

Laserscanning zur Bestandsaufnahme von Personenbahnhöfen

Vergleich von terrestrischem und mobilem Laserscanning bei der Bestandsaufnahme des Bahnhofs Böblingen

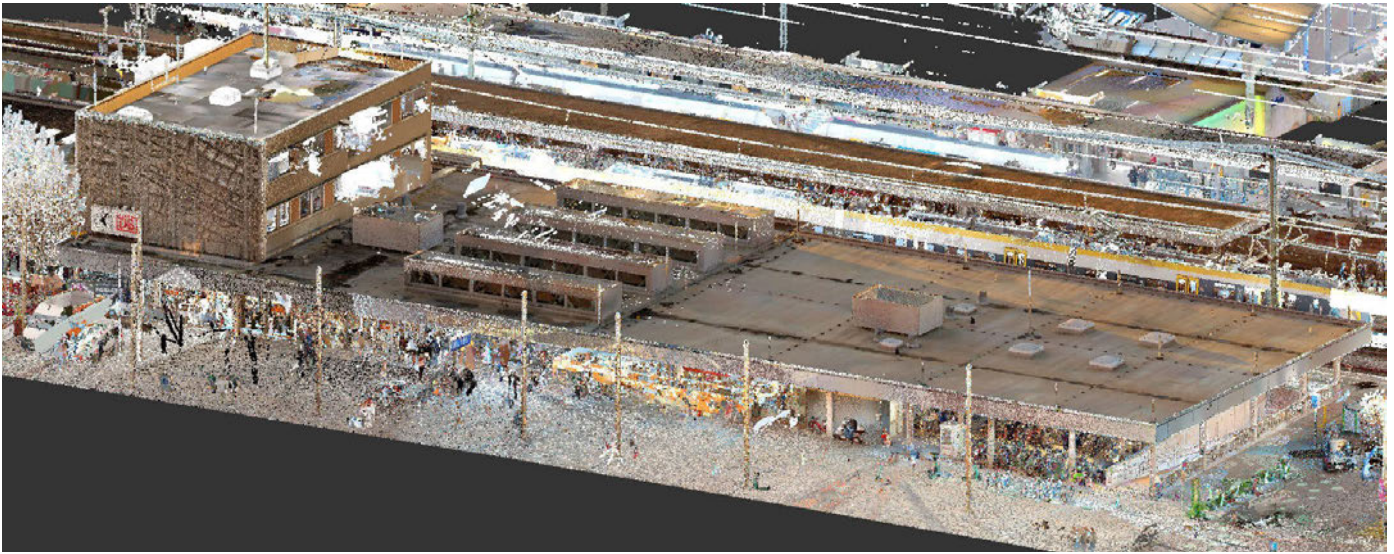


Abb. 1: MMS-Punktwolke des Bahnhofs Böblingen

JOHANNES SEUBERT | HANS LINDOW

Die digitale Bestandserfassung der DB InfraGO AG Personenbahnhöfe dokumentiert den baulichen Zustand und bildet die wesentliche Grundlage für die Anwendung der BIM-Methodik (Building Information Modeling, BIM) im Bestand. Die Ergebnisse modernster Vermessungsverfahren werden in 3D-Modellen und 2D-Plänen dokumentiert und dienen der Planung und Durchführung von Baumaßnahmen, der Flächenermittlung sowie als Grundlage für Brandschutzunterlagen etc. Die Vermessung erfolgt bislang hauptsächlich mit terrestrischen Laserscannern [1]. In den letzten Jahren dringen mobile Laserscanningverfahren, dank verbesserter Hard- und Software, zunehmend in die Genauigkeitsbereiche klassischer Laserscanner vor. Im Rahmen der Bestandsaufnahme des Empfangsgebäudes Böblingen (Abb. 1) wurden erstmals beide Verfahren miteinander verglichen.

