werden Verbindungen mit mehrmaligem Umsteigen geprüft. Bei einer vom Anbieter willkürlich festgelegten Anzahl von Umsteigevorgängen wird dieser Algorithmus abgebrochen. So findet der Nutzer eine schnelle Route mit einer minimalen Anzahl an Umsteigevorgängen. Da das Umsteigen zweifellos der unerfreulichste Teil bei der Nutzung öffentlicher Verkehrssysteme darstellt, führt dies für die Nutzer zu akzeptablen Ergebnissen.

Was passiert aber, wenn zwei Routen zur Auswahl gestellt werden, die über eine ähnliche Reisedauer und dieselbe Anzahl an Umsteigevorgängen verfügen? Da meist keine zusätzlichen Informationen geliefert werden, kann der Nutzer, der mit dem Verkehrsnetz nicht so vertraut ist, keine Entscheidung treffen. Wir wollen einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass der Nutzer öffentlicher Verkehrsnetze zukünftig die einfachste Route auswählen kann. Was dabei vom Nutzer als einfach empfunden wird, ist ein wichtiger Teil der Untersuchung. Die Charakterisierung einer einfachen Route in öffentlichen Verkehrssystemen ist zentral für das allgemeine Verständnis der Prozesse der Wegfindung. In diesem Sinne soll die Ar-

¹ Finanziert vom Schweizerischen Nationalfonds

beit einen wesentlichen Beitrag zu einer Theorie der Raumwahrnehmung leisten und in ein allgemeines Modell der Wegfindung im öffentlichen Verkehr münden².

2 Wegfindung im öffentlichen Verkehr

Untersuchungen der Transportsysteme, speziell der öffentlichen Verkehrssysteme, zielen häufig auf die Optimierung des Netzwerkes sowie eine Effizienzsteigerung sowohl für die Anbieter als auch für die Nutzer. In dieser Studie geht es hingegen darum, das Navigieren im öffentlichen Verkehrssystem aus der detaillierten Sicht eines Reisenden zu betrachten (TIMPF 2002). Es soll der Frage nachgegangen werden, welche Faktoren das Finden eines Weges innerhalb dieses Systems für einen Nutzer öffentlicher Verkehrsmittel komplex erscheinen lassen.

Man kann drei verschiedene Arten von Komplexität unterscheiden: physisch, persönlich und zeitlich abhängige Komplexität. RAUBAL (1998) bestimmt die Komplexität der Wegfindung in geschlossenen Räumen anhand von *image schemata*, die aus der physischen Struktur der Umgebung abgeleitet werden. Grundidee ist, dass die zeitliche und persönliche Komplexität aus der physischen Komplexität abgeleitet werden kann, da sie aus der unterschiedlichen Wahrnehmung der physischen Charakteristika des für die Wegfindung relevanten Raumes resultiert. Daher konzentrieren wir uns auf die Betrachtung der physischen Komplexität.

WORBOYS & RAUBAL (1999) kombinieren *image schemata* mit *affordances* (GIBSON 1986), um die physische Umgebung der menschlichen Perzeption entsprechend zu modellieren. *Affordances* sind die Möglichkeiten, die eine Umgebung dem Menschen gewährt. Worboys und Raubal unterscheiden *action* und *information affordances*, letztere erlauben zielgerichtetes Entscheiden. Wie gut sich in einer Umgebung ein Weg finden lässt, ist eng damit verknüpft, welche *affordances* zur Verfügung stehen. GÄRLING (1986) schlägt diesbezüglich drei Aspekte vor, die für die erfolgreiche Wegfindung wichtig sind:

- *degree of (architectural) differentiation*,
- *degree of visual access*, and
- *complexity of spatial layout* (GÄRLING 1986).

Dabei wird *degree of visual access* oder auch *legibility* als das Einsehen in die gesamte Route verstanden. Dies ist in städtischen Umgebungen eher selten der Fall (Montello 1993).

