

Dynamic Maps: Von Karten zu Prozessen

CLAUS Brenner, Hannover

ZUSAMMENFASSUNG

In der Vergangenheit kamen Endanwender fast nur mit Karten in gedruckter Form in Berührung. Sowohl der Entstehungsprozess als auch das Produkt selbst waren innerhalb enger Grenzen definiert, meist unter Verantwortung öffentlicher Anbieter. Mit der zunehmenden Verbreitung von Kartendiensten im Internet sowie des aktuellen Booms bei Offboard-, PDA-, und Handynavigationssystemen findet ein grundlegender Wandel in vielerlei Hinsicht statt: Endanwender greifen auf Karten zunehmend in digitaler Form zu; Karten werden von privaten Anbietern erstellt und enthalten zielgruppenbezogene Zusatzinformationen von Drittanbietern; Dienste wie Adressverortung oder Routenplanung, welche hochstrukturierte Kartenrepräsentationen benötigen, sind zunehmend von Interesse. In diesem Beitrag wird darauf eingegangen, wie diese Entwicklungen die zukünftige Erstellung, Repräsentation und Anwendung von Karten beeinflussen werden.

1. VON KARTEN ZU DIENSTERÄUMEN

Bis vor einigen Jahren waren Prozesse zu Herstellung und Vertrieb von Karten relativ klar vorgegeben. Die Erfassung und Aufbereitung lag überwiegend in öffentlicher Hand, Produkte waren hinsichtlich Ausgestaltung und Aktualität festgelegt, als Medium kam die gedruckte Papierkarte zum Einsatz (Abbildung 1a). In den vergangenen Jahren erfolgte zunächst die Ergänzung um Kartendienste für rasterbasierte Karten (WMS, Web Map Server, Abbildung 1b) und später für vektorbasierte Karten (WFS, Web Feature Server, Abbildung 1c). Mit dem Übergang zum WFS fand ein grundlegender Wandel statt: durch Abgabe der originalen Vektorgeometrien steht nicht mehr ausschließlich die Visualisierung der Karte im Vordergrund, vielmehr eröffnen sich dem Kunden dadurch dieselben Möglichkeiten zur Weiterverarbeitung der Daten wie dem Anbieter. Dadurch ist der erste Schritt hin zu einer Wertschöpfungskette getan.

Auch bei der Herstellung von Karten fand ein Wandel statt: Endanwender kommen heute vorwiegend über Routenplanung und Adressverortung im Internet sowie persönliche und Fahrzeugnavigationssysteme mit Karten in Kontakt. Diese Karten werden von privaten Anbietern wie Tele Atlas (2006) oder NavTeq (2006) erfasst. Weitere private Anbieter (z. B. DDS, 2006) ergänzen diese Daten um hausnummerngenaue Adressverortung, demographische Daten, Daten zur Kaufkraft, Höhendaten und Luftbilder. Der derzeitige Stand stellt sich also etwa wie in Abbildung 1d gezeigt dar. Wertschöpfungsketten sind vorhanden, wobei die Schnittstellen meist in Form einer „Datenübergabe“ realisiert sind. Letztlich ist dem Endanwender jedoch die Entstehungsgeschichte der Daten meist unklar. Beispielsweise haben wir uns daran gewöhnt, dass auf Internetseiten Karten (z. B. Anfahrtsskizzen) bereitgestellt werden, welche beim Aufruf der Seite von einem Drittanbieter bezogen und nahtlos eingefügt werden. Bereits heute ist also in einigen Fällen die Dienstekette aus Abbildung 1e realisiert, welche nicht den Datenaustausch, sondern den Prozess (Verkettung der Dienste) in den Vordergrund stellt. Ob Zwischendaten erzeugt und gespeichert werden, und an welchem Punkt Daten von einem Anbieter auf einen anderen übergehen, ist dem Endanwender letztlich egal und allenfalls aus Gründen der Performanz und Abrechnung wichtig.

Von diesem Stand aus erscheint auch der nächste Schritt folgerichtig, bei dem viele Anbieter ergänzende und konkurrierende, Basis- und Veredelungsdienste in einem „Diensteraum“ zur Verfügung stellen. Durch eine genaue Anforderungsspezifikation, maschinenlesbare Metadaten und

Standardisierung kann ein automatischer Prozess (Agent) Dienste so kombinieren, dass ein bezüglich der Anforderungen optimales Ergebnis erhalten wird (Abbildung 1f). In der Tat kann ein solcher Agent, welcher neben der Zusammenstellung der Daten ggf. auch noch ihre Homogenisierung durchführt, selbst als Dienst im Dienstraum angeboten werden.

