

Erreichbarkeitskarten zur Visualisierung der Mobilitätsqualität im ÖPNV

Accessibility Maps for the Visualization of Quality of Mobility in Public Transport

Tassilo Glander, Martin Kramer, Jürgen Döllner
Potsdam

Zusammenfassung

Mobilitätsqualität wird von ÖPNV-Nutzern situativ unmittelbar, aber systematisch nur diffus wahrgenommen. Wir stellen einen Ansatz vor, bei dem das vom ÖPNV-Betreiber bereitgestellte Verbindungsauskunftssystem genutzt wird, um durch eine Menge von Einzelverbindungsanfragen eine Erreichbarkeitskarte für das gesamte Verkehrsgebiet zu erstellen. Neben Erreichbarkeitskarten mit einem Startpunkt lassen sich auch mehrere Startpunkte mit gemittelter Erreichbarkeit berechnen. Die Visualisierung als farbkodierte Erreichbarkeitskarte oder Erreichbarkeitsterrain ermöglicht eine effektive Kommunikation der Mobilitätsqualität einer Region.

Abstract

Usually, users of public transport perceive quality of mobility as something tangible, but diffuse. In our approach, we suggest to create an accessibility map for the city based on data from a connection planner of the public transport department. Based on multiple queries, we collect connection data – such as travel time – regarding one or multiple specific interesting locations. After appropriate aggregation, the results can be visualized as a color-coded accessibility map or a 3D accessibility terrain to provide a more intuitive comprehension of quality of mobility.

1 Einleitung

Mobilität ist eine wichtige Grundvoraussetzung für die Teilnahme am wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Leben. Insbesondere in Ballungszentren und Metropolregionen hat der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) eine große Bedeutung für die Befriedigung des Mobilitätsbedürfnisses, z.B. als zumeist zuverlässige, schnelle und bequeme Alternative zum Individualverkehr, sowie für gleichberechtigten, soziale Schichten übergreifenden Zugang zu Mobilität. Im Wettbewerb mit dem Individualverkehr ist für den ÖPNV Mobilitätsqualität von zentraler Bedeutung, da sie eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für die Wahl des Verkehrsmittels für eine konkrete Reise darstellt. Die Qualität von Mobilität wird dabei für den Einzelnen durch die Menge seiner individuellen Mobilitätserfahrungen wahrgenommen, z.B. durch Reisedauer, Wartezeiten an Haltestellen oder Anzahl der Umstiege. Durch den subjektiven Ausschnitt aus der Realität entsteht ein diffuses mentales Modell, auf dessen Grundlage bewusst und unbewusst Reisepräferenzen entstehen. Die Einschränkungen dieses Modells ergeben sich aus seiner Entstehung:

- Das Modell deckt nur den kleinen, individuell erfahrenen Teil des Verkehrsraums ab.

- Das Modell ist schwer vergleichbar mit dem subjektiven Modell anderer Reisender und lässt sich schwer kommunizieren.
- Das Modell bildet sich erst bei wiederholter Nutzung des ÖPNV heraus und bietet erst dann eine Entscheidungsgrundlage.

Verbindungsauskunftssysteme der ÖPNV-Betreiber liefern exakte Daten über Eigenschaften einer gewählten Verbindung; sie ermöglichen damit die Planung von Reisen. Allerdings sind die Verbindungsauskünfte im Allgemeinen auf einzelne lineare Verbindungen beschränkt. Typische Alltagsprobleme dagegen erfordern flächenbezogene Erreichbarkeitsinformationen.

