

Der neue Lichtraummesszug LIMEZ III der Deutschen Bahn AG*

Holger Wirth

Zusammenfassung

Die Erfassung von Lichtraumengstellen, d. h. von Objekten, die in den standardmäßig freizuhaltenden Raum über und neben dem Gleis hineinragen, ist eine typische Aufgabe der Deutschen Bahn AG zur Erhebung von sicherheits- und transportrelevanten Infrastrukturdaten. Das THelix-Konsortium hat im Auftrag der DB AG den neuen Lichtraummesszug LIMEZ III entwickelt, der als Multisensorsystem die Lokalisierung, Erfassung und Dokumentation der Engstellen mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h ermöglicht. Die bisher notwendigen Streckensperrungen für derartige Vermessungsarbeiten gehören damit der Vergangenheit an. Neueste High-End-Laserscannertechnik, digitale Photogrammetrie und Navigationsmethoden ermöglichen eine lückenlose und präzise Datenaufnahme und machen das Messsystem weltweit einzigartig. Der vorliegende Artikel beschreibt die Systemarchitektur des Messzuges und die Auswertung der verschiedenen Messdaten.

Summary

A typical and important task of the infrastructure data management of the Deutsche Bahn AG is the localization of all clearance obstacles, i. e. objects that extend into the space around the tracks which is usually to be kept free. On behalf of Deutsche Bahn AG the THelix consortium has developed the new measurement train LIMEZ III. The mission of this train is the detection, acquisition and documentation of these objects nearby the rails which disturb the defined clearance profile and which are thus relevant for safety of transportation. The LIMEZ III enables measurements with a speed of up to 100 km/h. Blocking of lines for measurements is not necessary anymore – an important advantage for the operator. Newest high-end laser scanning technologies, digital photogrammetry and navigation methods provide a complete and precise data acquisition and lead to a worldwide unique multi-sensor measurement system. This article describes the architecture of the measurement train and the different data evaluation methods.

* Überarbeitete Fassung des gleichnamigen Vortrags beim 74. DVW-Seminar »Terrestrisches Laserscanning (TLS 2007)« am 5. und 6. Dezember 2007 in Fulda. Die Beiträge zum Seminar sind als Band 53 in der Schriftenreihe des DVW erschienen und können beim Wißner-Verlag bestellt werden. Weitere Informationen siehe Rückseite innen in dieser zfv.

1 Lichtraummessung bei der Deutschen Bahn AG

Die Kenntnis aktueller und vollständiger Infrastrukturdaten über ihr Streckennetz gewinnt für die Deutsche Bahn AG zunehmend an Bedeutung. Ausländische Fahr-

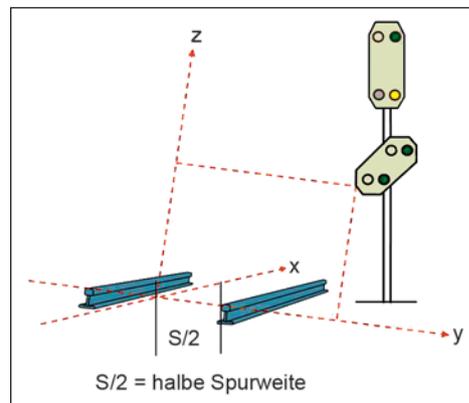


Abb. 1: Gleiskoordinatensystem

zeuge und große Transporte können nur nach Prüfung des Lichtraums für die zu befahrenden Strecken, einer sogenannten Fahrwegsimulation, freigegeben werden. Unter Lichtraum versteht man den freizuhaltenden Raum rund um das Gleis, der mittels einer Profilkontur beschrieben wird. Als Bezugssystem für alle Objekte, die den Lichtraum verletzen, also in das vorgegebene Profil hineinragen (sog. Lichtraumengstellen), wird das Gleiskoordinatensystem verwendet, dessen Nullpunkt in der Mitte der beiden Schienen eines Gleises liegt (Abb. 1).

1.1 Das Vorgängermodell LIMEZ II

Die Erfassung von Lichtraumengstellen ist für die Deutsche Bahn AG keine neue Aufgabe. Neben einer Vielzahl von manuellen Messverfahren wurden hierfür in der Vergangenheit verschiedene Messzüge eingesetzt; zuletzt das Vorgängermodell des im folgenden beschriebenen neuen Messzuges LIMEZ III, der LIMEZ II, der Anfang 2005 außer Dienst gestellt wurde.

Der LIMEZ II war nicht mehr in der Lage, den gestiegenen Anforderungen gerecht zu werden. Insbesondere die Messgeschwindigkeit von max. 30 km/h ließ einen ordnungsgemäßen Betrieb im vielbefahrenen Netz der Deutschen Bahn AG nicht mehr zu, da für die Messfahrt aufgrund der geringen Geschwindigkeit die Strecke zu lange blockiert wurde. Für den neuen Messzug wurde deshalb eine Messgeschwindigkeit von 100 km/h gefordert, um im laufenden Verkehr »mithalten« zu können.