Status Quo

Bislang ist die etablierte Methode das terrestrische Laserscanning (TLS). Bei diesem Verfahren wird der 3D-Laserscanner von Standpunkt zu Standpunkt umgesetzt, um das Gebäude vollständig zu erfassen. Je nach Komplexität

des Gebäudes kann dies zu einer sehr hohen Anzahl von Einzelstandpunkten führen. So kann z.B. eine offene Halle mit wenigen Standpunkten erfasst werden, während eine Gebäudetopologie, die aus vielen einzelnen, mit Möbeln „verstellten“ Räumen besteht, eine große Anzahl von Standpunkten auf derselben Fläche erfordert. In Verbindung mit einer ungefähren Scandauer von zwei Minuten (einschließlich Umrüstzeit) summiert sich dies, wobei die Organisationszeiten noch nicht berücksichtigt sind. Zudem erfordert die saubere Verknüpfung der Scans untereinander eine ausreichende Überlappung, was zu einer – gewollten – großen Datenredundanz führt und damit den Speicherbedarf erhöht. Darüber hinaus ist trotz automatisierter Auswerteverfahren weiterer interner Aufwand zur Bereinigung und zum Ausgleich der Scandaten erforderlich.

Das sogenannte Mobile-Mapping-System (MMS)-Verfahren in Verbindung mit Simultaneous Localization and Mapping (SLAM; engl. für Simultane Positionsbestimmung und Kartierung) verspricht einige der genannten Probleme zu lösen. Dabei wird das Objekt mit einem tragbaren Scansystem kontinuierlich erfasst und in Echtzeit 3D-kartiert. Das mehrfache Aufstellen des Scanners entfällt und wird durch ein kontinuierliches Durchlaufen des Gebäudes ersetzt. Dabei werden große Datenmengen durch Redundanzreduktion vermie-

den, und die Auswertung erfolgt nahezu ohne zusätzliche menschliche Eingriffe. Erste kommerzielle mobile Systeme existieren bereits seit ca. 2015. Allerdings waren diese Geräte meist noch sehr groß, für kleine verwinkelte Räume zu unhandlich und, da meist auf Rädern geführt, nicht treppengängig. Seit 2021 wurden umfangreiche abteilungsinterne Tests zur Beschaffung eines mobilen Systems durchgeführt. Diese führten schließlich 2023 zur Beschaffung eines entsprechenden Systems.

Das Mess- und Visualisierungssystem

Die Hardware besteht aus einer Art Exoskelett mit zwei senkrecht zueinander angeordneten LiDAR-Sensoren. Unterhalb des oberen Scanners befinden sich vier Weitwinkelkameras zur Erstellung von Panoramabildern, um Echtfarbinformationen für die Punktwolke zu erhalten (Abb. 2). Diese dienen auch als Übersicht für den zugehörigen Cloud-basierten Viewer. Im Gerät sind verschiedene Winkel- und Beschleunigungssensoren verbaut, um die Position des Gerätes im Raum in Echtzeit zu bestimmen. Über einem Haltegriff befindet sich ein kleines Display, auf dem in Realzeit ein Kartenbild der aktuellen Begehung (im Folgenden Walk genannt) verfolgt werden kann. Die berechnete Begehungslinie wird Trajektorie genannt. Die endgültige Berechnung der Punktwolke erfolgt in der Cloud. In diesem Arbeitsschritt

beschränken sich die manuellen Tätigkeiten auf das Hochladen des Walks, das Hinzufügen der Kontrollpunkte und einer optionalen Verpixelung menschlicher Gesichter. Die weiteren Berechnungsschritte erfolgen automatisiert und ohne die Möglichkeit, Aufnahmefehler nachträglich manuell zu korrigieren. Tritt z. B. ein Driftfehler (eine Winkelabweichung an einer Stelle der Strecke, die eine nachfolgende Lageabweichung verursacht) auf, so muss vor Ort entschieden werden, ob der Walk neu gestartet werden soll oder ob dem System vertraut wird, diesen Fehler selbstständig auszugleichen. Als weitere Fehlerquellen können Spiegelungen und Artefakte auftreten. Die Georeferenzierung der Punktwolke erfolgt durch das Hinzufügen vorbestimmter Kontrollpunkte. Hierbei ist nur ein rudimentäres Protokoll über die Kontrollpunktgenauigkeit vorhanden, welches keine Rückschlüsse auf die innere Genauigkeit zulässt.