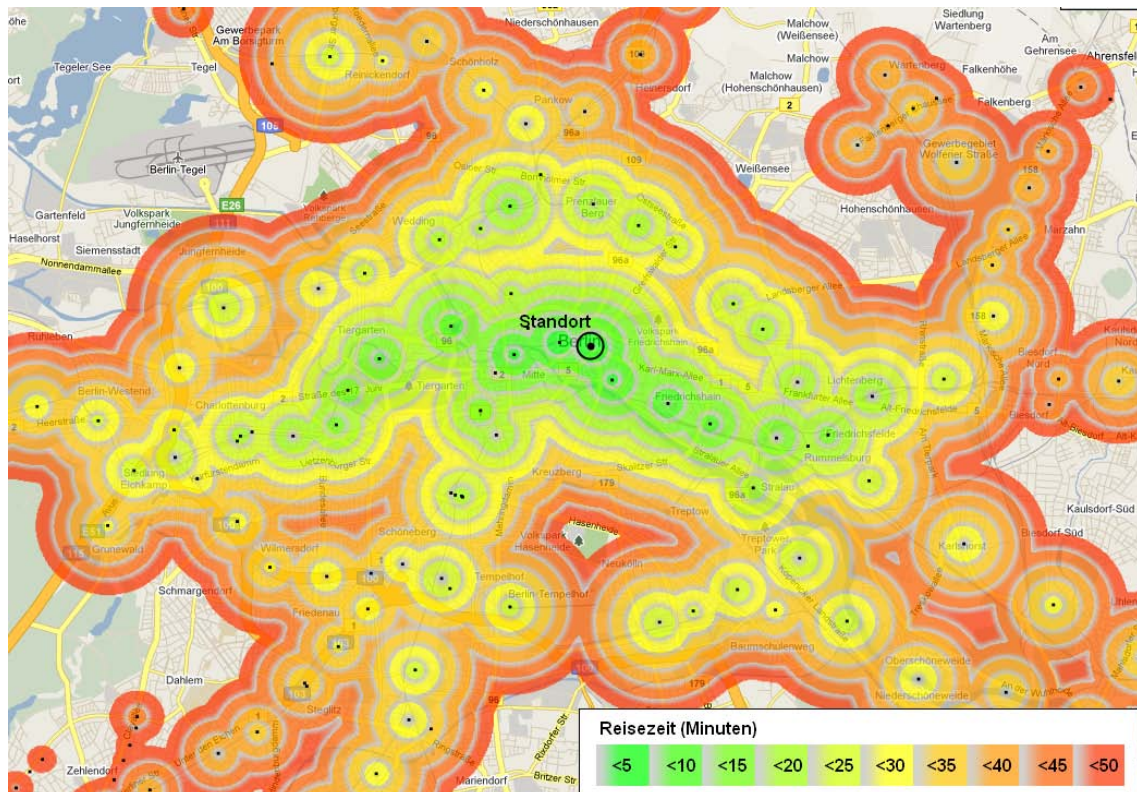


Abbildung 1: Die Erreichbarkeit des Verkehrsgebietes vom Standort aus (nur S-Bahn) wird in 5-Minuten-Schritten dargestellt. Im Hintergrund gibt eine topographische Karte (Google Maps) den räumlichen Referenzrahmen.

So wird beispielsweise bei der Wohnungssuche in einer Stadt neben Kriterien wie Wohnfläche oder Preis typischerweise auch die Frage berücksichtigt, wie gut ein bestimmter Ort zu erreichen ist, z.B. die Arbeitsstelle. Um eine Lösung in dieser Menge von Randbedingungen, d.h. den optimalen Wohnort, zu finden, könnte ein Werkzeug für jeden Ort im Stadtgebiet die Erreichbarkeit des ausgewiesenen „interessanten“ Ortes ermitteln, so dass die relevanten Wohnungen weiter eingeschränkt werden können, etwa anhand der durchschnittlichen Reisezeit zur Arbeitsstelle. Erreichbarkeitskarten (Abb. 1) dienen also der Unterstützung von Entscheidungsprozessen, die Raum und Zeit betreffen.

In diesem Beitrag beschreiben wir die Erstellung der Erreichbarkeitskarten durch punktuelle Abfrage von Verbindungsdaten, wie z.B. Reisedauer, sowie deren Interpolation zu Flächendaten. Im Folgenden werden zunächst verwandte Arbeiten vorgestellt und verglichen, und anschließend auf die Datenaufbereitung und die konkrete Erstellung der Erreichbarkeitskarte eingegangen. Abschließend werden zwei Anwendungsfälle skizziert.

2 Verwandte Arbeiten

Karten, die neben räumlichen auch zeitliche Aspekte abbilden, gehören zur Klasse der raumzeitlichen Visualisierung. Ein klassisches Beispiel ist „Minard’s Map“ (Friendly, 1999) aus dem Jahr 1861 zur Darstellung der Route von Napoleons Armee während des Russlandfeldzuges. Eine alternative Darstellung ist der Raum-Zeit-Würfel von Hägerstrand (1970), bei dem über einer topographischen Karte als Grundfläche die dritte Dimension genutzt wird, um die Zeit abzutragen, und damit Trajektorien darzustellen. Diese Ansätze sind geeignet, eine beschränkte Anzahl von Pfaden zu visualisieren.

Neben der Darstellung (einer Menge) von einzelnen Pfaden können zeitliche Aspekte auch als örtlich referenziertes Attribut präsentiert werden, etwa die Zeit zum Erreichen eines ausgewiesenen Ortes. Eine übliche Darstellung verwendet Isolinien, genauer Isochronen, um die benötigte Zeit zum Erreichen eines Ortes vom Bereich der Karte zu kommunizieren. Dabei kennzeichnen die Isochronen entlang ihres Verlaufs Orte mit der gleichen benötigten Zeit. Unterstützend können die Flächen zwischen den Linien als Zonen mit gleicher Zeitspanne eingefärbt werden, wodurch sich eine bessere Lesbarkeit der Karte ergibt. Galton (1881) beschreibt das Prinzip von Isochronenkarten als Erweiterung von Wetterkarten, die die Temperatur (Isotherme) oder den Luftdruck (Isobare) darstellen. Er gibt ein frühes Anwendungsbeispiel, indem er die Reisezeiten von London in die Welt darstellt, und dabei seine Einfärbungen u.a. auf Tabellen der Post und Fahrpläne der Ozeanschifffahrt basiert.