Die *complexity of spatial layout* wird durch die Anzahl der möglichen Ziele und daraus resultierenden Routen bestimmt und nimmt auch mit der Größe der Umgebung zu. "A simple layout should facilitate both the formation and execution of travel plans by making it easier to choose destinations and routes, to maintain orientation, and to learn about the environment" (Evans et al., 1984, as cited in Gaerling 1986). Damit bedingen sich *complexity of spatial layout* und *degree of visual access* gegenseitig und sind schwer voneinander zu trennen.

² Innerhalb des Projektes „Problem-solving knowledge for multi-modal wayfinding“ an der Universität Zürich (<http://www.geo.unizh.ch/~timpf/projects.html>) wird an einem solchen Modell gearbeitet.

Degree of (architectural) differentiation wird von der Vielseitigkeit der städtischen Bauten bestimmt. Auch Umwege und die Anzahl der Verzweigungen (Winter 2002, Golledge 1995) spielen dabei eine entscheidende Rolle.

Beim Finden der einfachsten Route in öffentlichen Verkehrssystemen ist vor allem das Ein-, Aus- und Umsteigen relevant. Im Gegensatz zum Individualverkehr müssen während der Fahrt keine Entscheidungen getroffen werden, außer an welcher Haltestelle man aussteigen muss. Dies ist vor allem ein Problem der Information innerhalb des Verkehrsmittels und ist damit nicht routenspezifisch, sondern vom jeweiligen Anbieter abhängig, der innerhalb einer Stadt meist derselbe ist.

Da die Komplexität einer Route in öffentlichen Verkehrssystemen nur während des Umsteigens entsteht, wird die Komplexität einer Haltestelle zum zentralen Gegenstand dieser Studie. Wendet man nun die physische Komplexität auf die spezifische Situation an Haltestellen der öffentlichen Verkehrssysteme an, so ergeben sich für eine Haltestelle folgende physischen Charakteristika:

- Anzahl der Haltepunkte innerhalb einer Haltestelle,
- Anzahl der möglichen Verbindungen zwischen den Haltepunkten,
- Anzahl der nicht-sichtbaren Haltepunkte,
- Anzahl der an- und abfahrenden Linien,
- Anzahl der zu querenden Straßen,
- Art der Straßenquerung (Unterführung, Ampel, Zebrastreifen, etc.),
- Distanz zwischen den Haltepunkten,
- Beschilderung (vgl. Abb. 1.).

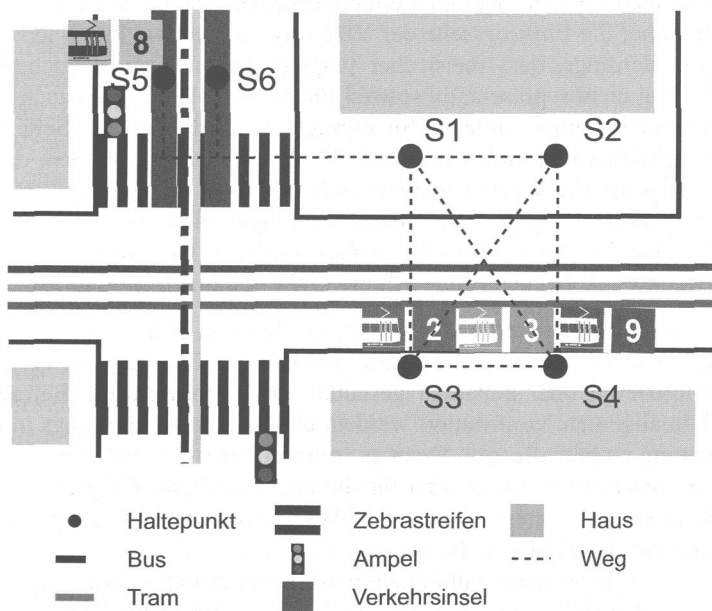


Abb. 1: Schema einer Haltestelle

Die oben beschriebenen Routenfinder suchen die Route mit Hilfe eines Algorithmus zur Berechnung des kürzesten Weges wie beispielsweise jener von DIJKSTRA (1959). Um die Komplexität einer Haltestelle in die Bestimmung einer optimalen Route zu integrieren, benötigen wir ein numerisches Maß.

