

3D-Stadtmodellierung und Verkehrsraumerfassung mit Laservermessungstechnologie¹

Hartmut KRESS-LORENZ

Gerald ECKERT, Michael SCHAEFFER

1 Einleitung

Zu den Aufgaben von Kommunalverwaltungen gehört die Bestandsverwaltung von Verkehrsraum unter Verwendung von z.B. Schilderkatastern. Für alle Arten von verkehrsrelevanter Planung ist die zugrundeliegende Datenbasis über den existierenden Verkehrsraum von zentraler Bedeutung. Von besonderer Relevanz ist neben Vollständigkeit und räumlicher Genauigkeit auch die Aktualität der Daten. Eine Verifikation der Daten vor Ort ist teuer und zeitaufwändig und die Daten müssen in den Datenbestand eingepflegt werden. Durch den Einsatz eines integrierten Systems, welches die gesamte Kette von der Datenerfassung über die Verarbeitung bis zur Bereitstellung standort- und verkehrsbezogen attributierter Objekte in einer Datenbank umfasst, erübrigt sich die Beschaffung und Zusammenführung heterogener Daten. Eine solche Datengrundlage, welche die Beschilderung im Verkehrsraum beinhaltet, kann für viele Planungsanwendungen genutzt werden.



Abb. 1: Prototyp eines CityServer®-Aufnahmefahrzeuges mit 3D-Laser-Erweiterung

Die vorgenannten Eigenschaften werden von dem von der Tele-Info AG entwickelten Aufnahmesystem-Prototyp (Abb. 1) schon weitgehend erfüllt und führen dazu, dass die grundlegenden Daten für Verkehrsplanungs-Maßnahmen schneller, genauer, umfassender und dabei kostengünstiger als bisher erfasst werden können. Dabei konnte auf die Erfahrungen mit dem bereits seit vielen Jahren erfolgreich im produktiven Einsatz befindlichen Bildaufnahmesystems CityServer® zurückgegriffen und zusätzlich eine automatische Erfassung der verkehrsrelevanten Informationen im Straßenraum durch Vermessung, Modellierung und Georeferenzierung vermittels Laservermessungstechnologie integriert werden.

¹ Das vorliegende Verbundprojekt wird unter dem Förderkennzeichen KF 0346101 KJS1 von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert.

2 Aufnahmesystem

2.1 Bilddatenaufzeichnung

Unter dem Motto „*Vor Ort sein ohne vor Ort zu sein*“ ist das Ziel der CityServer®-Technologie die Bereitstellung von georeferenzierten Bilddaten als Ortsinformation und Planungsgrundlage für die Immobilien- und Bauwirtschaft, das Finanz- und Versicherungswesen und für Kommunalverwaltungen. Die Bildaufnahmetechnologie zeichnet sich dabei aus durch eine digitale Bildaufnahme mit bis zu 15 Kameras, eine komplette Rundumsicht um das Fahrzeug, ein Aufnahmeintervall von 25 Bilder/sec (bis zu 40 Bilder/sec sind später möglich) sowie eine Fahrgeschwindigkeit des Aufnahmefahrzeuges von bis zu 50 km/h, so dass ein störungsfreies „Mitschwimmen“ des Messfahrzeuges im normalen innerstädtischen Straßenverkehr gegeben ist.

