

Der Aufbau von Datenbanken der Verkehrsinfrastruktur

Wilhelm Caspary und Hansbert Heister

Zusammenfassung

Das Management der Infrastruktur für den Straßen-, Schienen- und Wasserverkehr erfordert den Einsatz leistungsfähiger Informationssysteme. Um Datenbasen für diese Informationssysteme zu schaffen und die Interoperabilität mit bereits existierenden IT-Lösungen und Datenbeständen zu ermöglichen, werden einheitliche Objektdefinitionen und Datenmodelle z. Z. erarbeitet bzw. eingeführt.

Der Aufbau neuer Datenbasen erfordert die Inventur der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur. Diese kann teilweise durch die Auswertung vorhandener analoger und digitaler Unterlagen erfolgen, wobei jedoch die Qualitätsziele Vollständigkeit, Genauigkeit und Aktualität nur durch zusätzliche Datenerfassung im Feld realisierbar sind. Wenn geeignete Unterlagen fehlen, muss die gesamte Inventur durch Neuaufnahme erfolgen. Der Aufwand für die Datenerfassung im Feld kann erheblich reduziert werden, wenn statt konventioneller Vermessungstechnik kinematische Messmethoden eingesetzt werden, für die es bereits praxisreife Multisensorsysteme gibt.

Summary

The management of the infrastructure for road, rail and water traffic requires the application of efficient information systems. To create databases for these information systems and to enable interoperability with already existing IT-solutions and data files the definitions of objects and data models are currently harmonized.

The building of new databases calls for an inventory of the existing infrastructure of transportation. This can partly be done by making use of analogue and digital data sources, but to attain completeness, accuracy and up-to-dateness, the common criteria of quality, additional field work is required. If suitable data sources are missing, the complete inventory has to be carried out by field work. The expenditure for data acquisition in the field can be significantly reduced, when instead of conventional survey techniques kinematic observation methods are employed. These have become possible through the development of mobile mapping systems.

1 Einführung

Die Mobilität der Gesellschaft, in der wir leben, ist im hohen Maße von der Dichte und Qualität der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur abhängig. Die Bereitstellung der Transportwege gilt allgemein als Aufgabe der öffentlichen Hand, die auf der Basis politischer und wirtschaftlicher Entscheidungen die aus Steuermitteln finanzierten Investitionen lenkt. Der Verkehr selbst gehört dagegen vorwiegend in den privaten und privatwirtschaftlichen Bereich.

In Ländern mit einem dichten Verkehrsnetz, wie z. B. der Bundesrepublik Deutschland, werden nur noch wenige Neubauten durchgeführt. Die Hauptaufgabe der zuständigen Verwaltungen besteht darin, die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des vorhandenen Netzes zu erhalten und wo nötig zu verbessern. Dazu müssen Fahrwege erneuert, modernisiert und evtl. mit zusätzlichen Fahrstreifen leistungsfähiger gemacht werden. Maßnahmen, die den Verkehrsfluss verbessern und die Sicherheit erhöhen, sind durchzuführen, und Anlagen zum Schutz der Umwelt, z. B. gegen Schallemissionen, werden errichtet. Diese und zahlreiche weitere Aktivitäten, die zur Pflege des Verkehrsnetzes erforderlich sind, müssen sorgfältig geplant werden, damit mit den knappen verfügbaren Mitteln maximale Wirkung erzielt wird.

Investitionsplanungen, die Festlegung von Prioritäten und die Auftragsüberwachung können nur auf der Grundlage aller relevanten Informationen sachgerecht erfolgen. Diese Erkenntnis ist natürlich nicht neu. Relativ neu ist aber, dass für den Einsatz zeitgemäßer Managementmethoden diese Informationen in digitaler Form benötigt werden und dass mit modernen Erfassungsverfahren der Umfang an verwertbaren Informationen erheblich vergrößert werden kann. Folgerichtig wird in den zuständigen technischen Verwaltungen am Aufbau digitaler Datenbestände gearbeitet, die vielseitig einsetzbar zur Qualitätssteigerung der Prozesse führen sollen.

Dabei zeigt sich, dass diese Aufgabe keineswegs trivial ist. Schon die Festlegung eines Datenmodells stellt eine große Herausforderung dar, denn der Umfang der möglichen Objekte und die Vielfalt ihrer Attribute sind schier unbegrenzt. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Methoden der Modellbildung ständig weiterentwickeln, so dass ein permanenter Modernisierungsdruck vorhanden ist. Trotzdem müssen digitale Datenbestände aufgebaut werden, denn sie sind die Voraussetzung für den Einsatz leistungsfähiger Programmsysteme, die die Daten in Informationen umwandeln, z. B. durch neuartige Visualisierungen von Zuständen und Prozessen, durch die Berechnung und Evaluierung von Planungsalternativen und die Quantifizierung von Umweltbeeinflussungen. Diese und weitere DV-technische Entwicklungen prägen bereits den Alltag in allen technischen Verwaltungen und werden weiter an Bedeutung gewinnen.

Auch im privatwirtschaftlichen Bereich spielen Datenbanken der Verkehrsinfrastruktur eine zunehmende Rolle. Sie bilden die Grundlage für Fahrzeugnavigationssysteme und werden beim Flottenmanagement sowie der Planung von Gefahren- und Schwerlasttransporten eingesetzt. Ebenso werden sie für die Simulation von Verkehrsströmen, bei der Gestaltung von Fahrplänen und bei der Erprobung von Kraftfahrzeugkomponenten benötigt.

2 Verkehrsbereiche und Informationssysteme

Die klassischen Verkehrsbereiche Straße, Schiene, Wasserstraße sind in Deutschland unabhängig voneinander und unterschiedlich organisiert. Auch bei der Einführung der Informationstechnologie gibt es wenig Gemeinsamkeiten. So existieren neben Abteilungen, die für ihre Prozesse effiziente IT-Lösungen eingeführt haben, andere, die eher konventionell arbeiten. Überall sind aber in den letzten Jahren Konzepte für fachübergreifende Datenbanken entwickelt worden, deren Befüllung mit Daten nun ansteht.