Im Bereich des *human wayfinding* gibt es bislang nur wenige Ansätze, die Komplexität einer Route zu quantifizieren. Einer der wenigen Ansätze dient der Ermittlung des Informationsgehalts einer Routenbeschreibung (FRANK 2002). Diese Überlegungen sind nur schwerlich auf unser Problem zu adaptieren, weil es dort vor allem darum geht, angepasst an eine bestimmte Situation den praktischen Nutzen einer Routenbeschreibung für den jeweiligen Nutzer zu bestimmen. Es geht also stark um persönliche Merkmale und weniger um die physische Komplexität einer Route wie wir sie untersuchen.

3 Einflussfaktoren auf das Umsteigen

Nicht alle physischen Charakteristika einer Haltestelle haben in der selben Art und Weise einen Einfluss auf die Komplexität des Umsteigevorgangs. Ziel einer Internetbefragung³, die im Herbst letzten Jahres in Zusammenarbeit mit den Verkehrsbetrieben Zürich (VBZ) stattfand, war es, den jeweiligen Einfluss der physischen Charakteristika einer Haltestelle auf das Umsteigen und den Einfluss des Umsteigens insgesamt auf die Komplexität einer Route genauer zu analysieren.

Zu diesem Zweck war eine möglichst große Anzahl an Personen, die häufig das öffentliche Verkehrsnetz der Stadt Zürich nutzen, vonnöten, da „Experten“ des jeweiligen Systems am besten die Einfachheit oder die Kompliziertheit einer Haltestelle beurteilen können. Diese Zielgruppe sollte über die Einstiegsseite der VBZ erreicht werden. Der Nachteil einer Internetbefragung ist allerdings, dass meist eher jüngere Personen angesprochen werden und damit die Befragung nicht repräsentativ sowohl für die Bevölkerung als auch für die Nutzer öffentlicher Verkehrssysteme sein kann. Sie ermöglicht auf der anderen Seite aber, von den persönlich und zeitlich variierenden Faktoren der Nutzer zu abstrahieren, da die 300 Befragten junge, von körperlichen Bewegungseinschränkungen weitgehend verschonte Nutzer der öffentlichen Verkehrssysteme waren. Der Fragebogen gliederte sich grob in zwei Teile. Der erste Teil diente der Analyse des Umsteigeverhaltens. Ein zweiter Teil widmete sich der Charakterisierung der Teilnehmenden (<http://www.geo.unizh.ch/~cheye>).

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die meisten Nutzer öffentlicher Verkehrssysteme bislang nicht mit der Frage beschäftigt haben, welche Faktoren im Einzelnen das Umsteigen komplizierter oder einfacher gestalten. Daher mussten die Befragten zunächst mit dem Problem allgemein konfrontiert werden, ohne sie dabei allerdings in die eine oder die andere Richtung zu beeinflussen. Denn es sollte in der Befragung auch gezeigt werden, inwieweit die physischen Charakteristika für die angesprochene Zielgruppe einen Einfluss auf die Komplexität einer Haltestelle haben. Daher wurden den Befragten zu Beginn sieben Haltestellenpaare zur Auswahl gestellt, bei denen sie entscheiden sollten, welche von beiden als komplizierter zum Umsteigen empfunden wird, wenn es denn einen Unterschied für die Befragten gab. Bei den Haltestellen handelte es sich um möglichst bekannte Haltestellen der

³ Ein Pre-Test fand im Sommer 2002 am Geographischen Institut der Universität Zürich statt.

