7

97. Jahrgang
April 2020, S. 286 – 294
ISSN 0932-8351

Sonderdruck

Bautechnik

Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau

Methoden zur Generierung von As-Built-Modellen für Bestandsbrücken

Jennifer Bednorz
Iris Hindersmann
Klaus Jaeger
Monika Marszalik

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

jalasca

DOI: 10.1002/bate.202000011

Jennifer Bednorz, Iris Hindersmann, Klaus Jaeger, Monika Marszalik

Methoden zur Generierung von As-Built-Modellen für Bestandsbrücken

Gemäß dem Stufenplan Digitales Planen und Bauen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ist ab 2020 die ganzheitliche Anwendung von Building Information Modeling (BIM) für Projekte im Infrastrukturbereich vorgesehen. Ansätze und Strategien zum Einsatz von BIM in Betrieb und Erhaltung von Brückenbauwerken liegen nur begrenzt vor. Das Ziel des Projekts ist es, die Möglichkeiten zur Erstellung von BIM-fähigen As-Built-Modellen für Bestandsbrücken an einem Bauwerk zu untersuchen, anzuwenden und Empfehlungen zur Nutzung dieser Modelle in der Betriebsphase zu geben. Es wurden zwei Bauwerksmodelle anhand der Punktwolke eines Laserscans und der konventionellen Modellierung auf Grundlage von Bestandsunterlagen erstellt. Der geometrische Abgleich beider Modelle zeigt die Unterschiede von Plan- und Ist-Zustand der Bestandsbrücke auf. Die Anwendungsbereiche der verschiedenen Modelle und der Aufwand zur Erstellung der Modelle werden erläutert.

Stichworte Scan2BIM; Punktwolke; As-Built; Laserscan; duraBASt

Methods for generating of as-built models for existing bridges

According to the BMVI's 'Road Map for Digital Design and Construction', the holistic application of Building Information Modeling (BIM) for infrastructure projects is planned for 2020. Approaches and strategies for the use of BIM in the operation and maintenance of bridge structures are limited. The aim of the project is to investigate and apply the possibilities for the creation of BIM-capable As-Built models for existing bridges on a structure and to give recommendations for the use of these models in the operating phase. Two building models were created on the basis of the point cloud of a laser scan and the conventional modelling based on existing documents. The geometric comparison of both models shows the differences between the planned and actual condition of the existing bridge. The fields of application of the different models and the effort to create the models are explained.

Keywords Scan2BIM; point cloud; As-Built; laserscan; duraBASt

1 Einleitung

Das fortschreitende Alter der Brückenbauwerke, steigende Achslasten sowie der ständig wachsende Schwerlastverkehr im Bundesfernstraßennetz verursachen einen größer werdenden Erhaltungsbedarf. Um dem Betrieb und der Erhaltung von Straßenbrücken gerecht zu werden, sind moderne Methoden des Erhaltungsmanagements erforderlich. Gemäß dem Stufenplan „Digitales Planen und Bauen" des BMVI ist die ganzheitliche Anwendung von BIM für Projekte im Infrastrukturbereich ab 2020 vorgesehen. Ansätze und Strategien für den Einsatz von BIM in Betrieb und Erhaltung von Brückenbauwerken sind begrenzt, ein grundsätzlicher Forschungsbedarf besteht. Im Rahmen des Forschungsprojekts „BIM bei Bestandsbrücken – Modellbildung zur Umsetzung der duraBASt-Brücke" der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurden die Möglichkeiten zur Erstellung von BIM-fähigen As-Built-Modellen von Bestandsbrücken zur Nutzung in der Betriebsphase untersucht [1]. Für die Nutzung von BIM in der Betriebsphase werden drei Modelle unterschieden: As-Designed-, As-Built- und As-Maintained-Modelle. Unter dem Begriff As-Designed („wie geplant") werden Modelle verstanden, welche der Ausführungsplanung entstammen und den Soll-Zustand des Bauwerks beschreiben. As-Built-Modelle („wie gebaut") bilden das tatsächliche Bauwerk nach Ausführung ab und beschreiben den Ist-Zustand. Unterschiede zwischen diesen Modellarten können Daten aus dem Bauablauf, bspw. das Herstelldatum oder die vermessungstechnisch validierte exakte Lage eines Bauteils, sein. As-Maintained-Modelle („wie erhalten") enthalten zusätzlich Inhalte, welche im Laufe des Betriebs anfallen [2].

Ziel des Projekts war es, den Aufwand der Erstellung von As-Built-Modellen für Bestandsbrücken aufzuzeigen. Das bietet die Möglichkeit, die Größenordnung von Kosten und Arbeitsaufwand für die Erstellung darzulegen und stellt die Grundlage für die Bewertung des Nutzens von BIM in der Betriebsphase dar. Anhand eines Vergleichs der Modelle soll der Unterschied deutlich gemacht werden.

2 Stand der Technik und Forschung

3-D-Modelle sind die Grundlage für die Nutzung von BIM in allen Lebenszyklusphasen. Für einen Großteil der etwa 40 000 Brückenbauwerke im Bundesfernstraßennetz liegen keine digitalen 3-D-Modelle vor. Die Datengrundlage der Brückenbauwerke in Deutschland ist unterschiedlich. Es liegen Eintragungen zum Bauwerk (Bauwerksprüfung und grundlegende Daten zu Bauart, Material und Verortung) in der Datenbank „Straßeninformationsbank-Bauwerke" (SIB-Bauwerke) und zum großen Teil Planungsunterlagen meist in Papierform vor. Die