Die Erfassung der Lichtraumengstellen erfolgte beim LIMEZ II über ein Stereo-Photogrammetrie-Messsystem. Der Messzugleiter musste dabei während der Fahrt entscheiden, wann eine Bildaufnahme ausgelöst werden sollte. Die Abhängigkeit vom menschlichen Reaktionsvermögen war u. a. ein Grund für die geringe Messgeschwindigkeit. Sie führte weiterhin zu Fehltaufnahmen, wenn sich bei der späteren Offline-Auswertung der Messbilder herausstellte, dass das Objekt den Lichtraum gar nicht verletz, oder aber Objekte wurden nicht aufgenommen, obwohl sie hätten aufgemessen werden müssen. Um die Vollständigkeit der Datenaufnahme zu garantieren, d. h. zu prüfen, ob kein Objekt vergessen wurde, musste anhand von Videoaufnahmen die gesamte Fahrtstrecke nachträglich untersucht werden. Falls hierbei ein bislang nicht berücksichtigtes Objekt detektiert werden konnte, wurde eine nachträgliche manuelle Vermessung angestoßen.

Eine wichtige Forderung für die neue Generation des Messzugs war somit die vollständige und automatisierte Erfassung der Strecke ohne Eingriff eines Benutzers während der Messfahrt.

1.2 Anforderungen an die Lichtraummessung

Die prinzipiellen Anforderungen an die Lichtraummessung haben sich seit dem LIMEZ II nicht geändert. Die Lichtraumengstellen sollen berührungslos erfasst werden. Die Genauigkeit der Messung – bezogen auf das Gleiskoordinatensystem – wird mit 2 cm (3σ) gefordert. Der Messbereich ist rechts und links der Gleisachse jeweils 3 m breit und 5 m hoch. Allerdings soll ein erweiterter Bereich rechts und links bis zu 8 m ebenfalls erfasst werden. Für diesen erweiterten Bereich gelten jedoch nicht die strengen Genauigkeitsforderungen der Lichtraumengstellen.

Neben der Erfassung der Objekte in ihrer relativen Lage zur Gleisachse ist die Kenntnis der Lage des Objekts entlang der Strecke von enormer Bedeutung. Die Deutsche Bahn AG verwendet zur Lagedefinition und Lokalisierung ein System aus Streckennummer und Kilometerangaben bzw. ein Knoten-Kanten-Modell. Die zu erfassenden Lichtraumengstellen müssen somit final in diesem System »verortet« sein. Die geforderte Genauigkeit für diese Verortung beträgt 0.1 m.

Für die Durchführung von späteren Fahrwegsimulationsberechnungen ist weiterhin die Kenntnis der Spurweite und der Überhöhung sowie der Trajektorie (Koordinaten, einschl. Radius und Gradienten) erforderlich. Eine nicht sehr einfach zu erfüllende Forderung betrifft darüber hinaus den Abstand des befahrenen Gleises zum Nachbargleis.

Der Messzug soll in der Lage sein, die dargestellten Parameter auf der gesamten Wegstrecke in Intervallen von jeweils 2 m zu ermitteln.

Neben den beschriebenen Genauigkeiten wird der Betrieb der auf dem Zug befindlichen Messsysteme bei Tag und Nacht und zu allen Jahreszeiten gefordert. Sämtliche Messsysteme müssen dementsprechend »outdoor«-tauglich sein und auf einem sich bewegendem Fahrzeug unter Berücksichtigung der auftretenden Kräfte, Beschleunigungen und Vibrationen zuverlässig arbeiten.

2 Das Systemkonzept des LIMEZ III

Die Entwicklung des LIMEZ III wurde seitens der Deutschen Bahn AG europaweit ausgeschrieben. Das Bieterkonsortium THelix, bestehend aus der FTI Engineering Network GmbH aus Dahlewitz (verantwortlich für Projektmanagement, Infrastruktur und Verortungssysteme), dem Fraunhofer Institut Physikalische Messtechnik aus Freiburg (verantwortlich für alle Lasermesssysteme) und der Metronom Automation GmbH aus Mainz (verantwortlich für die Videosysteme, das Kontrollsystem onboard, Datenhandling und Auswertesoftware) hat das Vergabeverfahren für sich entscheiden können und wurde mit der Entwicklung und dem Bau des neuen Lichtraummesszuges LIMEZ III im Juli 2005 beauftragt. Ein entsprechendes Trägerfahrzeug wurde von der Deutschen Bahn AG bereitgestellt, die auch die Aktualisierung der Fahrzeugtechnik und den Innenausbau übernahm.