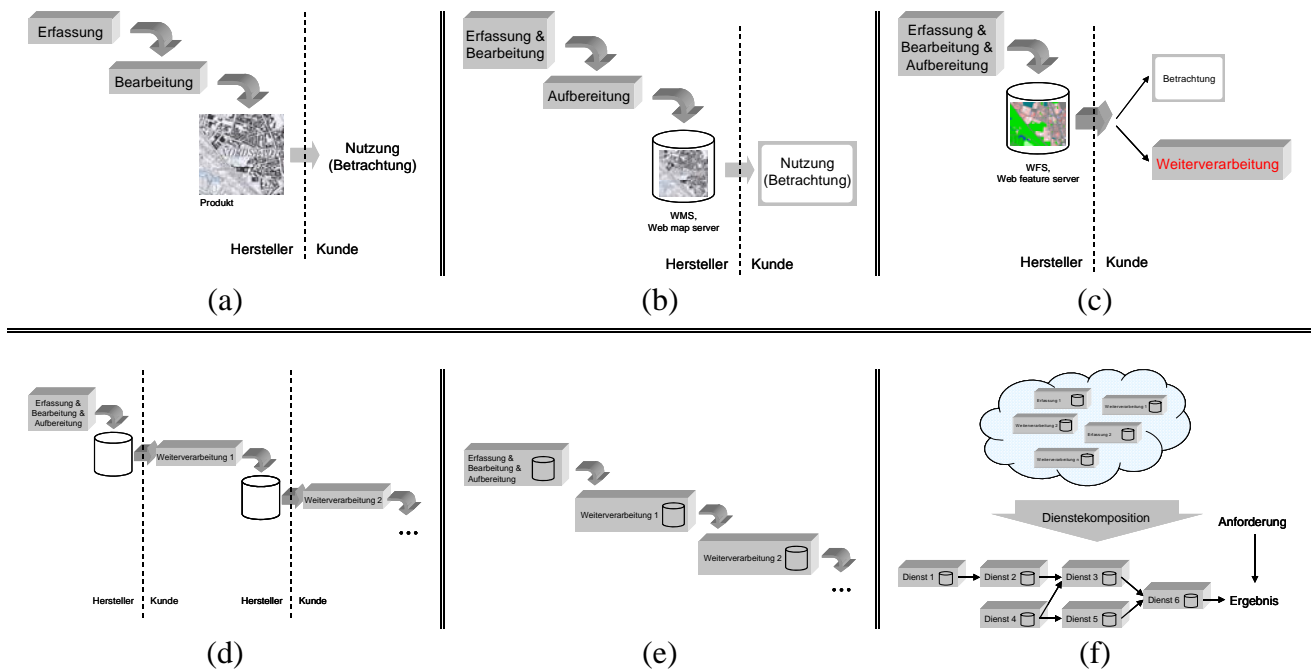


Abbildung 1: Betrachtung der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Karten, von der traditionellen Karte bis zum Dienstraum. (a) Traditionelle Karte. (b) Web Map Server. (c) Web feature server. (d) Wertschöpfungskette mit „Datenübergabe“. (e) Dienstekette mit vorab klarer Abfolge von Diensten. (f) Dienstraum mit dynamischer Komposition von Diensten.

2. ALTERNATIVE REPRÄSENTATIONSFORMEN AM BEISPIEL GENERALISIERUNG

Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, fand durch die Bereitstellung von Karten mittels WMS bzw. WFS schrittweise ein Übergang von gedruckten Karten auf gerasterte bzw. durch Vektoren dargestellte Karten statt. Der erste Übergang erscheint dabei sehr natürlich, denn jeder Darstellung auf einem (heute üblichen) Bildschirm muss eine Aufrasterung vorangehen. Aber auch der Übergang auf vektorieLL repräsentierte Karten erscheint folgerichtig, denn im Kern bestehen die gestalterischen Primitive aus Polylinien und Polygonen – welche meist wiederum direkt auf entsprechenden Erfassungsverfahren beruhen. Man kann so häufig aus der Reihenfolge, in der die Segmente einer Polylinie auf dem Bildschirm gezeichnet werden über den WFS und die interne Kartenrepräsentation des Anbieters auf den ursprünglichen Erfassungsvorgang rückschließen.

Obwohl dieser Wechsel der Repräsentation naheliegend ist, stellt er doch einen wesentlichen Schritt dar. Durch den Übergang von einer rasterbasierten auf eine merkmalsbasierte Beschreibung eröffnen sich viele weitere Möglichkeiten, von einer einfachen Konvertierung in verschiedene Dateiformate über „verlustfreie“ Koordinatentransformationen bis hin zu komplexen räumlichen Operationen. Auf der anderen Seite handelt man sich durch die (im Vergleich zu einer Rasterdarstellung) höherwertige Darstellung erhebliche Schwierigkeiten ein. Wie van Oosterom et al. (2003) darlegen, ist in praktischen Fällen keineswegs klar, ob Polygone die an sie gestellten Bedingungen erfüllen. Eindimensionale Stege und Spitzen, Löcher sowie Schwierigkeiten in der

numerischen Darstellung führen dazu, dass der Austausch von Polygonen zwischen verschiedenen Anwendungen, z. B. Geoinformationssystemen, nicht unproblematisch ist. Der Übergang zu einer „höherwertigen“ Darstellung bringt also nicht nur erweiterte Möglichkeiten, sondern gleichzeitig auch Probleme in der Definition und Interpretation mit sich.