Die Zuständigkeiten im *Straßenverkehr* orientieren sich an der Klassifizierung der Straßen und der regionalen Verwaltungsstruktur. Während auf der oberen Ebene die Planung und Analyse der Verkehrseinrichtungen den Schwerpunkt der Aufgaben bildet, stehen bei den mittleren und unteren Ebenen der Bau, die Pflege und sicherheitsfördernde Maßnahmen im Vordergrund. Entsprechend unterschiedlich ist der Bedarf an Informationen, die zur Bewältigung der Aufgaben benötigt werden. So ist in der zuständigen Abteilung des BMVBW ein BundesInformationssystem Straße (BISStra) im Aufbau, das als leistungsfähiges Geoinformationssystem (GIS) konzipiert ist und den Zugriff auf alle für das Management des Fernstraßennetzes benötigten Daten ermöglichen soll. Die technische Betreuung des Fernstraßennetzes erfolgt durch die Bundesländer, die außerdem für die landeseigenen Straßen zuständig sind. Die dafür eingerichteten Behörden müssen alle mit dem Straßenverkehr zusammenhängenden Aufgaben erfüllen, von der überregionalen Planung über die Instandhaltung der vorhandenen Straßen bis zur Vergabe und Abrechnung von Baumaßnahmen. Für die dazu benötigten Informationen werden zur Zeit Straßeninformationssysteme (SIB) aufgebaut, siehe z. B. in Nordrhein-Westfalen (*nwsib 2002*). Diese sollen die bereits lokal und anwendungsspezifisch aufgebauten Datenbestände für übergreifende Aufgaben nutzbar machen und langfristig ersetzen.

Ganz ähnlich ist die Situation auf kommunaler Ebene, wo ebenfalls heterogene Datenbanken existieren, deren Struktur und Format durch die eingesetzten Programme bestimmt sind.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als Forschungseinrichtung im Geschäftsbereich des BMVBW hat unter anderem die Aufgabe, Anweisungen und Richtlinien für die Nutzung der IT in den Straßenbaubehörden zu erarbeiten. Dabei wird sie von Fachgremien unterstützt. Zur Zeit werden die Anweisung Straßeninformationssystembank (ASB 2000) überarbeitet und der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA) weiterentwickelt (Driesch/Braun 2001), der als einheitliche Datenbankschnittstelle für den Datenaustausch zwischen Programmen, Datenbanken und Dienststellen vorgesehen ist. Ferner arbeitet sie an Aufbau und Pflege von Datenbanken für die Verwaltung der Zustandsdaten der Bun-

desfernstraßen sowie für nationale und internationale Unfalldaten.

Die BASt arbeitet bei der Harmonisierung im IT-Bereich, bei der Weiterentwicklung des Technischen Regelwerks für das Straßen- und Verkehrswesen sowie auf dem Gebiet der Forschung eng mit den Fachgremien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) zusammen.

Bei unseren europäischen Nachbarn ist die Situation ganz ähnlich. Auch hier versucht man im Zuge des Aufbaus landesweiter Straßeninformationssysteme durch die Festlegung von Datenmodellen die Interoperabilität der existierenden IT-Lösungen herbeizuführen. Überall tritt dabei ein Defizit an aktuellen Daten zur Beschreibung des Straßen- und Verkehrswesens zutage, das nur durch den Einsatz modernster kinematischer Messverfahren wirtschaftlich beseitigt werden kann (Gilliéron et al. 2001, Wieser/Bartelme 1998, Gajdamowicz et al. 2001, Benning/Aussems 1998, Caspary et al. 2000).

Der Bereich der *Deutschen Bahn* nähert sich dem Ende einer Phase der Umstrukturierung. Aus dem Staatsbetrieb soll eine Gruppe marktkonformer Unternehmen werden, die für den Fernverkehr zuständig sind. Der Regionalverkehr wurde ausgegliedert und Gebietskörperschaften bzw. privatrechtlich verfassten Trägern übereignet. Auch im kommunalen Schienenverkehr (U-, S-, Straßenbahn) geht die Bestrebung dahin, die Trägerschaft privatrechtlich zu organisieren.

Die DB-Netz AG als Infrastrukturbetreiber der DB befasst sich mit dem Aufbau eines GIS (DB-GIS), für das 1993 bereits das fachliche Feinkonzept erarbeitet wurde. Es soll die Inselsysteme vieler Fachabteilungen ablösen und allen Nutzern eine redundanzfreie stets aktuelle und qualitätsgesicherte Datenbasis zur Verfügung stellen. Ihr Aufbau erfolgt durch Übernahme vorhandener Datenbestände, Digitalisierung analoger Unterlagen und messtechnische Neuaufnahmen (Hultsch/Zimmermann 1998). Bei Projekten dieser Dimension führt die rasche Fortentwicklung der Informatik dazu, dass die Struktur des Systems und der Datenmodelle nicht statisch sein dürfen sondern stets auf den neusten Stand gebracht werden müssen. Gründig/Gielsdorf (1998) analysieren die erforderliche Struktur eines Netzinformationssystems. Neben diesem netzweiten GIS für Zwecke der Planung, Disposition, Dokumentation, Transportsimulation und ähnlicher Aufgaben gibt es noch das DB-VIS, ein Videoinformationssystem (Allmann/Salzmann 2000) und hochgenaue Datenbestände über die Geometrie der Gleise und für lokale Bauausführungen.

In den Nachbarländern ist die Situation vergleichbar, wie es zum Beispiel in Ebnetter (2000) für die Schweiz dargestellt wird.

Auch im Bereich des regionalen und kommunalen Schienenverkehrs gewinnen digitale Daten als Grundlage für Planung, Bau, Pflege und Nutzung der festen Anlagen zunehmend an Bedeutung.