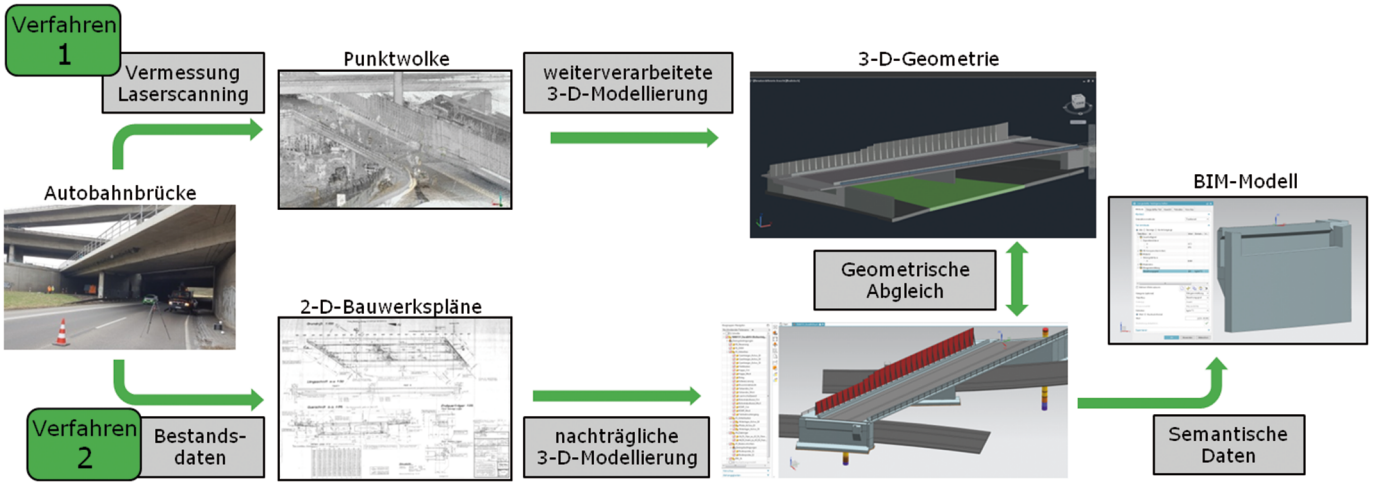


Bild 1 Projektkonzeption
Project concept

Erstellung von 3-D-Modellen von Bestandsbauwerken ist über verschiedene Techniken möglich. 3-D-Punktwolken können über Laserscanning, Tachymetrie oder Fotogrammetrie aufgenommen werden [3–6]. Die Ableitung eines 3-D-Modells aus diesen Daten ist über Triangulation oder das Nachzeichnen der Querschnitte aus den Punktwolken [4] möglich. Die automatisierte Ableitung von 3-D-Modellen ist im Hochbau und der Industrie bereits Standard und durch entsprechende Programme möglich, da vorgefertigte Komponenten wie Wand, Tür oder Fenster hinterlegt sind [7, 8]. Mit steigender Komplexität des Aufbaus steigt auch der Nachbearbeitungsaufwand, für Ingenieurbauwerke ist daher die teilautomatisierte Ableitung von Modellen noch nicht möglich [4]. Im Rahmen des Projekts SeeBridge (Semantic Enrichment Engine for Bridges) wurde ein Vorgehen erarbeitet, um aus einer Punktwolke ein möglichst automatisiertes BIM-Modell erzeugen zu können, das als Grundlage für die Zustandsbewertung von Brückenbauwerken genutzt wird [9]. 3-D-Modelle können auch anhand von Plänen nachmodelliert werden, hierdurch besteht die Möglichkeit, die Brücke in der notwendigen Detail- und Parametertiefe darzustellen. Das Nachmodellieren von Bestandsbrücken ist aufwendig und kommt nur für einzelne Brücken infrage [10].

BIM-Modelle unterscheiden sich von herkömmlichen 3-D-Modellen grundsätzlich durch einen parametrischen und assoziativen Aufbau der einzelnen Baugruppen und Bauteile. In den BIM-Modellen sind neben geometrischen Daten Informationen zu Kosten, Zeitabläufen, Planungsunterlagen usw. hinterlegt. Von Bestandsbauwerken gibt es in Deutschland aktuell keine BIM-Modelle. Das Projekt „Machbarkeitsstudie BIM im Brückenbau“ zeigt aber, dass BIM eine geeignete Grundlage für ein Erhaltungsmanagement sein kann [2]. Schädigungen können verortet werden und eine Beobachtung der Schadens- und Zustandsentwicklung ist möglich. Für das Erhaltungsmanagement notwendige Attribute können entsprechend der ASB-ING im BIM-Modell hinterlegt werden und das Verknüpfen weiterer Dokumente (wie 2-D-Bauwerkspläne, Prüfprotokolle) kann erfolgen [2].

3 Projektkonzeption

Für die Erstellung der As-Built-Modelle wurden zwei verschiedene Verfahren angewendet. In Bild 1 werden die Schritte von der Erstellung der Modelle bis hin zur Überführung zu einem BIM-Modell dargestellt.

Die Erstellung des Bauwerksmodells über einen Laserscan wird in Verfahren 1 erklärt. Mithilfe des Laserscans wird eine Punktwolke der Brücke erstellt und diese in einem geeigneten Postprocessing zu einem 3-D-Modell weiterverarbeitet. In Verfahren 2 wird das Bauwerksmodell durch die konventionelle Modellierung eines 3-D-Modells anhand von Ausführungsplänen in einer BIM-fähigen Software erstellt. Anschließend erfolgt der Abgleich beider Modelle. Durch die Anreicherung mit semantischen Daten wird das 3-D-Modell zu einem BIM-Modell weiterverarbeitet, das anschließend als As-Built-Modell für den Betrieb des Bauwerks genutzt werden kann.

Als Ergebnis liegen dann die bereinigte Punktwolke des 3-D-Laserscans, das daraus abgeleitete 3-D-Modell und das aus den Ausführungsplänen nachmodellierte 3-D-Modell vor.

Zur Demonstration der beiden Verfahren wurde die duraBASt-Brücke ausgewählt. Die Brücke befindet sich auf dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der Bundesanstalt für Straßenwesen (duraBASt). Im Jahr 1973 wurde die Spannbetonbrücke als Zweifeldträger mit Stützweiten zwischen 30,50 m und 35,50 m ausgeführt (Bild 2). Der zweifeldrige Hohlkasten der Brücke ist nur bekriechbar und verjüngt sich jeweils in Richtung Pfeiler bzw. Widerlager.

