

# High-End-Laserscanning unter der Elbe

von Konrad Saal

Rund 28 Meter unter der Wasseroberfläche der Elbe liegt eines der zentralen Infrastrukturbauwerke Nordeuropas: der Hamburger Elbtunnel. Als Teil der Autobahn A7 verbindet er den südlichen mit dem nördlichen Teil der Hansestadt Hamburg und die skandinavischen Länder mit den europäischen Metropolen. Seine Länge beträgt rund 3,3 Kilometer, davon verlaufen etwa 1.000 Meter unterhalb des Flussbetts. Bis zu 145.000 Pkw und Lkw passieren in Spitzenzeiten täglich die vier Röhren des Tunnels. Um die Sicherheit dieses wichtigen Verkehrsweges auch in Zukunft zu gewährleisten, wurden von 2009 bis 2013 die drei älteren Tunnelröhren saniert – nach den aktualisierten Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln. Der Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung beauftragte in diesem Zusammenhang Dr. Hesse und Partner Ingenieure (dhp:i) mit der Dokumentation aller Tunnelröhren durch kinematisches 3D-Laserscanning. Ziel war, dem Tunnelbetrieb des Elbtunnels (LSBG, Landesbetrieb für Straßen Brücken und Gewässer) nach

**der umfangreichen Modernisierung aktuelle und präzise Bestandsunterlagen zur Verfügung zu stellen.**

Die gewonnenen georeferenzierten Informationen werden unter anderem für die Wartung und Instandhaltung sowie zur Unterstützung der Prozesse rund um das Planen, Entwerfen, Errichten und Verwalten des Elbtunnels und als Basis für ein zukünftiges Building Information Modelling (BIM) benötigt.

Neben der Tunnelgeometrie müssen dazu auch alle Objekte und Betriebsmittel im Tunnel mit wenigen Zentimetern Genauigkeit erfasst werden. Dazu zählen Versorgungs- und Sicherheitseinrichtungen wie verkehrstechnische Einrichtungen, Notausgänge, Fluchtwegbeschilderungen, Notrufnischen, Brandschutzeinrichtungen, Betriebsnischen, Beleuchtungsanlagen, Lüftungsschächte, Kameras, Lautsprecher sowie Sensoren der Verkehrstelematik und Betriebstechnik, insgesamt über 200 unterschiedliche 3D-Objekte.

**Auswahl des geeigneten Verfahrens**

Wegen der entscheidenden Bedeutung des Elbtunnels für den Verkehr in und um Hamburg durften



■ ProScan T-Series mit der Leica ScanStation P15 im Einsatz.

sich durch die Vermessung nur minimale Sperrzeiten ergeben. Damit war von vornherein klar, dass die Tätigkeiten in der verkehrsschwachen Zeit zwischen 20 Uhr abends und 5 Uhr morgens stattfinden mussten und jeweils nur eine Tunnelröhre gesperrt werden durfte.

Die Vermessung wurde vom Auftraggeber explizit mittels kinematischem Laserscanning ausgeschrieben. Im Laufe der Ausschreibung wurden mehrere fahrzeuggebundene und mobile Scansysteme verschiedener Anbieter evaluiert. Am Ende des Auswahlprozesses stand die Entscheidung für das ProScan T-Series System der p3D systems GmbH, das unter anderem durch die einfache Integrierbarkeit der Leica ScanStation P15, hohe Erfassungsgeschwindigkeiten und eine hochpräzise Objekterfassung überzeugt.

«Das von dhp:i verwendete kinematische Scansystem garantiert uns nicht nur höchste Genauigkeiten und eine vollständige Erfassung des gesamten Tunnelbauwerks. Wir haben darüber hinaus auch die Sicherheit, dass wir uns auf die Datenqualität verlassen und gleichzeitig die Sperrzeiten für diesen wichtigen Tunnel minimieren können», so Dipl.-Ing. Bernhard

Cieslik, als Leiter für kommunale Vermessung beim Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung verantwortlich für dieses Projekt.

Das kinematische ProScan T-Series System – das T steht für das Tracking mittels Totalstationen – ist ein von Hand geführtes, fahrbares Laserscanning-System. Auf einem Trolley sind eine inertielle Messeinheit (IMU) und ein serienmäßiger Laserscanner wie die Scanstation P15 adaptiert, hinzu kommt ein Tablet-PC zur Datenerfassung und Steuerung. Für die präzise Positionierung sorgten in diesem Projekt Leica TS30 und Leica Viva TS15i Totalstationen, die das auf dem System montierte Prisma mit etwa 8 Messungen pro Sekunde verfolgen.