Die Bereitstellung von *Wasserstraßen* für den Schiffsverkehr ist Aufgabe der beim BMVBW angesiedelten Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV). Diese ist eine hierarchisch aufgebaute Behörde, die bei der Bundesanstalt für Wasserbau eine Fachstelle für Informationstechnik eingerichtet hat. Dort werden der IT-Einsatz im administrativen und technischen Bereich der WSV koordiniert und Informationssysteme entwickelt. Derzeit werden zwei große Projekte bearbeitet: das Wasserstraßen-Geoinformationssystem WaGIS und das Informationssystem TIMPAN, das die Ergebnisse der hydrographischen Vermessung archivieren und für vielfältige Anwendungen bei der WSV erschließen soll. Darüber hinaus stellt die WSV mit dem Elektronischen Wasserstraßen-Informationssystem ELWIS (elwis 2002) alle für die Schifffahrt und die Öffentlichkeit wichtigen Informationen über das Internet zur Verfügung.

Die Netze für den Straßen-, Schienen- und Wasserverkehr bilden das Rückgrat der Verkehrsinfrastruktur. Als wichtige Grundlage für die Pflege dieser Infrastruktur und für Managementaufgaben bei der Verkehrsplanung werden in den drei Bereichen zur Zeit moderne, raumbezogene Informationssysteme aufgebaut. Diese erfordern umfangreiche Datenbasen, die durch Migration aus vorhandenen anwendungsspezifischen Datenbeständen, durch die Digitalisierung analoger Unterlagen und durch Neuvermessungen aufgebaut werden müssen. Das Volumen dieser Datengrundlagen, die aus Basisdaten und nutzerspezifischen Geometrie- und Sachdaten bestehen, ist immens, die Effizienz der Methoden zur Erfassung und Fortführung ist daher von großer Bedeutung.

3 Datengewinnung

Wie bereits im vorigen Abschnitt angesprochen, sind im Laufe der letzten Jahrzehnte für zahlreiche technische Aufgaben IT-Lösungen entwickelt worden, die auf prozessspezifischen Datenmodellen basieren und proprietäre Schnittstellen verwenden. Dies hat zur Folge, dass in den Fachabteilungen heterogene Datenbestände aufgebaut worden sind, die jeweils eine spezielle Sicht auf die Wirklichkeit verkörpern. Da der Austausch von Daten zwischen Anwendungen und Abteilungen in der Regel nicht vorgesehen wurde, mussten Basisdaten mehrfach erfasst und vorgehalten werden. Um diese Datenbestände für unterschiedliche Anwendungen und fachübergreifende Informationssysteme nutzbar zu machen, müssen geeignete Schnittstellen entwickelt werden. Dies ist eine sehr komplexe Aufgabe, die allerdings erleichtert wird, wenn sich alle Nutzer auf einen einheitlichen Katalog von Objekten bzw. Objektmodellen einigen, wie es im Straßenwesen mit dem OKSTRA geschehen ist, und wenn moderne Werkzeuge wie GML (Geographic Markup Language) eingesetzt werden.

Weitere wichtige Datenquellen sind die Vektor- und Rasterdatenbestände, die bei den amtlichen Vermessungsstellen geführt und zur Zeit über die EDDBS (Einheitliche Datenbank Schnittstelle) abgegeben werden. Es handelt sich dabei um objektbasierte Landschaftsmodelle und digitale Höhenmodelle (ATKIS) in verschiedenen Auflösungsstufen, um digitale Orthophotos sowie um Katasterdaten, die im Modell ALK/ALB (in Zukunft ALKIS) vorliegen. Ähnlich strukturierte Datenbestände gibt es bei Kommunen und Zweckverbänden, die ebenfalls für den Verkehr relevante Informationen enthalten.

Für Straßeninformationsbanken kommen als Datenquelle auch von der Privatwirtschaft aufgebaute Datenbestände infrage, wie z. B. die für Fahrzeugnavigationssysteme flächendeckend verfügbaren Datenbestände im GDF-Format (Geographic Data File). Diese enthalten neben der Geometrie alle für die Verkehrsführung relevanten Informationen. Auch für die Übernahme dieser Fremddaten müssen intelligente Schnittstellen entwickelt werden, die die nutzbaren Daten herausfiltern und in das benötigte Datenmodell überführen.

Der mit der Entwicklung von Schnittstellen verbundene Aufwand kann so groß sein, dass die Nutzung mancher Datenquellen unwirtschaftlich ist. Weitere Probleme dieser Vorgehensweise sind, dass Qualität und Aktualität der Daten oft nicht dokumentiert sind und dass erhebliche Beschaffungskosten für Fremddaten anfallen können. Da ferner nur ein Teil der benötigten Daten aus existierenden Datenquellen gewonnen werden kann, ist genau zu untersuchen, ob eine komplette Neuerfassung nicht die wirtschaftlichere Lösung ist.

Der Umfang analoger Datenquellen, die durch Digitalisierung für den Aufbau einer Datenbasis nutzbar gemacht werden können, ist in allen technischen Abteilungen gewaltig. Neben detaillierten Ausführungsplänen und Vermessungsrissen sind Pläne und Übersichten verschiedenen Inhalts in unterschiedlichen Maßstäben sowie topologische Systempläne und Höhen- und Koordinatenverzeichnisse erstellt worden. Weiterhin kommen zu diesen eigenen Unterlagen amtliche Karten, Luftmessbilder und anderes Bildmaterial infrage. Das Digitalisieren grafischer Unterlagen ist zwar die technisch einfachere Lösung im Vergleich zur Migration heterogener Datenbestände, aber als Mengenproblem mit hohen Kosten verbunden. Darüber hinaus geben viele Unterlagen nicht den aktuellen Zustand wieder, enthalten nur Teile der benötigten Informationen und diese mit unbekannter Qualität.

