In: Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 31, September 2004,
Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, ISBN 3-89888-882-7

3D-Kartographie für die Fußgängernavigation: Virtuelle Wegweiser in Panoramen

(mit 11 Bildern)

Von Thomas H. Kolbe, Ariane Middel und Lutz Plümer, Bonn

ZUSAMMENFASSUNG: Um Fußgänger bei der Orientierung und Navigation mit Hilfe von mobilen Endgeräten und mobilen GIS zu unterstützen, wird eine angemessene Darstellung ihres Aufenthaltsortes, der Umgebung und der Routeninformation benötigt. In Fußgängernavigationssystemen werden dazu bislang im wesentlichen Karten verwendet. Diese erlauben zwar die Darstellung räumlicher Zusammenhänge, jedoch haben viele Benutzer Schwierigkeiten, von der vor Ort wahrgenommenen Szene auf ihren Aufenthaltsort an Hand der abstrakten Kartendarstellung zu schließen. Dieser Beitrag stellt einen neues Konzept zur Orientierungs- und Navigationshilfe vor, das auf der orts- und richtungssynchronisierten Darstellung von Panoramabildern auf mobilen Endgeräten basiert. Dazu werden Panoramen für alle Entscheidungspunkte des Wegenetzgraphen eines Gebiets aufgenommen. Es wird gezeigt, wie diese zur Navigation durch virtuelle Wegweiser ergänzt werden. Besonderer Augenmerk kommt dabei der Frage nach möglichst geringer Verdeckung von Hintergrundinformationen durch die virtuellen Wegweiser zu.

ABSTRACT: In order to support pedestrians in city navigation by the use of mobile handheld devices and mobile GIS, an appropriate visual presentation of their location as well as their environment and route information is required. Up to now pedestrian navigation systems are only based on maps. Although maps are well-suited to provide the spatial context of a user's location, many users are experiencing difficulties to match the scene perceived in the real world with the abstract map representation. This article introduces a new concept for a navigation aid that is based on a direction- and location-synchronised display of panoramic images on mobile handheld devices. For that purpose, panoramic images are generated for every junction of a route graph of a city center area. It is shown how the panoramas are augmented by virtual signposts in order to visually support orientation and wayfinding. Special focus lies on the question how to avoid the occlusion of salient image regions by virtual signposts.

1. Einleitung

Im Zuge des technologischen Fortschritts bei mobilen Endgeräten sowie der Verfahren zur Positionsbestimmung rückt nach der Etablierung von Fahrzeugnavigationssystemen zunehmend die Fußgängernavigation in das Interesse bei der Entwicklung ortsbasierter Dienste (Location Based Services). Ermöglicht wird dies nicht zuletzt durch die stetig steigenden Fähigkeiten von PDAs und Mobilfunktelefonen in Bezug auf Speicherkapazität, graphische Darstellungsmöglichkeiten (Farbdisplays mit 320x240 Pixeln), hoher Rechenleistung und der Verfügbarkeit von Low-Cost-Sensoren. Die drahtlose Anbindung an das Internet sorgt zudem dafür, dass benötigte Informationen zeitnah zu ihrer Verwendung (nach)geladen werden können.

Neue Verfahren zur Positionsbestimmung integrieren verschiedene Sensoren und realisieren eine Koppelnavigation von GPS, Inertialsystemen und Mobiltelefonlokalisierung, die die Schwächen der einzelnen Systeme ausgleicht (vgl. Judd 1997; Ladetto et al. 2001; Retscher und Skolaut 2003). Durch die Einbeziehung sogenannter *MapMatching*-Techniken, die die gemessene Position aufgrund einer Kartengrundlage verbessert, können auch in Innenstädten Genauigkeiten von wenigen Metern erreicht werden (siehe Plümer et al. 2004).

Fußgängernavigationssysteme dienen der Orientierung und Navigation und sind insbesondere in fremden Umgebungen hilfreich. Die Anwendungen sind gleichermaßen für Touristen, Geschäftsreisende und Besucher einer Stadt interessant. In den letzten Jahren wurden

bereits verschiedene Fußgängernavigationssysteme und touristische Informationssysteme vorgestellt. Wichtige Meilensteine stellen dabei die Forschungsprototypen Cyberguide (Abowd et al. 1997) und GUIDE (Cheverst et al. 2000) dar, die als erste versucht haben, dem Benutzer kontextbezogene Informationen mittels mobiler GIS unter Verwendung von Infrarot-Positionsbestimmung in Innenräumen bzw. GPS im Außenbereich darzubieten. Die Systeme Deep Map (Malaka und Zipf 2000) und Lol@ (Gartner und Uhlirz 2001; Pospischil et al. 2002; Gartner 2003) setzen darüber hinaus mit Fotos von Objekten und Lokalitäten gezielt multimediale Informationen zur Orientierungshilfe ein.

Den genannten Systemen ist gemein, dass die Darstellung der räumlichen Konfiguration am Standort des Benutzers im wesentlichen auf (zweidimensionalen) Karten basiert. Dabei beschränkt die trotz steigender Auflösung immer noch geringe Bildschirmgröße mobiler Endgeräte die Möglichkeiten der Kartendarstellung, die deshalb stark abstrahiert sein muss. Hinzu kommt, dass viele Benutzer generell Probleme bei der Interpretation von Karten haben – insbesondere in Bezug auf die Identifikation des eigenen Standortes und der aktuellen Richtung. Es stellt sich somit die Frage, wie die Anzeige von Bildschirmkarten durch intuitivere Darstellungsformen räumlicher Sachverhalte geeignet ergänzt werden kann. Im folgenden wird dazu ein Konzept vorgestellt, das auf der orts- und richtungssynchronisierten Darstellung von Panoramabildern auf mobilen Endgeräten basiert. In die jeweils dargestellte Ansicht werden dabei kontinuierlich virtuelle Wegweiser zur Navigationsunterstützung eingeblendet.

2. Fußgängernavigation und 3D-Kartographie

2.1 Visuelle Unterstützung für die Orientierung und Navigation

Obwohl auch die Sprachausgabe z.B. bei Fahrzeugnavigationssystemen ein wichtiges Medium zum Transport von Navigationsinformationen darstellt, ist doch die visuelle Präsentation des aktuellen Aufenthaltsortes und seiner Umgebung auf dem Bildschirm entscheidend für die Orientierung und Navigation. Generell lassen sich bei der graphischen Darstellung in Navigationssystemen drei Hauptbestandteile unterscheiden:

1. Die Darstellung des aktuellen Standortes und seiner Umgebung: Diese wird zum einen gebraucht, um dem Benutzer die Orientierung in der realen Welt zu ermöglichen. Zum anderen ist sie die Grundlage für die Herstellung des räumlichen Bezuges angezeigter Hintergrundinformationen über Objekte und Orte sowie von Navigationsanweisungen. Wie oben bereits beschrieben, setzen die bislang vorgestellten Systeme zu diesem Zweck zweidimensionale Bildschirmkarten ein.
2. Die Überlagerung von Hintergrundinformationen zu dem aktuellen Ort und den umgebenden Objekten: In kartenbasierten Darstellungen sind diese häufig als punkthafte Signaturen und Beschriftungen ausgeprägt.
3. Die Überlagerung von Navigationsanweisungen: In kartenbasierten Systemen ist der Weg zum Ziel meistens in Form einer verbreiterten Wegesignatur in Signalfarbe hervorgehoben.

Um eine intuitivere und damit leichter interpretierbare Darstellung zu erhalten, wird im folgenden ein Konzept vorgestellt, das auf der Verwendung realistischer Ansichten des jeweiligen Aufenthaltsortes des Benutzers basiert. Eine dreidimensionale Darstellung der Szene kommt der Wahrnehmung des Betrachters sehr nahe, insbesondere wenn sie orts- und richtungssynchronisiert dargestellt wird, d.h. in der gleichen Perspektive, in der der Benutzer die Realität gerade wahrnimmt. Informationen über Objekte und Orte sowie Navigationsinformationen werden passgenau eingeblendet und können von Betrachter somit direkt den realen Objekten bzw. Richtungen zugeordnet werden.