Stadt Zürich, die sich in einigen wenigen markanten Eigenschaften unterschieden. Diese Frage diente vor allem der Sensibilisierung für diese Problemstellung. Danach folgte eine offene Frage nach den Hauptkriterien ihrer Entscheidungsfindung.

Die von den Befragten genannten Kriterien belegen, dass die physischen Charakteristika tatsächlich einen entscheidenden Einfluss auf das Umsteigen ausüben. Knapp 80% aller Befragten nannten physische Faktoren, knapp zwei Drittel sogar ausschließlich. Demgegenüber nannte nicht einmal jeder zehnte Befragte ausschließlich Kriterien, die zu den persönlichen und zeitlich abhängigen Faktoren zählen wie Anschlüsse, Sicherheit oder Bekanntheitsgrad einer Haltestelle. Unter den physischen Kriterien mit Abstand am wichtigsten sind die Distanz zwischen den Haltepunkten und das Überqueren von Straßen beim Umsteigen mit jeweils mehr als ein Drittel aller Nennungen. Die Anzahl der Linien und die Beschilderung sind deutlich weniger wichtig (vgl. Tabelle 1).

Bei einer offenen Frage besteht immer das Risiko, dass viele Personen entweder gar nicht antworten oder allgemeingültige Antworten geben, so dass die Ergebnisse insgesamt schwer auswertbar sind. Dies ist hier nicht der Fall. Lediglich 22 Personen antworteten gar nicht. Das Kriterium „Übersichtlichkeit“, das von 105 Personen genannt wurde, ist hingegen schwer zu interpretieren, da die Frage offen bleibt, was eine Haltestelle unübersichtlich werden lässt. Die Mehrheit nannte „Übersichtlichkeit“ allerdings in Kombination mit anderen Kriterien, nur 7 Personen gaben ausschließlich dieses Kriterium an.

Tabelle 1: Kriterien, die zur Einstufung der Haltestellen führen (eigene Erhebung), offene Frage (22 missing values)

		Anzahl der Nennungen
physisch	Distanz zwischen Haltepunkten	125
	Straßenquerungen	113
	Beschilderung	55
	Anzahl der Linien	33
	Wechsel zwischen Bus und Tram	32
	Kompaktheit	25
	Anzahl der Haltepunkte	21
	Anzahl der Richtungen	16
	Umwege	6
	Übersichtlichkeit	104
persönlich u. zeitlich	Sicherheit	27
	Anschlüsse	25
	Bekanntheitsgrad	13
	viele Personen / Hektik	8
	anderes	13

Da bei einer offenen Frage nicht jeder überhaupt und vor allem nicht jeder zu allen Faktoren eine Aussage trifft, folgte ein ausführlicher Teil mit Aussagen zum Umsteigen allgemein und zu den Kriterien, die am relevantesten für das Umsteigeverhalten erscheinen. Um eine klare Aussage zu erzwingen wurden vier Antwortkategorien vorgegeben.

Auch hier bestätigt sich, dass die physischen Faktoren einen entscheidenden Einfluss auf das Umsteigen ausüben. Jeweils knapp zwei Drittel der Befragten empfinden die physischen Hindernisse als störend. Mehr als drei Viertel ist es unangenehm, beim Umsteigen längere Strecken zurück zu legen oder die Stelle nicht sehen zu können, an der der nächste Bus oder die nächste Straßenbahn abfährt. Am ehesten mit dem zuvor genannten Kriterium „Übersichtlichkeit“ stimmt die Aussage „Es ist mir angenehm, wenn ich die gesamte Haltestelle überblicken kann“ überein, der 90 % aller Teilnehmenden zustimmen.

Der Umsteigevorgang stellt für die Hälfte aller Teilnehmenden einen störenden Faktor bei der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel dar. Die Ergebnisse zeigen allerdings deutlich, dass ein zu entwickelnder Algorithmus, der die Komplexität einer Haltestelle berücksichtigt, die Zeitkomponente nicht vernachlässigen darf. Denn nur gut ein Drittel aller Befragten ist bereit, einen Umweg in Kauf zu nehmen, um einem Umsteigevorgang zu vermeiden.