Eine Datenbasis, die durch die Übernahme vorhandener Datenbestände und/oder die Digitalisierung analoger Unterlagen aufgebaut wird, weist alle schon in den Datenquellen vorhandenen Mängel auf. Der erforderliche Aufwand, die erläuterten Qualitätsprobleme und die zu erwartende Unvollständigkeit sind gute Gründe, eine vollständige Neuerfassung der Daten im Felde zu erwägen. Die Vorteile einer solchen Vorgehensweise liegen auf der Hand. Alle benötigten Informationen werden zu-

sammenhängend aufgenommen und führen zu einer aktuellen Datenbasis. Für die Erfassung, die übersichtlich und kontrollierbar abläuft, kann ein Qualitätsmanagement eingeführt werden, das sicherstellt, dass die Daten die vorgegebenen Erfordernisse erfüllen. Das einzige Problem dieser Erfassungsmethode ist der Aufwand, der damit verbunden ist. Wenn konventionelle Vermessungsverfahren eingesetzt werden, übersteigt der erforderliche Zeit- und Mittelbedarf wahrscheinlich den zu erwartenden Nutzen. Mit modernen kinematischen Messverfahren ist jedoch eine effiziente Erfassung aller für ein fachübergreifendes Informationssystem benötigten Daten in einem Zuge möglich.

4 Modulare kinematische Messsysteme

Kinematische Messsysteme haben gegenüber konventionellen Vermessungsinstrumenten eine Reihe von offensichtlichen Vorteilen:

- Die Vermessung erfolgt von einem Fahrzeug aus, das den fließenden Verkehr nicht oder nur unwesentlich behindert. Die Geschwindigkeit des Messfahrzeugs liegt je nach Ausstattung und angestrebter Genauigkeit zwischen 25 und 75 km/h. Entsprechend schnell erfolgt die Datenerfassung.
- Das Messsystem kann modular aufgebaut werden, so dass es für unterschiedliche Messaufgaben einsetzbar ist. Die Art der Daten und die Genauigkeit, mit der sie erfasst werden sollen, sind für die Auswahl der Sensoren bestimmend. Es kann daher stets die wirtschaftlichste Lösung erzielt werden.
- Die Messsignale werden mit hoher Frequenz digitalisiert und als Rohdaten abgespeichert. Dadurch wird es möglich, die Auswertung der Daten von der Erfassung zu trennen. Dies hat den Vorteil, dass die Auswertung in optimalen mathematischen Modellen durchgeführt werden kann. Es erfolgt dabei eine Qualitätsprüfung und eine Genauigkeitsschätzung für die ausgeglichenen Daten.
- Mit Kameras können bei Bedarf Bilder während der Messfahrten aufgenommen werden. Diese können sowohl zur Visualisierung des Verkehrskorridors als auch zur genauen Positionierung von Objekten genutzt werden.

Diese Vielseitigkeit von modularen kinematischen Messsystemen wird durch umfangreiche und aufwendige Sensorik, durch leistungsfähige Komponenten zur Erfassung und Speicherung der Daten sowie durch den Einsatz komplexer Auswertelgorithmen erreicht. Die hohen Kosten für die Hardwarekomponenten und der Aufwand für die Systementwicklung und Softwareerstellung werden durch die hohe Produktivität kinematischer Messsysteme aufgewogen.

5 Kinematische Aufnahmen der Achsen von Verkehrswegen

Traditionell erfolgt die Lokalisierung von Objekten, die zu Verkehrswegen gehören, nach einem Kilometrierungssystem. Durch Knotenpunkte werden Abschnitte definiert, in denen mit Längenmessungen, bezogen auf den Anfangsknoten, Positionen bestimmt werden. Dieses sehr anschauliche Bezugssystem ist für alle technischen und administrativen Aufgaben im Verkehrsbereich bestens geeignet. Es ist jedoch nicht kompatibel mit dem System der Georeferenzierung, das in der amtlichen Vermessung angewandt wird und z. B. die Grundlage aller Karten bildet. Zwei wichtige Gründe sprechen dafür, auch im Verkehrswesen das amtliche Bezugssystem einzuführen:

- Die Nutzung moderner Geoinformationssysteme setzt voraus, dass alle Objekte in einem einheitlichen Referenzsystem positioniert sind. Die angestrebte Interoperabilität mit den Datenbanken der amtlichen Vermessung und anderer Organisationen ist ebenfalls nur unter dieser Bedingung realisierbar. Das Kilometrierungssystem kann parallel weitergeführt werden, muss dann aber eine konsistente Umformung in das amtliche Koordinatensystem erlauben.
- Die Positionsbestimmung erfolgt heute vorwiegend mit dem Global Positioning System (GPS). Als Ergebnis erhält man Koordinaten, die leicht in das amtliche Bezugssystem transformiert, aber nur schwer mit einem Kilometrierungssystem in Zusammenhang gebracht werden können.

Beim Einsatz kinematischer Vermessungssysteme zur Aufnahme von Verkehrswegen erhält man, wie in (Sternberg/Caspary 1994) näher ausgeführt, als ein Ergebnis die Trajektorie des Messfahrzeugs. Im einfachsten Fall besteht sie aus einer dichten Folge von Positionen, die etwa parallel zur Verkehrswegeachse verläuft. Bei Genauigkeitsanforderungen im Bereich weniger Meter kann dieses Ergebnis mit einem preiswerten GPS-Empfänger erzielt werden, der differentiell betrieben und durch ein einfaches Koppelsystem gestützt wird. Dieses Koppelsystem ist erforderlich, um Lücken in der Satellitenabdeckung zu überbrücken. Es besteht in der Regel aus einem einfachen Faserkreisel zur Richtungs- und einem Odometer zur Wegmessung. Solche »low-cost« Messsysteme werden zum Beispiel zur Datenerfassung beim Aufbau von GDF-Datenbanken für Fahrzeugnavigationssysteme eingesetzt. Über das Konzept eines solchen Systems berichten u. a. Ramjattan/Cross (1994).

Zur Steigerung der Genauigkeit können leistungsfähigere GPS-Empfänger und präzisere Richtungs- und Wegmesser eingesetzt werden, die durch Komponenten zur Höhenbestimmung, etwa Barometer oder Neigungsmesser, ergänzbar sind. Den Aufbau solcher kinematischer Positionierungssysteme beschreiben z. B. Goad (1991), Benning/Aussems (1998), Leahy/Judd (1999).