Das Systemkonzept des LIMEZ III (Abb. 2 und 3) beruht im Wesentlichen auf dem Einsatz neuester Lasermesstechnik. Herzstück ist dabei ein Profilschanner, der mittels sehr schneller Abstandsmessung und entsprechender Rotation des Messstrahls die Umgebung punktwise digitalisieren kann.

Aufbauend auf dieser Technik wurde eine Trägerstruktur definiert, die vor dem Fahrzeug montiert wurde. Auf diesem Trägerrahmen sitzen zwei Laserscanner-Einheiten übereinander. Für die Ergänzung der Profilmessung

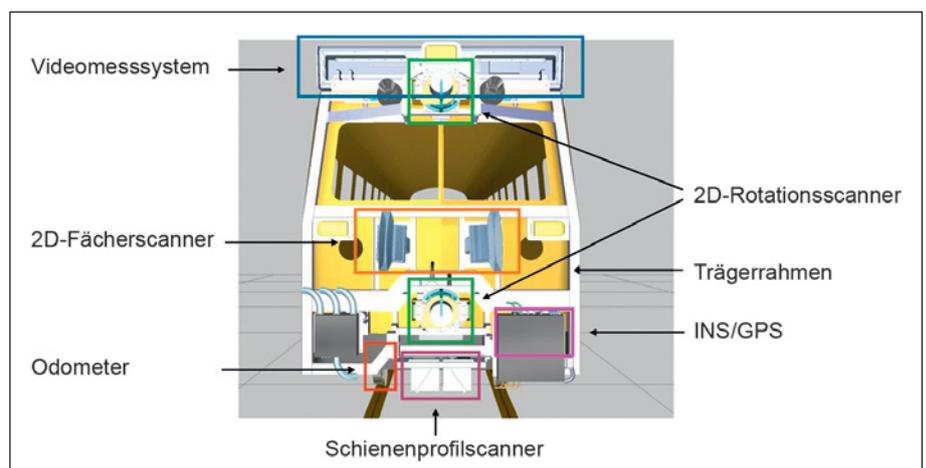


Abb. 2: Messsysteme auf Trägerrahmen

wurde ein Videomesssystem konzipiert, das die Möglichkeit bietet, im Stereomodell nachträgliche Messungen auszuführen. Zwei zusätzliche Farbkameras dokumentieren den Streckenverlauf zur Unterstützung der Offline-Auswertung.

Der Trägerrahmen ist schwingungsgedämpft mit dem Fahrzeug verbunden und kann sich somit relativ zum Gleis bewegen. Um diese Bewegungen rechnerisch eliminieren zu können, wurde am unteren Teil des Rahmens ein Schienenerkennungssystem (Schienenprofilscanner) installiert. Damit können alle Messungen der verschiedenen, auf dem Trägerrahmen installierten Systeme auf



Abb. 3: LIMEZ III

das Gleiskoordinatensystem referenziert werden. Gleichzeitig wird hiermit die Spurweite ermittelt.

Für die Herstellung des globalen Lagebezugs wurde ein nichtangetriebenes Rad des Fahrzeugs mit einem Odometer mit einer Auflösung von 2 mm ausgestattet, um die zurückgelegte Fahrtstrecke genau zu erfassen. Weiterhin werden mit Hilfe der Odometer-Inkrementen alle Messsysteme getriggert und dadurch die Datenerfassung hochgenau synchronisiert. Diese Lösung hat weiterhin den Vorteil, dass die Datenaufnahme nur dann erfolgt, wenn sich das Fahrzeug bewegt und folglich eine unnötige redundante Registrierung der Messdaten bei Stillstand vermieden wird.

Ein GNSS-System, welches in der Lage ist, GPS- und GLONASS-Signale zu empfangen, und ein präzises Inertiales Navigationssystem (INS) auf Basis von Laserkreiseln gehören ebenfalls zur Ausstattung des Fahrzeugs und dienen zur Messung der Trajektorie und der entsprechenden Raumwinkel.

Die Grundidee dieses Aufbaus ist es somit, die gesamte Streckenumgebung zu scannen, in Form von Videos aufzunehmen und dabei auch immer den Ortsbezug herstellen zu können. Die Auswertung der Daten erfolgt primär offline im Büro, obgleich eine erste Engstellendetektion auch online auf dem Fahrzeug erfolgen kann.

Nach der Vorstellung des Systemkonzepts soll im Nachfolgenden detailliert auf die einzelnen Systemkomponenten eingegangen werden.