Bild 2 duraBASt-Brücke
duraBASt bridge

4 Methoden zur Generierung von As-Built-Modellen

4.1 Erstellung einer Punktwolke durch einen 3-D-Laserscan

Die Aufnahme der Punktwolke erfolgte mit zwei Scannern mit vergleichbarer Genauigkeit und Reichweite. Die Brücke wurde von allen Seiten inkl. des Hohlkastens gescannt. Für die spätere Stationierung der Scans wurde ein lokales Referenzpunktenetz in Form von Kugeln und Zielmarken eingerichtet und georeferenziert. Für eine präzise Punktwolke ohne Verschattungen wurden insgesamt 65 Scans aufgenommen. Die Scanpositionen auf der Brücke hatten einen Abstand von ungefähr 10 m. Besondere Herausforderungen bei der Aufnahme waren die Verschattung von relevanten Bauelementen (Beeinträchtigung der Genauigkeit der Scans), die Bewegungen auf der Arbeitsbühne (Beeinträchtigung der Genauigkeit und Stationierung der Laserscans) und die Vermessung der nur bekriechbaren Hohlkästen (Beeinträchtigung der Stabilisierung und Vermessung des lokalen Referenzenpunktenetzes, geringes Platzangebot) (Bild 3). Auf das Einfärben der Punktwolken wurde verzichtet, da der Gewinn an zusätzlichen Informationen durch die Einfärbung gering ist, die Scandauer verdoppelt und das Datenvolumen der Scans um das Drei- bis Vierfache erhöht würde. In den Schwarzweiß-Scans waren die Strukturen gut erkennbar und somit ausreichend für die Anforderungen in diesem Projekt.

Das Postprocessing beinhaltet die Prüfung der Daten, eine automatisierte Vorverarbeitung inkl. Filterung der Scandaten, Kompensation des Imports und das Erzeugen der Scanpunktwolken. Im Anschluss erfolgte die Scan-Stationierung mithilfe des Referenzpunktenetzes. Im Anschluss an die Zusammenführung der einzelnen Scans mit der Methode „cloud to cloud“ wurden die Referenzpunkte automatisiert oder händisch markiert. Auf diese Weise wurden einzelne Scans in einem lokalen Koordinatensystem zusammengeführt. Im Bereich der

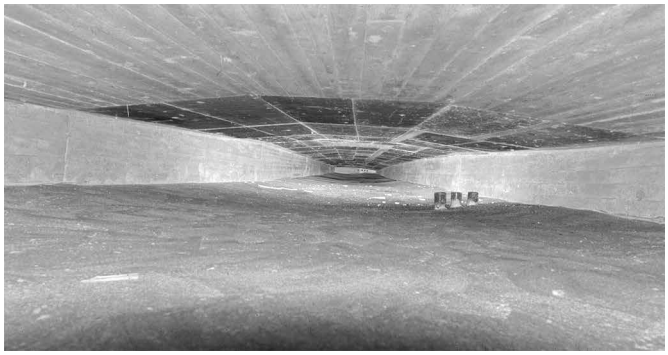


Bild 3 Laserscan des Hohlkastens
Laser scan of the box girder

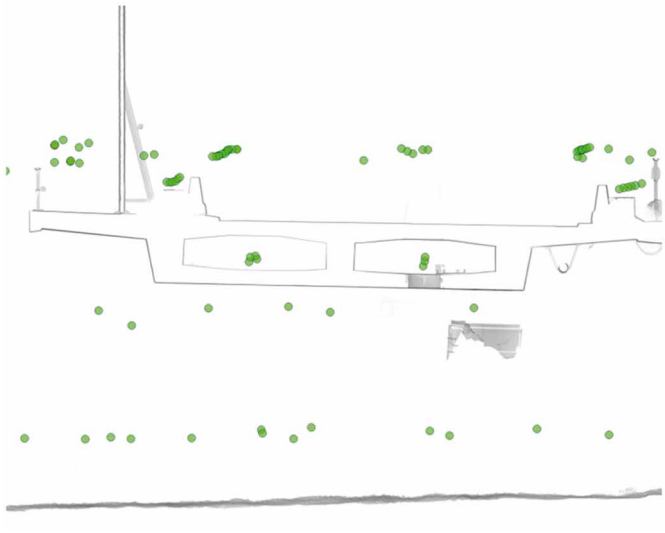


Bild 4 Querschnitt des Hohlkastens der Brücke
Bridge cross-section of the box girder

Lärmschutzwand zur BAB A 3 und bei den Hohlkästen konnte nicht mehr als ein Referenzpunkt aufgenommen werden, daher wurden die Scans anhand der Überlappung der Scanpunktwolken stationiert. Im Ergebnis lag der durchschnittliche Zielabstandsfehler der Stationierung bei 5,6 mm. Der Wert zeigt, mit welcher Genauigkeit die Referenzpunkte im Durchschnitt getroffen wurden. Diese Abweichung ist für die Größe des Bauwerks und die Komplexität sehr gut. Im Vergleich hierzu werden bei der Vermessung von Stahlbrücken Abweichungen von bis zu 1 mm und bei Betonbrücken von 5 bis 10 mm akzeptiert. Bild 4 zeigt einen Schnitt durch die Brücke, welche durch die Zusammenführung der verschiedenen Scans (grüne Punkte) entstehen. Je dunkler und dünner die Striche, desto höher ist die Genauigkeit der Scans und desto minimaler sind die Abweichungen.

Die Georeferenzierung der Punktwolke erfolgte über die Referenzpunkte, deren Koordinaten im Vorfeld vermessen wurden. Für die Punktwolke erfolgten der Höhenanschluss (Bezug zum Nullniveau) und die Umsetzung ins Koordinatensystem UTM84. Abschließend wurde die Gesamtpunktwolke berechnet und verifiziert, dann erfolgte die Konvertierung und Übergabe zur CAD-Verarbeitung.