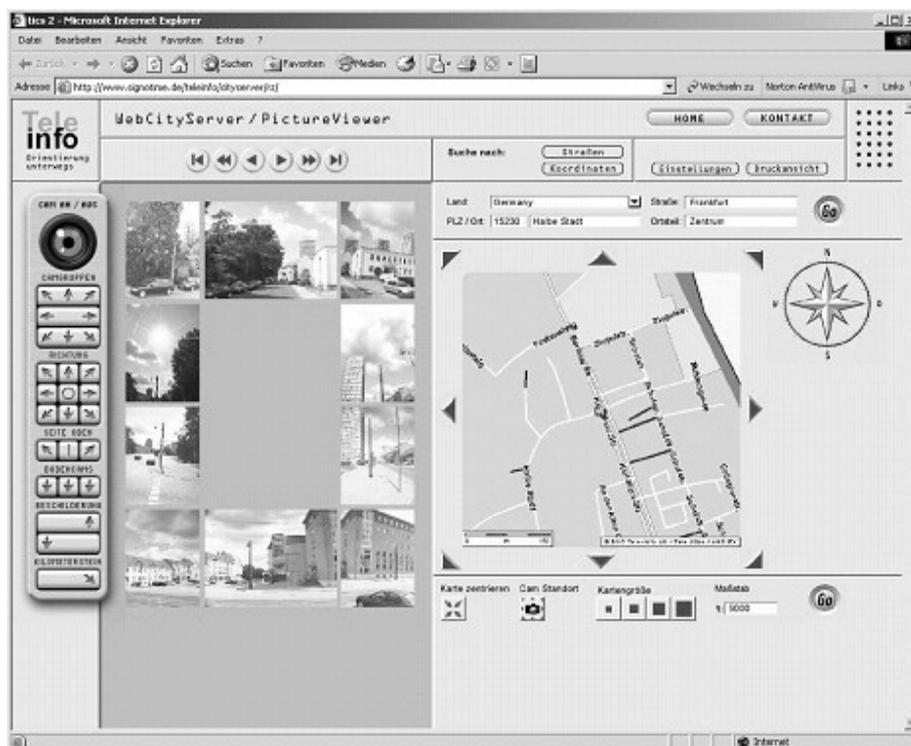


Abb. 2: WebCityServer® als Web-Browser basiertes Werkzeug

Die so gewonnenen Daten sollen Ortsbegehungen vom PC aus ermöglichen. Das Ziel ist dabei die Bereitstellung eines einfachen Werkzeuges (Abb. 2) für Kommunen etc. mit dem die dort üblichen Aufgaben unter Verwendung eines Standard-Web-Browsers ohne eine Ortsbegehung erledigt werden können. Die Aufgabe ist dabei in erster Linie die Integration

von Bilddaten aus der Straßenperspektive in GIS- und Kommunalverwaltungssoftware und die Herstellung des Raumbezuges von Straßenansichten zu digitalem Kartenmaterial.

2.2 Koppelnavigations-System

Das Koppelnavigationssystem besteht aus der Kombination eines differentiellen GPS- und GLONASS-Satellitennavigationssystem (DGNSS, L1) mit einem Inertialsystem zur Aufzeichnung von Lage und Richtung des Fahrzeuges (Abb. 3). Damit wird eine Lagegenauigkeit von +/- 2 m durch Einsatz einer Referenzstation erzielt.

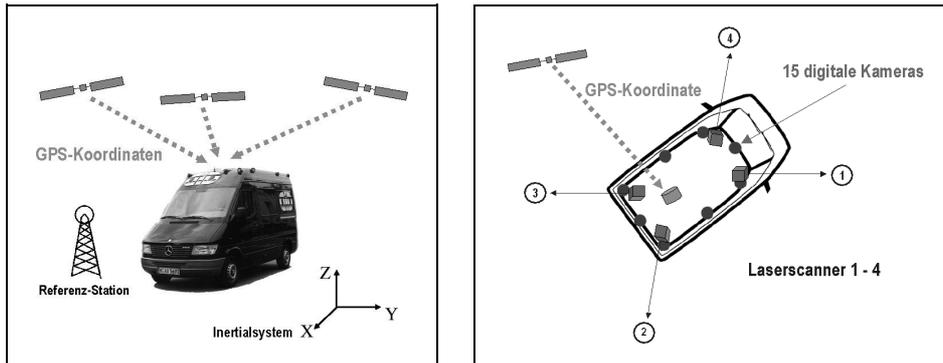


Abb. 3 u. 4: CityServer® Bildaufnahme-, GNSS- und Laser-Technologie

2.3 Lasertechnologie

Durch die Integration von vier Laserscannern für den Einsatz im Außenbereich in das schon bestehende CityServer®-Aufnahmesystem wird eine Ergänzung der Verfilmung des Verkehrsraumes durch eine 3D-Laservermessung ermöglicht (Abb. 4). Eine Erfassung des Verkehrsraumes bis zu einer Tiefe von 80 m ist durch die diagonale Anbringung der vier Laserscanner an den Ecken des Fahrzeuges im 45°-Winkel gewährleistet und resultiert in der Abbildung des Verkehrsraumes mit einer 3D-Modellgenauigkeit von 0–25 cm im verkehrsraumrelevanten Bereich von 0–20 m. Abb. 5 zeigt die Entfernungsabhängigkeit von Spotdurchmesser und –abstand bei 1° Winkelauflösung (gestrichelte schwarze Linie).