Die Weiterentwicklung der Empfängertechnik und der Signalverarbeitungssoftware hat dazu geführt, dass die Abschnitte, in denen eine kinematische GPS-Phasenlösung möglich ist, deutlich ausgeweitet werden konnten. Mit Zweifrequenzempfängern liegt in diesen Abschnitten die Positionsgenauigkeit bei einigen Zentimetern. Leider überwiegen in Mitteleuropa aber noch immer die Bereiche, in denen diese günstigen Bedingungen nicht herrschen.

Einen etwas anderen Ansatz, der die Ermittlung von Straßenachsen in Echtzeit mit 10 cm Genauigkeit ermöglichen soll, beschreiben Gilliéron et al. (2001). Das Messfahrzeug ist mit zwei GPS-Antennen ausgerüstet, deren Verbindungslinie als Raumvektor durch eine Echtzeitphasenlösung mit 1 Hz bestimmt wird. Eine CCD-Kamera erfasst mit 30 Hz die Straßenoberfläche. Sie wird durch das GPS synchronisiert und erhält ihre Orientierung von dem Raumvektor. Ein schnelles Programm zur automatischen Objektextraktion verfolgt die Mittenmarkierung der Straße und erzeugt so ein Koordinatenfile der Straßenachse.

Wenn auf dem Messfahrzeug Sensoren wie photogrammetrische Kameras und Laserscanner eingesetzt werden sollen, muss die Trajektorie zusätzlich zur Position auch die Orientierung des Fahrzeugs im Raum wiedergeben. Zur Erfassung dieser Information sind zusätzliche inertielle Sensoren erforderlich. Für jede angestrebte Genauigkeit gibt es mehrere Alternativen unter denen ausgewählt werden kann. Eine low-cost Lösung für die Gleisvermessung beschreiben Leahy/Judd (1999), die mit einem einfachen zweiachsigen Neigungsgeber nach Kalibrierung den Nick- und Rollwinkel mit einer Standardabweichung von $0,05^\circ$ erhalten und für das Azimut mit einem Piezo-Kreisel dieselbe Genauigkeit erzielen, solange die Drift wirkungsvoll kontrolliert wird. Eine technisch anspruchsvollere Lösung erhält man durch den Einsatz einer kompletten inertialen Messeinheit, die aus drei orthogonal angeordneten Beschleunigungsmessern besteht, deren Orientierung im Raum durch Kreisel ermittelt wird. Auch solche Messeinheiten gibt es in unterschiedlichen Genauigkeitsklassen. Für kinematische Vermessungssysteme, mit denen die Positionen auch dann noch im Dezimeterbereich bestimmbar sein sollen, wenn für einige Minuten die GPS-Satelliten abgeschattet sind, werden Inertialsysteme benötigt, die am oberen Ende der Leistungsskala angesiedelt sind. Der damit erzielbare Gewinn an Genauigkeit und Verfügbarkeit der Trajektorie muss durch eine erhebliche Steigerung der Komplexität des kinematischen Messsystems und der Auswertsoftware erkauft werden. Die Kosten eines solchen Systems liegen etwa bei dem zehnfachen eines low-cost Systems. Über Entwicklung und Einsatz von Hochleistungssystemen insbesondere für die Erfassung von Straßendaten berichten u. a. Lapucha (1990), Heister et al. (1995), Sternberg/Caspary (1994), Schwarz (1998), El-Sheimy/Lavigne (1998), Gräfe et al. (2001), Sternberg et al. (2001).

Bei modularem Aufbau können diese Messsysteme auch auf Schiffen und Schienenfahrzeugen betrieben und

von Flugzeugen aus eingesetzt werden (Gajdamowicz et al. 2001, Schwarz 1998).

6 Objekterfassung im Verkehrskorridor

Neben der Instandhaltung des eigentlichen Fahrwegs müssen die technischen Verwaltungen die Infrastruktur bereitstellen und pflegen, die für die Führung, die Sicherheit und die Umweltverträglichkeit des Verkehrs erforderlich ist. Diese besteht aus einer großen Vielfalt von Objekten. Beispielhaft seien genannt die Beschilderung, die Einrichtungen zur Stromversorgung und Signalisierung, Lärmschutzeinrichtungen sowie Brücken und Übergänge. Die Dokumentation dieser Objekte und ihrer Eigenschaften in einer Datenbank auf die Informationssysteme zugreifen zu können, ist Voraussetzung für eine effiziente Pflege und Weiterentwicklung dieser Infrastruktur.

Für die Inventur der Objekte im Verkehrskorridor sind kinematische Multisensorsysteme besonders gut geeignet. Durch den Einsatz von Mess- und Videokameras erhält man den aktuellen Bestand lückenlos. Die photogrammetrische Ausmessung von Stereomodellen liefert die Position der Objekte relativ zur Fahrbahn mit einer Standardabweichung von wenigen Zentimetern. Dieselbe Genauigkeit erhält man für das Lichttraumprofil von Brücken und Engstellen. Mit Hilfe wissensbasierter Methoden und Algorithmen zur Objekterkennung und Linienverfolgung kann die photogrammetrische Auswertung unterstützt und teilweise automatisiert werden (Novak 1991). Die Verfolgung der Fahrstreifenmarkierungen und Straßenränder liefert Informationen, die die Transformation von der Fahrzeugtrajektorie zur Fahrwegachse hypothesenfrei ermöglichen.

Um die genannte Genauigkeit zu erzielen, müssen aus den Messbildern Stereopaare gebildet werden können. Dies erreicht man z. B. durch die Anordnung von zwei synchron auslösenden Kameras, die eine Basis quer zur Fahrtrichtung bilden oder auch durch zwei nacheinander aufgenommener Bilder derselben Kamera unter der Voraussetzung exakter Zeit- und Positionsmessung des Systems (Kealy et al. 2001). Des Weiteren müssen die Parameter der inneren und der relativen Orientierung der Kameras durch Kalibrierung präzise bestimmt werden, und die äußere Orientierung muss im Zeitpunkt der Aufnahme genau bekannt sein. Diese letzte Bedingung erfordert eine exakte Synchronisation der Kameras mit dem System der Trajektorienbestimmung, das so ausgelegt sein muss, dass es neben der Position auch die Orientierung im Raum mit hoher Genauigkeit ermittelt.