Insgesamt zeigt sich, dass eine „Haltestelle der kurzen Wege“ als ideal empfunden wird. Denn bei einer erneuten offenen Frage nach Verbesserungsvorschlägen wurden häufig „kürzere Wege“ genannt (vgl. Tabelle 2). Das fällt vor allem deshalb auf, weil bei dieser Frage nicht so sehr die Vereinfachung der physischen Charakteristika, sondern sehr viel häufiger verbesserte Informationen gefordert wurden. Mehr als die Hälfte aller Befragten forderten eine bessere Beschilderung oder elektronische Anzeigetafeln und nur knapp ein Drittel nannte bauliche Maßnahmen. Auch verbesserte Anschlüsse scheinen das Umsteigen entscheidend angenehmer gestalten zu können. Daher sollte überlegt werden, die Frequenz oder die durchschnittliche Wartezeit mit in das Komplexitätsmaß als Faktor einzurechnen.

Tabelle 2: Anteil der Zustimmung zu vorgegebenen Aussagen zum Umsteigen (eigene Erhebung)

	Aussagen zum Umsteigen	stimme eher zu [%]
physisch	Treppensteigen stört mich beim Umsteigen.	68
	Längere Strecken stören mich beim Umsteigen.	85
	Beim Umsteigen überquere ich nur ungern eine Strasse.	60
	Es stört mich, wenn ich beim Umsteigen die Stelle nicht sehen kann, wo ich wieder einsteigen muss.	74
	Beim Umsteigen überquere ich lieber eine Straße bei einer Ampel als mit einer Über- oder Unterführung.	75
	Mir ist egal, wie eine Haltestelle konstruiert ist.	11
	Die Beschilderung an Zürcher Haltestellen halte ich für ausreichend informativ.	73
*	Unterführungen sind mir zu jeder Tageszeit unangenehm.	60
	Unterführungen sind mir nachts unangenehm	81
allgemein	Umsteigen stört mich.	49
	Umsteigen bedeutet Stress für mich.	30
	Zweimal Umsteigen empfinde ich als zu viel.	56
	Ich nehme auch einen Umweg/längere Fahrzeit in Kauf, wenn ich dann nicht umsteigen muss.	37

* zeitlich

4 Entwicklung eines Komplexitätsmaßes

Das Netz der öffentlichen Verkehrssysteme lässt sich als Graph darstellen. Dabei sind die Haltestellen die Knoten und die Verbindungen zwischen den Haltestellen die Kanten. Da allerdings die Haltestelle wiederum einen Graphen aus Kanten und Knoten repräsentiert, stellt das Netz eines städtischen öffentlichen Verkehrsunternehmens ein zweistufiges hierarchisches System dar (vgl. Abb.2).

Wie bereits oben erwähnt, spielt bei der Berechnung der Komplexität einer Route in öffentlichen Verkehrssystemen lediglich das Ein-, Um- und Aussteigen eine Rolle, weil zwischen den Haltestellen innerhalb der Verkehrsmittel keine zusätzliche routenspezifische Komplexität entsteht. Da bei jedem Umsteigevorgang neue Komplexität hinzukommt, berechnen wir die Komplexität einer Route als Summe der Einzelkomplexitäten, d.h. der am Prozess beteiligten Haltestellen.

Damit berechnet sich die Komplexität einer Route wie folgt:

$$CR = \sum_{j=1}^r CS_j$$

mit CS: Komplexität der Haltestelle und
CR: Komplexität der Route.