Zu den Vorteilen dieser Erfassungsmethode gehört zum einen die direkte Referenzierung des Systems durch das Verfolgen mit den Totalstationen. Eine Auslegung von Passpunkten wie bei Kfz-basierten Systemen notwendig, entfällt dadurch. Zum anderen überzeugt die hohe Genauigkeit der Punktwolke bei gleichzeitig sehr hoher Auflösung sowie die Möglichkeit, die Daten schon kurz nach der Messung – also «on site» – zu prozessieren und zu kontrollieren.



Schon die ersten Prognoserechnungen ergaben, dass man mit dieser Lösung pro Nacht je eine Tunnelröhre hochauflösend erfassen können.

### Die Messung – pro Nacht ein Tunnel

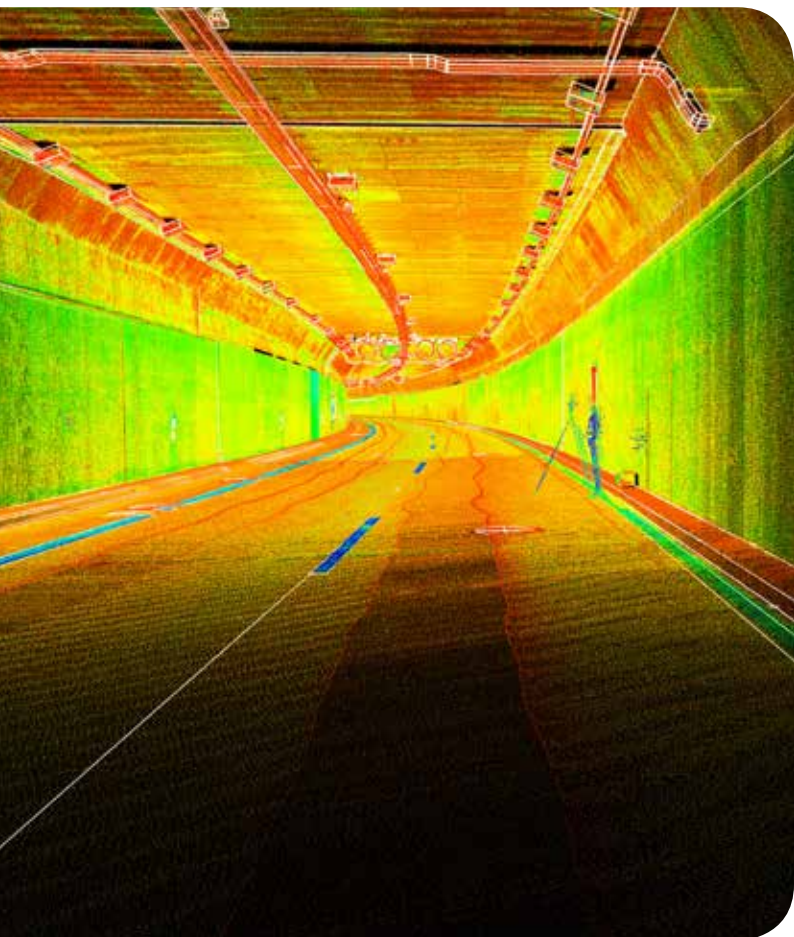
Die Vermessung der vier Tunnelröhren fand in vier Nachteinsätzen statt. Dabei sorgten die intensive Vorplanung und das detaillierte Messkonzept für einen reibungslosen Ablauf sowohl bei der Datenerfassung als auch bei der Auswertung. Die anvisierte Zeitspanne von neun Stunden pro zu vermessender Tunnelröhre konnte bereits bei der ersten Messung deutlich unterschritten werden.

Im Rahmen des Scannings vor Ort sollten nicht nur die Tunnelwände sondern auch sämtliche Einbauten wie Schilder und Lüftungsanlagen vollständig erfasst werden. Hierzu wurde die Tunnelröhre in zirka 300 Meter lange Abschnitte unterteilt, die innerhalb von etwa 40 Minuten zweimal im Hin- und Rückweg gescannt wurden.

Durch die doppelte Erfassung konnten nicht nur alle Verschattungen beseitigt werden sondern es wurde auch nachgewiesen, dass durch das kinematische Laserscanning in diesem Projekt Genauigkeiten von besser als 10mm erreicht werden konnten.

Um das kinematische Scansystem möglichst effizient und ohne Unterbrechung einzusetzen, waren die Aufgaben der drei Projektmitarbeiter vor Ort genau aufeinander abgestimmt. Ein Mitarbeiter bewegte hierbei das ProScan kontinuierlich entlang der 300m langen Abschnitte des Tunnels, während die beiden anderen Mitarbeiter mit ihren zwei Totalstationen abwechselnd für die genaue Zielverfolgung des Systems sorgten. Stillstandzeiten gab es somit nur zu Beginn und Ende der Messung sowie beim Tausch der Akkus.