Die realistische Darstellung räumlicher Konfigurationen wird bereits seit vielen Jahren im Bereich der Computergrafik unter dem Begriff *Virtual Walkthrough Environments* untersucht. Hier haben sich zwei verschiedene Ansätze herauskristallisiert: Der erste Ansatz basiert auf der Verwendung von hoch aufgelösten und größtenteils texturierten 3D-Stadtmodellen (sie-

he Kawasaki et al. 2001; Rakkolainen und Vainio 2001; Kulju und Kaasinen 2002; Suomela et al. 2003). Der Vorteil dieses Ansatz liegt darin, dass Ansichten für beliebige Positionen und Perspektiven generiert werden können. Nachteilig ist der Bedarf eines qualitativ hochwertigen 3D-Modells, dessen Erfassung und Verwaltung derzeit noch mit einem enormen Aufwand und entsprechenden Kosten verbunden ist. Der zweite Ansatz basiert auf dem sogenannten *Image-based Rendering* (IBR), bei dem aus Fotos oder Videos einzelner Orte und fester Pespektiven die Ansichten in neuen Perspektiven ohne Vorliegen eines expliziten 3D-Modells synthetisiert werden (vgl. Tanikawa et al. 1999; Kimber et al. 2001). Prominentestes Beispiel sind hier die 360°-Panoramabilder, die eine Rundumsicht von einem festen Standpunkt ermöglichen und aus wenigen Einzelbildern generiert werden können (Chen 1995).

Die Überlagerung von Informationen mit realen Szenenansichten wird seit vielen Jahren im Forschungsbereich der erweiterten Realität (*Augmented Reality*, AR) untersucht. Dort geht es darum, Benutzern mit Hilfe von *Head-Mounted-Displays* Informationen über Orte und Objekte in das Sichtfeld passgenau einzublenden und damit den Betrachter einer Szene unmittelbar mit Hintergrundinformationen zu versorgen (vgl. Milgram und Kishino 1994; Azuma 1997; Feiner et al. 1997; Höllerer et al. 2001; Reitmayer und Schmalstieg 2003). Im Kontext der Fußgängernavigation, die eine realistische Darstellung der aktuellen Szene anstrebt, ergeben sich dabei neue kartographische Herausforderungen, da die Platzierung von Schrift und Wegweisern sowie die Sicherstellung der Zuordnung von Signaturen zu den räumlichen Objekten die dritte Raumdimension berücksichtigen muss (vgl. Azuma und Furmanski 2003).

2.2 Konzept

Der Bedarf einer Navigationsunterstützung ist für Fußgänger typischerweise dort am größten, wo der weitere Weg in unterschiedlichen Richtungen fortgesetzt werden kann. Solche Orte werden als Entscheidungspunkte bezeichnet. Sie entsprechen in der Regel den Kreuzungen und Plätzen einer Stadt (vgl. Corona und Winter 2001; Kolbe 2002). Ausgehend von dieser Beobachtung werden Aufnahmen der realen Szenenansichten aller Entscheidungspunkte des zu unterstützenden Gebiets gemacht. Dabei erlauben 360°-Panoramen den Blick in eine beliebige Richtung an jedem dieser Orte. Wenn der Benutzer in die Nähe eines Entscheidungspunktes kommt, wird auf dem Bildschirm seines mobilen Endgerätes der Ausschnitt des Panoramas angezeigt, der seiner Blickrichtung entspricht. Zur Navigationsunterstützung werden dann virtuelle Wegweiser eingeblendet, die eine unmittelbare Zuordnung bzw. Interpretation der Navigationsinformation erlauben. Abbildung 1 illustriert das Konzept am Beispiel der Darstellung auf einem PDA.

Abb. 1 – Prinzip der virtuellen Wegweiser in Panoramen auf einem PDA

Dieses Konzept realisiert eine Form der erweiterten Realität, wobei hier jedoch auf die Benutzung von Head-Mounted-Displays (HMD) verzichtet werden kann. Dadurch lassen sich verschiedene Probleme klassischer AR-Systeme vermeiden. Zum einen stellen HMDs einen invasiven Eingriff in das Gesichtsfeld des Benutzers dar und werden deshalb nur ungerne getragen. Zum anderen erfordert das passgenaue Einblenden von Navigations- und Hintergrundinformationen eine hochgenaue Registrierung der Position und der Orientierung des Benutzers, die insbesondere in Außenbereichen derzeit noch nicht befriedigend realisiert werden kann. Bei der Verwendung von Panoramen kann die Bestimmung der Kameraposition bzw. –kalibrierung hingegen offline im voraus berechnet werden. Damit kann sichergestellt werden, dass die Darstellung von Hintergrundbild (Panoramaauschnitt) und überlagerten Orts- und Navigationsinformationen immer zueinander passt.

Für die Bestimmung des aktuellen Standortes wird in dem realisierten Prototypen derzeit das Koppelnavigationssystem Pointman der Fa. Pointresearch eingesetzt, das neben einem

GPS-Empfänger einen magnetischen Kompass, einen barometrischen Höhenmesser sowie einen Schrittzähler beinhaltet (Judd 1997; Point Research 2004). Während mit Hilfe der Positionsinformation das anzuzeigende Panorama ausgewählt wird, bestimmt der Kompass den anzuzeigenden Panoramaauschnitt.

3. Georeferenzierte zylindrische Panoramen

Ein Panorama ist eine fotorealistische 360°-Szenenansicht, die dem Betrachter einen Rundblick in beliebige Richtungen gestattet. Zur Erstellung eines Panoramas wird die Umgebungstextur der realen Szene von einem zentralen Punkt aus erfasst und auf eine einfache Form abgebildet. Dadurch entsteht eine orientierungsunabhängige Szenenansicht, die auch als „environment map" bezeichnet wird (*Chen* 1995). In Abhängigkeit von der Abbildungsfläche unterscheidet man im wesentlichen sphärische, kubische und zylindrische Panoramen. Da die Erfassung und Berechnung zylindrischer Panoramen vergleichsweise einfach ist, werden sich alle weiteren Betrachtungen auf diesen Panoramatyp beschränken.

Um aus einer zylindrisch verzerrten Bildquelle beliebige Szenen zu generieren, müssen entsprechende Bildausschnitte durch einen sogenannten Panoramaviewer extrahiert und auf eine Ebene – das Display des mobilen Endgerätes - reprojiziert werden. Die Darstellung im Display muss stets mit der Blickrichtung des Benutzers übereinstimmen, um ihn bei seiner Navigationsaufgabe optimal zu unterstützen. Die Synchronisation der realen und fotorealistischen Ansicht erfordert eine Georeferenzierung und Orientierung der Panoramabilder.

3.1 Geocodierung und Orientierung

Damit der im Panoramaviewer sichtbare Bildausschnitt stets der aktuellen Position und Blickrichtung des Benutzers entspricht, müssen die Panoramen zunächst mit den Koordinaten ihres Aufnahmestandpunktes assoziiert werden. Diese Koordinaten sollten eine Genauigkeit von < 0,5m besitzen, um eine korrekte Anzeige zu gewährleisten. Ein automatisiertes Verfahren zur gleichzeitigen Erfassung und Georeferenzierung von Panoramabildern in Stadtgebieten wird in (*Teller et al.* 2001) vorgestellt.