Neben dieser messtechnischen Erfassung der Objekte im Verkehrskorridor liefert auch die bildhafte Dokumentation der Situation entlang der Verkehrswege wichtige Informationen für die Zustandsbeurteilung und die Planung von Arbeiten. Georeferenzierte digitale Farbvideoaufnahmen bieten sich hierfür an, die im Zuge einer

kinematischen Vermessung mit durchgeführt werden können. Beispiele für Informationssysteme, die auf Bildmaterial basieren, sind das Autobahn-Informationssystem (AIS) des BMVBW und das Videoinformationssystem der Deutschen Bahn (DB-VIS).

Neben Messkameras können Laserscanner zur Objekterfassung in Verkehrskorridoren eingesetzt werden. Laserscanner arbeiten nach dem Prinzip der reflektorlosen Entfernungsmessung. Durch optische Bauteile und Servomotoren wird erreicht, dass der Laserstrahl mit hoher Frequenz in einer Ebene rotiert. Zur Abtastung räumlicher Objekte, muss diese Messebene bewegt werden. Bei statischem Einsatz kann dies durch ein zweites Ablenkensystem erreicht werden, das bei kinematischem Einsatz entbehrlich ist, da sich die Messebene mit dem Fahrzeug voran bewegt (Heinz et al. 2001). Die Messgenauigkeit liegt im Nahbereich bis etwa 5 m bei wenigen Millimetern und erreicht bei etwa 30 m den Zentimeterbereich. Eine weitere wichtige Kenngröße ist die Messfrequenz. Bei vertikal ausgerichteter Messebene erhält man z. B. für eine Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h und eine Rotationsfrequenz von 70 Hz alle 20 cm ein Profil des Verkehrskorridors, das je nach Scanner zwischen 360 und 3000 Einzelmessungen enthält.

Wenn diese hervorragenden Messeigenschaften eines Laserscanners für die Objektvermessung genutzt werden sollen, muss für jeden einzelnen Messstrahl die absolute Orientierung im Raum ermittelt werden. Dies ist ähnlich wie bei den Messkameras durch Kalibrierung und durch Synchronisation mit dem Messsystem, das die Fahrzeugtrajektorie erfasst, zu erreichen. Durch die Kombination von photogrammetrischen Auswertungen mit Profilmessungen eines Laserscanners können Geometrie und Attribute aller Objekte im Verkehrsraum vollständig und mit hoher Genauigkeit erfasst werden.

7 Zustandserfassung

Neben der Achse im Raum und den im Korridor vorhandenen Objekten kennzeichnet eine Reihe von Zustandsgrößen einen Verkehrsweg. Es handelt sich dabei einerseits um geometrische Größen, die die Ausgestaltung beschreiben und andererseits um Qualitätsmerkmale, die den Erhaltungszustand charakterisieren.

Bei Straßen interessieren als geometrische Größen vor allem die Breite sowie die Längs- und Querneigung. Gemeinsam mit der Achse erhält man damit die Lage des Straßenbandes im Raum, die für die Dynamik- und Sicherheitsanalyse eine Rolle spielt. Bei neueren Straßen können diese Größen den Bauunterlagen entnommen werden. Wo diese nicht zur Verfügung stehen, ist eine Aufmessung erforderlich, die sehr effizient mit kinematischen Messsystemen durchgeführt werden kann. Die Längs- und Querneigung eines Fahrstreifens kann genügend genau aus den entsprechenden Parametern der Tra-

jektorie abgeleitet werden, während die Breite und die Fahrbahnmarkierung entweder photogrammetrisch oder mit einem Laserscanner ermittelt werden können.

Zur Beurteilung der Qualität einer Fahrbahn dienen u. a. genau definierte Parameter, die die Ebenheit charakterisieren. Diese sind z. B. in der Technischen Prüfvorschrift (TP Eben-StB 2001) und in den Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen (EEM-I 2001) beschrieben und werden zur Zeit mit speziellen Messfahrzeugen, die von der BASt zertifiziert sein müssen (bast.de), erfasst. Diese Parameter können auch aus Aufnahmen mit einem Laserscanner abgeleitet werden, wie es Gräfe/Heister (2002) beschreiben, so dass mit einer Messfahrt Längs- und Querneigung und Ebenheit einer Fahrbahn erfasst werden können. Für weitere Qualitätskriterien wie Rauheit, Griffigkeit und Rissbildung sind spezielle Messverfahren entwickelt worden.

Für die genaue Erfassung der Lage von Gleisen, die für Komfort und Sicherheit des Eisenbahnverkehrs von entscheidender Bedeutung ist, ist eine Reihe von kinematischen Messsystemen entwickelt worden. Es gibt relativ einfach aufgebaute Systeme, die örtlich begrenzt, z. B. zur Vorbereitung von Erneuerungsmaßnahmen, eingesetzt werden können (Siems 1993, Kahmen/Retscher 1997) und aufwendige Messfahrzeuge wie die Oberbau-Messwagen-Einheit (OMWE) der DB, die für Geschwindigkeiten bis 250 km/h ausgelegt ist und die Spurweite ($\pm 0,5$ mm), die gegenseitige Höhenlage der Schienen ($\pm 0,8$ mm), die Krümmung ($1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$), das Vertikalprofil ($\pm 0,8$ mm/25 m), das Horizontalprofil ($\pm 0,8$ mm/25 m) und Gleiswellen von 50 bis 200 m Länge (± 5 mm) in einer Messfahrt ermittelt (Rechel 1995). Andere Systeme zur kinematischen Gleisvermessung sind das Gleismessfahrzeug EM 250 der ÖBB das von der Firma Plasser & Theurer entwickelt wurde und mit etwas anderer Zielsetzung das in Oehler (1997) beschriebene Inspektionssystem RAIL CHECK/RAIL SCAN, das die automatische Erkennung von Mängeln der Gleisanlage ermöglicht.