Heute lassen sich Isochronenkarten auch systematisch und computergestützt erstellen. So stellt Spiekermann (1999) eine Lösung vor, bei der Erreichbarkeitskarten für die Schweizer Eisenbahn für eine Menge von Bahnhöfen erstellt und mit historischen Daten verglichen werden. Mit den Daten der Bahn können für verschiedene Punkte die Reisezeiten nach Europa dargestellt werden. Ein ähnlicher Ansatz wird in (O’Sullivan et al., 2000) präsentiert, in dem zunächst punktuell (z.B. an Bushaltestellen) die benötigte Reisezeit errechnet wird, um dann durch iterativ angewendete „Fußgängerkegel“ die Isochronen zu erzeugen. Auch Street (2006) beschreibt eine entsprechende Technik und schlägt vor, Anwendungsfälle für allgemeine Nutzer zu entwickeln, wie beispielsweise die Verknüpfung von Erreichbarkeit mit Immobilienpreisen.

Isochronenkarten und deren Derivate werden heute bereits verstärkt zur Entscheidungsunterstützung in den Verkehrswissenschaften und der Raumplanung eingesetzt, u.a. (Brosch et al., 2007; Spiekermann, 2005). Dabei wird der dargestellte Wert häufig komplexer berechnet, beispielsweise als Erreichbarkeitspotential, das zusätzlich zur benötigten Reisezeit die Attraktivität des betrachteten Ortes berücksichtigt. So wurden beispielsweise im Rahmen einer Studie für das Rhein-Ruhr-Gebiet auf Basis der Landkreise Erreichbarkeitsindikatoren für die Zentroiden berechnet und die Flächen entsprechend eingefärbt (Spiekermann, 2005).

Neben wissenschaftlichen Arbeiten untersuchen auch Künstler und Designer Isochronenkarten. Dabei steht die Ästhetik bei den aufwändig manuell erstellten Karten im Vordergrund. Das Redesign der schematischen Karte der Londoner Metro zur Integration von Reisezeitangaben (Karlin, 2005) hat mehrere weitere Arbeiten inspiriert: Lightfoot und Irving (2007) zeigen eine interaktive Anwendung, die die in einem wählbaren Zeitintervall erreichbaren Orte in London hervorhebt. Dazu werden automatisiert Anfragen an Verbindungsauskunftssysteme (Desktopanwendung oder Webschnittstelle) ausgewertet. Carden (2006) experimentiert mit einer interaktiven Anwendung, die je nach gewählter Ausgangsstation die Isochronen neu zeichnet.

3 Datenaufbereitung für punktuelle Erreichbarkeit

3.1 Fahrplandaten als Ausgangsbasis

Grundlage von Erreichbarkeitskarten sind Daten, die Verbindungen zwischen geographischen Orten charakterisieren. Im Falle des ÖPNV handelt es sich dabei um Fahrplandaten, die typischerweise in Form eines Graphen mit allen Haltestellen als Knoten sowie verschiedenen gewichteten Kanten dazwischen vorliegen. Jede direkte Verbindung zwischen zwei Haltestellen, die durch ein Verkehrsmittel bedient wird, hat eine Entsprechung im Graph durch eine dazwischenliegende Kante. Das Kantengewicht kann dabei die benötigte Zeit zum Zurücklegen der Strecke repräsentieren. Eine Verbindung mit mehr als einer Kante beschreibt den indirekten Weg zwischen zwei Knoten (Haltestellen), dessen Gesamtdauer sich aus dem summierten Gewicht der passierten Kanten berechnet. Da es meist mehrere Wege zwischen zwei Haltestellen gibt, ermitteln Verbindungsauskunftssysteme algorithmisch den kürzesten Weg (Abb. 2).

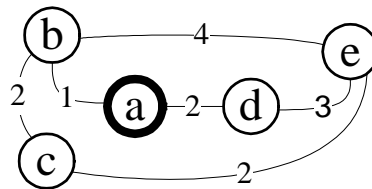


Abbildung 2: Ein einfacher Graph mit fünf Knoten (Haltestellen) a-e und gewichteten Kanten (Reisezeit): Knoten a ist mit e nur indirekt z.B. über d verbunden, so dass die Gewichte (Reisezeit) akkumuliert werden.

Meist sind die Rohdaten in Form eines komplexen Graphen nicht öffentlich verfügbar, stattdessen stellen die ÖPNV-Betreiber Anfragesysteme als Webseite oder Desktopanwendung bereit, um einzelne Verbindungen zu erfragen. Für eine automatisierte Nutzung muss eine spezifische Abfrage- und Extraktionskomponente geschrieben werden (Lightfoot und Irving, 2007). Da Webseite und Oberflächendesign meist unregelmäßigen Veränderungen unterliegen, ist ein solches Vorgehen eher unpraktisch. Im Falle der Webseite ist es zudem im Allgemeinen inadäquat gegenüber dem Betreiber, da bei automatisierten Anfragen eine unüblich hohe Last auf das System ausgeübt wird. Im Rahmen des vorgestellten Projektes wurden Fahrplandaten vom Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB) verwendet. Konkret stellte die HaCon Ingenieurgesellschaft mbH ein Konsolenprogramm zur Verfügung, welches auf den Fahrplandaten operiert und die benötigten Verbindungsdaten liefert. Von Vorteil ist dabei die definierte Schnittstelle und hohe Geschwindigkeit, da alle Daten lokal vorliegen. Für alle Beispiele wurden für bessere Übersichtlichkeit nur S-Bahn-Verbindungen betrachtet.