Eine andere, abstraktere und auf den ersten Blick vielleicht weniger naheliegende Darstellung von Polygonen in Form einer konstruktiven Befehlssequenz soll im Folgenden skizziert werden. Sie wurde von Brenner und Sester (2005) für die „kontinuierliche Generalisierung“ vorgeschlagen.

Zugrundeliegend ist die folgende Beobachtung. Ein Mittel der kartographischen Generalisierung ist die Vereinfachung von geometrischen Strukturen. Da einfache Methoden, wie beispielsweise das Weglassen einzelner Punkte, in der Regel nicht zu befriedigenden Ergebnissen führen, erkennen automatische Algorithmen zur Generalisierung typische Strukturen, wie etwa Versätze (Abbildung 2). Generalisierungsverfahren gehen in der Regel von einer geometrischen Beschreibung aus, führen sukzessive Eliminationen entsprechend des gewählten Zielmaßstabs aus und schreiben das Ergebnis wiederum in Form einer geometrischen Beschreibung.

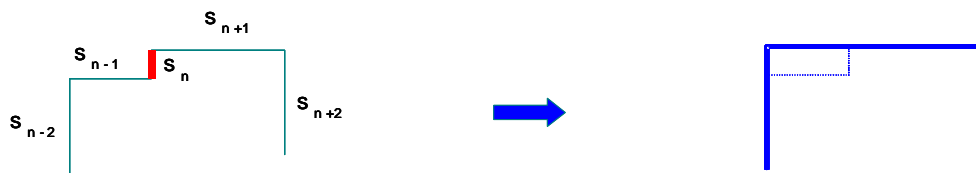


Abbildung 2: Beispiel zur Generalisierung eines Versatzes. Aus einer Polylinie P^5 mit fünf Segmenten (links) entsteht eine Polylinie P^3 mit drei Segmenten (rechts).

Dabei ist die Information über die sukzessiv durchgeführten Schritte i. d. R. nicht von Belang, weil einzig das Endergebnis im Zielmaßstab von Interesse ist. Man beobachtet jedoch, dass auch die Zwischenschritte gültige Repräsentationen des Objekts in verschiedenen Maßstäben erzeugen. Alle Generalisierungsschritte g_0, \dots, g_{k-1} bilden daher eine Sequenz, welche von der am meisten detaillierten (Original-) Darstellung P^n des Polygons P bis hin zur am meisten generalisierten Darstellung P^m reicht, entsprechend

$$P \equiv P^n \equiv P^{i_0} \xrightarrow{g_0} P^{i_1} \xrightarrow{g_1} \dots \xrightarrow{g_{k-1}} P^{i_k} \equiv P^m .$$

Werden daher alle erzeugten Repräsentationen gespeichert, lassen sich später nicht nur Ausgangs- und Zielmaßstab, sondern auch alle Zwischenmaßstäbe abrufen. Die Speicherung sämtlicher Zwischenrepräsentationen ist jedoch mit einer erheblichen Redundanz verbunden. Günstiger ist ein „prozessorientiertes“ Vorgehen, bei welchem stattdessen die Operationen g_0, \dots, g_{k-1} festgehalten werden, welche die Repräsentationen ineinander überführen. Achtet man auf Invertierbarkeit, so lässt sich die inverse Generalisierungskette

$$P^m \equiv P^{i_k} \xrightarrow{g_{k-1}^{-1}} P^{i_{k-1}} \xrightarrow{g_{k-2}^{-1}} \dots \xrightarrow{g_0^{-1}} P^{i_0} \equiv P^n$$

angeben, welche die am meisten generalisierte Darstellung wiederum in die detaillierteste Darstellung überführt. Die Vorteile dieser Darstellung liegen auf der Hand:

- a) Einmal berechnet, kann mit unerheblichem Rechenaufwand beliebig zwischen Maßstäben gewechselt werden; Anbiern von Kartenmaterial wird dadurch ermöglicht, optimal generalisierte Karten „on demand“ zu erzeugen.
- b) Die inverse Generalisierungskette erlaubt die sukzessive Übertragung von Geometrieinformation, wobei alle Zwischendarstellungen ebenfalls gültige Repräsentationen sind. Dadurch wird die inkrementelle Übertragung von Informationen über bandbreitenbegrenzte Schnittstellen, etwa bei mobilen Geräten, unterstützt.
- c) Eine Unterteilung der Generalisierungsoperationen in topologie- und geometrieverändernde Operationen erlaubt die „Animation“ von geometrischen Übergängen; dadurch können visuelle Diskontinuitäten („popping-Effekt“) vermieden werden.