Vermessung für die Bestandserfassung des Empfangsgebäudes Böblingen

Ziel der Vermessung war hier zunächst die Erstellung architekturgerechter Bestandspläne als Grundlage für die Vermietung und Brandschutzpläne. Das voll unterkellerte Empfangsgebäude besteht aus zwei Gebäudeteilen. Aus dem eingeschossigen Hauptbaukörper, der auch die neu errichtete Personenunterführung enthält, ragt das dreigeschossige Stellwerk heraus. Die Sichtflächen des Empfangsgebäudes werden von Glasfassaden sowie verputzten und rohen Betonwänden bestimmt.

Durchführung der Messarbeiten

Als Grundlage für die Vermessung dient analog zum TLS ein Vermessungsnetz (Festpunktfeld). Ein einzelner Walk sollte nach Herstellerempfehlung im Idealfall zwischen 30 und 90 Minuten dauern. Da es hiermit nicht möglich war, das gesamte Empfangsgebäude mit einem einzigen Walk zu erfassen, wurde ein Raster in Form eines ausgeglichenen Vermessungsnetzes benötigt. Damit können alle Punktwolken im selben System und passend zueinander verortet werden. Diese Positionierung erfolgt mithilfe von Zielmarken, die der Algorithmus zur Berechnung der Punktwolke ebenfalls einbindet. Sie dienen auch zur Kontrolle der inneren und äußeren Genauigkeit der Punktwolken. Das dauerhaft angelegte Vermessungsnetz ermöglicht es zudem, zu einem späteren Zeitpunkt (z. B. nach einem Umbau) weitere Vermessungen im selben Koordinatensystem durchzuführen.

Dazu wurden Festpunkte mittels Bodennägel oder Reflexfolien an vertikalen Flächen dauerhaft markiert und über freie Stationierungen mehrfach bestimmt und ausgeglichen. Wie in Böblingen gibt es im Umfeld der meisten Bahnhöfe Festpunkte im System DB_REF2016 [2]. Diese wurden ebenfalls in das Festpunktfeld eingerechnet, sodass eine Transformation in das Koordinatensystem Personenbahnhöfe,



Abb. 2: Vergleich Panoramafoto (links der roten Diagonale) zur Punktwolke (rechts)

bekannt als VA-System des jeweiligen Bahnhofs [3], möglich ist. Da das VA-System auf dem DB_REF2016 basiert, ist es auch bei Verlust der lokalen Vermarkungen des Festpunktfeldes (z. B. durch Umgestaltung des Bahnhofsvorplatzes) möglich, diese wiederherzustellen.

Parallel zur Erstellung des Festpunktfeldes wurden die Walks vorbereitet. Dazu wurde die Begehrbarkeit der einzelnen Gebäudeteile überprüft und festgelegt, welcher Bereich jeweils durch einen Walk abgedeckt werden kann. Für jeden Walk wurden Zielmarkierungen an strategisch günstigen Positionen angebracht und parallel in das Festpunktfeld eingemessen. Sinnvolle Bereiche befinden sich an den jeweiligen Anfangs- und Endpunkten der Walks und bei räumlich ausgedehnten Gebäudeteilen zusätzlich im Außenbereich. Pro Walk müssen mindestens drei Zielmarken eingemessen werden, um die Punktwolke später georeferenzieren zu können. Die Zielmarken wurden im Erdgeschoss um das Gebäude herum, im Bereich der Personenunterführung und am Rand des Flachdaches angebracht. In den Obergeschossen wurden weitere Kontrollpunkte so gesetzt, dass diese vom Vorplatz und vom Bahnsteig aus angemessen werden konnten.