3.2 Abfrage einfacher Erreichbarkeit

Um für eine ausgewiesene Haltestelle eine farbkodierte Erreichbarkeitskarte zu erstellen, wird für jede Haltestelle im darzustellenden Gebiet eine Verbindungsanfrage zu dieser ausgewiesenen Haltestelle erstellt und deren Ergebnis gespeichert. Eine Verbindungsanfrage enthält Abfahrts- und Zielort sowie die Abfahrts- oder Ankunftszeit. Im Ergebnis werden neben der benötigten Zeit die Anzahl der verwendeten Verkehrsmittel und damit die Anzahl der Umstiege zurückgegeben. Das verwendete Konsolenprogramm liefert bereits automatisch bei einer gegebenen Starthaltestelle alle Verbindungen gesammelt zurück.

Für die Visualisierung der Erreichbarkeit müssen die abgefragten Verbindungsdaten auf einen einzelnen, normalisierten Wert abbildet werden. Dabei gibt es mehrere Alternativen:

- Die erfassten Einzeldaten, etwa Reisedauer, Anzahl der Umstiege, werden einzeln normalisiert und anschließend (gewichtet) gemittelt. Das Ergebnis kann dann nicht mehr als Reisezeit interpretiert werden.
- Die nicht-zeitlichen Aspekte der Verbindungsdaten, z.B. die Anzahl der Umstiege, gehen jeweils mit einer festen „Strafzeit“ in das Ergebnis ein.
- Jeder erfasste Aspekt wird getrennt betrachtet und abgebildet.

Dabei ist die letzte Alternative für ungeübte Nutzer am geeignetsten, da sich die Bedeutung eines aggregierten Qualitätswertes erst durch Erfahrung erschließt. Während die Gesamtreisezeit und Anzahl der Umstiege bereits zentrale Kriterien für Mobilitätsqualität darstellen, gibt es weitere interessante Aspekte, etwa die Wartezeit zwischen Anschlüssen oder Fußwegstrecken. Diese ließen sich grundsätzlich auf ähnliche Art und Weise einfach mit abbilden.

Mit dieser Art von einfachen Verbindungsanfragen lässt sich die Erreichbarkeit aller Haltestellen des Verkehrsgebietes für einen ausgewiesenen Ort und eine Startzeit berechnen. Aus den punktuell vorliegenden Daten kann durch geeignete Interpolation (Abschnitt 4) eine flächenhafte Darstellung der Erreichbarkeit abgeleitet werden.

3.3 Erweiterte Abfrage von Erreichbarkeit

Neben dieser Grundfunktionalität gibt es zwei sinnvolle Erweiterungen: zum einen die Betrachtung der zeitlichen Dimension, und zum anderen die Betrachtung der Erreichbarkeit mit mehreren „interessanten“ Haltestellen.

Zeitintervall

Die Gesamtreisezeit zwischen zwei Orten variiert je nach Startzeit, z.B. durch unterschiedliche Anfangswartezeiten oder Fahrwege. Um eine bessere Vergleichbarkeit herzustellen und diese Variationen zu minimieren, ist es möglich und sinnvoll, viele Reisezeiten innerhalb eines Zeitintervalls zu betrachten.

Für die Erfassung wird das Zeitintervall diskretisiert und für jeden Zeitpunkt im Intervall eine Anfrage generiert, z.B. jede Minute. Da je nach Takt beispielsweise ein Bus nur alle 20 Minuten fährt, entstehen viele Verbindungen, d.h. z.B. eine pro Minute, die sich nur in der Anfangswartezeit unterscheiden. Hier lässt sich der Datenumfang durch geeignete Aggregation reduzieren, indem nur Verbindungen ohne Anfangswartezeit gespeichert werden und alle weiteren auf diese zurückgeführt werden. Für die Darstellung müssen die berechneten Einzelwerte aggregiert werden, etwa durch Durchschnittsbildung, Minimum oder Maximum, so dass der Ergebniswert die mittlere, beste oder schlechteste Verbindungsqualität im Zeitintervall zeigt.

Mehrere Orte

Gibt es nicht nur einen ausgewiesenen Ort, für den die Erreichbarkeit berechnet werden soll, muss die Erreichbarkeitskarte mehrere „interessante“ Orte berücksichtigen. Da eine Anfrage Verbindungen zwischen Haltestellen zurückgibt, gibt es hier bereits eine Diskretisierung der Fläche bezüglich der Positionen der Haltestellen.

Für eine Erreichbarkeitskarte mit mehreren, z.B. vier ausgewiesenen Orten wird die oben beschriebene einfache Erreichbarkeitsanfrage für jeden ausgewiesenen Ort durchgeführt. Im Beispiel würden als Resultat pro Haltestelle vier Erreichbarkeitswerte vorliegen. Für die Darstellung sind als Aggregation die Mittelwertbildung oder auch die Berechnung eines gewichteten Mittels interessant, etwa um unterschiedlich wichtige Zielorte einzubeziehen.

Durch die Einführung dieser zusätzlichen Dimensionen vervielfachen sich Berechnungszeit und Datenvolumen. Dennoch sind bis hierher nur Werte an wenigen Punkten (Positionen der Haltestellen) der gewünschten Region berechnet. Daher werden im nächsten Schritt Flächendaten daraus erzeugt, die jedem Punkt einen Erreichbarkeitswert zuweisen.