Die inverse Generalisierungskette wird dargestellt durch eine Abfolge von einfachen Instruktionen, welche schrittweise die komplexeste Objektrepräsentation konstruktiv erzeugen. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt einer derartigen Instruktionsliste (Brenner, 2005).

```
POLY
EPS 14.38
NPR 3524568.047 6074791.145
DV 0
DV 0
DV 0
MV 1 -5.36 13.85
MV 2 8.09 19.10
MV 3 13.43 5.14
EPS 6.36
IV 0 0.482
DV 1
MV 1 5.92 2.32
MV 0 5.91 2.26
```

Abbildung 3: Beispiel zur Darstellung eines Polygons in Form einer Abfolge von Instruktionen. NPR (New Polygon Ring), DV (Duplicate Vertex) und IV (Insert Vertex) sind topologieverändernde Operationen, MV (Move Vertex) ändert die Geometrie.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die „prozessorientierte“ Darstellung der Objekte in Form von Operationen direkt auf die Anwendung fokussiert ist. Die Daten liegen dadurch in einer Weise vor, die dem Nutzer die Lösung des Problems der kontinuierlichen Generalisierung auf einfache Weise ermöglichen. Der Mehrwert der Daten besteht also darin, dass ihre Abstraktionsstufe so gewählt ist, dass sie optimal zu dem zu lösenden Problem passen. Nicht immer werden sich mit heutigen Mitteln derartige Darstellungen automatisch erzeugen lassen; beispielsweise liegt es besonders im Fall der sehr anspruchsvollen 3D-Generalisierung nahe, die Erstellung einer Generalisierungskette durch eine „inkrementelle Modellierung“ bereits bei der Erfassung zu unterstützen. Der Mehrwert ergibt sich dann auch als Folge eines manuellen bzw. semiautomatischen Mehraufwands.

3. ALTERNATIVE REPRÄSENTATIONSFORMEN AM BEISPIEL ORTUNG

Auf eine ganz andere Art einer auf die Anwendung spezialisierten Kartendarstellung soll im Rahmen des Problems der Ortung eingegangen werden. Neben der Kartendarstellung ist die Ortung eine wesentliche Aufgabe der eingangs erwähnten Fahrzeugnavigationssysteme. Dabei wird in höherwertigen Navigationssystemen auf Odometer, Drehratensensor (Hochachse), sowie GPS-Empfänger zurückgegriffen, was in Verbindung mit einer Kartenstützung (Map Matching) zu einer stabilen Ortung des Fahrzeugs führt. Die Aufgabe der Kartenstützung ist es, auf Basis der gemessenen (GPS) bzw. durch Koppelortung (Odometer, Drehratensensor) fortgeschriebenen

Position die wahrscheinlichste Position in der Karte zu ermitteln. Besonders in dicht bebautem Gebiet gelingt es damit, über weite Zeiträume hinweg die Ortung aufrechtzuerhalten, selbst wenn der Empfang von GPS-Signalen nicht möglich ist. Als Basis für die Kartenstützung dient eine Vektorkarte des Straßennetzes, wie sie z. B. auch in Routenplanern im Internet zum Einsatz kommt.

In Zukunft werden die Anforderungen an die Genauigkeit der Positionsbestimmung jedoch deutlich steigen. Fahrer-Assistenzsysteme, welche einen unbeabsichtigten Spurwechsel erkennen sollen, müssen in der Lage sein, die Position auf wenige Dezimeter genau zu bestimmen. Eine absolute Positionsbestimmung mit diesen Genauigkeitsanforderungen ist zwar heute bereits durch eine Kombination von GPS und Inertialsensoren möglich, bis auf absehbare Zeit werden diese jedoch um Größenordnungen zu teuer sein, um in KFZ eingesetzt werden zu können. Selbst wenn man eine hochgenaue Absolutpositionierung voraussetzen würde, verbliebe das Problem, das zugehörige Kartenmaterial ebenfalls in geeigneter Weise zur Verfügung zu stellen. Dies betrifft nicht nur die sehr hohen Genauigkeitsanforderungen, sondern auch die Notwendigkeit einer extrem detaillierten Modellierung, welche Bordsteine, Verkehrsinseln und Fahrspuren zu berücksichtigen hätte. Derartige Datensätze mit heutigen Methoden auf wirtschaftliche Weise zu erstellen erscheint unmöglich. Bereits die heute erfassten Karten, welche im wesentlichen Straßenmittelachsen mit Genauigkeitsanforderungen lediglich im Meterbereich enthalten, sind kaum wirtschaftlich zu erstellen und fortzuführen.

In dieser scheinbar ausweglosen Situation kommen zwei aktuelle Entwicklungen zu tragen. Erstens werden zukünftige Fahrzeuge zunehmend mit umfelderfassenden Sensoren ausgestattet sein, zweitens zeigen Ansätze aus der Robotik, dass es möglich ist, Positionsbestimmung mittels neuer Algorithmen und Kartenrepräsentationen durchzuführen.

Bereits seit einigen Jahren werden Radarsensoren für KFZ angeboten, welche das Vorfeld des Fahrzeugs in einer relativ schmalen Keule beobachten und der Steuerung eines erweiterten Tempomaten dienen. Auch Kameras haben bereits Einzug gehalten, beispielsweise zur Unterstützung des Fahrers bei Nachtfahrten. Diese Entwicklungen werden in Zukunft ergänzt durch seitliches Radar, Laserscanner (z. B. IBEO, 2006), Tiefenbildkameras (Photonic Mixer Devices, z. B. PMD, 2006) sowie kamerabasierte (Stereo-) Systeme. Aufgrund dieser Entwicklungen ist es absehbar, dass zukünftig eine Vielzahl von Messdaten über das Fahrzeugumfeld verfügbar sein wird.