2.1 2D-Rotationsscanner

Bei den 2D-Rotationsscannern (Abb. 4) handelt es sich um eine Spezialentwicklung des für alle Lasersysteme onboard des LIMEZ III verantwortlich zeichnenden Fraunhofer Instituts Physikalische Messtechnik aus Freiburg. Die Scanner wurden speziell für den Außeneinsatz auf einem Fahrzeug optimiert. Zwei Scannereinheiten sind auf dem Trägerrahmen installiert. Jede Scannereinheit enthält einen um 45° geneigten, rotierenden, doppelseitigen Spiegel, der dazu dient, Laserstrahlen von beiden Seiten abzulenken. Durch dieses patentierte Verfahren

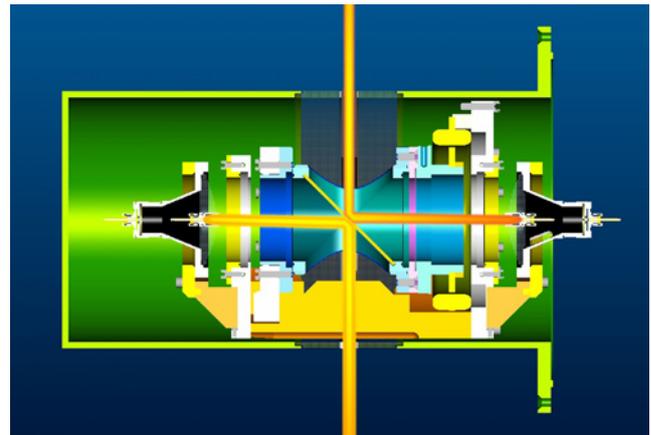


Abb. 4: Rotationsscanner mit doppelter Lasereinheit

können mit einer Rotationseinheit zwei Profile gleichzeitig gemessen und dadurch die Messfrequenz verdoppelt werden. Die Entfernungsmesseinheiten ermöglichen eine Streckenmessung mit einer Messrate von ca. 1 MHz. Abhängig von der Rotationsgeschwindigkeit können damit bis zu 1110 Profile pro Sekunde erfasst werden. Bei einer Fahrzeugbewegung von 100 km/h ergibt sich daraus ein Profilabstand von 25 mm. Jedes Profil kann aus bis zu 3600 Punkten bestehen, da die Winkelauflösung 0.1° beträgt. Die Streckenmessgenauigkeit liegt bei Strecken bis 5 m bei 6 mm und bei Strecken bis 10 m bei < 10 mm (1σ). Durch Bewegung des Fahrzeugs in Fahrtrichtung entsteht folglich eine vierfache »Abtastschraube« (Helix), die online zu entsprechenden Profilen verarbeitet wird, wobei eine erste Datenfilterung nicht relevante Informationen (z.B. Punkte außerhalb des Erfassungsbereichs) verwirft. Um die enorme Datenmenge zu reduzieren, werden weiterhin online jeweils vier Profile zu einem Sammelprofil zusammengefasst und nur dieses Profil wird abgespeichert.

Eine Besonderheit des Laserscannersystems ist neben seinen messtechnischen Fähigkeiten die einzigartige Kapselfelgung des Rotationsspiegels. Dazu ist eine spezielle Glasabdeckung entwickelt worden, die die Messeinheit zur Außenwelt abdichtet. Das Glas wird durch ein automatisches Reinigungssystem periodisch gesäubert, um eine Beeinträchtigung der Messung durch Verschmutzung zu vermeiden.

2.2 Videomess- und -dokumentationssystem

Obwohl die Messrate der Scannereinheiten extrem hoch ist und eine gigantische Menge an Messpunkten generiert wird, reicht das System leider nicht aus, sämtliche lichtraumtechnisch relevanten Objekte zu erfassen. Schmale Objekte wie z.B. Schilder mit einer Tiefe von wenigen Millimetern könnten in die Abtastlücke der Scanner fallen und die Vollständigkeit der Erfassung wäre nicht gegeben. Um diese Lücke zu schließen, wurde ein zusätzliches System auf Basis von Messkameras auf dem Trägerrahmen installiert. Das sogenannte Video-

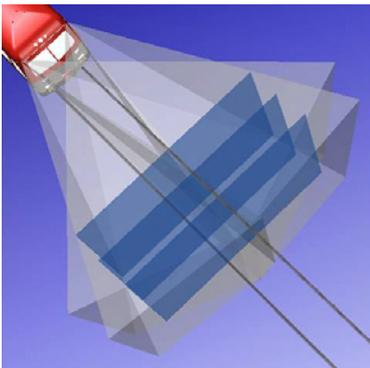


Abb. 5:
Aufnahmeconfiguration des Videomesssystems

messsystem für photogrammetrische Auswertungen im Stereomodell besteht aus vier digitalen S/W-Kameras mit jeweils einer Auflösung von zwei Megapixel. Je zwei Kameras sind auf identische Bildbereiche ausgerichtet und sitzen jeweils rechts und links auf einer Trägerstruktur aus drei Kohlefaserstäben. Damit soll die relative Orientierung der Kameras dauerhaft stabil gehalten werden, die anhand einer Passpunkt wand, die am Heimatbahnhof des Fahrzeugs eingerichtet wurde, periodisch bestimmt bzw. überprüft werden kann (Abb. 5).