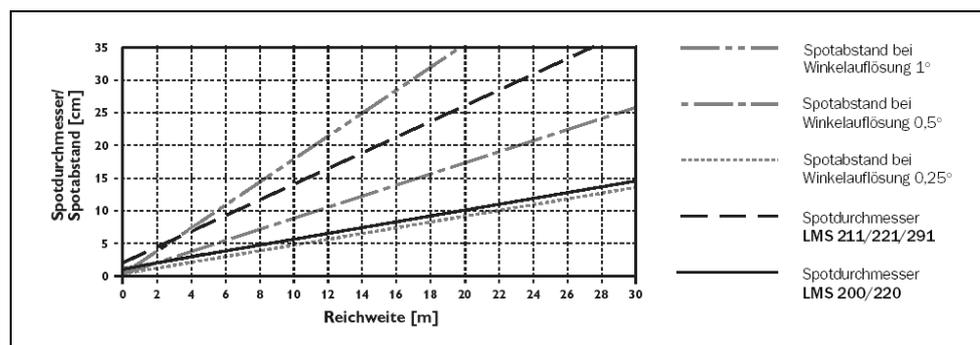


Abb. 5: Spotdurchmesser und Spotabstand bei Sick-Laserscanner LMS 221

3 Laserdatenauswertung

3.1 Objekterkennung in 3D

Das Ziel der Objekterkennung in 3D ist die automatische Erkennung ausgewählter Objekte in den Laserdaten und der Erhalt von Geopositionen für gesuchte Objekte. Die Vorgehensweise ist dabei zunächst die 3D-Dreiecksvermaschung der Laserscannerdaten, die Bildung und Zusammenfassung von Regionen und die Trennung von Hintergrund (Hausfassaden) und Vordergrund (verdeckende Objekte z.B. Bäume etc.). Danach erfolgt die Suche nach Dreiecken mit gleicher Ausrichtung und Orientierung im Raum (Abb.6).

Solche Dreiecke werden dann in einem Anwachsprozess (sog. Region-Growing) zu einer Objekt-Region zusammengefasst. Die Analyse dieser Regionen durch die Anwendung vereinfachender Objektbeschreibungen mit segmentierten und attribuierten Modellen führt dann zur Zuordnung von Regionen zu Objektklassen anhand von Form- und Oberflächeneigenschaften. Die so automatisch klassifizierten Objekte werden georeferenziert in einer Datenbank gespeichert (Abb. 7).

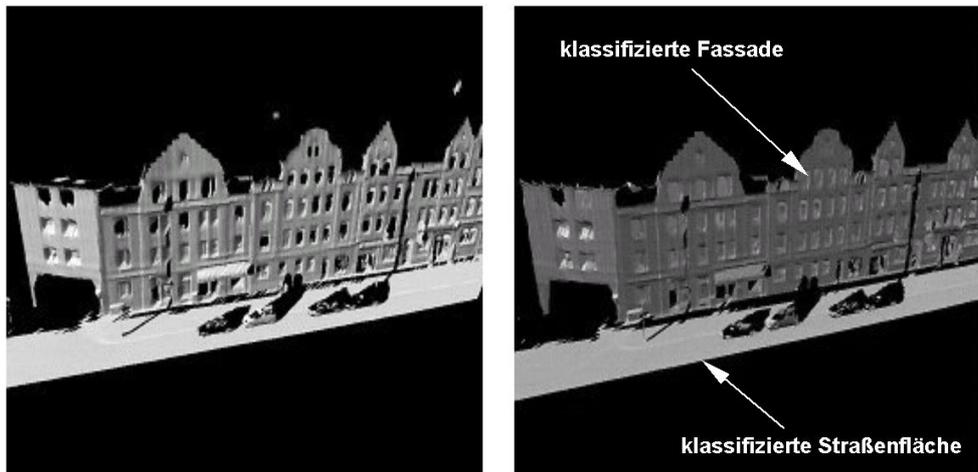


Abb. 6 u. 7: einfach dreiecksvermaschte und objektklassifizierte Hausfassade

Die Vorteile dieser Methode liegen in der Möglichkeit der Objektklassifizierung anhand geometrischer Formeigenschaften und der damit verbundenen Automatisierung des Verfahrens. Die Nachteile bestehen in aufwändigen und zeitintensiven Rechenalgorithmen.