Wie diese Daten zur Positionsbestimmung genutzt werden können, zeigen aktuelle Ansätze in der Robotik. Unter dem Schlagwort SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) untersucht man Algorithmen, welche selbst ein Abbild der Wirklichkeit aufbauen, um dieses zugleich zur eigenen Positionsbestimmung zu nutzen. Dabei entspricht dieses Abbild nicht einer traditionellen Kartenrepräsentation, sondern setzt sich vielmehr direkt aus Messdaten (z. B. Punkten, welche mittels Laserscanning gewonnen wurden) zusammen (Abbildung 4). Die Positionsbestimmung selbst erfolgt dann meist mittels Partikelfiltern, welche die möglichen Orte als Dichte repräsentieren, die wiederum als Ansammlung einer sehr großen Anzahl von gewichteten Partikeln dargestellt wird (Thrun et al., 2005).

Ob die *simultane* Erstellung und Nutzung derartiger Karten auch im Fall der Fahrzeugnavigation ein begehrter Weg sein wird, bleibt abzuwarten. Naheliegender scheint es, „Grundkarten“ vorab zu erfassen und als „gesicherte Informationen“ zur Verfügung zu stellen, welche ggf. durch simultan erstellte Karten (z. B. temporäre Verkehrshindernisse) erweitert werden. Auch ist nicht klar, ob die direkte Repräsentation der Karten in Form von Punktmengen sinnvoll ist, sowohl bezüglich des Platzbedarfs als auch im Hinblick auf zusätzliche Sensoren. Eine alternative,

platzsparende Darstellung von Laserpunktwolken in Form der NDT (normal distribution transform) sowie ihre Verwendung für die Registrierung von Laserscans wurde von Ripperda & Brenner (2005) untersucht (Abbildung 5). Falls zusätzliche Sensoren wie z. B. Kameras eingesetzt werden, muss die Kartendarstellung um entsprechende Informationen über Farbe bzw. Textur erweitert werden. Für die Ersterfassung von Umgebungsinformation kommen auch luftgestützte Sensoren in Frage. Beispielsweise lassen sich aus luftgestützt gewonnenen Laserscandaten „virtuelle Ansichten“ berechnen, welche Vorhersagen über die sichtbaren Objekte und ihre jeweiligen Entfernungen erlauben (Brenner & Elias, 2003; Abbildung 6). Früh & Zakhor (2003) haben luftgestützt gewonnene Bilder und Höhenmodelle in Verbindung mit terrestrischen Laserscandaten für die Positionsbestimmung genutzt.

Auch im Fall der Ortung kann man also argumentieren, dass alternative Repräsentationen existieren, welche aus heutiger Sicht geeigneter scheinen als „traditionelle“ Karten. Dies liegt – ähnlich wie im Fall der kontinuierlichen Generalisierung – daran, dass die Abstraktionsstufen von Karte und Zielanwendung verschieden sind. Die genaue Erfassung von sehr detaillierten Karten in den heute gängigen Repräsentationen (GIS bzw. CAD) würde also nicht nur zu einem immensen (aus heutiger Sicht manuellem oder semiautomatischem) Erfassungsaufwand führen, sondern auch eine Repräsentation hervorbringen, welche nicht optimal geeignet wäre für die Positionsbestimmung.



Abbildung 4: SLAM: Eine von einem Roboter erstellte Repräsentation (Map) der Umgebung.
Quelle: Sebastian Thrun, Stanford University (Thrun 2006).

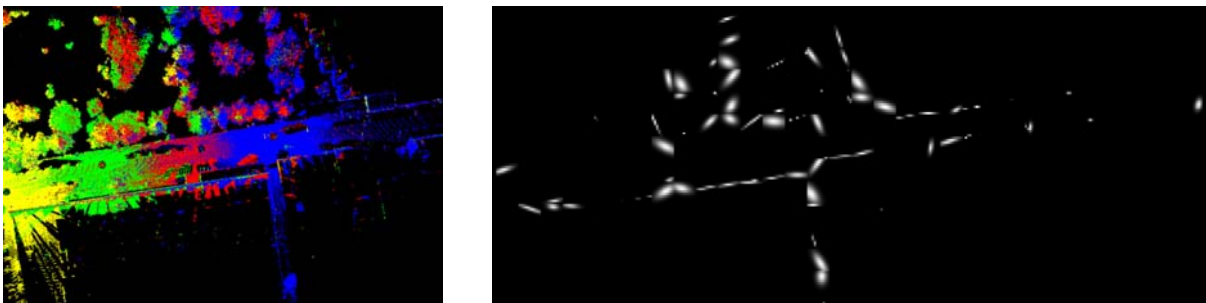


Abbildung 5: Durch mehrere Laserscans erfasste Szene (links) sowie daraus abgeleitete Repräsentation in Form der NDT (rechts).