Zur richtungsgenauen Positionierung des Benutzers ist es ferner erforderlich, die Panoramen durch die Festlegung der Nordrichtung im Bild absolut zu orientieren (siehe Abb. 2). Um die Nordrichtung unabhängig von der Panoramagröße angeben zu können, wird die Orientierung als prozentualer Anteil n der Bildweite b berechnet:

$$n[\%] = \frac{n[pel] \cdot 100}{b[pel]}$$

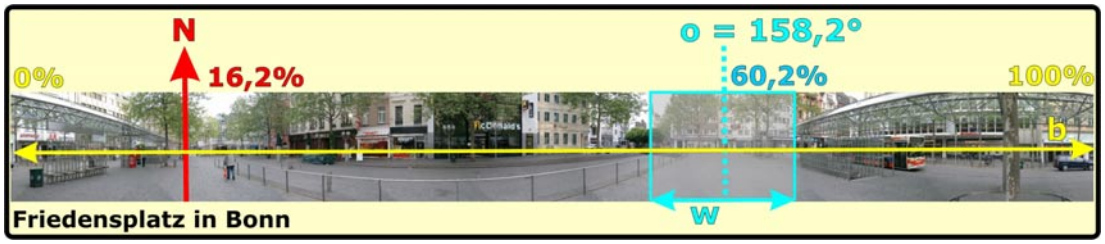

Abb. 2 – Absolute Orientierung eines Panoramas

Die Nordrichtung sowie die Koordinaten des Aufnahmestandpunktes werden für jedes Panorama in einer separaten ASCII-Datei gespeichert. Bei der Reprojektion des zylindrisch verzerrten Panoramabildes kann der Viewer auf diese Daten zurückgreifen, um orientierungsabhängige Bildausschnitte zu extrahieren. Auf diese Weise können für jeden Panoramapunkt beliebig orientierte Ansichten berechnet und angezeigt werden.

3.2 Wegenetz

Die Grundlage für die Integration einer Routenplanung in das vorgestellte Navigationskonzept bildet ein fußgängergeeignetes Wegenetz. In Anlehnung an das in (*Kolbe* 2002) modellierte Wegenetz wird der navigierbare Raum durch einen zusammenhängenden gewichteten Graphen abstrahiert, dessen Knotengerüst aus den Entscheidungspunkten sowie weiteren Stützpunkten zur Modellierung einer nicht-linearen Straßenführung besteht (siehe Abb. 3). Die Verbindung der Knoten erfolgt in Übereinstimmung mit dem Straßenverlauf durch ungerichtete Kanten, da Fußgänger nicht an Bewegungsrichtungen gebunden sind.

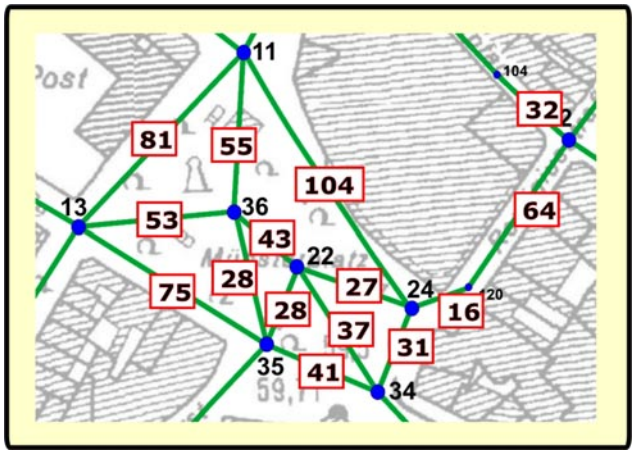

Abb. 3 - Ausschnitt eines Wegenetzgraphen

Plätze werden als Polygone durch eine Menge von Knoten und Kanten repräsentiert. Die Platzeinmündungen stellen die Knoten des Umrings dar, welcher je nach Ausdehnung zusätzliche Stützpunkte in der Platzmitte erhält. Diese Modellierung ist zweckmäßig, da bei der Routenführung nicht von Interesse ist, auf welcher Trajektorie ein Fußgänger den Platz passiert, sondern von welchem Start- zu welchem Zielpunkt die Überquerung stattfindet. Die Kanten des Wegenetzgraphen werden zur Berechnung des kürzesten Weges mit der euklidischen Distanz ihrer adjazenten Knoten gewichtet. Des weiteren werden sie mit ortsbezogenen Informationen (Hausnummern, Points-Of-Interest etc.) attributiert, damit auch intermediäre Punkte in die Routenplanung mit einbezogen werden können.

Zur Berechnung des kürzesten Weges wird der Algorithmus von Floyd verwendet, den Kolbe in (*Kolbe* 2002) zur clientseitigen Routenplanung vorschlägt. Dieser Algorithmus ermittelt alle kürzesten Wege innerhalb eines Graphen von jedem Knoten zu allen übrigen. Die Suche des kürzesten Weges ist daraufhin in nur einem Durchlauf möglich. Der Einsatz des Floyd-Algorithmus ist auf Grund des hohen, quadratisch wachsenden Speicherbedarfs allerdings nur bei kleinen Graphen sinnvoll.

3.3 Visuelle Raumabdeckung

Zylindrische Panoramen bieten lediglich eine partielle visuelle Raumabdeckung, denn der Viewer reproduziert nur Ansichten ausgehend vom Aufnahmestandpunkt des Panoramas. In der näheren Umgebung dieses Punktes ähnelt der Bildausschnitt im Viewer jedoch der realen Ansicht. Daher werden allen Panoramen sogenannte Ähnlichkeitsbereiche zugewiesen, in denen die Einblendung entsprechender Panoramaausschnitte erfolgt. Bei der Festlegung der Ähnlichkeitsbereiche ist zwischen Kreuzungen und Plätzen zu unterscheiden.

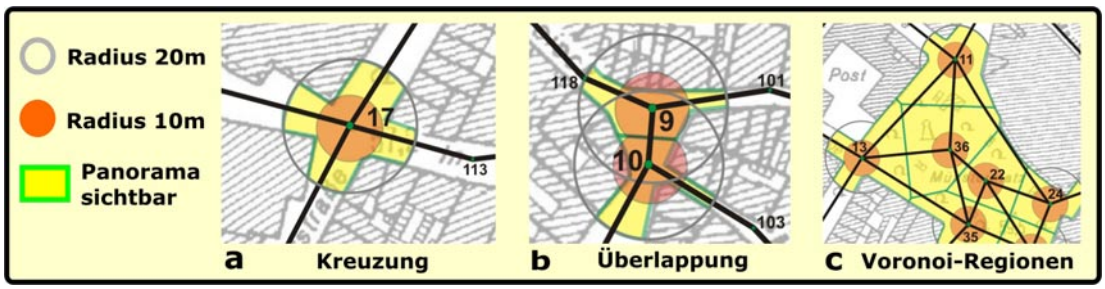

Abb. 4 – Ähnlichkeitsbereiche für Panoramen

Für Kreuzungen wird ein radialer Ähnlichkeitsbereich gewählt. Nähert sich der Betrachter einem Panoramapunkt auf mehr als 20m, wird ein richtungsgenauer Panoramaausschnitt eingeblendet (vgl. Abb. 4a, grauer Kreis). Entfernt sich der Betrachter um mehr als 10m vom

Mittelpunkt des aktuellen Ähnlichkeitsbereiches, wird die Ansicht im Viewer bis zum Verlassen der 20m-Zone eingefroren (vgl. Abb. 4a, gelber Bereich). Innerhalb zwei sich überlappender Ähnlichkeitsbereiche ist eine eindeutige Panoramazuordnung nicht möglich. Die Umblendung zwischen den zugehörigen Ansichten erfolgt daher entlang der Sehne durch die Kreisschnittpunkte, das heißt auf halber Strecke zwischen beiden Panoramen (vgl. Abb. 4b).

Die kreisförmigen Ähnlichkeitsbereiche müssen für Panoramastandpunkte auf Plätzen modifiziert werden, da sie den Raum nicht vollständig abdecken. Aus diesem Grund werden alle Plätze in Gebiete gleicher nächster Nachbarn zerlegt, sogenannte Voronoi-Regionen (vgl. Abb. 4c). Die Mittelsenkrechten auf die Verbindung benachbarter Panoramapunkte begrenzen jeweils die zugehörigen polygonförmigen Ähnlichkeitsbereiche. Unbeschränkte Voronoi-Regionen am Platzrand werden durch die bestehende Bebauung geschlossen.

Befindet sich der Benutzer nicht innerhalb eines Ähnlichkeitsbereiches, wird die Panoramaanzeige deaktiviert. In dieser Zeit sind Einblendungen von Videoclips denkbar, wie sie in (*Kolbe* 2002) vorgestellt werden.