Das MMS wird zur Selbstkalibrierung auf einen festen Untergrund gestellt und ist nach wenigen Minuten einsatzbereit. Zur besseren Gewichtsverteilung legt sich der Vermesser einen Bauchgurt an, in den ein Auflager des Scanners einrastet. Zusätzlich liegt das Gestell auf den Schultern auf. Nach dem Einrichten des Projektes auf dem Display wird der Scansvorgang gestartet und der vorher abgesteckte Bereich abgeschritten. Dabei ist es für die spä-

tere Berechnung wichtig, den Bereich schleifenförmig abzulaufen, dabei dieselben Bereiche mehrfach zu begehen und den in Echtzeit auf dem Display dargestellte Laufweg immer wieder zu kreuzen. Da die Kontrollpunkte hauptsächlich um das Gebäude herum angeordnet waren, wurde jeweils außen begonnen, in das Gebäude hineingegangen und außen wieder abgeschlossen. Während der Messung hält der Vermesser alle 5 – 10 m an und erstellt ein Panoramafoto.

Zur Messung der Kontrollpunkte wird das Gerät aus der Halterung gehoben, auf die Schultern gelegt und mit der Halterung manuell die Mitte des Kontrollpunktes angezielt. Wird derselbe Kontrollpunkt am Anfang und am Ende des Walks gemessen, ist anhand der Echtzeitkartierung sofort erkennbar, ob ein Drift- oder Positionsfehler innerhalb des Walks vorliegt. Wenn der Fehler zu groß ist, sollte man von vorne beginnen, langsamer gehen und bessere Schleifen abgehen. In diesem Fall war dies nicht notwendig, und alle Datensätze wiesen nur geringe Abweichungen auf, die durch den Algorithmus ausgeglichen werden konnten. In Abb. 3, mit der bereits berechneten Karte des vom Vorplatz aus gesehen rechten Gebäudeteils, kann man die Trajektorie anhand der gelben Linie verfolgen. Hier sieht man auch am Zeitstempel, dass der Walk im mittleren Teil der Station begonnen und beendet wurde. Die roten Punkte markieren die Standorte der Panoramafotos.

Vergleich der Scansysteme

Um einen Vergleich der reinen Scanzzeit, der Qualität und der Genauigkeit zwischen dem terrestrischen und dem MMS zu ermöglichen,

Autoren-Belegexemplar, Herr Lindow, DB InfraGO AG. Weitergabe an Dritte urheberrechtlich untersagt.