Zur Stationierung der Totalstationen konnte das im Tunnel in Lage und Höhe vorhandene Festpunktfeld genutzt werden, das vom Landesbetrieb Geoinfor-



■ Punktwolke des südlichen Bereichs.

## Bereitstellung der Daten nach festgelegten Normen

Viele Bundesländer nutzen für Infrastruktur- und andere Bauprojekte standardisierte Datenmodelle. Die darin beschriebenen Inhalte regeln Normierungskataloge, die allen mit diesen Informationen arbeitenden Fachbereichen einheitliche Daten liefern sollen.

Der Hamburger Normierungskatalog beschreibt seit 2008 einen detaillierten Standard für digitale Datenbestände der Verkehrsplanung. Der Katalog regelt insbesondere die Datenstruktur sowie das Datenformat und die Signaturierung. In dieser Norm werden zum Beispiel die Layerstruktur, die Layernamen sowie die Linientypen und Blöcke oder Schraffuren und Bemaßungen definiert.

Als Erweiterung des zweidimensionalen Hamburger Normierungskataloges wurden bei diesem Projekt alle zu modellierenden CAD-Objekte sowie die vollständige Tunnelgeometrie in 3D konstruiert.



mation und Vermessung eingerichtet wurde und üblicherweise für Beweissicherungsmessungen sowie bei Baumaßnahmen genutzt wird.

Die Geschwindigkeit, mit der das System durch den Messingenieur entlang des Tunnels bewegt wurde, war auf die erforderliche Objektauflösung abgestimmt. Aufgrund zahlreicher kleiner Objekte an den Tunnelwänden musste ein Messpunkt Abstand von besser als zwei Zentimetern gewährleistet werden, woraus sich eine Scangeschwindigkeit von 0,5 Metern pro Sekunde ergab.

«Obwohl wir bereits eine zweistellige Anzahl an Projekten mit diesem System durchgeführt haben, ist die Erfassungsgeschwindigkeit mit der Leica P15, den Leica Totalstationen dem p3d ProScan immer wieder beeindruckend. Eine vergleichbare Objektauflösung mittels stativgebundenem, also statischem, Laserscanning hätte mindestens die dreifache Zeit benötigt», fasst Dr. Christian Hesse, Geschäftsführer von dhp:i, zusammen.

Nach Abschluss der Laserscans wurden die Messdaten der Totalstationen noch vor Ort von der Speicherkarte importiert und mit der automatischen Georeferenzierung der Scans in p3d PCloud begonnen.

Die fertigen Punktwolken wurden in Leica Cyclone 9 importiert, gefiltert und bereinigt. Um die Erstellung der mehreren Tausend 3D-Objekte effizient vornehmen zu können, wurden die Cyclone Datenbanken mit Hilfe der Leica CloudWorx Plug-ins in AutoCAD eingebunden. Hier erfolgte dann die parallele Modellierung der geforderten CAD-Objekte sowie der gesamten Tunnelgeometrie.

Das Fazit: 13,5 km Autobahntunnel in vier Nächten hochauflösend und präzise erfasst. Der Auftraggeber rundum zufrieden. Und die Autofahrer haben kaum etwas mitbekommen. ■

*Dr. Hesse und Partner Ingenieure (dhp:i) ist ein international tätiges Vermessungsbüro mit Sitz in Hamburg und gehört zu den führenden Firmen im Bereich 3D-Laserscanning.  
info@dhp:i.com*



## Bau und Sanierung des Elbtunnels

Nach sieben Jahren Bauzeit wurden die drei ersten Tunnelröhren des Elbtunnels im Jahr 1975 für den Verkehr freigegeben. Seit der Erweiterung 2002 stehen vier Röhren mit insgesamt acht Fahrstreifen zur Verfügung. Zwischen den Jahren 2009 und 2013 fand eine umfangreiche Sanierung der ersten drei Röhren statt. Unter dem Namen «A7 – Nachrüstprogramm Elbtunnel» wurden Asbestsanierungen, eine Verbesserung des Lüftungssystems, des Brandschutzes und der Fluchtwege sowie eine Modernisierung der technischen Einrichtungen durchgeführt. Diese Baumaßnahme wurde nötig, damit der Tunnel den damals aktuellen «Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln» (RABT 2006) entspricht.

Betrieben wird der Elbtunnel durch den Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg (LSBG).