3.4 Disparate Ansichten

Die Ansicht im Panoramaviewer weicht von der Ansicht der realen Szene ab, sofern der Betrachter nicht genau auf dem Aufnahmestandpunkt des Panoramas steht. Abbildung 5 zeigt einen Betrachter *S* einige Meter vom Panoramapunkt *M* entfernt mit Blick auf ein Objekt *X* in unterschiedlichen Distanzen. Die Bildebene b_1 entspricht der Ansicht im Viewer mit Fokus auf das Objekt, b_2 ist die tatsächliche Reprojektion der Szene. Bedingt durch die Standortvariation entsteht ein parallaktischer Unterschied (sog. *Disparität*) zwischen korrespondierenden Bildpunkten in beiden Ansichten. Je näher das Objekt am Panoramapunkt liegt, desto größer ist die Disparität.

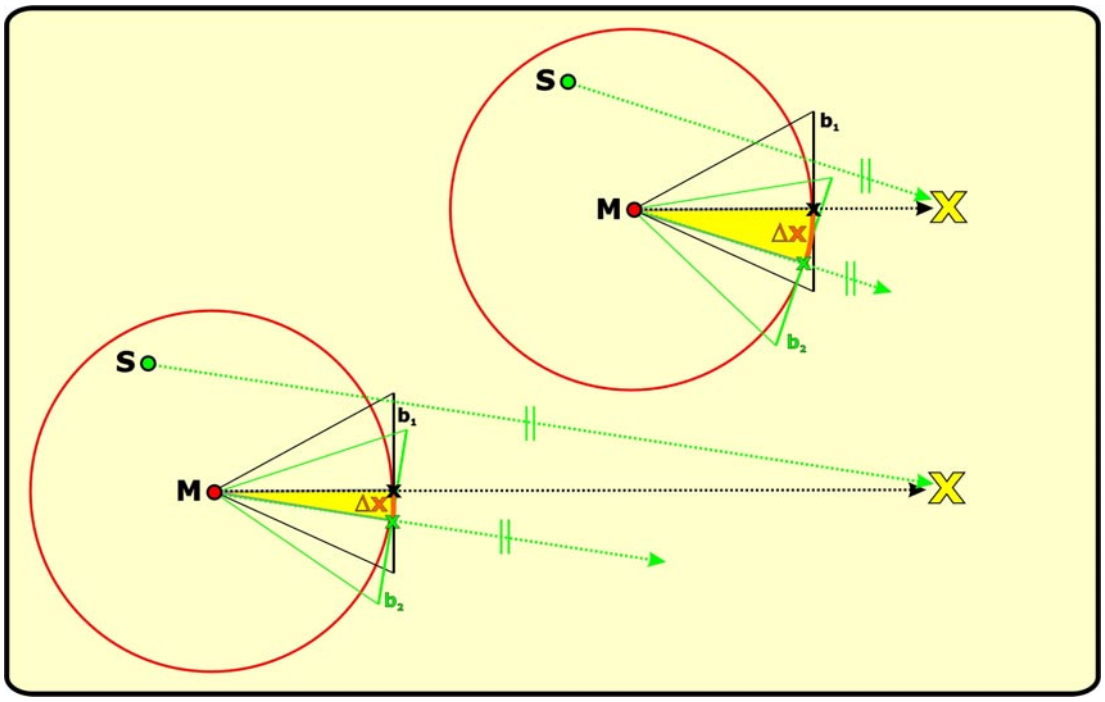

Abb. 5 – Parallaktische Bildunterschiede bei disparaten Ansichten

Da aus einem einzelnen Panorama keine vom Aufnahmepunkt abweichenden Szenenansichten generiert werden können, muss untersucht werden, ob sich die Darstellung der Szene im Viewer innerhalb des Ähnlichkeitsbereiches signifikant von der realen Ansicht unterscheidet. Hierzu werden an ausgewählten Panoramastandpunkten im Umkreis von 10m Vergleichsaufnahmen fotografiert und anschließend den korrespondierenden Ansichten im Viewer gegenübergestellt. Die Untersuchungen zeigen, dass eine Zuordnung der Szenen trotz Tiefenänderungen im Bild und Verdeckung von Objekten problemlos möglich ist. Der

Betrachter kann folglich die orientierungsabhängige Anzeige im Viewer mit der Wahrnehmung der realen Szene in Übereinstimmung bringen, wenn er sich innerhalb eines Ähnlichkeitsbereiches, aber nicht genau auf einem Panoramapunkt befindet.

4. Virtuelle Wegweiser

4.1 Freie Bildbereiche

Ein wichtiges Kriterium für die Positionierung der virtuellen Wegweiser im Panoramaausschnitt ist die minimale Verdeckung von Bildinformationen. Insbesondere Bildinhalte, die maßgeblich zur Orientierung beitragen, sollten nicht durch Navigationshilfen verborgen werden. Daher ist es sinnvoll, vor der Positionierung der Wegweiser den Panoramaausschnitt systematisch nach freien Bildbereichen zu untersuchen.

Ein Panoramaausschnitt lässt sich im Allgemeinen in drei Bereiche aufteilen: Bebauung, Himmel und Straßenfläche (vgl. Abb. 6). Die Bebauung sollte nicht durch Wegweiser verdeckt werden, da sie wesentlich zur Wiedererkennung der Szene beiträgt. In Innenstädten helfen insbesondere Leuchtreklamen und Kaufhausaufschriften dem Betrachter, sich zu orientieren. Der Himmel ist geometrisch schwer beschreibbar, da seine Form von verschiedenen Faktoren abhängt (Höhe der Häuser, Form der Dächer usw.). Auf Grund der dichten Bebauung in Innenstädten ist er zudem nur wenig oder überhaupt nicht sichtbar. Da ferner die Silhouette wesentlich zur Orientierung beiträgt, sollte der Himmel nicht durch Wegweiser verdeckt werden.

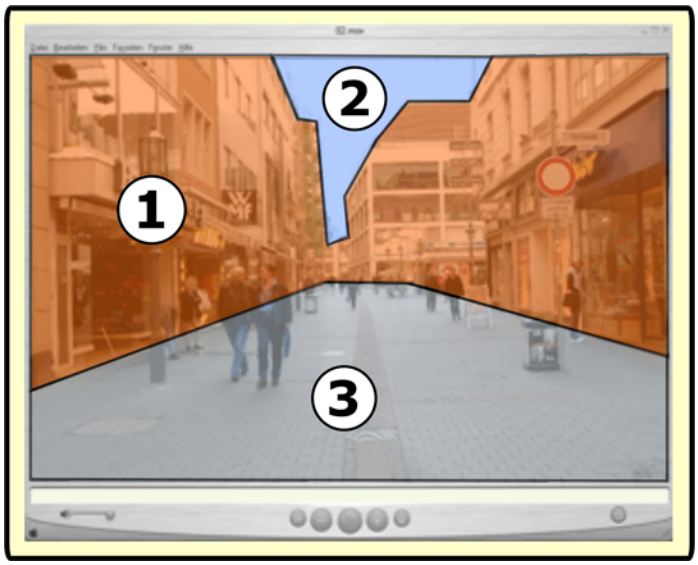

Abb. 6 - Bildbereiche

Bildbereich Nr. 3 hingegen ist frei und wird bereits im Straßenverkehr standardmäßig für Navigationsanweisungen benutzt. Sind die Kameraparameter der Panoramaaufnahme bekannt, kann die Straße im Objektraum konstruiert und anschließend mittels Zentralprojektion ins Bild übertragen werden. Auf diese Weise lassen sich Rückschlüsse auf die Ausdehnung des freien Bildbereiches in beliebigen Panoramaausschnitten ziehen.

4.2 Berechnung des freien Bildbereiches

Zunächst wird die gesuchte Straßenfläche im 3D-Objektraum konstruiert. Der Straßenverlauf kann aus dem Wegenetzgraphen abgeleitet werden, wenn vorausgesetzt wird, dass die Kanten des Graphen der Straßenmittelachse entsprechen. Mit Hilfe des Attributes für die Straßenbreite lässt sich die Begrenzungslinie der Verkehrsfläche berechnen, indem beidseitig der Kantenfolge die halbe Breite parallel abgesetzt wird.