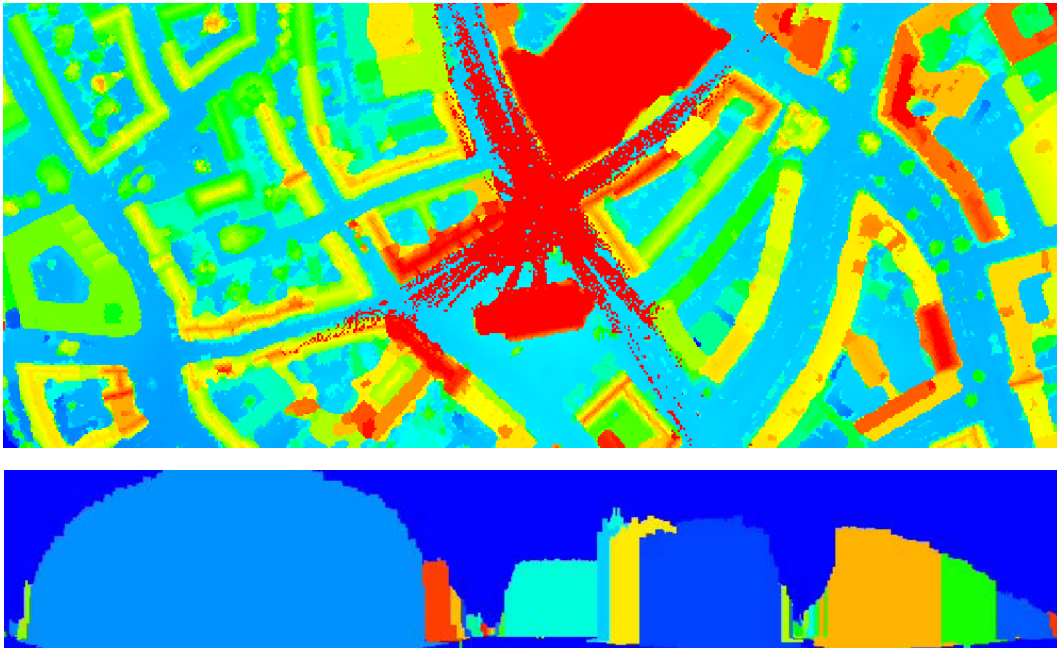


Abbildung 6: Oben: digitales Oberflächenmodell aus Laserscandaten mit überlagertem 360° Sichtbereich (rot). Unten: berechnetes virtuelles Panorama, aus dem die sichtbaren Objekte und ihre Entfernungen hervorgehen. Die Unterscheidung der Objekte erfolgt mittels einer automatischen Verschneidung mit Katasterdaten.

4. KOLLABORATIVE KARTEN

Anhand eines Beispiels aus der Robotik kann man leicht erahnen, dass die Kooperation von Fahrzeugen von Nutzen sein kann (Abbildung 7). Im dargestellten Szenario kann die mögliche Position eines Roboters deutlich eingeschränkt werden in dem Moment, in dem er einem weiteren Roboter begegnet, welcher bereits präzisere Annahmen über seine Position besitzt. Nun ließe sich argumentieren, dass der Abgleich des Wissensstands der beiden Roboter lediglich zu einer besseren Positionsbestimmung führt. Tatsächlich könnte aber zu diesem Zeitpunkt auch ein Austausch der jeweils bislang (mittels SLAM) erstellten Karten erfolgen, so dass mit dem Zusammentreffen der beiden Roboter auch eine gemeinsame, umfangreichere Karte entsteht.



Abbildung 7: Kollaborative Ortung von zwei Robotern „Robin“ und „Marian“. Links: aufgrund der bisherigen Messwerte kann Robin seine Position nicht eindeutig bestimmen (die roten Punkte sind von Robin für möglich erachtete Positionen, Robin befindet sich tatsächlich an der Spitze des roten Pfeils). Rechts: durch Begegnung mit „Marian“, welche ihre Position bereits kennt, kann auch Robin seine Position bestimmen. Quelle: Sebastian Thrun, Stanford University (Thrun 2006).

In der Tat werden Konzepte zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen schon seit langer Zeit in der Fahrzeugindustrie verfolgt, beispielsweise zur lokal begrenzten Warnung vor verunfallten Fahrzeugen (Car2Car, 2006). Dabei stehen jedoch typischerweise Aspekte der direkten Kommunikation zwischen Fahrzeugen im Vordergrund. Die Situation ist vergleichbar mit frühen Ansätzen der Rechnerkommunikation, bei welchen eine direkte Verbindung von Rechnern durchgeführt wurde. In Bereich Rechnerkommunikation haben wir uns inzwischen daran gewöhnt, dass eine mehrschichtige Architektur (z. B. das ISO OSI 7-Schichten Modell) zunehmend von Details der Übertragung, Sicherung, Vermittlung, etc. abstrahiert und uns in der jeweils nächsthöheren Stufe „virtuelle“, einfach zu handhabende Verbindungen zur Verfügung stellt.