4.2 Ableitung eines 3-D-Modells auf Grundlage der Punktwolke

Im Vorfeld sind die Detailtiefe des Modells (LoD), die notwendigen Objektinformationen (LOI) und die Ausprägung der darzustellenden Geometrie (LOG) zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer am konkreten Objekt sinnvoll festzulegen. Die Definition eines einheitlichen LoD (Level of Development) für das gesamte Modell bei der Modellierung im Bestand – insbesondere auf der Basis von Punktwolken – ist nicht ohne Weiteres möglich. Es handelt sich hier um einen gemittelten LoD, im Fall der im Projekt untersuchten Brücke um einen LoD 350–400. Beim Laserscanning kann sich der Detailgrad „nur“ auf die sichtbaren Elemente des Objekts beziehen. So werden im Beton verborgene Details nicht dargestellt. Gleichwohl bestehen auch bei der Darstellung der Kontur/Kubatur zahlreiche Möglichkeiten der Umsetzung. Zusätzlich wurde vor der Verarbeitung der Punktwolke eine Aufteilung der Brücke in Baugruppen (z. B. Pfeiler, Kappe) vorgenommen. Dies dient der besseren Projektübersicht und die Performance der Hardware bleibt erhalten.

Die Struktur der Punktwolke wurde exakt abgebildet und nicht durch Standardfunktionen des CAD-Systems generalisiert (z. B. mit Gefälle verlaufende Oberflächen, nicht rechtwinklig anschließende Körperkanten).

Die Punktwolke wurde zugeschnitten, um irrelevante, außerhalb liegende Objekte zu entfernen. Im Anschluss erfolgte die Modellierung einzelner Bauteile im CAD-System. Für die Modellierung der Hohlkästen wurde in der Punktwolke alle 4 m ein Querschnitt erstellt und der Volumenkörper anhand dieser schrittweise extrudiert. Der Arbeitsaufwand für die Erstellung eines solchen 3-D-Modells beträgt etwa 50 h.

4.3 Erstellung eines parametrischen Bestandsmodells auf Grundlage von Ausführungsplänen

Grundlage für die Erstellung eines BIM-fähigen Bestandsmodells waren Ausführungspläne in Form von Handzeichnungen aus dem Jahr 1971, Bestandspläne existieren nicht. Aufgrund fehlender Unterlagen zur vorliegenden Trassierung mussten Annahmen bezüglich des Verlaufs der Gradiente bzw. Bauwerksachse und der Lage des Bauwerks im UTM-Koordinatensystem getroffen werden.

Der Aufbau sowie die Bezeichnung der Bauteilgruppen und Komponenten orientieren sich an der Struktur der Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten (kurz ASB-ING), da diese die Grundlage für die Erfassung und Verwaltung der Bauwerksdaten bildet. Dies bietet den Vorteil, dass eine spätere Zuordnung der Bauteile und die Einbindung der Bauwerksdaten in SIB-Bauwerke erfolgen kann.

Die Erstellung des Bestandsmodells für die Straßenbrücke erfolgt nach der BIM-Methode in einer parametrisierten, assoziativen Bauteilstruktur. Da es sich bei Brücken um liniengeführte Bauwerke handelt, wurde das Modell so aufgebaut, dass die gesamte Konstruktion in Abhängigkeit von Leitkurven (Gradiente der Trasse) und Skizzen (Brückenquerschnitt) generiert wird. Das bedeutet, dass die 3-D-Körper wie bspw. der Überbau entlang einer fest definierten Gradiente geführt werden. Dadurch werden sowohl die Krümmung der Straßenachse im Raum als auch das Längsgefälle des Bauwerks mit erfasst und abgebildet.

Bei dem erstellten BIM-Modell auf Grundlage der Ausführungspläne handelt es sich um ein Modell mit einem Detaillierungsgrad zwischen LoG 300 und 400 (Bild 5). In dem Modell ist es u. a. möglich, die exakten Massen, Mengen, Abmessungen sowie die Form zu bestimmen