Eine digitale Farbkamera mit ebenfalls zwei Megapixel Auflösung und weitwinkligem Objektiv dient zur Dokumentation des Streckenverlaufs und soll u. a. die Auswertung der Laserscannerdaten unterstützen. Eine zweite Farbkamera ist am anderen Ende des Fahrzeugs installiert, so dass es immer Bilder in Fahrt- und Gegenrichtung gibt. Damit wird gewährleistet, dass – unabhängig von der Bewegungsrichtung des Fahrzeugs – Schilder bei der späteren Auswertung identifiziert bzw. gelesen werden können. Die S/W-Aufnahmen werden alle 2 m gefahrene Wegstrecke ausgelöst, die Farbaufnahmen alle 4 m.

Eine Fahrzeuggeschwindigkeit von 100 km/h entspricht ca. 28 m/s. Um die Bewegungsunschärfe bei diesen Geschwindigkeiten zu minimieren, muss dementsprechend mit sehr geringen Belichtungszeiten gearbeitet werden ($< 1/1500$ s). Die Blende sollte ebenfalls sehr klein sein, um eine hinreichende Schärfentiefe zu gewährleisten. Diese Randbedingungen führen zu der Forderung nach einer entsprechenden Beleuchtungssituation, die bei Tag und Nacht sowie bei freier Strecke und im Tunnel die Aufnahme von qualitativ hochwertigen Bildern gestattet. Aus diesen Gründen wurde eine aktive Beleuchtung

vorgesehen, die im nahen Infrarot-Bereich arbeitet. Eine Beleuchtung im für den Menschen sichtbaren Lichtfrequenzband schließt sich aus, da damit z. B. entgegenkommender Verkehr oder Passagiere am Bahnsteig extrem geblendet werden könnten. Die notwendige Beleuchtungsstärke wird durch spezielle Infrarot-LEDs, die als mit den Kameras synchronisierte Blitzeinheit im Pulsbetrieb betrieben werden, erreicht. Um den sehr unterschiedlichen Beleuchtungssituationen gerecht zu werden, wurde weiterhin ein besonderer adaptiver Belichtungssteuerungssensor entwickelt.

2.3 Schienenprofilscanner

Zur Referenzierung der verschiedenen Messelemente der einzelnen Systeme auf dem Trägerrahmen auf das Gleiskoordinatensystem dient ein Schienenprofilscanner – befestigt am unteren Teil des Rahmens – auf Basis von zwei Laserlinien-Triangulationssensoren, die in einem gemeinsamen Gehäuse fest zueinander installiert sind. Die beiden Schienenköpfe werden mit einer dünnen Laserlinie signalisiert. Eine Kamera, die in einem definierten und

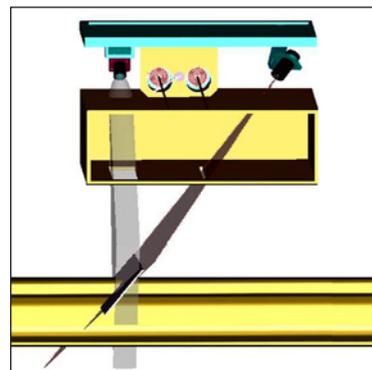


Abb. 6:
Prinzip des Schienenprofilscanners

bekanntem Blickwinkel die Laserlinie abbildet, liefert automatisch auszuwertende Bilder, aus denen die Lage des Schienenkopfes in Relation zum Messsystem mit einer Genauigkeit von 1 mm ermittelt werden kann. Eine besondere Anforderung an das Systemdesign ergibt sich aus der exzentrischen Position des Trägerrahmens in Bezug zum Drehgestell des Fahrzeugs. Der Messbereich des Systems muss bei Kurvenfahrten und bei Wankbewegungen des Fahrzeugs entsprechend groß sein, um die Schienen zu jedem Zeitpunkt erfassen zu können (Abb. 6).

2.4 INS/GNSS-System

Jede detektierte Engstelle muss im bahneigenen Koordinatenrahmen bekannt sein, um sie später in der Örtlichkeit wieder auffinden bzw. identifizieren zu können. Durch die Zuordnung der Engstelle zu einer Strecke wird weiterhin auch definiert, wer für das Objekt bahntern verantwortlich ist.