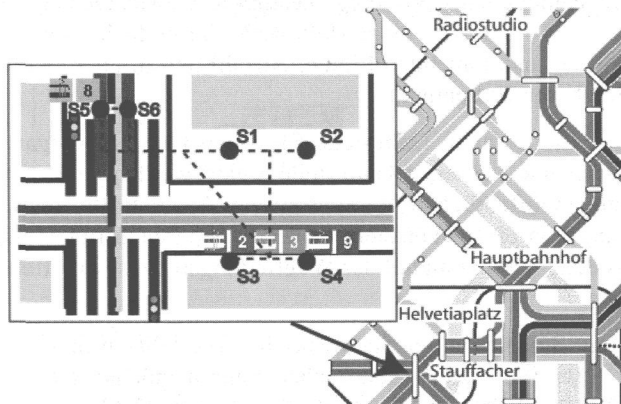


Abb. 2: Hierarchischer Graph

Wie berechnet sich aber die Komplexität einer Haltestelle? Die Ergebnisse der Befragung und die theoretischen Überlegungen münden in folgende Aussagen zur Quantifizierung der Komplexität einer Haltestelle:

1. Je mehr Möglichkeiten es zum Umsteigen gibt, d.h., je mehr Linien an einer Haltestelle ankommen bzw. abfahren, desto komplizierter wird eine Haltestelle.
2. Je mehr Routen zur Auswahl stehen, also je mehr Haltepunkte es gibt, desto unübersichtlicher wird eine Haltestelle.
3. Je länger die Distanz zwischen den Haltepunkten ist, desto unübersichtlicher und komplizierter wird eine Haltestelle.

4. Die Komplexität einer Haltestelle nimmt mit der Anzahl der Hindernisse auf dem Weg von einem Haltepunkt zu einem anderen zu.
5. Das Queren von Straßen ist eines der Haupthindernisse, sei es über Brücken, Ampeln, Zebrastreifen oder Unterführungen.
6. Wenn aber nur eine lange Strecke zurück gelegt werden muss, hat dies nur einen unbedeutenden Einfluss auf die Komplexität einer Haltestelle.
7. Je mehr Haltepunkte nicht sichtbar sind, desto komplizierter wird eine Haltestelle.

Dies führt zur folgenden ersten Annäherung an ein Komplexitätsmaß einer Haltestelle:

$$CS \approx n + \sum_{i=1}^n CP_i + \sum_{j=1}^m CW_j$$

mit n: Anzahl der Haltepunkte

m: Anzahl der Wege

CP: Komplexität eines Haltepunktes

CW: Komplexität eines Weges zwischen zwei Haltepunkten.

Wenn ein Nutzer an einem bestimmten Haltepunkt angelangt ist, muss er nur noch entscheiden, in welches Verkehrsmittel er einsteigen möchte, daher ist dort nur die Anzahl der ankommenden Linien relevant. Damit resultiert die Komplexität eines Haltepunktes CP aus der Anzahl der ankommenden Linien. Die Komplexität eines Weges zwischen zwei Haltepunkten CW wird durch die Anzahl der Hindernisse (zunächst nur die Straßenquerungen und nicht-sichtbaren Haltepunkte) pro Weg⁴ bestimmt. Gewichtet man all diese Faktoren zunächst gleich, ist die Komplexität einer Haltestelle die einfache Summe aus Anzahl der Haltepunkte, Anzahl der ankommenden Linien, Anzahl der zu überquerenden Straßen und Anzahl der nicht-sichtbaren Haltepunkte.

Da aber nicht immer die gesamte Haltestelle für einen Umsteigevorgang von belang ist, muss zunächst der relevante Teil einer Haltestelle eruiert werden. Ferner spielt das Aussteigen bei einer Route im öffentlichen Verkehrssystem keine Rolle mehr, wenn man eine Route als Verbindung von einer Haltestelle zu einer anderen definiert. Denn dann ist mit dem Aussteigen aus dem Verkehrsmittel der Wegfindungsprozess im öffentlichen Verkehrssystem abgeschlossen.