4 Erzeugung flächenhafter Daten

Um die an Punkten vorliegenden Erreichbarkeitswerte geeignet für die Fläche zu interpolieren, kann man vereinfacht annehmen, dass ein beliebiger Punkt der Fläche durch direkten Fußweg zur nächstgelegenen Haltestelle erreicht werden kann. Diese Annahme berücksichtigt keine Barrieren, wie etwa Flüsse, Gebäudekomplexe oder Autobahnen, genügt jedoch als grobe Annäherung an die Realität.

Unter dieser Annahme lassen sich **Voronoi-Diagramme** verwenden, um für einen beliebigen Punkt die nächstgelegene Haltestelle zu ermitteln. Voronoi-Diagramme teilen die Ebene anhand einer Menge von gegebenen Punkten und einer Abstandsmetrik in zugehörige Regionen auf. Für alle Punkte innerhalb einer Voronoi-Region ist das Voronoi-Zentrum näher als alle anderen Punkte (**de Berg et al.**, 2008).

Sind nicht-zeitliche Aspekte in die Berechnung des Erreichbarkeitswertes mit einbezogen, kann der Wert des Voronoi-Zentrums für alle Punkte der zugehörigen Zelle verwendet werden. Wird dagegen die Reisezeit als Maß für Erreichbarkeit angenommen, so muss für die Punkte in einer Voronoi-Region der am Voronoi-Zentrum vorliegende Wert je nach Abstand vergrößert werden. Anschaulich verändert sich durch unterschiedliche Entfernungen zu einer Haltestelle nicht die Anzahl der Umstiege einer Verbindung, die Gesamtreisezeit dagegen schon; sie nimmt mit wachsender Entfernung zur Haltestelle zu.

Für die Interpolation von Reisezeiten nutzen wir daher Voronoi-Diagramme, die den Abstand zum Voronoi-Zentrum kodieren. In der Bildverarbeitung können diese Abstandsbilder mit einer Distanztransformation erzeugt werden (**Jähne**, 2005). Natürlicherweise besitzt ein Punkt im Voronoi-Zentrum den Abstand null, während der Abstand von anderen Punkten der Voronoi-Region mit zunehmender Entfernung zum Zentrum linear wächst.

Um die an den Haltestellen berechneten verschiedenen Reisezeiten zu berücksichtigen, definieren wir die jeweilige Reisezeit als Ausgangsdistanz im Voronoi-Zentrum. Als Abstandsmetrik lässt sich die Fußgängergeschwindigkeit gesondert angeben, etwa mit 4 km/h. Wir nutzen das Verfahren von **Hoff III et al.** (1999), um das Distanzbild unter Ausnutzung moderner Grafikhardware zu erzeugen (Abb. 3). Im Ergebnis liegt die Erreichbarkeitskarte als Grauwert-kodiertes Bild vor, d.h. der tatsächlich berechnete Wert ist im Intervall [0,1] kodiert.

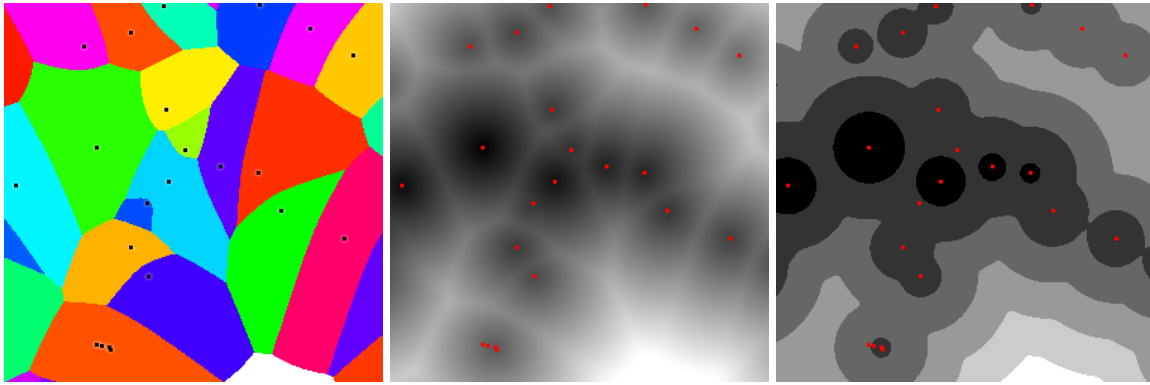


Abbildung 3: Die Interpolation der Punktdaten erfolgt durch Voronoi-Zellen mit gewichteten Voronoi-Zentren (links). Durch ein Distanzfeld (Mitte) kann die Entfernung zur nächsten Haltestelle kodiert werden, die in der quantisierten Darstellung in 10-Minuten-Intervallen ablesbar ist (rechts).

Im letzten Schritt kann die Darstellung dieser Informationsschicht gesteuert werden. Dabei müssen die berechneten Werte durch eine visuelle Variable wie Farbe oder eingezeichnete Isolinien umgesetzt werden. Für die kartographische Gestaltung stehen hier die Anzahl der Abstufungen, die Verwendung von Isolinien und die Auswahl des Farbschemas zur Verfügung. In der prototypischen Anwendung haben wir ein Rot-Gelb-Grün-Schema gewählt, da hier ein intuitives Verständnis für eine Ordnung vorliegt. Für eine barrierefreie Gestaltung sind aber auch andere Schemata denkbar, etwa Gelb-Rot- oder Hell-Dunkel-Verläufe.