Unter der vereinfachenden Annahme, dass die Straße eben ist, kann die Höhe vernachlässigt werden. Die Abbildung der Verkehrsfläche ins Bild lässt sich somit als Homographie (ebene geometrische Transformation) beschreiben und genügt der Projektionsgleichung $\mathbf{x}' = \mathbf{HX}$ mit $\mathbf{H} = \boldsymbol{K}\mathbf{R}(\mathbf{I}\,|\,-\mathbf{X}_0)$.

Die in den Panoramaausschnitt projizierte Straße entspricht noch nicht dem freien Bildbereich, da die Fläche seitlich über den Bildausschnitt hinausragt und hinter Kurven liegende, durch die Bebauung verdeckte Straßenabschnitte sichtbar bleiben. Daher müssen im nächsten Schritt alle Kurven im projizierten Straßenverlauf entfernt und die Verkehrsfläche in der Anzeigeebene mit dem Bildrand geschnitten werden. Hierbei treten diverse Sonderfälle auf, welche in (*Middel* 2003) diskutiert werden. Das resultierende Polygon stellt den freien Bildbereich dar, in welchem die virtuellen Wegweiser platziert werden können (vgl. Abb. 7).

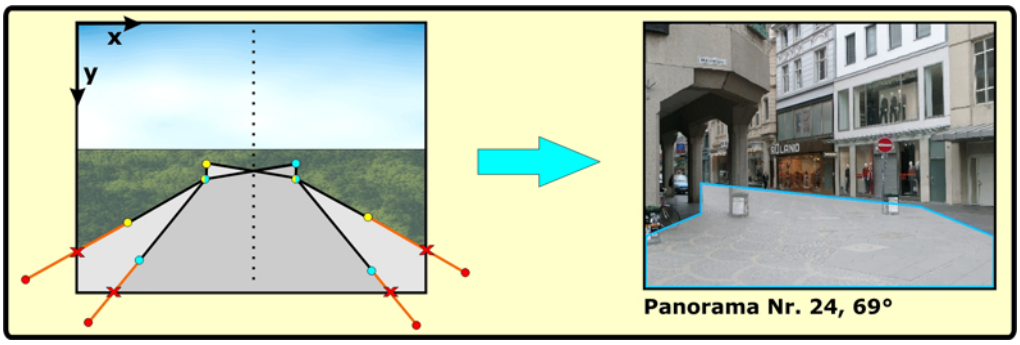

Abb. 7 – Berechnung des freien Bildbereiches

4.3 Integration der virtuellen Wegweiser in ein Panoramabild

Bei der Positionierung der virtuellen Navigationshilfen im Panoramaausschnitt ist zwischen statischen und dynamischen Wegweisern zu unterscheiden. Die statischen Wegweiser sind unabhängig von der Orientierung des Benutzers und gelten für alle Ansichten an einem Panoramapunkt (z.B. aktueller Standort, Straßenname, Platzname). Sie werden am unteren Bildrand platziert, da die Wahrscheinlichkeit eines Freiraumes dort am größten ist. Die dynamischen Wegweiser sind orientierungsabhängig, das heißt sie werden in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Benutzers an unterschiedlichen Stellen des Panoramaausschnittes positioniert. Multiple Zielpunkte bleiben im Folgenden bei der Platzierung unberücksichtigt. Auf der Basis des vorliegenden Wegenetzgraphen werden alle Richtungen der zum aktuellen Panoramapunkt adjazenten Kanten berechnet. Diese Orientierungen werden in das geocodierte Panoramabild übertragen, um die virtuellen Wegweiser dynamisch und richtungsgenau zu platzieren.

Abstrakte Navigationshilfen in Form von Pfeilen werden zunächst entlang der Straßenmittelachse im Objektraum konstruiert und anschließend in den Panoramaausschnitt hineinprojiziert, sofern der berechnete freie Bereich im Bild genügend groß ist. Abb. 8a zeigt diesen Fall für den Blick in eine Straße. Ändert der Benutzer seine Orientierung, wandert der Richtungspfeil langsam aus dem sichtbaren Panoramaausschnitt heraus. Der Pfeil kann jedoch weiterhin richtungsgenau innerhalb des Polygons positioniert werden, indem er an einer Parallelen zur Straßenachse ausgerichtet wird (vgl. Abb. 8b). Bietet der freie Bildbereich nicht genügend Raum für eine Einblendung, wird der Richtungspfeil mittig am Bildrand platziert.

Die dynamischen textuellen Navigationshilfen (z.B. der Name des Ziels) werden in ihrer Funktion als Beschriftung direkt unterhalb des zugehörigen abstrakten Wegweisers positioniert, damit beide Objekte problemlos zugeordnet werden können. Der Textverlauf ist stets horizontal, um eine gute Lesbarkeit zu gewährleisten.

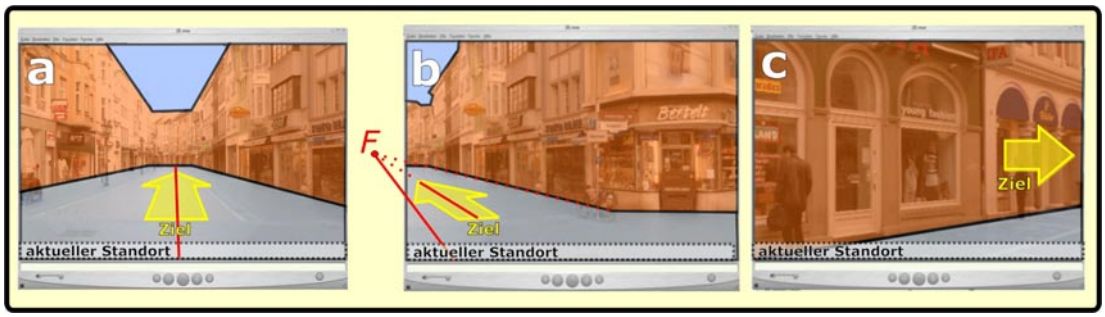

Abb. 8 – Positionierung der virtuellen Wegweiser

5. Realisierung eines prototypischen Systems

5.1 Herstellung und Georeferenzierung der Panoramen

Das vorgestellte Navigationskonzept wurde in der Fußgängerzone der Bonner Innenstadt prototypisch umgesetzt. Innerhalb des Testgebietes wurden an 36 Entscheidungspunkten 10-11 Einzelfotos aufgenommen. Die Akquisition der Fotos erfolgte mit einer Casio QV-4000 im Panoramamodus. Die Digitalkamera wurde auf ein Stativ mit Libelle montiert und sorgfältig horizontiert, um alle Aufnahmebedingungen für eine spätere Panoramaherstellung und –orientierung zu erfüllen. Damit die Bildsequenzen nach der Akquisition nahtlos zu einem Panorama zusammengesetzt werden können (sog. *Stitching*), muss die Kamera um ihren Nodalpunkt rotieren, das heißt um ihre optisch wirksame Mitte. Ferner muss die Drehachse orthogonal zur optischen Achse liegen. Die Rotation um die Vertikalachse erfolgte in gleichmäßigen Inkrementen mit einer seitlichen Überlappung der Einzelfotos von 30% (vgl. Abb. 9). Im Überlappungsbereich der Fotos sollten sich keine bewegten Objekte befinden, da sie beim Stitching Bildfehlern verursachen können.

Um ein homogenes Panoramabild zu erhalten, müssen zum Zeitpunkt der Aufnahme konstante Lichtverhältnisse vorherrschen. Außerdem ist direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden. Zum Fotografieren wird der Belichtungsspeicher der Digitalkamera aktiviert, damit bei allen Aufnahmen die gleichen Einstellungen für Verschlusszeit und Blende verwendet werden.