Im Bereich der Wasserstraßen werden kinematische Verfahren zur Inspektion der Uferbefestigung und zur Ermittlung digitaler Oberflächenmodelle der Gewässersohle durchgeführt. Für die Echolotmessungen, die dabei eingesetzt werden, gelten im Prinzip die gleichen Bedingungen wie für einen Laserscanner. Die Position (Trajektorie) des Messsystems muss zum Zeitpunkt der Tiefenmessung bekannt sein. Mit den Genauigkeitsanforderungen und dem Einsatz von RTKDGPS, das dafür geeignet ist, setzen sich Tietze/Schmitz (2000) auseinander. Letztlich führt auch für diese Aufgabe ein modulares System mit den Hauptmodulen GPS und Sonar zum Ziel (Döller/Köhler 1996).

8 Die Systeme KiSS® und MoSES

Seit Anfang der 90er Jahre beschäftigt sich die Arbeitsgruppe integrierte kinematische Vermessung (ikV) am Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München mit der Entwicklung von kinematischen Multi-sensorsystemen für die Vermessung von Einrichtungen der Verkehrsinfrastruktur. Ziel ist es dabei, durch den Einsatz modernster Sensoren und IT-Komponenten multifunktionale Messfahrzeuge zu realisieren, die im Verkehr mitschwimmen können, und die in einer einzigen Fahrt den Verkehrsweg, alle Objekte im Verkehrskorridor und alle sichtbaren Fahrwegeigenschaften erfassen und exakt georeferenzieren. Diese mit höchster Effizienz erfassten Daten können anschließend sukzessiv ausgewertet werden, um die in den Abschnitten 5, 6 und 7 beschriebenen Informationen abzuleiten.

Das erste Entwicklungsfahrzeug KiSS® (Kinematic Survey System) ist seit 1998 operabel (Caspary et al. 2000) und konnte in erfolgreichen Einsätzen seine Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen. Durch ständige Weiterentwicklung unter Nutzung der Fortschritte in der Mess- und Rechner-technik hat dieses Fahrzeug die angestrebte Robustheit, die für produktive Einsätze erforderlich ist, erreicht. Neben dem Einsatz für Messaufgaben dient es als Basis für die Erprobung neuer Komponenten für die Datenerfassung und Datenspeicherung und als Referenz für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit von low-cost Messsystemen.

Die Erfahrung, die mit dem KiSS® gemacht worden sind, haben zu dem Konzept für ein neues Messfahrzeug geführt, mit dem hinsichtlich der eingesetzten Sensoren, der Datenerfassung und der Auswertemodelle ein anderer Weg beschritten wurde. Dieses seit 2001 einsatzfähige Fahrzeug MoSES (Mobiles StraßenErfassungssystem), erfasst dieselben Daten wie das KiSS® wobei durch den Einsatz von zwei GPS-Antennen die Positionsgenauigkeit gesteigert werden konnte (Gräfe et al. 2001). Darüber hinaus ist durch die Integration eines Laserscanners in das Messfahrzeug eine wesentliche Erweiterung des Leistungsspektrums erreicht worden. Damit ist es nun möglich, auch die Fahrbahnebenheit, die Markierungen und Durchfahrtsprofile automatisch zu erfassen (Gräfe/Heister 2002). Mit diesen Messfahrzeugen kann ein großer Teil der Daten, die als Basis für die Informationssysteme in den Verkehrsbereichen benötigt werden, effizient gewonnen werden.

Bei der Einführung eines Informationssystems erfordert der Aufbau der Datenbasis bis 80 % der Gesamtkosten und den größten Anteil am Zeitbudget. Folglich ist der Einsatz wirtschaftlicher Erfassungsmethoden ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Die Inventur der Verkehrsinfrastruktur mit kinematischen Vermessungssystemen liefert eine vollständige, aktuelle und genaue Datenbasis. Der hohe Automatisierungsgrad dieses Verfahrens führt zu einer Produktivität, die mit konventionellen Messmethoden unerreichbar ist. Dadurch kann sowohl eine Reduk-

tion der Kosten der Datenerfassung erreicht als auch ein erheblicher Zeitgewinn erzielt werden.