In Abbildung 3 ist ein Beispiel in der Stadt Zürich dargestellt, in dem man von der Haltestelle „Radiostudio“ zur Haltestelle „Stauffacher“ fahren möchte. Der Fahrplan der VBZ bietet einem zwei Möglichkeiten an. Beide Routen dauern 22 Minuten und beinhalten jeweils einen Umsteigevorgang. Eine sehr einfache Haltestelle markiert den Anfang der Route. Route 1 führt über die Haltestelle „Helvetiaplatz“. Es handelt sich um eine relativ komplizierte Haltestelle, weil viele Straßen überquert werden müssen und die gesamte Haltestelle von Relevanz ist. Route 2 geht über die Haltestelle „Hauptbahnhof“, an der zwar viele Linien abfahren, aber dadurch, dass nur ein Teil der Haltestelle in die Berechnung einfließt, wird sie verhältnismäßig einfach.

Man würde sich also in diesem Fall für die Route über „Hauptbahnhof“ entscheiden, da sich die Komplexität der jeweiligen Routen wie folgt berechnet:

⁴ Anzahl der nicht-sichtbaren Haltepunkte kann nur null oder eins sein.

$$CR1 \approx \sum_{j=1}^2 CS_j = 6 + 22 = 28$$

$$CR2 \approx \sum_{j=1}^2 CS_j = 6 + 12 = 18$$

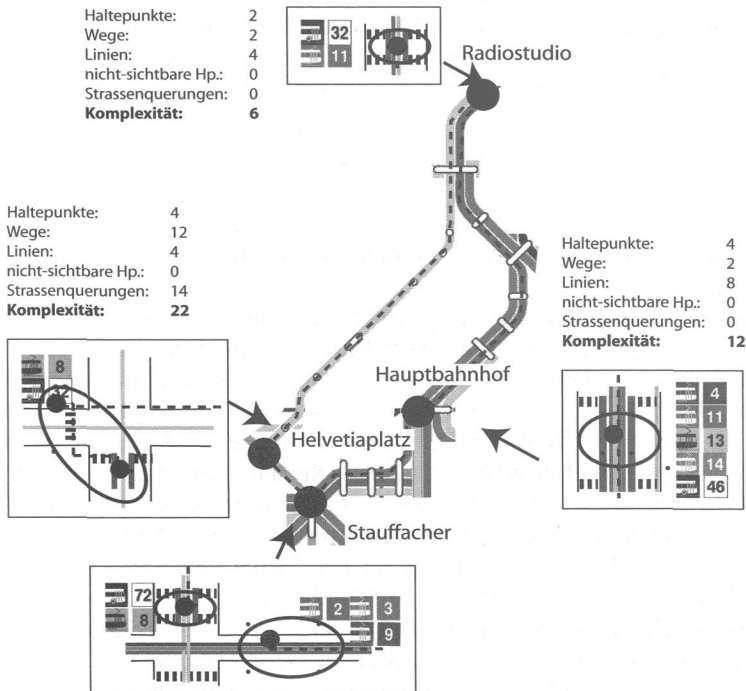


Abb. 3: Routenspezifische Komplexität einer Haltestelle

5 Schlussfolgerungen

Haltestellen werden sehr unterschiedlich durch die jeweiligen Nutzer wahrgenommen. Die Ergebnisse der Umfrage haben zudem gezeigt, dass die physischen Charakteristika eine sehr viel größere Rolle spielen als erwartet. Dies ist vor allem deshalb erwähnenswert, da die Befragten einer Gruppe angehören, bei denen die physischen Hindernisse noch keine Barrieren darstellen. Ferner wurde deutlich, dass es zwar sehr einfache Haltestellen gibt, die aber als unangenehm empfunden und daher durch die Nutzer eher gemieden werden. Ob eine Haltestelle als unangenehm oder komplex empfunden wird, kann häufig nicht klar getrennt werden.