In ähnlicher Weise ist es naheliegend, Schichten für virtuelle, dynamische Karten zu realisieren, welche es den Nutzern erlauben, Informationen einzuholen oder abzulegen (Abbildung 8). Dabei erscheint die Karte transparent, d.h. für den Nutzer hat es den Anschein, als ob er stets Zugriff auf eine global verfügbare Karte besitzt, welche ihm jedoch in Wirklichkeit nur lokal im Bereich des Fahrzeugs zur Verfügung steht. Auch muss der Speicherort dieser Karte nicht bekannt sein, sondern wird von niedrigeren Schichten der Architektur gehandhabt. Beispielsweise können Karten in dichtem Verkehr ausschließlich durch lokale Verbindungen ausgetauscht werden. Sie „hüpfen“ dann von Fahrzeug zu Fahrzeug entgegen der Fahrtrichtung, so dass ihr Ort effektiv stationär bleibt. Reicht die Dichte des Verkehrs (relativ zur Reichweite der lokalen Verbindungen) hierfür nicht aus, wird automatisch auf eine Zentrale zurückgegriffen.

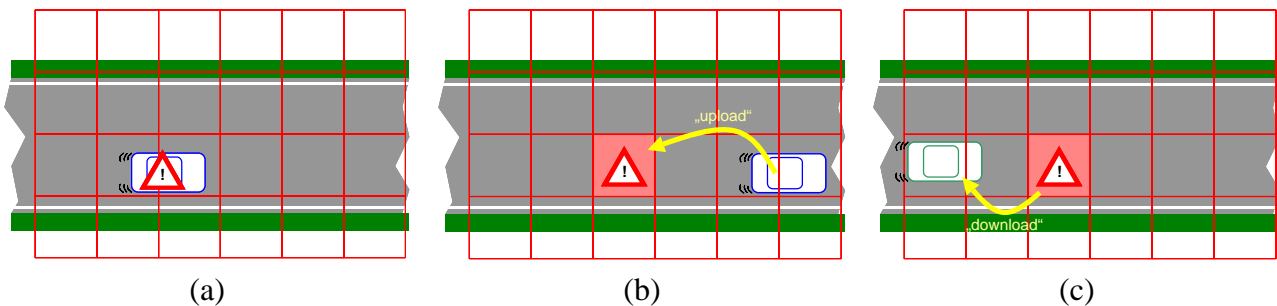


Abbildung 8: Darstellung einer dynamischen, kollaborativen Karte. (a) Von einem Verkehrsteilnehmer wird eine Gefahrensituation erkannt. (b) Diese Information wird Bestandteil der dynamischen Karte. (c) Später eintreffende Verkehrsteilnehmer können von dieser Warnung profitieren.

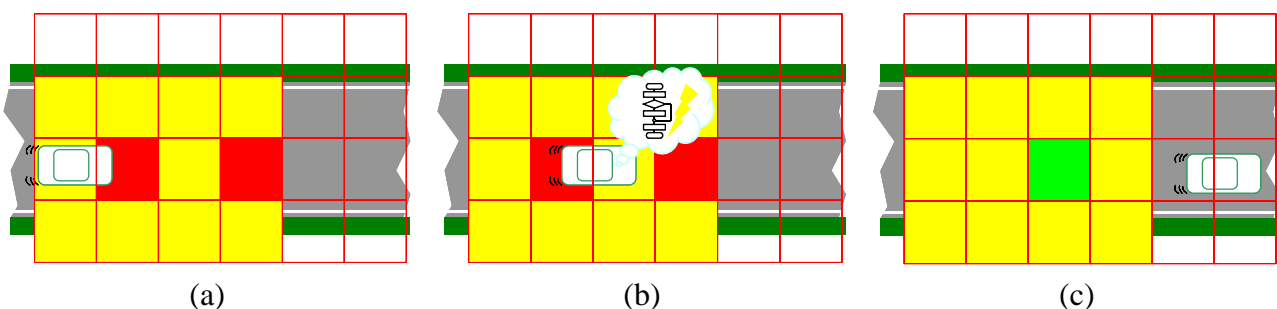


Abbildung 9: Darstellung einer dynamischen, kollaborativen und „rechnenden“ Karte. (a) Von verschiedenen Quellen liegen unterschiedlich verortete Informationen vor. (b) Ein Verkehrsteilnehmer führt diese Informationen zusammen. (c) Im Resultat entsteht eine harmonisierte Karte.