Literatur

- Allmann, G.-D. und Salzmann, H.: DB-VIS – Das Videoinformationssystem der Deutschen Bahn. *Eisenbahningenieur* 51, 11, S. 32–39, 2000.
- BASt: Technische Prüfvorschrift für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen im Längs- und Querprofil, Teil 1. Entwurf 6/2001.
- Benning, W. und Aussems, T.: Mobile Mapping by a Car-Driven Survey System (CDSS). In: *Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, S. 367–374, Eisenstadt, 1998.
- Caspary, W., Heister, H., Klemm, J. und Sternberg, H.: Straßenaufnahme durch kinematische Vermessung. In: *Ingenieurvermessung 2000*, S. 304–310, Wittwer, Stuttgart, 2000.
- Döller, H. und Köhler, G.: Moderne Hydrographie auf der Donau mit Multi-Sensor Systemen. In: *Ingenieurvermessung* 96, B 11, Dümmler, Bonn, 1996.
- Driesch, E. und Braun, B.: Die Modellierung der Vermessungsdaten im OKSTRA. *Allg. Verm. Nachr.* 108, S. 305–310, 2001.
- Ebneter, F.: DfA-Datenbank für feste Anlagen – System der Anlagen-dokumentation und Tool für Projektierung bei der Schweizerischen Bundesbahn. *Eisenbahningenieur* 51, 2, S. 57–67, 2000.
- El-Sheimy, N. und Lavigne, M.: 3D GIS Data Acquisition Using GPS/INS/Video Mobile Mapping System. In: *Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, S. 375–380, Eisenstadt, 1998.
- FGSV: Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen (EEM-I 2001), Entwurf 2/2001.
- Gajdamowicz, K., Öhman, D., Andersson, K. and Rise, K.: Accuracy Evaluation of Mobile Mapping Technology for Acquisition of Position Related Information. In: *Optical 3-D Measurement Techniques V*, S. 153–164, Wien, 2001.
- Gilliéron, P.-Y., Skalond, J., Levet, Y. and Merminod, B.: A Mobile Mapping System for Automating Road Data Capture in Real Time. In: *Optical 3-D Measurement Techniques V*, S. 128–136, Wien, 2001.
- Goad, C. C.: The Ohio State University Highway Mapping System: The Positioning Component. *Proc. Institute of Navigation Conference*, S. 117–120, Williamsburg, 1991.
- Gräfe, G., Caspary, W., Heister, H. and Sever, M.: The Road Data Acquisition System MoSES – Determination and Accuracy of Trajectory Data Gained with the Applinax POS/LV. *Proc. 3rd Int. Symp. on Mobile Mapping Technology*, Cairo, 2001.
- Gräfe, G. und Heister, H.: Kinematischer Scannereinsatz. *zfv* (im Druck).
- Gründig, L. and Gielsdorf, F.: Digital Rail Network in Germany. In: *Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, S. 412–417, Eisenstadt, 1998.
- Heinz, I., Mettenleiter, M., Härtl, F., Fröhlich, C. and Langer, D.: 3-D Ladar for Inspection of Real World Environments. In: *Optical 3-D Measurement Techniques V*, S. 10–17, Wien, 2001.
- Heister, H., Caspary, W., Hock, Chr., Klemm, J., Sternberg, H.: KiSS a hybrid Measuring System for Kinematic Surveying. In: Linkwitz, K., Hangleiter, U. (Eds.): *High Precision Navigation 95. Proceedings of the 3rd International Workshop on High Precision Navigation*, University of Stuttgart, S. 561–568, 1995.
- Hultsch, R. und Zimmermann, J.: Erfassung von Gleisnetzinformationen. *Eisenbahningenieur* 49, 6, S. 35–36, 1998.
- Jacoby, H.: Funktionalität, Struktur und Nutzung des Geographischen Informationssystems der Deutschen Bahn AG (DB-GIS). URL: bauinf.tu-cottbus.
- Kahmen, H. und Retscher, G.: Gleisvermessung mit einem Multi-Sensorsystem und linearen Filterverfahren. *zfv* 122, S. 549–560, 1997.
- Kealy, A. N., Fraser, C., Leahy, F., Butcher, G. and Judd, M.: An Integration Methodology for Automating Railway Asset Management in Queensland, Australia. In: *Proc. 3rd Int. Symp. on Mobile Mapping Technology*, Cairo, 2001.
- Lapucha, D.: GPS/INS Trajectory Determination for Highway Surveying. In: *Kinematic Systems in Geodesy, Surveying and Remote Sensing*, S. 372–381, Springer, New York etc., 1990.
- Leahy, F. J. and Judd, A. M.: Precision of Models for Kinematic Positioning in Rapid Route and Facilities Mapping. *Proc. Mobile Mapping Technology Workshop*, 1–8, Bangkok, 1999.

- Nowak, K.: Integration von GPS und digitalen Kameras zur automatischen Vermessung von Verkehrswegen. Zeitsch. f. Photogr. u. Fernerk., S. 112–120, 1991.
- Oehler, J.: Intelligentes Inspektionssystem – Pilotprojekt Saalfeld. Eisenbahntechn. Rundschau 46, S. 185–190, 1997.
- Ramjattan, A.N. and Cross, P.A.: Integration of GPS and Dead Reckoning for Land Vehicle Navigation. Proc. 3rd Int. Conf. Land Vehicle Navigation, S. 165–172, Dresden, 1994
- Rechel, M.: Lasertechnik und INS: Ein System zur präzisen Gleisgeometriemessung. Eisenbahningenieur 46, S. 552–558, 1995.
- Schwarz, K.P.: Mobile Multi-Sensor Systems, Modelling and Estimation. In: Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, S. 347–360, Eisenstadt, 1998.
- Siems, E.: Ein neues Verfahren für die Absteckung und Kontrolle der Gleislage. Allg. Verm. Nachr. 100, S. 435–438, 1993.
- Sternberg, H. and Caspary, W.: Determination of Alignment Elements of Surveyed Routes for Geographical Informations Systems. In: Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, S. 359–364, Calgary, 1994.
- Sternberg, H., Caspary, W., Heister, H. and Klemm, J.: Mobile Data Capturing on Roads and Railways Utilizing the Kinematic Survey System KiSS. Proc. 3rd Int. Symp. on Mobile Mapping Technology, Cairo, 2001.
- Tietze, G. und Schmitz, M.: Anforderungen an die Ortung bei Sonarmessungen auf Binnengewässern. Hydrogr. Nachr. 56, S. 18–23, 2000.
- Wieser, M. and Bartelme, N.: Theory and Practice of Road Databases from the Geodetic Point of View with Respect to Austria. In: Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering. S. 418–425, Eisenstadt, 1998.
- Internetseiten (URL) Stand Januar 2002:**
www.bafg.de (Bundesanstalt für Gewässerkunde)
www.bast.de (Bundesanstalt für Straßenwesen)
www.bauinf.tu-cottbus.de/Education/GIS/data_0001/gis_db_ag.pdf.
www.baw.de (Bundesanstalt für Wasserbau)
www.elwis.bafg.de (Elektronisches Wasserstraßen-Informationssystem)
www.fgsv.de (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen)
www.nwsib.nrw.de (Straßeninformationsbank Nordrhein-Westfalen)
www.okstra.de (Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen)
www.wsv.de (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)
- Anschrift der Autoren**
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Caspary
Institut für Geodäsie
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 37
D-85577 Neubiberg
wilhelm.caspary@unibw-muenchen.de
- Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Hansbert Heister
Institut für Geodäsie
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 37
D-85577 Neubiberg
hansbert.heister@unibw-muenchen.de