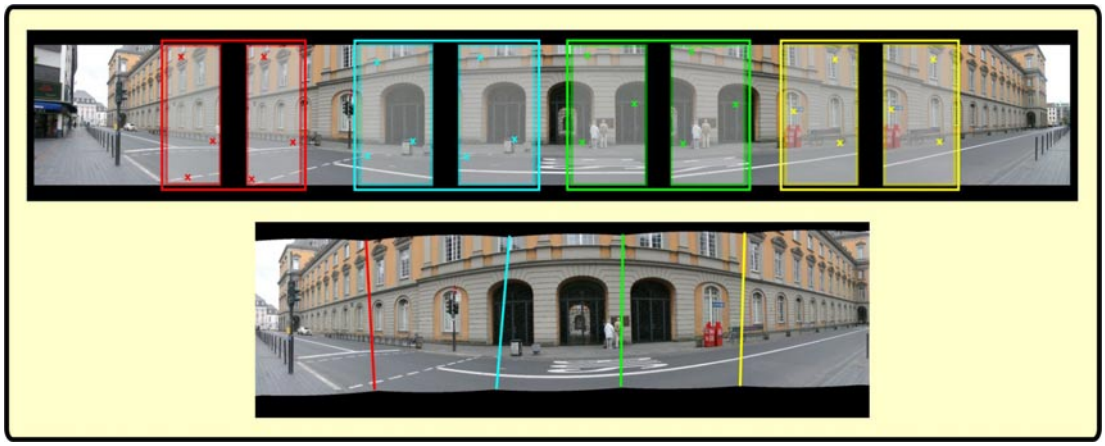

Abb. 9 – Aus einer Bildsequenz entsteht ein nahtloses Panorama

Die Einzelfotos werden mit Hilfe des Panoramatools V2.6b1 von Helmut Dersch zu zylindrischen Panoramen zusammengesetzt. Als Benutzeroberfläche dient das Windows Front End PTGui V1.04, welches die Funktionen der Panoramatools in einer übersichtlichen graphischen Oberfläche bündelt. Alle Fotos eines Panoramastandpunktes werden zunächst per Drag & Drop mit der Maus nebeneinander positioniert und überlappend angeordnet. Die Beziehung zwischen den sich schneidenden Bildpaaren wird über mindestens drei Passpunkte im Überlappungsbereich hergestellt, die vertikal verteilt liegen und kontrastrei-

che, weit entfernte Objekte markieren. Anschließend berechnet das Optimierungstool der Panoramasoftware die Orientierung der einzelnen Fotos unter Berücksichtigung der Passpunkte und fügt die Bilder zu einem zylindrischen Panorama zusammen. Das Ergebnis ist eine Photoshop-Datei mit Ebenenmasken: jedem Einzelfoto wird ein eigener Layer zugeordnet. Dadurch ist nachträglich eine individuelle Helligkeitskorrektur möglich sowie die Retuschierung bewegter Objekte in den Überlappungsbereichen möglich. Im Anschluss an die Bildbearbeitung wird das Panorama vom durch das Stitching entstandenen schwarzen Rahmen freigestellt und als JPEG gespeichert.

Da eine GPS-Messung in der Bonner Innenstadt zum Zeitpunkt der Panoramaaufnahmen auf Grund von Abschattungen und Mehrwegeeffekten den Genauigkeitsanforderungen nicht genügte, sind die zur Georeferenzierung notwendigen Koordinaten der DGK5 entnommen worden. Die Orientierung der Panoramen erfolgt visuell durch den Abgleich zwischen Karte und Bildinhalt. Schließlich werden alle relevanten Panoramadaten in einer nach der jeweiligen Standpunktnummer benannten ASCII-Datei mit der Endung „*.pan“ abgelegt.

5.2 Der Panoramaviewer

Der entwickelte Prototyp ist derzeit nur unter Windows ausführbar, kann aber auf die Plattform mobiler Endgeräte adaptiert werden. Der Viewer generiert beliebige Ansichten georeferenzierter orientierter Panoramen und ermittelt automatisch den freien Bildbereich im sichtbaren Ausschnitt. Auf der Basis des vorgestellten Wegenetzes werden innerhalb des berechneten Polygons dynamisch virtuelle Wegweiser positions- und richtungsgenau platziert.

Die Eingabe von Start- und Zielpunkt der Route erfolgt manuell durch den Benutzer. Der Prototyp unterstützt lediglich die Wahl existenter Panoramaknoten zur Routenplanung. Es ist jedoch auch denkbar, dass der Benutzer zu einem Point Of Interest (POI) geführt werden möchte, der nicht explizit durch einen Knoten im Graphen ausgewiesen ist und an einer Kante liegt. Dies ist der Fall, wenn es sich bei dem POI weder um einen Stützpunkt des Graphen noch um einen Entscheidungspunkt handelt. Kolbe schlägt in (*Kolbe*, 2002) eine Modellierung des Wegenetzes vor, in welcher jede Kante zusätzlich mit einer Liste von Hausnummern für beide Straßenseiten und mit angrenzenden POIs attributiert wird. Bei der Routenplanung muss zunächst die dem gewünschten Navigationsziel zugehörige Kante und der nächstliegende Knoten im Graph ermittelt werden. Unter der Annahme, dass die Hausnummern äquidistant entlang der Kante verteilt sind, lässt sich die Länge des Kantenabschnitts errechnen und zur Streckenlänge des kürzesten Weges addieren. Von nicht unmittelbar an einer Kante gelegenen POIs wird das Lot auf die Kante gefällt und ebenso verfahren wie mit den Hausnummern. Auf diese Weise lassen sich auch intermediäre Zielpunkte in die Routenplanung mit einbeziehen.

Im Anschluss an die Berechnung des kürzesten Weges mit Hilfe des Floyd-Algorithmus reprojiziert der Viewer einen der Orientierung und der Position des Benutzers entsprechenden Panoramaausschnitt. Die Abbildung der zylindrisch verzerrten Bildquelle auf die Anzeigeebene wird durch eine inverse geometrische Transformation realisiert. Im Nahtbereich des Panoramas kann der zu reprojizierende Bildausschnitt unter Umständen teilweise außerhalb des Panoramas liegen. Um einen Zugriff auf Pixelpositionen außerhalb des Bildstreifens zu vermeiden, wird das Panorama um einen ausreichend großen Abschnitt seines Anfangs fortgesetzt.

Zur Berechnung des freien Bildbereiches konstruiert der Prototyp die im aktuellen Panoramaausschnitt sichtbare Straße im Objektraum und projiziert sie ins Bild. Der freie Bereich wird dem Panoramaausschnitt halb transparent überblendet und bietet Platz für virtuelle Wegweiser.

5.3 Inkongruenz von berechnetem und freiem Bildbereich

Die Genauigkeit der Georeferenzierung und Orientierung des Panoramas sowie die Sorgfalt bei der Bildaufnahme beeinflussen maßgeblich die Kongruenz von berechnetem und tat-

sächlich freiem Bildbereich. Abweichungen zwischen beiden Bereichen treten hauptsächlich in drei Ausprägungen auf:

1. *Der freie Bereich erscheint horizontal gegenüber der realen Szene versetzt:*
   Eine Verschiebung des berechneten Straßenpolygons um einen konstanten Betrag in allen Ansichten einer Szene deutet auf Ungenauigkeiten in der Orientierung des Panoramas hin. Gegebenenfalls ist die Festsetzung der Nordrichtung in der ASCII-Datei des betreffenden Panoramas zu überprüfen. Nimmt der Versatz in unterschiedlichen Ansichten an einem Panoramapunkt variable Größen an, stimmen die Koordinaten des Aufnahmestandpunktes nicht mit den Koordinaten des Panoramas überein. In diesem Fall muss das Panorama neu georeferenziert werden.

2. *Der freie Bereich erscheint vertikal gegenüber der realen Szene versetzt:*
   Eine Verschiebung des Bildhorizontes resultiert aus einer falschen Kameraführung bei der Panoramaaufnahme. Die Rotationsachse der Kamera muss mit der Vertikalachse übereinstimmen, andernfalls verläuft der Bildhorizont wellenförmig. Ferner muss die Drehung der Kamera orthogonal zur optischen Achse erfolgen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, beschreibt die optische Achse einen Kegelmantel, wodurch der Horizont vertikal verschoben wird. Durch Höhendifferenzen in der näheren Umgebung des Panoramapunktes ändert sich der Bildhorizont im Panorama. Es ergeben sich ebenfalls vertikale Abweichungen zwischen berechnetem und tatsächlich freiem Bildbereich, da die Höhenkomponente bei der Ermittlung des Straßenpolygons vernachlässigt wurde. Der Horizont kann im Prototyp manuell korrigiert werden, indem der Wert für die Nadirdistanz angepasst wird.