Die erste Annäherung in einer ungewichteten Summe des Komplexitätsmaßes für Haltestellen liefert bereits zufriedenstellende Ergebnisse. Ein nächster Schritt ist die konkrete Umsetzung in einen Algorithmus. In der Validierung der Komplexität von Routen wird die Frage geklärt werden müssen, wie die Einzelkomponenten bei den Haltestellen zu gewich-

ten sind. Die Tatsache, dass das Maß eine einfache Summe ist, bietet die Möglichkeit, angepasst an unterschiedliche Nutzergruppen die Einzelkomponenten verschieden zu gewichten, und damit die Komplexität in Abhängigkeit von persönlichen und zeitlichen Faktoren zu berechnen. Weitere zu klärende Forschungsfragen in diesem Zusammenhang sind sicherlich die Quantifizierung des Einflusses der zeitlichen Phänomene wie Anschlüsse in Form von durchschnittlichen Wartezeiten oder Frequenz und die Bestimmung des für einen Umsteigevorgang relevanten Teiles einer Haltestelle. Dazu muss ein Weg gefunden werden, eine Haltestelle so in sich überlappende Teilhaltestellen zu gliedern, dass die Teile alle relevanten (und nur die relevanten) Elemente der Haltestelle umfassen.

Literatur

- DIJKSTRA, E. W. (1959). "A note on two problems in connection with graphs." *Numerische Mathematik*(1): 269-271
- EVANS, G. W., M. A. SKORPANICH, et al. (1984). "Effects of stress, path configuration, and landmarks on urban cognition." *Journal of Environmental Psychology*
- FRANK, A.U. (to appear). Pragmatic Information Content: How to Measure the Information in a Route Description. In *Perspectives on Geographic Information Science*. (Goodchild, M., Duckham, M., & Worboys, M., eds.), London, Taylor and Francis
- GÄRLING, T., BÖÖK, A., & LINDBERG, E. (1986). Spatial orientation and wayfinding in the designed environment: A conceptual analysis and some suggestions for postoccupancy evaluations. *Journal of Architectural and Planning Research*, 3, 55-64
- GIBSON, J. J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. London, Lawrence Erlbaum Associates.
- Gluck, M. (1991). Making Sense of Human Wayfinding: Review of Cognitive and Linguistic Knowledge for Personal Navigation with a New Research Direction. In: *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*. D. M. Mark and A. U. Frank. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers: 117-135
- GOLLEDGE, R. G. (1995). Path Selection and Route Preference in Human Navigation: A Progress Report. In: *Spatial Information Theory-A Theoretical Basis for GIS*. Frank, A.U. & W. Kuhn. Berlin-Heidelberg-New York, Springer. 988: 207-222
- HEYE, C. (2002). Deskriptive Beschreibung der Ergebnisse der Internetbefragung: Umsteigen an Haltestellen der VBZ. Bericht an die VBZ.
<http://www.geo.unizh.ch/~cheye/>
- MONTELLO, D. R. (1993). „Scale and Multiple Psychologies of Space“. In: *Spatial Information Theory: Theoretical Basis for GIS*. A. U. Frank and I. Campari. Heidelberg-Berlin, Springer Verlag. 716: 312-321
- RAUBAL, M. AND M. WORBOYS (1999). „A formal model of the process of wayfinding in built environments“. In: *Spatial Information Theory – cognitive and computational foundations of geographic information science*, Stadel, Springer-Verlag, LNCS 1661
- RAUBAL, M. AND M. EGENHOFER (1998). "Comparing the complexity of wayfinding tasks in built environments." *Environment & Planning B* 25(6): 895-913
- TIMPF, S. (2002). "Ontologies of Wayfinding: a traveler's perspective." *Networks and Spatial Economics* 2(1): 9-33
- WINTER, S. (2002). „Modeling Costs of Turns in Route Planning“. Technical Report. Vienna, Institute for Geoinformation, Technical University Vienna