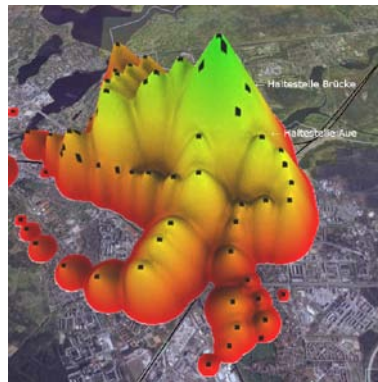


Abbildung 4: In der 3D-Darstellung (hier nach Google Earth-Export) entstehen Probleme durch Verdeckung.

Eine weitere Darstellungsmöglichkeit ist ein 3D-Gelände (Abb. 4), bei dem die Höhe als visuelle Variable verwendet wird. Die 3D-Darstellung zeigt Erreichbarkeit als Pseudoterrain, bei dem der Ausgangspunkt der höchste Punkt ist, von dem mit zunehmender Entfernung (und damit Reisezeit) die Höhe abnimmt. Eine inverse Darstellung mit dem Ausgangspunkt am tiefsten Punkt ist analog denkbar, indem die Werte invers interpretiert werden. Bei dieser Form der Darstellung entstehen allerdings Probleme durch Verdeckung, die der Benutzer durch Interaktion auflösen kann / muss.

5 Verwendung von Erreichbarkeitskarten

Mit der vorgestellten Technik lassen sich Darstellungen erzeugen, die auch von ungeübten Nutzern intuitiv interpretiert werden können. Damit können Entscheidungsprozesse, die räumliche und zeitliche Aspekte berühren, unterstützt werden. Die zwei folgenden Anwendungsskizzen sollen beispielhaft die Verwendbarkeit von Erreichbarkeitskarten illustrieren.

5.1 Schnell erreichbare Points-of-Interests von einem Standort

Ein typischer Anwendungsfall ist die Auswahl eines konkreten Point-of-Interest (POI), beispielsweise eines Restaurants, nach der Erreichbarkeit. Dabei bietet eine Karte den Vorteil, dass die Fahrzeiten nicht nacheinander ermittelt werden müssen, sondern für eine Region visualisiert werden. Für diese Form einer einfachen Erreichbarkeitskarte werden die Reisezeiten für einen Startzeitpunkt für alle Stationen im betrachteten Gebiet berechnet und dargestellt. Durch die Färbung und Legende können schnell überblicksartig die potentiellen POIs eingegrenzt werden.

Im Beispiel (Abb. 5) wird der Fall skizziert, dass Restaurants in der Nähe des Standortes (Hauptbahnhof) gesucht werden. Die Restaurantpositionen sind der eingefärbten Erreichbarkeitskarte überlagert.