3. *Der freie Bereich erscheint gegenüber der realen Szene verdreht:*
   Falls die Richtung der zu einem Panoramapunkt adjazenten Kante nicht der Orientierung der zugehörigen Straßenmittelachse entspricht, wird die Straße bei der Ermittlung des freien Bildbereiches im Objektraum falsch konstruiert. Daher müssen die Knoten des Wegenetzgraphen auf ihre Georeferenzierung hin überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

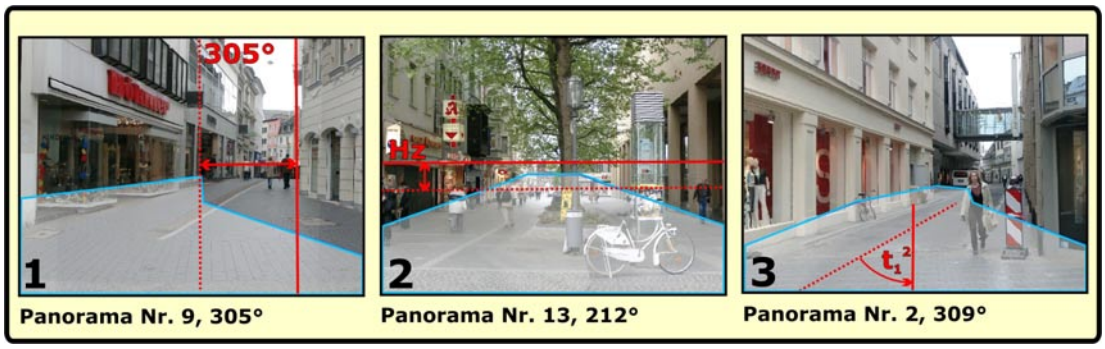

Abb. 10 – Inkongruenz von berechnetem und freiem Bildbereich

5.4 Einblendung der Wegweiser

Der Prototyp implementiert einen beschrifteten Richtungspfeil sowie einen statischen virtuellen Wegweiser pro Ansicht. Bei der Gestaltung des Richtungspfeils ist die Verzerrung zu berücksichtigen, die auf Grund der Projektion entsteht. Da der Aufnahmewinkel der Kamera auf den Horizont gerichtet ist, erscheinen weiter entfernt liegende Objekte gestaucht. Im Straßenverkehr ist es üblich, Fahrbahnmarkierungen anamorphisch zu gestalten. Anamorphosen sind Darstellungen, die für eine normale Ansicht verzerrt gezeichnet werden, deren Verzerrung aber unter einem bestimmten Sichtwinkel aufgehoben ist. Fahrbahnmarkierungen werden perspektivisch gestreckt, damit sie aus dem Blickwinkel des Autofahrers unverzerrt erscheinen. Dementsprechend wird der im Objektraum konstruierte Richtungspfeil durch eine Streckung an die Perspektive des Betrachters angepasst.

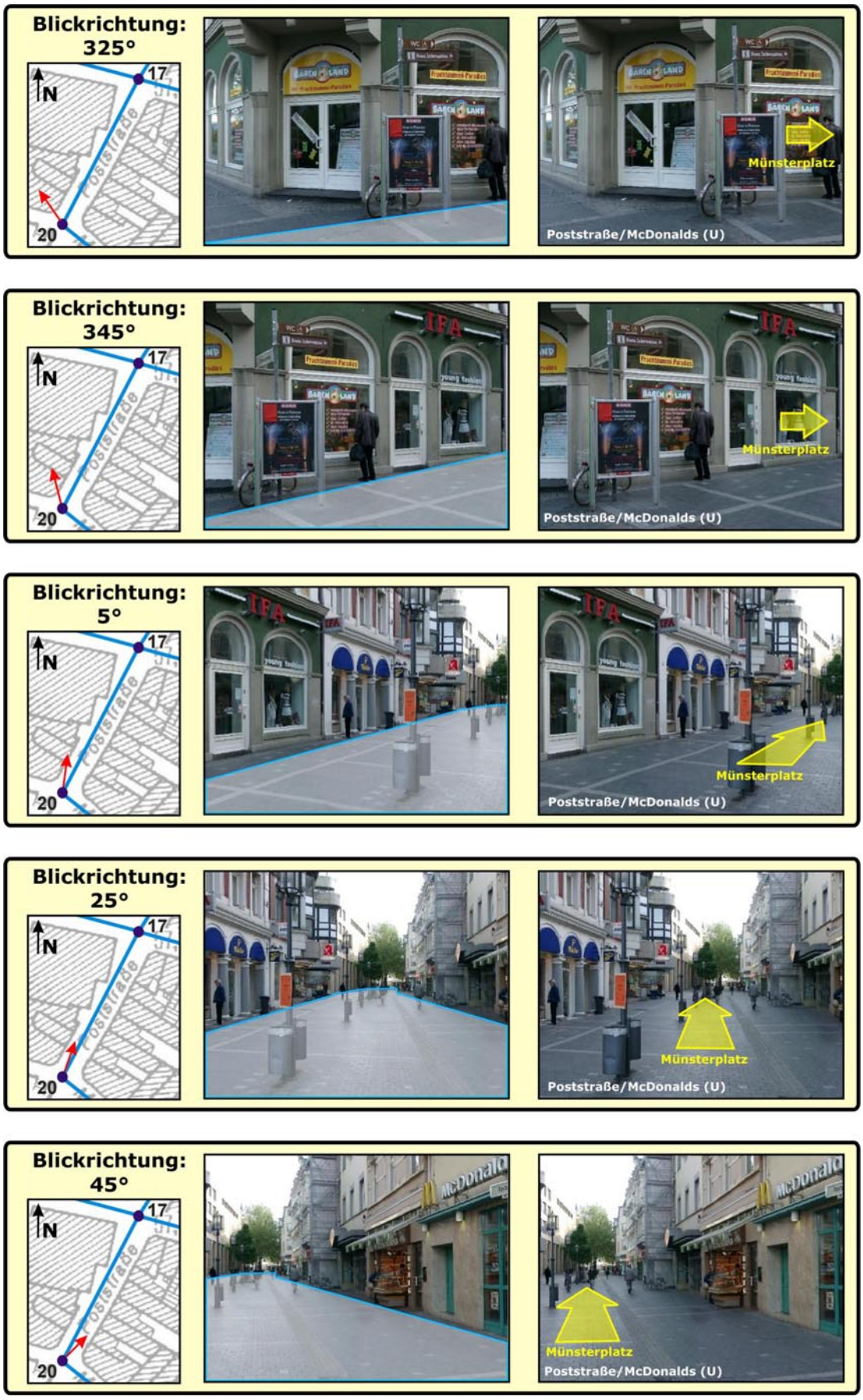

Abbildung 11 – Screenshots des Prototypen beim „virtuellen Umschauen“

Abb. 11 zeigt eine Sequenz von Screenshots, die einen Panoramarundblick simulieren. Rechts neben den Ausschnitten aus der DGK5, welche den aktuellen Standpunkt und die Orientierung des Benutzers dokumentieren, befinden sich die zugehörigen Panoramaansichten. Zum einen werden die berechneten freien Bildbereiche dargestellt, zum anderen die Ansichten im Panoramaviewer nach Integration der dynamisch platzierten virtuellen Wegweiser.

6. Fazit und Ausblick

Es wurde ein Konzept zur visuellen Raumabdeckung vorgestellt, das alternativ zur klassischen Karte auf fotorealistischen Ansichten basiert. Hierzu wurden georeferenzierte, orientierte Panoramen an Entscheidungspunkten aufgenommen und mit virtuellen Wegweisern ergänzt. Ziel dieser Darstellungsform ist insbesondere, dem Benutzer bei der Orientierung in einer fremden Umgebung zu helfen.