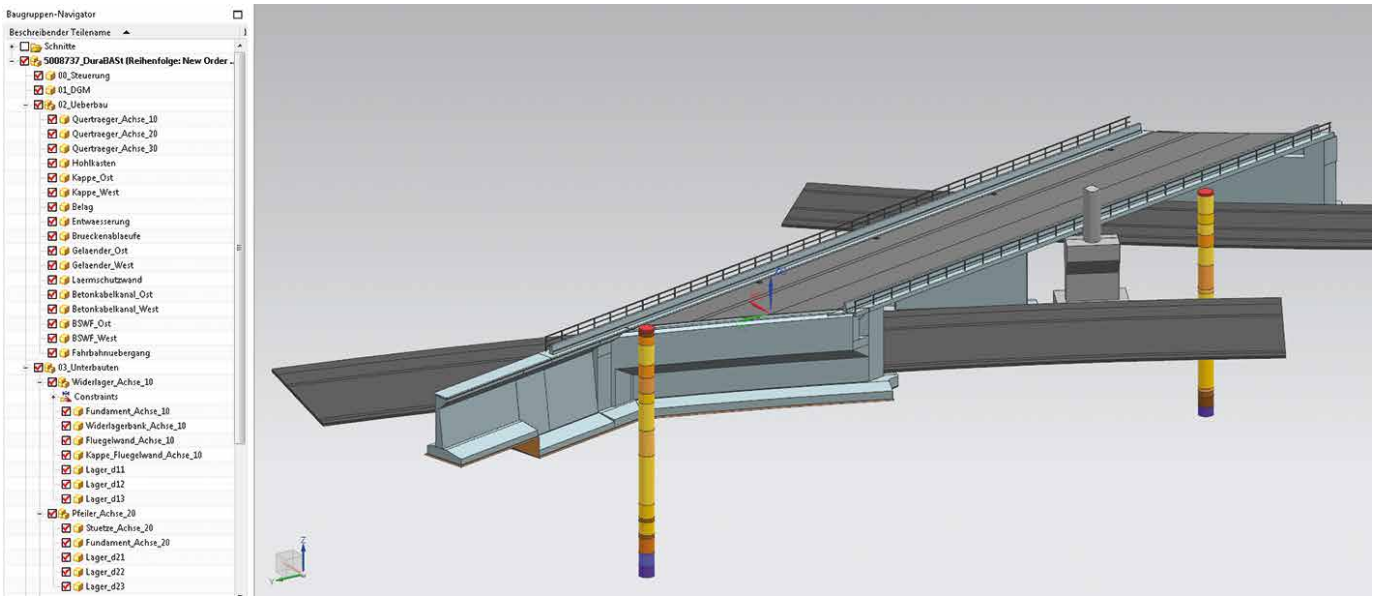


Bild 5 Parametrisch aufgebautes Bestandsmodell
Bridge modelled parametrically

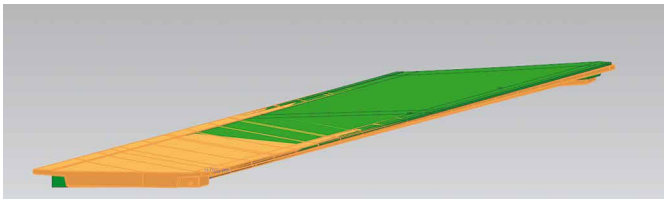


Bild 6 Überlagerung beider Modelle
Overlay of both models

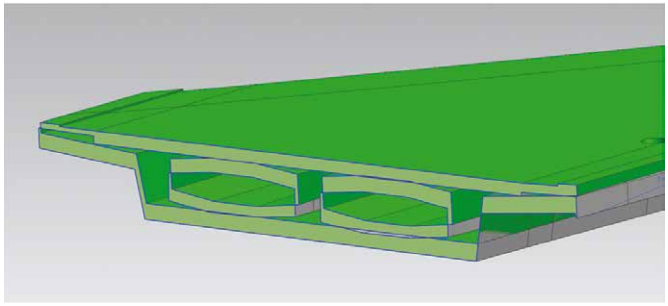


Bild 7 Schnitt durch die beiden Hohlkästen
Cross-section of the box girders

und die georeferenzierte Lage und Orientierung des Bauwerks zu ermitteln. Der Detaillierungsgrad ist hoch, bspw. ist die Entwässerung mit Abläufen und Gefälle modelliert, Befestigungsobjekte wie bspw. die Aufhängung der Entwässerungsleitung sind nicht dargestellt. Hier ist je nach Anwendungsfall zu definieren, in welchem Detaillierungsgrad das Modell vorzuliegen hat, um das Modell dann für anschließende Untersuchungen nutzen zu können.

Der Arbeitsaufwand für die Erstellung eines solchen 3-D-Modells beträgt etwa 180 h.

5 Geometrischer Abgleich der Modelle

Um einen Abgleich des generierten Modells (auf Grundlage der Ausführungspläne) und des abgeleiteten Modells (auf Grundlage des Laserscans) durchzuführen, wurden beide Modelle in eine Datei zusammengeführt und überlagert. Da das generierte Modell aufgrund fehlender Unterlagen zur vorliegenden Trassierung nicht koordinatenecht positioniert werden konnte, war der Abgleich über georeferenzierte Koordinaten nicht möglich.

Ein geometrischer Abgleich der Gesamtmodelle ist aufgrund der vielen Teile unübersichtlich, daher wurde der geometrische Abgleich exemplarisch für den Hohlkasten vorgenommen. Überprüft wurden dabei das Volumen, die Längsneigung und die Konstruktionshöhen des Hohlkastens.

Nach der Ausrichtung und Überlagerung der Modelle wurde deutlich, dass sich die Körper im hinteren Bereich (Bild 6) auseinanderbewegen. Die Verschiebung in der Vertikalen liegt vor, da das abgeleitete Modell (in Gelb dargestellt) aus Gründen der Vereinfachung nicht mit Längsneigung modelliert worden ist.

In einem nächsten Schritt wurden die Volumenkörper sowie die Abmessungen der Hohlkastenausnehmung abgeglichen (Tab. 1).

Um die Herkunft der Abweichungen zu klären, wurden zwei Querschnitte im Modell durch den Hohlkasten generiert und miteinander verglichen.

Bild 7 zeigt den Schnitt durch die beiden überlagerten Volumenkörper. Die Verschiebung beider Querschnitte wird durch die hellgrün dargestellte Fläche deutlich.

Die Volumenunterschiede beider Modelle lassen sich durch die unterschiedliche Modellierung der Bauteile erklären. Im Modell auf Grundlage des Laserscans sind Bodenbelag und Kappen nicht getrennt modelliert worden, da die Bauteile mit ihren Ausmaßen nicht anhand des Laserscans festgestellt werden können, sondern lediglich die Oberfläche vermessen wurde. Im Modell auf Grundlage der Ausführungspläne wurden Kappe und Bodenbelag als separate Bauteile modelliert. Die Angaben zur Hohlkastenausnehmung in den Ausführungsplänen und die tatsächliche Ausführung weichen voneinander ab, auch dies führt zu Volumenunterschieden. Diese Tatsachen führen dazu, dass zwischen den beiden Modellen eine große Diskrepanz besteht.

Die Konstruktionshöhen der Fahrbahnplatte wurden für beide Modelle an der geringsten Stelle verglichen (Bild 8).

Da in dem generierten Modell der Belag nicht mit dargestellt ist, muss hier eine Dicke von 73 mm ergänzt werden. Somit beträgt die Dicke der Konstruktionshöhe im generierten Modell 341 mm (268 mm + 73 mm). Die tatsächliche Dicke im abgeleiteten Modell beträgt jedoch lediglich 306 mm. Der Unterschied von 35 mm ist deutlich und kann bereits Auswirkungen auf die darunterliegende Bewehrung haben, sollte die Mindestbetondeckung nicht eingehalten sein. Die Differenz kann einen Einfluss auf die statischen Nachweise und Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit des Bauwerks und dessen Zustandsbewertung haben.