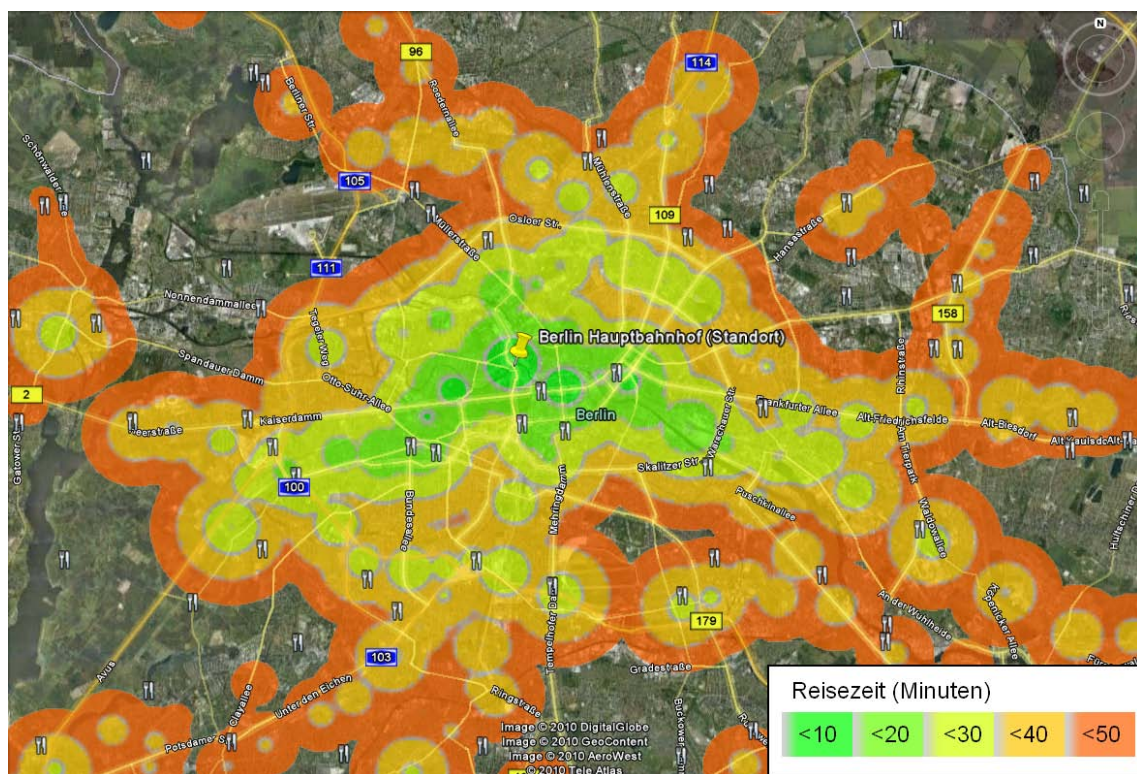


Abbildung 5: Reisezeiten vom Berliner Hauptbahnhof in 10-Minuten-Isochronen visualisiert in Google Earth. Die Einfärbung zeigt die bessere Erreichbarkeit von Reisezielen entlang der Ost-West-Richtung.

5.2 Wohnungssuche mit mehreren Mobilitätsbedingungen

Bei der Suche nach einer neuen Wohnung oder Unterkunft in einer Stadt entscheiden viele Standortfaktoren über die Eignung, z.B. Preis, Wohnungsgröße oder Anzahl der Zimmer. Zusätzlich gibt es Anforderungen an die Verkehrslage, die sich häufig aus konkreten

Erreichbarkeitsbedingungen ergeben, beispielsweise der Verbindung zu Arbeitsplatz, Sportverein, Freunden. In diesem Beispiel betrachten wir die Erreichbarkeit mehrerer Orte, die durch Durchschnittsbildung über die Reisezeit angegeben wird. Dabei können die „interessanten“ Orte gewichtet werden, etwa, weil der Arbeitsplatz häufiger angefahren wird, als Orte, die in der Freizeit genutzt werden.

Im Beispiel (Abb. 6) wird folgende Situation einer wohnungssuchenden Person skizziert: Der Arbeitsplatz (täglicher Weg) befindet sich am Standort 1, am Wochenende trifft sich die Person regelmäßig mit Freunden in der Nähe von Standort 2. Entsprechend werden die Gewichte mit 5 (Standort 1) und 1 (Standort 2) vergeben. Standort 3 (z.B. Sportverein) ist noch unsicher und wird daher mit den Gewichten 1, 3 und 5 berechnet. Das Ergebnis zeigt die Verschiebung der Erreichbarkeit in Richtung Standort 3, abhängig von dessen Gewicht.

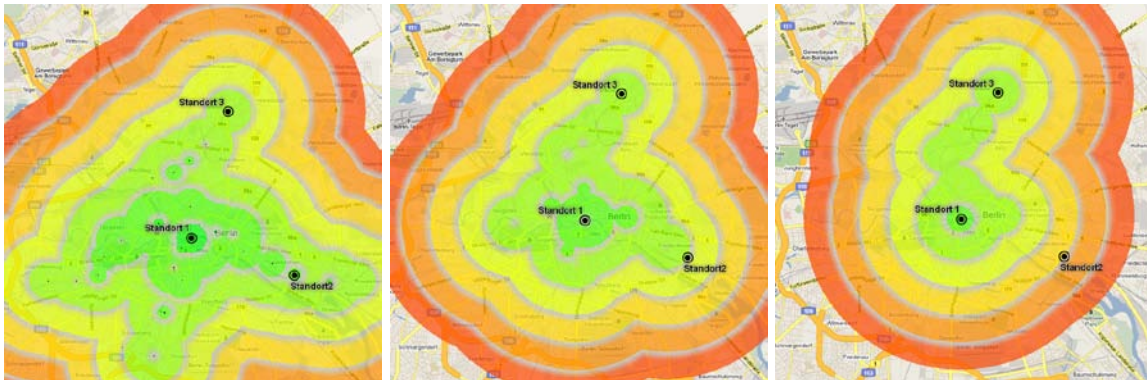


Abbildung 6: Das Beispiel analysiert die Erreichbarkeit von drei unterschiedlich gewichteten Standorten bezüglich der durchschnittlichen Reisezeit. Dabei wird das Gewicht von Standort 3 variiert (1, 3, 5 von links nach rechts). Die Erreichbarkeit ist über einer Google Maps Karte eingeblendet.

6 Fazit und Ausblick

Erreichbarkeitskarten können jenseits von Expertensystemen auch dem allgemeinen Nutzer Hilfestellung beim Treffen von Entscheidungen des alltäglichen Lebens bieten. Durch die Nutzung der ÖPNV-Verbindungsdaten lassen sich egozentrische Erreichbarkeitskarten herstellen, die konkret auf individuelle Anforderungen zugeschnitten sind und insbesondere in Kombination mit weiteren Daten, etwa Immobilienangeboten, Mehrwerte schaffen. Ergänzend kann analog auch das Straßennetz und damit der Individualverkehr als Datengrundlage verwendet werden. Auch der Fußweg zu den Haltestellen könnte auf Basis eines Straßengraphen genauer berechnet werden. Im beschriebenen Ansatz fehlt die Berücksichtigung von Barrieren, wie beispielsweise Häuserblöcken oder Wasserflächen.