Abb. 8 zeigt eine typische innerstädtische Verkehrssituation gefilmt mit der Frontkamera des Messfahrzeuges. Abb. 9 zeigt dieselbe Situation als vermaschtes 3D-Gittermodell bei dem verschiedene Objekte (Gebäude, Wände, Zäune, Fahrzeuge, Vegetation, Straßenlater-

nen, Schilder und Straßenoberflächen) automatisch detektiert und klassifiziert wurden. Die Umrisse und Positionen dieser Objekte werden automatisch mit differentieller GNSS-Genauigkeit georeferenziert.



Abb. 8 u. 9: Straßenzug im Bild der Frontkamera und als 3D-Laserdatenmodell

3.2 Schnelle Objekterkennung durch Bildverarbeitungsmethoden

Das Ziel ist auch hier die Erkennung von Objekten in Laserdaten und die Bestimmung der Geopositionen. Bei dieser Methode werden die Laserdaten jedoch nicht als 3D-Gitter behandelt sondern als Bildmatrix abgebildet. Objektentfernungen werden in Graustufen dargestellt, wobei helle Farben große und dunkle Farben geringe Entfernungen repräsentieren.

Auf diesen Bildern kann nun eine Analyse der Kontraste zwischen Vordergrund und Hintergrund von linienhaften Elementen im Bild vorgenommen werden. Dies geschieht auf folgende Weise: Die als 2D-Matrix vorliegenden Laserdaten werden zunächst nach Tiefensprüngen gefiltert. Danach erfolgt eine Aufteilung nach Regionen und eine weitere Anwendung von objektspezifischen Filterkriterien. Die übrig bleibenden Regionen sind Objektkandidaten und werden mit mittlerer Geoposition und zugehörigem Videobild ausgegeben.

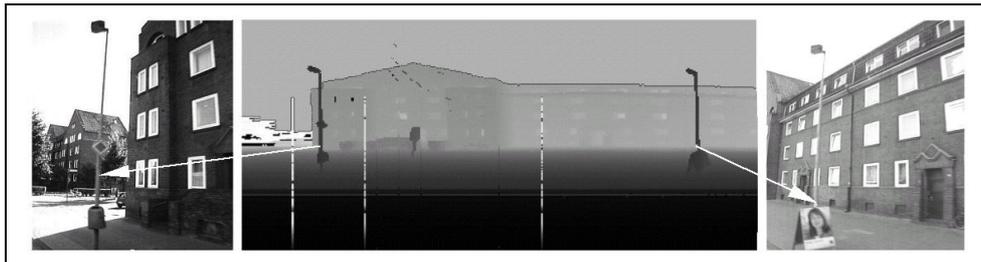


Abb. 10: Zuordnung korrespondierender Videobilder zu linienhaften Elementen

So können Regionen im Laserdatenbild bestimmt werden, die potentielle Verkehrszeichenträger repräsentieren. Dies sind i.d.R. Straßenlaternen, Signalanlagen und Pfosten ganz allgemein. Danach ist eine gezielte Überprüfung der semantischen Bedeutung des Verkehrszeichens an Hand des zugehörigen Videobildes möglich (Abb. 10). Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der schnellen Auswertung, die durch Verwendung von Bildverarbeitungsmethoden direkt auf den Eingangsdaten vorgenommen werden kann. Damit ist eine ca. 10–20 mal schnellere Auswertung als bei der herkömmlichen 3D-Methode möglich.

4 Verkehrszeichenerkennung

Die bisherigen Schritte des Verfahrens führten zur vollautomatischen Bestimmung potentieller Verkehrszeichenträger mit gleichzeitiger Festlegung der Geoposition. Der nächste Schritt ist nun die Bestimmung der semantischen Bedeutung des Verkehrszeichens. Hier ist zwischen halbautomatischen und vollautomatischen Verfahren zu unterscheiden, wobei zunächst ein halbautomatisches Verfahren realisiert wurde. Ein vollautomatisches Verfahren ist für eine spätere Entwicklungsstufe vorgesehen.

Beim halbautomatischen Verfahren werden einem Bearbeiter am Bildschirm die vollautomatisch detektierten potentiellen Schilderkandidaten angezeigt (Abb. 11). In einem Menüfeld stehen alle möglichen Verkehrszeichen zur Auswahl und er kann nun per Knopfdruck das entsprechende Zeichen oder eine allgemeine Beschreibung wie z.B. Straßenlaterne oder Signalanlage auswählen. Auch Kombinationsbeschreibungen wie z.B. „Vorfahrtszeichen an Straßenlaterne“ sind möglich. Durch die Auswahl erfolgt die Speicherung des Verkehrszeichens einschließlich Georeferenz und weiterer Attribute (z.B. Objekthöhe) in eine Datenbank und das System zeigt den nächsten potentiellen Verkehrszeichenträger-Kandidaten an.