Tab. 1 Abgleich der Volumenkörper für den Hohlkasten und die Hohlkastenausnehmung
Solid comparison of the box girder

	Generiertes Modell	Abgeleitetes Modell	Abweichung in %
Volumen des Hohlkastens in m^3	670,7	820,7	18,28
Volumen der Hohlkastenausnehmung in m^3	285,7	260,1	9,84

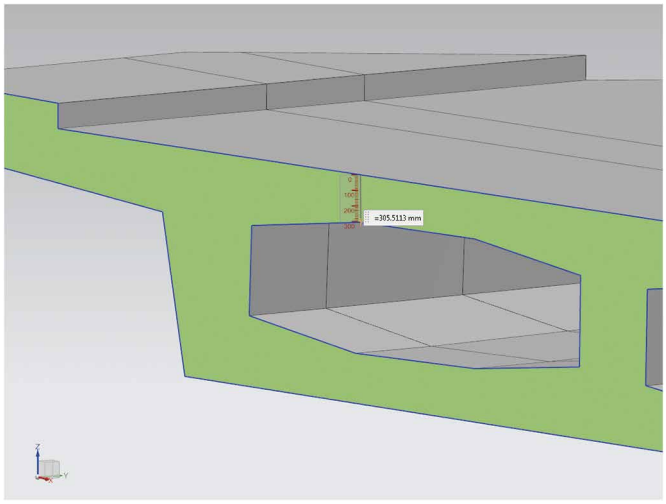


Bild 8 Obere Konstruktionshöhe im abgeleiteten Modell des Laserscans
Upper structure height of the laserscan model

6 Anwendungsbereiche der einzelnen Modelle

Das Ergebnis der Untersuchungen an der duraBASt-Brücke sind die Punktwolke, das 3-D-Modell abgeleitet aus der Punktwolke und das aus den Ausführungsplänen nachmodellierte 3-D-Modell. Jedes dieser Modelle kann für sich genutzt werden. Mit steigendender Modellkomplexität steigert sich auch die Leistungsfähigkeit des Modells [11]. Nachfolgend werden die möglichen Anwendungsbereiche der einzelnen Modelle beschrieben.

6.1 Punktwolke

Die bereinigte Punktwolke aus dem Laserscan kann mit spezieller 3-D-Scanner-Software visualisiert und bearbeitet werden. Anhand eines Übersichtsplans werden dabei die Laserscanstandorte angezeigt, welche einzeln ausgewählt werden können (Bild 9, oben rechts).

Nach Auswahl eines Standorts kann der Scan im Raum betrachtet werden. Ein Bemaßungstool ermöglicht dem Anwender, Messungen im Modell vorzunehmen. Das Messen von Abständen, Gefälle, Oberflächen oder Deformationen am Modell ist möglich. Im Modell können zusätzliche Informationen direkt am entsprechenden Bauteil über Texthinweise verortet werden. Beispielsweise können so Sensoren einfach und präzise im Modell verortet und mit Maßen, Texten und Bildern versehen werden. Weiterhin können in diesem Modell Schäden wie bspw. Abplatzungen oder Risse erkannt und über die Jahre ein Vergleich von Schadensveränderungen (bei mehrfachen Scans) vorgenommen werden [4]. Das Modell kann als Grundlage für die Vergabe von Leistungen an Dritte dienen und anstelle eines Plans mitgeliefert werden. Das Modell ermöglicht Projektbesprechungen, ohne vor Ort zu sein, um bspw. die genaue Lage von Sensoren zu zeigen und für alle Beteiligten eindeutig beschreiben zu können.

6.2 3-D-Modell abgeleitet aus der Punktwolke

Sollen weiterführende Untersuchungen wie bspw. die Bestimmung des Volumens durchgeführt werden, ist die

Bild 9 Arbeiten mit Punktwolken
Working with point clouds

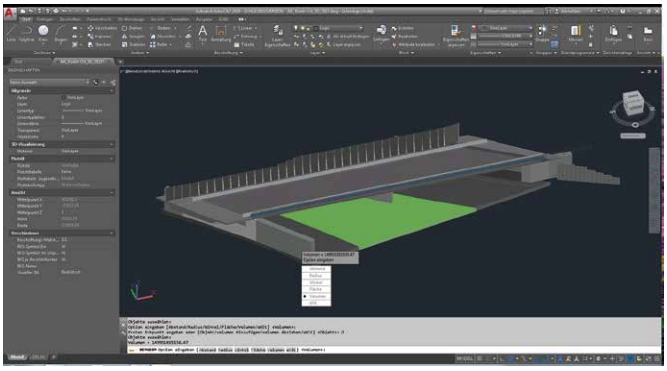


Bild 10 3-D-Volumenmodell aus der Punktwolke
3-D-solid model out of the point cloud

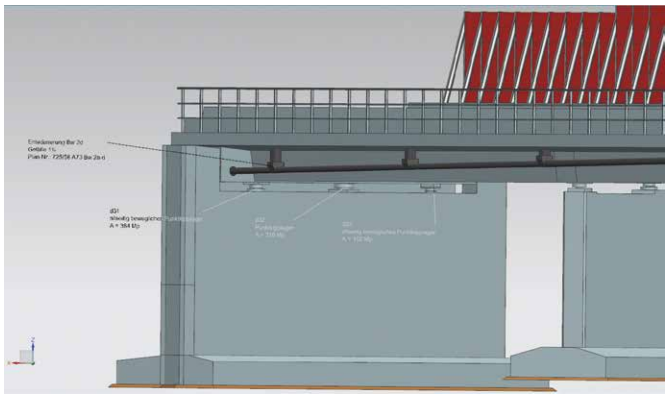


Bild 11 BIM-Modell auf Grundlage der Ausführungspläne
BIM-model generated on the basis of execution plans

Ableitung eines 3-D-Modells anhand der Punktwolke sinnvoll. Das 3-D-Modell kann außerdem als Grundlage für FE-Modelle z. B. für die Nachrechnung verwendet werden [13]. Aufgrund der hohen Genauigkeit des Modells kann eine Auswertung von Schäden erfolgen, indem bspw. bei einer Betonabplatzung die verbleibende Restdicke der Platte bestimmt wird, ohne eine Bohrung am Bauwerk durchführen zu müssen [4]. So ist es möglich, unter Umständen aufgrund der Querschnittsminderung eine Reduktion von Teilsicherheitsbeiwerten vorzunehmen [4].

Das 3-D-Modell wurde im vorliegenden Projekt als Volumenmodell abgeleitet, das die nachträgliche Änderung oder Bearbeitung der einzelnen Komponenten aufgrund der verwendeten Software nicht unterstützt (Bild 10). Da das abgeleitete Modell nahezu die realen Abmessungen und die Lage des Bauwerks abbildet, ist eine nachträgliche Bearbeitung des Modells weniger notwendig und die Assoziativität hier von untergeordneter Bedeutung. Derzeit ist es nicht möglich, das Modell an bauliche Veränderungen anzupassen.