Da der Berechnungsaufwand insbesondere für Zeitintervallabfragen schnell ansteigt, ist für einen produktiven Einsatz die Vorberechnung für ausgewählte Parameter und stark nachgefragte Stationen sinnvoll. Beispielsweise gibt es häufig nur wenige Taktwechsel, z.B. Tag-, Nachtfahrplan, Wochentags- oder Wochenendplan, so dass zeitliche Anfragen innerhalb eines Fahrplanmodus ähnliche Ergebnisse liefern. Diese vorberechneten Ergebnisse müssten nur bei Fahrplanänderungen aktualisiert werden. Die Verwendung eines Konsolenprogramms oder eines direkten Zugriffs für die Berechnungen erlaubt zudem die Beschleunigung der Abfrage durch Parallelisierung bei Ausnutzung moderner Multiprozessoren.

Der vorgestellte Ansatz zeigt, dass die Erstellung von Erreichbarkeitskarten praktikabel umsetzbar ist. Die Ergebnisse können unterschiedlich genutzt werden, sei es als halbtransparente Informationsschicht in Kartendiensten oder als exportiertes 3D-Terrain. Damit sind Erreichbarkeitskarten ein flexibles Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung in verschiedensten Diensten mit Raumbezug.

Danksagung

Diese Arbeit wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projekts „3D-Geoinformation“ (www.3dgi.de) des Innoprofile Programms. Wir danken dem Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg und der HaCon Ingenieurgesellschaft mbH für die Bereitstellung der Verbindungsdaten und die Beratung. Wir danken außerdem den anonymen Gutachtern für ihre hilfreichen Anmerkungen.

Literatur

- K. Brosch, F. Huber, P. Reinbold, K.-H. Hartwig, M. Peistrup, K. Spiekermann und M. Wegener. Ableitung von Kriterien einer ausreichenden Bedienung im ÖV für unterschiedliche Regionstypen in NRW. Endbericht für das Ministerium für Bauen und Verkehr Nordrhein-Westfalen. Bericht, Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen (LUIS), Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, 2007.
- Tom Carden. Tube Travel Contours, 2006. URL <http://www.tomcarden.co.uk/2006/02/21/tube-travel-contours/>. Letzter Zugriff 31.1.2010.
- Mark de Berg, Marc van Kreveld, Mark Overmars und Otfried Schwarzkopf. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer, Berlin, Heidelberg, 3. Auflage, 2008.
- Michael Friendly. Re-Visions of Minard. *Statistical Computing and Graphics Newsletter*, 11(1), 1999.
- Francis Galton. On the Construction of Isochronic Passage Charts. *Proceedings of the Royal Geographical Society*, 3:657–658, 1881.
- Torsten Hägerstrand. What About People in Regional Science? *Papers in Regional Science*, 24(1):6–21, Dezember 1970.
- Kenneth E Hoff III, John Keyser, Ming Lin, Dinesh Manocha und Tim Culver. Fast Computation of Generalized Voronoi Diagrams Using Graphics Hardware. In *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pages 277–286, New York, NY, USA, 1999. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- Bernd Jähne. *Digitale Bildverarbeitung*. Springer, Berlin, Heidelberg, 6. Auflage, 2005.
- Oskar Karlin. Time travel, 2005. URL <http://www.oskarlin.com/2005/11/29/time-travel/>. Letzter Zugriff: 31.1.2010.
- Chris Lightfoot und Francis Irving. Travel-Time Maps, 2007. URL <http://www.mysociety.org/2007/more-travel-maps/>. Letzter Zugriff: 31.1.2010.
- David O’Sullivan, Alastair Morrison und John Shearer. Using Desktop GIS for the Investigation of Accessibility by Public Transport: an Isochrone Approach. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(1):85–104, 2000.

Klaus Spiekermann. Visualisierung von Eisenbahnreisezeiten - Ein interaktives Computerprogramm. Bericht, Universität Dortmund, Institut für Raumplanung, Dortmund, 1999.

Klaus Spiekermann. Erreichbarkeitsszenarien für die Metropolregion Rhein-Ruhr. Bericht, Spiekermann & Wegener Urban and Regional Research, Dortmund, 2005.

Nicholas Street. TimeContours: Using Isochrone Visualisation to Describe Transport Network Travel Cost, 2006. URL <http://timecontours.co.uk/>. Letzter Zugriff: 31.1.2010.

Über die Verfasser

Tassilo Glander, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Computergrafische Systeme am Hasso-Plattner-Institut der Universität Potsdam (HPI). Er befasst sich mit der Generalisierung virtueller 3D-Stadtmodelle und deren kartografischer Darstellung.

Martin Kramer, M.Sc., hat in seiner Masterarbeit am Fachgebiet Computergrafische Systeme am Hasso-Plattner-Institut zu Mobilitätsqualitätskarten geforscht. Nach Abschluss seines Studiums arbeitet er derzeit an der Medical Vision Group bei Siemens Corporate Research in Princeton, New Jersey (USA).

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Döllner ist Professor für Computergrafische Systeme an der Universität Potsdam und Leiter des Fachgebiets Computergrafische Systeme am Hasso-Plattner-Institut (www.hpi3d.de). Seine Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen 3D-Rendering, Geovisualisierung, Softwarevisualisierung und dienstbasierten Architekturen.