Die dynamische, kollaborative Karte wird so zu einer „virtuellen Infrastruktur“. Vorstellbar ist, dass in Zukunft nicht nur Informationen „hinterlegt“, sondern auch Rechnungen auf der Karte durchgeführt werden. So könnte die Aktualisierung und Harmonisierung der Karte durch die Nutznießer selbst (also die Fahrzeuge) erfolgen, welche hierfür die benötigte Rechenleistung zur Verfügung stellen (Abbildung 9). Die möglichen Anwendungen reichen von der ständigen Aktualisierung der „Kartierung“ eines Stauendes bis zur virtuellen Ampel oder zeitabhängigen Zuteilung von Fahrspuren zu Fahrtrichtungen. Sicherlich wird bis zur ausreichenden Klärung von Fragen zur Konsistenzerhaltung oder Sicherheit noch einige Zeit verstreichen; die Erfahrung zeigt jedoch auch, dass dedizierte Infrastrukturlösungen, wie sie heute in diesem Bereich existieren, in der Regel aufgegeben werden, sobald allgemeinere Lösungen ihren „virtuellen“ Ersatz erlauben.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Welt der Karten befindet sich im Aufbruch – sowohl was die Erstellung, als auch was die Nutzung anbelangt. In diesem Beitrag wurde versucht, mehrere Aspekte des Wandels darzustellen. Auf Seiten der Herstellung brechen die herkömmlichen, von hoher Fertigungstiefe gekennzeichneten Prozesse auf und es können sich zunehmend Wertschöpfungsketten bilden, welche bereits heute in Dienstketten resultieren. In Zukunft ist es nicht nur vorstellbar, dass diese Ketten durch dynamische „on-demand“ Verkettung von Diensten ersetzt werden, sondern auch, dass die Nutzer selbst kollaborativ an der Karte arbeiten.

Die Verwendung des englischen Begriffs „Map“ zielt auf die Nutzung von Karten ab. Mit dem umgangssprachlichen Begriff einer „Karte“ verbinden wir meist eine traditionelle (Papier-) Karte. Diese ist jedoch nichts anderes als eine über Jahrtausende hinweg in verschiedenen Kulturen und Ländern entwickelte Abbildung (Map) der Umgebung – optimiert für die Interpretation durch den menschlichen Betrachter. Am Beispiel der kartographischen Generalisierung und der Positionsbestimmung von Kraftfahrzeugen wurde aufgezeigt, dass andere, prozessorientierte Darstellungen für die maschinelle Weiterverarbeitung günstiger sein können. Genauso, wie „Vektor“ heute einen Mehrwert gegenüber „Raster“ darstellt, können in der Zukunft auf Anwendungen spezialisierte Darstellungen einen Mehrwert gegenüber „Vektor“ bedeuten. Alternative Kartendarstellungen sollten jedoch nicht nur als Mittel verstanden werden, bestimmte Prozesse effizienter zu gestalten – vielmehr können sie in manchen Bereichen überhaupt erst der Schlüssel zum Erfolg sein.

LITERATUR

- Brenner, C. & Elias, B. (2003): Extracting Landmarks for Car Navigation Systems Using Existing GIS Databases and Laser Scanning, Proc. “Photogrammetric Image Analysis”, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 3/W8, Sept., München.
- Brenner, C. (2005): Streaming Generalization Demo Software, im Internet erhältlich unter <http://www.ikg.uni-hannover.de/3d-stadtmodelle.html>, letzter Besuch 18.07.2006.
- Brenner, C. & Sester, M. (2005): Continuous Generalization for Small Mobile Displays, In: Next Generation Geospatial Information, Agouris & Croitoru (eds.), ISPRS Book Series, Taylor & Francis Group, London, Seiten 33-41.
- Car2Car (2006): Homepage Car 2 Car communication consortium, <http://www.car-2-car.org>, letzter Besuch 18.07.2006.

- DDS, 2006: Homepage digital data services GmbH, <http://www.dds.ptv.de>, letzter Besuch 18.07.2006.
- Früh, C., Zakhor, A. (2003): Constructing 3D City Models by Merging Ground-Based and Airborne Views, *Computer Graphics and Applications*, November/Dezember 2003, Seiten 52 – 61.
- IBEO, 2006: Ibeo Automobile Sensor GmbH Webseite, <http://www.ibeo-as.de>, letzter Besuch 18.07.2006.
- NavTeq, 2006: Homepage NavTeq, <http://www.navteq.com/>, letzter Besuch 18.07.2006.
- Oosterom, P. van, Quak, W. and Tijssen, T. (2003): Polygons: the unstable foundation of spatial modeling, *IBFI Seminar on Computational Cartography and Spatial Modelling*. Online verfügbar, <http://www.dagstuhl.de/03401/Materials2/>, letzter Besuch 18.07.2006.
- PMD, 2006: PMD Technologies GmbH Webseite, <http://www.pmdtec.com/>, letzter Besuch 18.07.2006.
- Ripperda, N. & Brenner, C. (2005): Marker-Free Registration of Terrestrial Laser Scans Using the Normal Distribution Transform, *Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures"* Mestre-Venice, Italy, 22-24 August.
- Tele Atlas, 2006: Homepage Tele Atlas, <http://www.teleatlas.com>, letzter Besuch 18.07.2006.
- Thrun, S., Burgard, W., Fox, D. (2005): *Probabilistic Robotics*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Thrun, S., 2006: Homepage Sebastian Thrun, Stanford University, <http://robots.stanford.edu/>, letzter Besuch 18.07.2006.