6.3 Nachmodelliertes BIM-fähiges 3-D-Modell

Das aufwendigste Verfahren mit allerdings den meisten Anwendungsmöglichkeiten ist die Erstellung eines mit allen notwendigen Informationen versehenen BIM-Bestandsmodells. Bei dem auf Grundlage der Ausführungspläne generierten Modell handelt es sich um ein parametrisches, assoziatives BIM-Modell (Bild 11).

Das BIM-Modell ermöglicht dem Betreiber des Bauwerks dauerhaften Zugriff auf Geometrie und Abmessungen sowie auf alle relevanten Bauwerksinformationen. Aufgrund der strukturiert vorliegenden Daten kann die Planung von bspw. Baumaßnahmen schneller und einfacher erfolgen, Aktualisierungen bei Instandsetzungen können im Modell vorgenommen werden. Die Unterlagen liegen dabei stets aktualisiert vor, benötigte Pläne können direkt aus dem Modell abgeleitet werden. Schadensbilder im Rahmen von Bauwerksprüfungen können ergänzt und mit dem Bauteil koordinatenecht verknüpft werden. Über Schnittfunktionen können einzelne Bauteile näher betrachtet werden. Wurde die vorhandene Bewehrung mittels zerstörungsfreier Prüfverfahren verortet und anschließend im Modell integriert, kann die Bewehrung im gewünschten Querschnitt betrachtet und die Lage untersucht werden.

7 Zusammenfassung und Fazit

Die Digitalisierung des Brückenbestands ist mit vielen Herausforderungen verbunden, sie bietet aber auch Möglichkeiten und Chancen für die wirtschaftliche und zustandsorientierte Erhaltungsplanung. Die Bestandsaufnahme ist dabei der erste Schritt, um den Zustand des Bauwerks umfassend zu erfassen und zu digitalisieren. Die Bestandsaufnahme kann nach verschiedenen Verfahren erfolgen. Zum einen wurde ein Laserscan durchgeführt und zum anderen ein BIM-fähiges 3-D-Modell aus den Ausführungsplänen generiert. Das Ergebnis des Laserscans sind eine Punktwolke und ein 3-D-Volumenmodell, welches aus der Punktwolke abgeleitet wurde.

Eine pauschale Empfehlung für ein bestimmtes Verfahren oder eine Vorgehensweise ist nicht zielführend, da sich die Modelle je nach Anwendungsfall unterscheiden und das Verfahren daher individuell festzulegen ist [12].

Die Erstellung des 3-D-Modells aus dem Laserscan bedeutet einen Arbeitsaufwand von rd. 50 h, das aus den Ausführungsplänen generierte Modell wurde in 180 h erstellt. Die Modelle unterscheiden sich wesentlich in ihrer Funktion.

Bei dem abgeleiteten 3-D-Modell auf Grundlage des Laserscans handelt es sich um ein Volumenmodell. In der vorliegenden Form eignet es sich nicht als BIM-Modell, da die Komponenten der Brücke nicht einzeln veränderbar sind. Dieses 3-D-Modell und die Punktwolke zeigen die tatsächliche Geometrie der Brücke, was bei der Planung von Umbauten oder Erhaltungsmaßnahmen relevant ist.

Bei dem aus den Ausführungsplänen generierten Modell handelt es sich um ein 3-D-Modell als Grundlage für ein BIM-Modell, die einzelnen Komponenten sind parametrisch aufgebaut mit hinterlegten Informationen zu bspw. Baustoffen, Konstruktionen und Sensoren. Ein Vorteil dieses Modells ist auch die vorhandene Modellhistorie. Diese erlaubt es, einzelne Schritte der Erstellung nachzuvollziehen und Änderungen auch im Nachgang durchführen zu können (wie bspw. die Erneuerung des Fahrbahnbelags). Das Modell erlaubt es zudem, die einzelnen Komponenten auszuwählen, zu vermessen, auszutauschen usw. Zukünftig ist die Überführung der Schichtdicke des Fahrbahnbelags und die Lage der äußeren Längsspannglieder in das Modell geplant.

Ziel für die Erhaltungsplanung sollte sein, dass BIM-Modelle, welche die tatsächlich vorhandene Geometrie abbilden, vorliegen. Dieses Ziel kann erreicht werden, indem die Vorteile aus den beiden hier vorgestellten Verfahren kombiniert werden. Im Rahmen der fortschreitenden Entwicklungen sind heute Tools und Lösungen verfügbar, um auch aus abgeleiteten Modellen (z. B. Laserscandaten) parametrische assoziative BIM-Modelle zu generieren. Eine automatisierte Ableitung des Modells ist wünschenswert, möglich wäre das über einen digitalen Bauteilkatalog, in dem Bauteile erkannt werden, wie er im Hochbau bereits existiert. Hierbei muss jedoch festgehalten werden, dass sich der Brückenbau in Deutschland durch eine hohe Heterogenität kennzeichnet und daher eine Standardisierung einen hohen Arbeitsaufwand bedeutet. Eine Festlegung der tatsächlich benötigten Detaillierungsgrade ist ebenfalls notwendig, mit steigender Detailtiefe steigen auch Arbeitsauswand und Datenmenge.

Literatur

[1] Bednorz, J.; Hindersmann, I.; Duschl, M. (2018) *BIM bei Bestandsbrücken – Modellbildung zur Umsetzung der duraBASt-Brücke*.

[2] Singer, D.; Borrmann, A. (2016) *Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken*. 15. März 2016.

[3] Jäger, K. (2018) *3D-Laserscan der duraBASt-Brücke sowie Ableitung des 3D-Modells auf der Grundlage der Laserscan-Daten*. Abschlussbericht.

[4] Löschmann, J.; Mark, P. (2017) *Zur Reduktion des Teilsicherheitsbeiwertes für Eigenlasten bei Bestandsbrücken*. Doktorandensymposium 2017, 58. Forschungskolloquium des DAfStb.

[5] Popescu, C.; Täljsten, B.; Blanksvärd, T.; Elfgren, L. (2019) *3D reconstruction of existing concrete bridges using optical methods* in: Structure and Infrastructure Engineering 15, pp. 912–924.