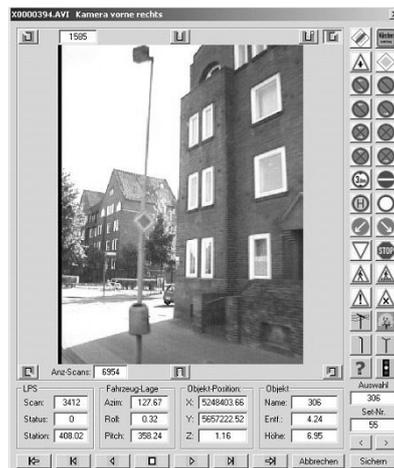


Abb. 11: Maske der Bearbeitungssoftware zur manuellen Eingabe der Verkehrszeichen

So kann eine abgefahrne Strecke ohne geschultes Fachpersonal und ohne sonst übliche Ortsbegehung sehr effektiv an einer Arbeitsstation bearbeitet und ein Schilderkataster erstellt oder aktualisiert werden. Die Vorteile eines solchen Systems bestehen also in der effektiven automatische Datenaufzeichnung in einem Zuge mit dem Aufnahmefahrzeug, einer schnellen Datenanalyse durch Bildverarbeitungsmethoden und einer einfachen Auswertung ohne den Einsatz von Fachpersonal. Das vorgestellte System eignet sich damit sehr gut zur effizienten Erstellung von Schilderkatastern.

Die automatisch georeferenzierten Positionen der Verkehrszeichen haben bei dem bisher eingesetzten Systemprototyp eine absolute Lagegenauigkeit von ± 2 m. Dies lässt sich sehr gut anhand eines Straßenbauungsplanes demonstrieren, in dem die vom System automatisch bestimmten Positionen von Verkehrszeichenträgern (Straßenlaternen, Signalanlagen, Pfosten) als schwarze Kreuze eingezeichnet wurden (Abb. 12). Sie überlagern mit akzeptabler Genauigkeit die im Straßenbauungsplan vermessungstechnisch bestimmten Positionen. Das System ist also in der Lage die geodätischen Positionen von Verkehrszeichenträgern und anderen Objekten mit der Genauigkeit des zur Verfügung stehenden Satellitenpositionierungssystems automatisch zu bestimmen und darzustellen.

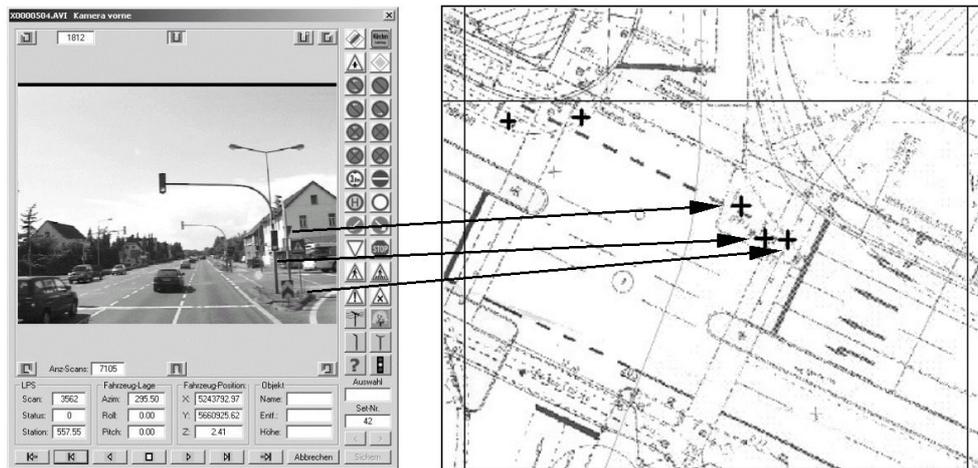


Abb. 12: Zuordnung georeferenzierter Schilderpositionen im Straßenbauungsplan

5 Zusammenfassung und Ausblick

Bei Kommunalverwaltungen und Städten besteht großes Interesse an automatischen Verfahren zur Erstellung von Schilderkatastern, da z.B. in NRW im Rahmen des „Neuen Kommunalen Finanzmanagement“ (NKF) die Kommunen zur Bestandsaufnahme und Bewertung der verkehrsrelevanten „Straßenmöblierung“ verpflichtet sind. Die bisherigen Erfahrungen mit dem entwickelten Aufnahmesystem zeigen eine hohe Übereinstimmung

der aufgezeichneten und bestimmten Positionen mit den nach herkömmlichen Vermessungsmethoden festgelegten Standorten von Verkehrszeichenträgern.