Eine automatisierte Herstellung des Streckenbezugs ist durchaus keine triviale Aufgabe. Bei anderen Messfahrzeugen wird dazu die Streckennummer bei Start der Messung eingegeben und ein Operator erzeugt manuell während der Fahrt beim Passieren der Hektometertafeln entsprechende Synchronisierungssignale. Eine andere Möglichkeit besteht darin, diese Signale nachträglich durch Betrachtung von Videobildern zu erzeugen. Beide Verfahren sind arbeitsaufwändig und fehlerträchtig.

Für den LIMEZ III wurde nach einer Möglichkeit gesucht, eine zuverlässige Zuordnung im Knoten-Kanten-Modell automatisiert herzustellen. Für diesen Zweck wurde ein kombiniertes INS/GNSS-System auf dem Trägerrahmen installiert, mit dem es möglich ist, für jedes aufgenommene Profil eine Koordinate im ETRF89 bzw. DB_REF zu bestimmen sowie die drei Raumwinkel des Fahrzeugs auszugeben. Das INS/GNSS wurde vom LIMEZ II übernommen und seitens der Hersteller auf den aktuellen Stand der Technik gebracht. Es handelt sich um einen L1/L2-Receiver von Javad und um ein Inertiales Navigationssystem der Fa. IMAR auf Basis von Ringlaserkreisen (Auflösung 0.0003° , Random Walk $<0.003^\circ/\sqrt{h}$, Datenrate 1000 Hz).

2.5 2D-Fächerscanner / Weitsichtscanner

Bei der nachträglichen Auswertung der Messdaten müssen vom Rotationsscanner nicht erfasste Objekte unter Einsatz der Bilddaten des Videomesssystems photographisch nachdigitalisiert werden. Um das Auffinden dieser Objekte im Datenstrom zu erleichtern, wurde ein zusätzliches Messsystem auf dem Trägerrahmen installiert. Es besteht aus zwei Laserscannern der Fa. Sick, die schräg nach vorne ausgerichtet sind und fächerförmig abtasten. Anhand der Messdaten dieser Weitsichtscanner kann durch Korrelation mit den Messdaten der Rotationsscanner entschieden werden, ob ein Objekt in den Profildaten enthalten ist. Ist dies nicht der Fall, wird ein Flag im Datenstrom gesetzt, so dass bei der nachgeschalteten Auswertung die entsprechende Stelle sehr schnell gefunden werden kann. Die Weitsichtscanner sind infolgedessen eher als Detektionssystem einzuordnen; die Messgenauigkeit ist dementsprechend auch von untergeordneter Bedeutung.

3 Auswertung der Messdaten

Der LIMEZ III produziert eine Datenmenge von ca. 250 GB am Tag (bei einer Tagesleistung von 500 km/h). Die Daten werden auf Wechselfestplatten gespeichert, um sie zum Auswerteort zu transportieren. Eine Online-Auswertung der Daten während der Messfahrt, aber auch eine vollautomatische Offline-Auswertung sind nicht realisierbar, da es beim gegenwärtigen Stand der Technik keine hin-

reichenden Software-Automatismen gibt, die eine vollständige und zuverlässige Extraktion der relevanten Daten aus der Vielzahl an Messdaten ermöglichen.

Die Auswertung sämtlicher Messdaten des LIMEZ III wird mit einer eigens neu entwickelten Software (DB.CLEAR) ausgeführt.

3.1 Verortung

Alle Messdaten (Laserprofile, Schienenerkennung, Videodaten, Verortungsdaten) werden auf dem Fahrzeug getaktet (Takt i. d. R. 10 cm) gespeichert. Jedem Takt wird eine fortlaufende ID-Nummer zugewiesen, der sog. »Footpulse«. Diese ID-Nummer bietet die Basis zur gegenseitigen Verknüpfung der Messdaten. Bevor mit der eigentlichen Engstellenextraktion begonnen wird, werden die IDs verortet, d. h. für jeden gefahrenen Streckenabschnitt von 10 cm eine Verortungsinformation (Koordinate im DB_REF) ermittelt. Anhand der Koordinate kann unter Verwendung der vorhandenen Gleisnetzdaten aus dem GIS der Deutschen Bahn AG die Zuordnung im Knoten-Kanten-Modell hergestellt werden.