Da zylindrische Panoramen im allgemeinen nur eine partielle visuelle Raumabdeckung gewährleisten, wurde den Panoramapunkten Ähnlichkeitsbereiche zugewiesen. Um den Freiheitsgrad der Visualisierung zu erhöhen, ist die Integration von Videos denkbar, wie sie in (*Kolbe* 2002) vorgeschlagen wird. Zusätzlich zu den Panoramapunkten, welche die Knoten des Wegenetzgraphen repräsentieren, werden entlang der Kanten Videoaufnahmen der zurückzulegenden Strecke eingeblendet. Eine größere Raumabdeckung könnte ferner durch die Verwendung von Panoramavideos erreicht werden. Derartige Videos kommen beispielsweise im interaktiven Navigationssystem „Flyabout" zum Einsatz (*Kimber et al.* 2001). Sie werden mit Hilfe einer 360°-Kamera erfasst, die sich entlang eines vorgegebenen Pfades fortbewegt, und anschließend georeferenziert. Der Einsatz von Panoramavideos würde nicht nur an den Entscheidungspunkten eine Panoramaanzeige ermöglichen, sondern auch an jedem beliebigen Zwischenpunkt der Strecke.

Um die Verdeckung orientierungsrelevanter Bildinformationen bei der Positionierung der virtuellen Wegweiser zu vermeiden, wurden Rückschlüsse auf freie Bildbereiche gezogen. Die Platzierung der Navigationshilfen erfolgte im Bereich der sichtbaren Straßenfläche, beschränkte sich jedoch dabei auf einen beschrifteten Richtungspfeil und einen statischen Wegweiser. Bei der anstehenden Integration multipler Zielpunkte ist neben dem Problem der Verdeckung wichtiger Bildinformationen auch das Problem der Selbstverdeckung zu lösen. Zusätzlich zu den virtuellen Wegweisern könnten dem Panorama weiterhin koplanare Objektannotationen überblendet werden. Azuma untersucht in (*Azuma et al.* 2003) verschiedene Algorithmen zur ebenen Beschriftung von Objekten und stellt einen neuen Cluster-basierten Ansatz vor, dessen Einsatz bei der Panoramabeschriftung denkbar wäre.

Abschließend bleibt zu bemerken, dass das vorgestellte Konzept die klassische Karte nicht vollständig ablösen soll. Vielmehr sollte es komplementär zu dieser Darstellungsform eingesetzt werden. Zweifellos sind fotorealistische 360°-Ansichten jedoch eine sinnvolle Unterstützung der Kartendarstellung, die dem Betrachter in seiner Wahrnehmung entgegenkommt.

Literatur

Abowd, G., D.; Atkeson, C. G.; Hong, J.; Long, S.; Kooper, R. und Pinkerton, M. (1997): Cyberguide: A Mobile Context-aware Tour Guide. ACM Wireless Networks, 3:421-433, 1997

Azuma, R. (1997): A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), 355 - 385.

Azuma, R. und Furmanski, C. (2003): Evaluating Label Placement for Augmented Reality View Management. Proc. IEEE and ACM Int'l Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003) in Tokyo, 2003

Chen, S. E. (1995): Quicktime VR: An Image-based Approach to Virtual Environment Navigation. In: Proc. of the 22nd Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques SIGGRAPH 95, ACM Press

Cheverst, K.; Davies, N.; Mitchell, K.; Friday, A. und Efstratiou, C. (2000): Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences. In: Proceedings of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI-00), New York, ACM Press

Corona, B. und Winter, S. (2001): Datasets for Pedestrian Navigation Services. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Eds.), Angewandte Geographische Informationsverarbeitung. Proceedings of the AGIT Symposium, Salzburg, pp. 84-89.

Feiner, S.; MacIntyre, B.; Höllerer, T. und Webster, A. (1997): A Touring Machine: Prototyping 3d Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment. In: Proc. of the IEEE Int. Symp. on Wearable Computing ISWC'97 in Cambridge, MA, USA

Gartner, G. (2003): Pedestrian Navigation Services: A Multimedia Cartography Approach to Mobile Internet Applications. In: Proc. of the 21th Int. Cartographic Conference ICC 2003, Durban, South Africa

Gartner, G. und Uhlirz, S. (2001): Cartographic Concepts for Realizing a Location-based UMTS Service: Vienna City Guide LOL@. In: Proc. of the 20th Int. Cartographic Conference ICC 2001, Beijing, China. Vol. III

Höllerer, T.; Feiner, S.; Hallaway, D.; Bell, B.; Lanzagorta, M.; Brown, D.; Julier, S.; Baillot, Y. und Rosenblum, L. (2001): User Interface Management Techniques for Collaborative Mobile Augmented Reality. Computers and Graphics 25(5), Elsevier Science

Judd, C. T. (1997): A Personal Dead Reckoning Module. In: Proceedings of the ION GPS97, September 1997 in Kansas City, MO

Kimber, D.; Foote, J. und Lertsithichai, S. (2001): FlyAbout: Spatially Indexed Panoramic Video. In: Proceedings of the 9th ACM International Conference on Multimedia 2001, ACM Press, New York, USA

Kolbe, T. H. (2002): Fußgängernavigation und Routenplanung in Innenstädten und Gebäuden mit Videos und Panoramen. In: Möltgen, Wytzisk (Eds.): GI-Technologien für Verkehr und Logistik. Tagungsband Münsteraner GI-Tage 2002, IfGI Prints, Nr. 13, Uni Münster, 2002

Kulju, M.; Kaasinen, E. (2002): Route Guidance Using a 3D City Model on a Mobile Device. Mobile HCI02 Workshop "Mobile Tourism Support Systems". 17.9.2002, Pisa, Italy.

Ladetto, Q.; Gabaglio, V. und Merminod, B. (2001): Two Different Approaches for Augmented GPS Pedestrian Navigation. In: Proceedings of the Int. Symposium on Location Based Services for Cellular Users LOCELLUS 2001, München, Deutsche Gesellschaft für Navigation und Ortung, Bonn

Malaka, R. und Zipf, A. (2000): Deep Map - Challenging IT Research in the Framework of a Tourist Information System. In: D. Fesenmaier, S. Klein, D. Buhalis (Eds.): Information and Communication Technologies in Tourism 2000. Proc. of ENTER 2000 in Barcelona, Spain. Springer, Wien, New York.

Middel, A. (2003): Virtuelle Wegweiser in Panoramen. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Kartographie und Geoinformation, Universität Bonn

Milgram, P. und Kishino, F. (1994): A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, No.12 December 1994.

Plümer, L.; Schmittwilken, J. und Kolbe, T. H. (2004): Mobile GIS für die Orientierung von Fußgängern in städtischen Umgebungen. Erscheint in: Tagungsband zum DGfK-Symposium Praktische Kartographie 2004 in Königslutter, Kirschbaum Verlag

Point Research Corporation (2004): Pointman Dead Reckoning Module. http://www.pointresearch.com (zuletzt besucht am 17. 1. 2004)

Pospischil, G.; Umlauft, M. und Michlmayr, E. (2002): Designing LOL@, a Mobile Tourist Guide for UMTS. 4th Int. Symposium on Human Computer Interaction with Mobile Devices (Mobile HCI '02), Pisa, Italy, September 2002.

Rakkolainen, I. und Vainio, T. (2001): A 3d City Info for Mobile Users. Computers & Graphics, Vol. 25, No. 4, Elsevier.

Reitmayer, G., und Schmalstieg, D. (2003): Location Based Applications for Mobile Augmented Reality. In: Proceedings of the 4th Australasian User Interface Conference AUIC'03, Adelaide, Australia.

Retscher, G. und Skolaut, G. (2003): Untersuchung von Messsensoren zum Einsatz in Navigationssystemen für Fußgänger. ZfV 2/2003, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Wißner-Verlag.

Suomela, R.; Roimela, K.; Lehikoinen, J. (2003): The evolution of perspective view in WalkMap. Pers. Ubiquitous Computing (2003) 7:249 –262

Tanikawa, T.; Endo, T. und Hirose, M. (1999): Building a Photo-realistic Virtual World Using View-dependent Images and Models. In: Proc. of IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics SMC'99, Vol. 6

Teller, S.; Antone, M.; Bodnar, Z.; Bosse, M.; Coorg, S.; Jethwa, M. und Master, N. (2001): Calibrated, Registered Images of an Extended Urban Area. In: Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR 2001