Das Aufnahmesystem ist geeignet zur kostengünstigen Erfassung von Geo-Objektdaten, insbesondere zur Verkehrsraumerfassung und Registrierung von Verkehrszeichen. Eine 3D-Modellgenauigkeit von 5–25 cm im verkehrsraumrelevanten Bereich von 0-20 m lässt sich mit der Aufnahmetechnologie erzielen. Die absolute GNSS-Lagegenauigkeit beträgt bei dem entwickelten Prototypen ± 2 m bei Einsatz eines GPS/GLONASS L1-Empfängers.

Für das im Aufbau befindliche Produktionsfahrzeug der 2. Generation soll die GNSS-Lagegenauigkeit der 3D-Laserdatenmodellgenauigkeit angepasst werden. Daher wird eine Lagegenauigkeit von ± 25 cm mit einem GPS/GLONASS L1/L2-System mit Trägerphasenglättung und mobiler Referenzstation bzw. Inanspruchnahme eines Korrekturdatendienstes (z.B. SAPOS) angestrebt.

Die durchgeführten Testfahrten lassen erwarten dass eine Erfassung von Verkehrszeichen im halbautomatischen Verfahren von besser als 95% möglich ist. Darüberhinaus ist ein vollautomatisches Verfahren zur Positionserfassung und Bestimmung der semantischen Bedeutung von Verkehrszeichen durch die automatische Suche nach charakteristischen Verkehrszeichenformen in den Laserdaten und entsprechenden Verkehrszeichenmustern in den Bildern einer Bildsequenz in Planung.

Bis Mitte 2004 soll die Serienreife des Systems erreicht werden, am Aufbau der neuen Generation von Aufnahmefahrzeugen wird bereits gearbeitet.

6 Literatur

- Franke, A. et. al. (1999): *Autonomous Driving approaches Downtown*. IEEE Intelligent Systems, Vol. 13, Nr. 6
- Gavrila, D.M. (1999): *Traffic Sign Recognition Revisited*. Proc. of the 21st DAGM Symposium für Mustererkennung, pp. 86-93
- De Micheli, E. & R. Prevete, G. Piccioli, M. Campani (1995): *Color cues for traffic scene analysis*. Proc. of the Intelligent Vehicles '95 Symposium, pp. 466-471
- Stamos, I. & P.K. Allen (2001): *Automatic registration of 2-D with 3-D imagery in urban environments*. Proc. of the Int. Conference on Computer Vision (ICCV 2001)
- Teller, S. (1998): *Toward Urban Model Acquisition from Geo-Located Images*. Proc. of Pacific Graphics'98, pp. 45-52
- Wübbena, G. (2002). *Zur großräumigen Vernetzung von GNSS-Referenzstationen*. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland AdV, 4. SAPOS Symposium - SAPOS verbindet ..., 21.-23. Mai 2002, Hannover, S. 139-148.
- Wübbena, G., A. Bagge, M. Schmitz (2000). *GPS-Referenznetze und internationale Standards*. Vorträge des [3. SAPOS-Symposium](#) der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 23.-24. Mai 2000, München, Germany, S. 14-23.

- Wübbena, G., A. Bagge (1997). *Neuere Entwicklungen zu GNSS-RTK für optimierte Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit: Referenzstationsnetze und Multistations-RTK-Lösungen*. DVW-Seminar GPS-Praxis und Trends '97, 29.9.-1.10.1997, Frankfurt/M., DVW Schriftenreihe 35/1999, Verlag Konrad Wittwer, S. 73-92.
- Wübbena, G., A. Bagge (1995). *Präzises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen*. Beitrag zum DVW-Praxisseminar DGPS-Anwendungen, 19.-20. September 1995, Hamburg.
- Zhao, H. & R. Shibasaki (2000): *Reconstruction of Textured Urban 3D Model by Ground-Based Laser Range and CCD Images*. IEICE Trans. Inf.&Syst., vol.E83-D, No.7, pp. 1429-1440