Im Gegensatz zu anderen Systemen wird beim LIMEZ III auf eine Online-Prozessierung der GNSS-Daten verzichtet, da die damit zu erzielenden Genauigkeiten nicht zufriedenstellend sind. Um die geforderte Genauigkeit von 0.1 m zu erreichen, muss auf eine differentielle Auswertung der Satellitensignale zurückgegriffen werden. Die dafür notwendigen Referenzdaten können bei einem Fahrzeug mit einem Aktionsradius von 500 km pro Tag nicht wirtschaftlich über den manuellen Aufbau von Referenzstationen entlang der Strecke generiert werden. Sie müssen sinnvollerweise von einem kommerziellen Korrekturdatendienst eingekauft werden. Die Fa. EON Ruhrgas bietet mit ihrem ASCOS-Service einen bundesweit flächendeckenden Dienst unter Berücksichtigung von GPS und GLONASS an. Um diese Korrekturdaten online auf dem Messzug zur Verfügung zu haben, müssten die Daten mittels entsprechender Kommunikationstechnik übertragen werden. Leider gibt es aktuell keine Methoden bzw. Systeme, die eine dauerhafte und sichere Übertragung der Daten zu allen Zeitpunkten garantieren können, wodurch eine Online-Korrektur der Satellitendaten onboard ausgeschlossen werden muss.

Stattdessen werden auf dem Fahrzeug sämtliche Rohdaten des Satelliten- und Inertialmesssystems gespeichert und offline unter Berücksichtigung von Korrekturdaten prozessiert. Ein wesentlicher Vorteil dieser Lösung besteht in der Möglichkeit, vorwärts und rückwärts rechnen zu können, wodurch Genauigkeit und Zuverlässigkeit erheblich gesteigert werden.

Der ASCOS-Service wurde eigens für dieses Projekt auf Anregung des THelix-Konsortiums um einen neuen Dienst erweitert. Nach Abschluss der Messfahrt wird via



Abb. 7: Videobild einer Engstelle (Signal auf der linken Seite)

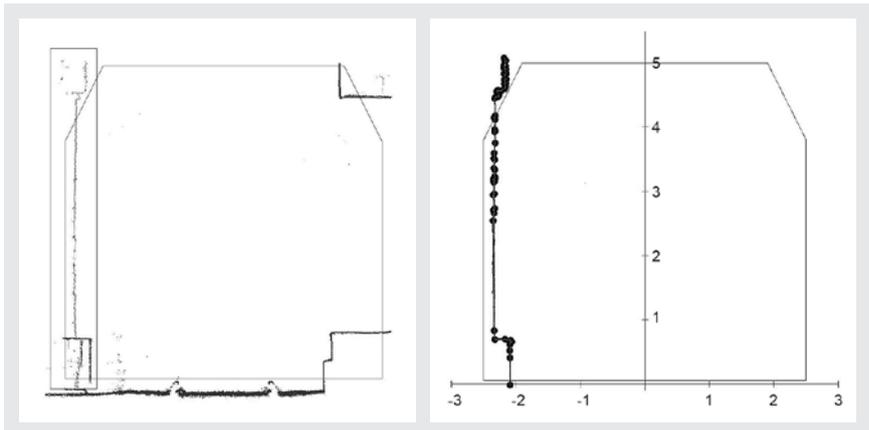


Abb. 8: Segmentiertes Objekt (links) und Vektorkontur (rechts)

Webservice die gefahrene Trajektorie an einen ASCOS-Server übertragen. Dieser stellt anhand der Trajektorie die für die Auswertung des befahrenen Bereichs notwendigen Korrekturdaten zum Download (ebenfalls via Webservice) zur Verfügung. Die gemeinsame Verarbeitung der GNSS-Daten einschließlich Korrekturdaten und INS-Daten führt final zu einer Verortungsgenauigkeit <0.1 m.

3.2 Engstellenextraktion

Die primäre Aufgabe des LIMEZ III ist die Erfassung von Lichtraumengstellen, um eine Fahrwegsimulation ausführen zu können. Dabei werden virtuell ein Fahrzeug durch den geplanten Streckenverlauf geführt und entsprechende Kollisionen aufgedeckt. Theoretisch wäre es denkbar, diese Simulation auf Basis der Scannerprofile durchzuführen. Praktisch scheitert dies an den gigantisch großen Datenmengen und an der nicht ausreichenden Datenqualität hinsichtlich Vollständigkeit (\rightarrow Schilder in Punktwolken nicht enthalten), Eindeutigkeit (\rightarrow Bewuchs ist nicht relevant) und Informationsgehalt (\rightarrow Objektklassifikation nicht automatisch möglich). Auch die Forderung nach einer bundesweit verfügbaren Datenbasis in Form einer zentralen Datenbank ist mit 3D-Punktwolken nur schwer zu erfüllen.

Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Extraktion der relevanten Informationen aus der Punktwolke und einer entsprechenden Modellierung einschließlich Klassifikation. Ziel des Verfahrens ist es, die Engstellen als vereinfachte Vektorkontur zu beschreiben und sie – mit Sachdaten ergänzt – in einer SQL-Datenbank zu speichern. Die Auswertesoftware markiert dazu alle 3D-Punkte, die in einem bestimmten ROI (Region-of-Interest) = Sollprofil liegen. Der Auswerter selektiert die Daten (Segmentierung) und startet dann die Vektorisierung (Modellierung). Für jedes Objekt kann auch das entsprechende Bild der Dokumentationskamera aufgerufen werden, um die Objektklassifikation zu unterstützen (Beispiel: »Papierkarton oder Betonstein?«). Mit Hilfe dieser Methode wird sichergestellt, dass nur relevante und qualifizierte Objekte in

einer hochgradig komprimierten Präsentation Eingang in die Datenbank finden (Abb. 7 und 8).

3.3 Videoauswertung

Die Engstellenextraktion aus den Laserscannerprofilen kann durch photogrammetrische Messungen ergänzt werden. Dazu stehen jeweils für die rechte und linke Seite der Strecke Stereobildpaare zur Verfügung. Durch manuelles Anklicken eines Objekts in beiden Bildern kann seine Kontur digitalisiert werden.

Die Farbbilder werden mit entsprechenden Metadaten (Einblendung von Strecke, Datum etc. ins Bild) ergänzt und in das DB-VIS, das Videoinformationssystem der Deutschen Bahn AG, eingestellt, so dass auch andere Abteilungen Zugriff auf die Videoinformationen haben und sich sehr schnell einen Überblick über den Streckenverlauf verschaffen können.

3.4 Zukünftige Anwendungsgebiete

Mit den 3D-Punktwolken, die sich aus den Laserscannerprofilen generieren lassen, stehen der Deutschen Bahn AG hervorragende Infrastrukturdaten zur Verfügung, die auch für andere Anwendungsgebiete – unabhängig vom Lichtraum – genutzt werden können. Beispiele dafür sind z.B. die Lokalisation und Verortung von Einbauten im Gleis, die sehr leicht automatisiert aus den Daten extrahiert werden können. Als weitere Anwendung ist der Vergleich der Daten mit dem vorhandenen GIS geplant (»virtueller Feldvergleich«). Indem die Punktwolke eines bestimmten Abschnitts auf die GIS-Daten projiziert wird, kann ohne Außendienst die Vollständigkeit des Planwerks überprüft werden.

4 Zusammenfassung

Mit dem LIMEZ III steht der Deutschen Bahn AG ein hochmodernes Messfahrzeug mit einer einzigartigen technischen Ausrüstung zur Verfügung. Durch den Einsatz sehr schneller Laserscannertechnik und ergänzender Systeme wird eine äußerst dichte virtuelle Präsentation des Streckenverlaufs in Form einer geo-kodierten Punktwolke erzeugt. Die Datenerfassung erfolgt automatisiert und schnell, die Auswertung der Daten erfordert jedoch immer noch den Eingriff eines Menschen. Die Automatisierung der Extraktion der gewünschten Informationen aus den Punktwolken sowie die Automatisierung der Modellbildung sind Aufgaben für die Zukunft und bieten entsprechendes Optimierungspotential. Damit unterscheidet sich der LIMEZ III nicht von anderen aktuellen Laserscannerapplikationen, bei denen die Auswertung der Messdaten erheblich mehr Zeit benötigt als die eigentliche Datenaufnahme.

Literatur

- Blug, Baulig, Wölfelschneider, Höfler: Novel Geometry for a High Speed Outdoor Laser Scanning System. Beitrag zur Konferenz Optical 3D-Measurement Techniques (VII), Wien, Okt. 2005.
- Höfler, Baulig, Blug, Wölfelschneider, Fleischhauer, Wirth, Lenz: High Speed Clearance Profiling with Integrated Sensors. Beitrag zum WCRR, Toronto, Juni 2006.
- Lenz, Herbert: Kinematische Erfassung des lichten Raumes bei der Deutschen Bahn AG. In: EI – Eisenbahningenieur (57) 4/2006.
- Lenz, Höfler, Fleischhauer, Wirth: Lichtraummesszug LIMEZ III der DB AG. In: EI – Eisenbahningenieur (57) 10/2006.
- Wirth, Holger: Neue Methoden bei der Erfassung von Lichtraumprofilen bei der Deutschen Bahn. Vortrag beim Seminar des VDV-Bildungswerkes zum Thema Laserscanning-Messverfahren, Fulda, Jan. 2007.
- Wirth, Holger: Auswertung der mit dem LIMEZ III erfassten Infrastrukturdaten. Vortrag bei der vermessungstechnischen Fachtagung des VDEI, Leipzig, Sept. 2007.

Anschrift des Autors

Holger Wirth
Metronom Automation GmbH
Max-Hufschmidt-Straße 4a, 55130 Mainz
holger.wirth@metronom-automation.de