[6] Wehmann, W.; Oczipka, M.; Knötzsch, P.; Schramm, M. (2017**)** *Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung und 3D-Modellierung des Kreisels der Bobbahn Altenberg mit unterschiedlichen Aufnahmetechnologien* in: Terrestrisches Laserscanning, DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Deutscher Verein für Vermessungswesen [Hrsg.] *Terrestrisches Laserscanning 2017 (TLS 2017)*. 165. DVW-Seminar. Fulda, 11./12. Dez. 2017. Augsburg: Wißner-Verlag.

[7] Pătrăucean, V.; Armeni, I.; Nahangi, M.; Yeung, J.; Brilakis, I.; Haas, C. (2015) *State of research in automatic as-built modelling* in: Advanced Engineering Informatics 29, pp. 162–171.

[8] Tang, P.; Huber, D.; Akinci, B.; Lipman, R.; Lytle, A. (2010) *Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds. A review of related techniques* in: Automation in Construction 19, pp. 829–843.

[9] The National Building Research Institute (2018) *SeeBridge – Semantic Enrichment Engine for Bridges* [online]. http://seebridge.net.technion.ac.il/ [Stand: 22. Feb. 2018]

[10] König, M.; Amann, J.; Borrmann, A.; Braun, M.; Elixmann, R.; Eschenbruch, K.; Goetz, A.; Hausknecht, K.; Hochmuth, M.; Liebich, T.; Nejatbakhsh, N.; Scheffer, M.; Singer, D. (2015) *Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von Building Information Modeling im Infrastrukturbau. Materialsammlung 2015.*

[11] Boochs, F.; Kern, F.; Schütze, R.; Marbs, A. (2009) *Ansätze zur geometrischen und semantischen Modellierung von großen, unstrukturierten 3D-Punktmengen* in: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformatik – Themenheft Terrestrisches Laserscanning, S. 65–77.

[12] Blankenbach, J. (2016) *Bauwerksvermessung für BIM* in: Nöldgen, M. [Hrsg.] *BIM im Brücken- und Ingenieurbau. Digitale Bauwerksmodelle mit NX 10, 3D-Konstruktion, Datenintegration und FE-Simulation.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg.

[13] Burkert, T.; Schöps, P. (2019) *Ev.-Luth. Hauptpfarrkirche Zwickaus – seit 1935 Dom St. Marien Zwickau* in: Jäger, W. [Hrsg.] *Mauerwerk Kalender 2019*. Newark: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften.

Autoren
Jennifer Bednorz, M.Eng. (Korrespondenzautorin)
bednorz@bast.de
Bundesanstalt für Straßenwesen
Abteilung Brücken- und Ingenieurbau
Referat B2 – Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

Dr. Iris Hindersmann
hindersmann@bast.de
Bundesanstalt für Straßenwesen
Abteilung Brücken- und Ingenieurbau
Referat B1 – Betonbau
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

Klaus Jaeger, CEO
klaus.jaeger@jalasca.de
jalasca GmbH
Franz-Haniel-Straße 16a
47443 Moers

Monika Marszalik
monika.marszalik@jalasca.de
jalasca GmbH
Franz-Haniel-Straße 16a
47443 Moers

Zitieren Sie diesen Beitrag

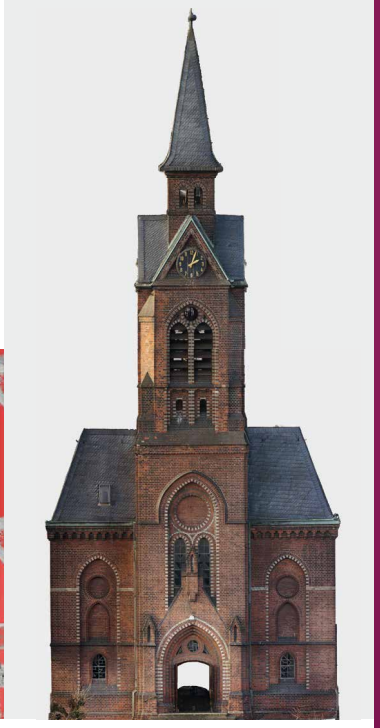
Bednorz, J.; Hindersmann, I.; Jäger, K.; Marszalik, M. (2020) *Methoden zur Generierung von As-Built-Modellen für Bestandsbrücken.* Bautechnik 97, H. 4, S. 286 – 294.
https://doi.org/10.1002/bate.202000011

Eine Frage der Perspektive

- 3D-Laserscanning
- Industrie-Inspektion mit UAV
- Luftbildvermessung
- 3D-Modellierung und Auswertungen

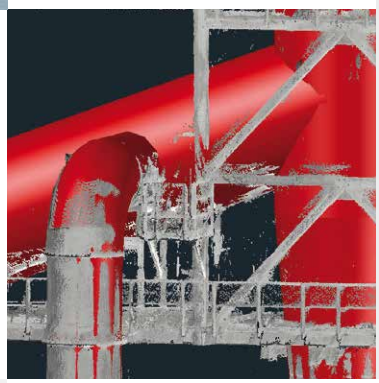
Vermessung GDRM-Anlage

3D-Laserscanvermessung in kritischer Infrastruktur



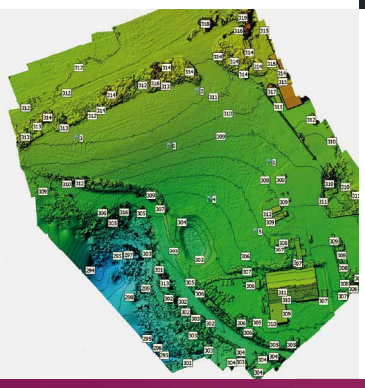
Digitales Bestandsaufmass

3D-Laserscanvermessung und BIM-Modellerstellung eines Hotels



Luftbildvermessung Baufläche

Digitales Geländemapping



3D-Vermessung Industrieanlage

3D-Laserscanvermessung einer Industrieanlage als Planungsgrundlage

3D-Vermessung Kirche

Verformungsgerechtes Gesamtaufmaß einer Kirche

Viele weitere spannende Projekte finden Sie auf unserer Homepage.

www.jalasca.de

jalasca