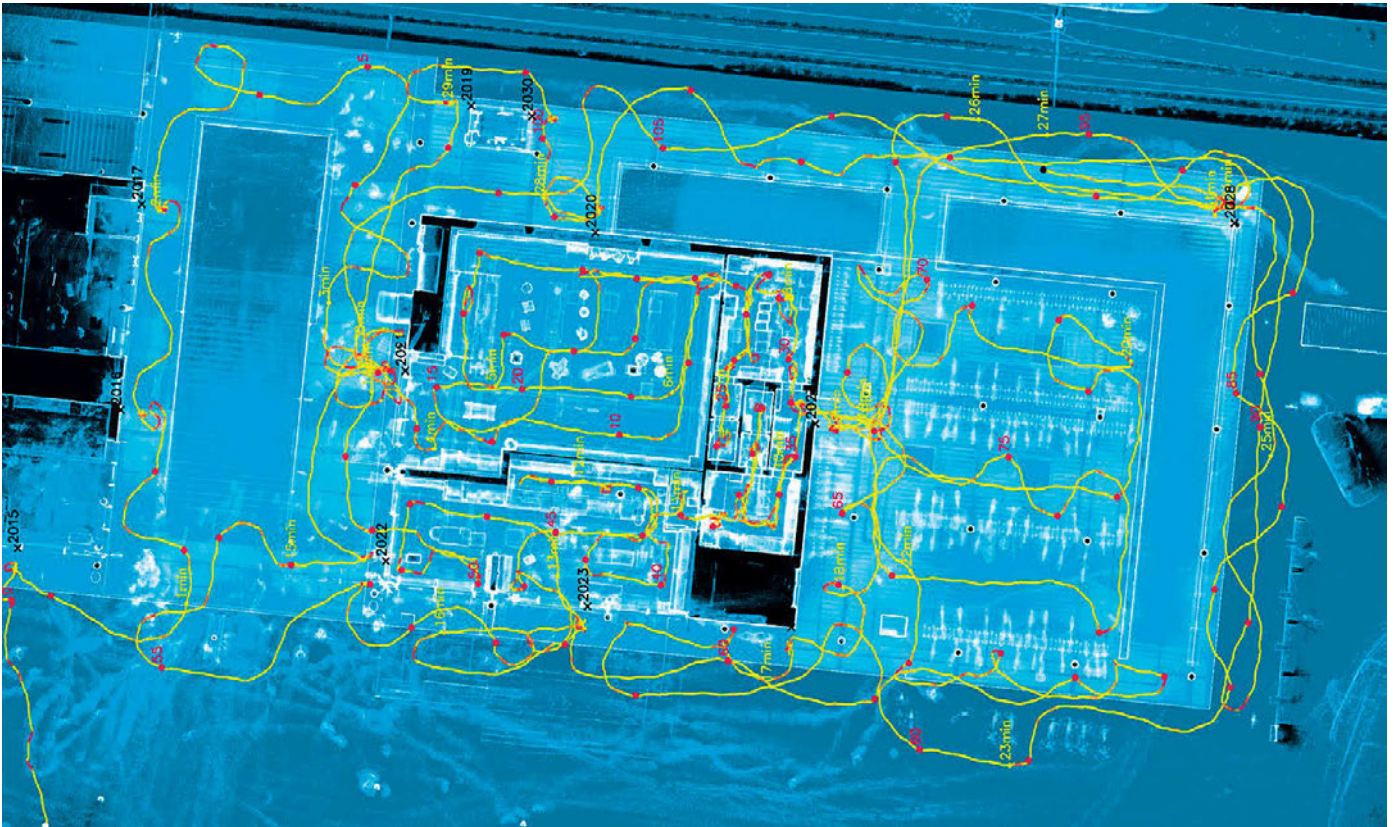


Abb. 3: Echtzeitkartierung eines Walks

wurde der zentrale Bereich des Untergeschosses parallel sowohl mit dem MMS als auch mit einem terrestrischen Messsystem vermessen. Dieser Bereich ist sowohl von der Vorplatzseite als auch von der Bahnsteigseite über ein Treppenhaus zugänglich. Dieser Abschnitt eignet sich insofern für einen Vergleich, als er den durchschnittlichen Bauzustand der meisten Bahnhöfe gut wiedergibt, diverse Höhenunterschiede aufweist und eine „Sackgasse“ (einen sogenannten toten Zug) enthält, die sich einer Kontrolle durch eine externe Anbindung entzieht. Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden können durch die Überprüfung der inneren Genauigkeit der Ergebnisse festgestellt werden.

Bei der terrestrischen Messmethode wurden 78 Scanstandpunkte in ca. drei Stunden aufgenommen. Ein wesentlicher Zeitfaktor war dabei der Standpunktwechsel und der Tausch der Stative an den Lichtschächten. Mit dem MMS wurde dieselbe Fläche inklusive einer kompletten Umrundung des vom Vorplatz aus gesehen linken Gebäudeteils zurück zum Startpunkt in ca. 40 Minuten begangen und aufgenommen. Dies zeigt, dass man mit dem mobilen Scansystem im Außendienst ca. vier- bis fünfmal so schnell sein kann.

Die Genauigkeits- und Qualitätsunterschiede zeigten sich erst bei der Planerstellung. Bis zur Hauptkreuzung der Flure in der Mitte des Kellers sind die beiden Punktwolken nahezu deckungsgleich. Je weiter der Flur in Richtung Sackgasse geht, desto deutlicher wird jedoch ein Driftfehler

ler (Abb. 4), der am Ende zu einer Lageabweichung der beiden Punktwolken von 2 cm führt. Die Punktwolke aus den terrestrischen Scans passt dabei besser zu den Scandaten aus dem Erdgeschoss, wo sich die Kontrollpunkte befinden. Dies ist an den Winkeln von Wänden und Lichtschächten erkennbar. Der Driftfehler hätte

möglicherweise vermieden werden können, wenn zusätzlich einige Kontrollpunkte an der Kreuzung und im Flur platziert worden wären. Eine Höhenabweichung konnte nicht festgestellt werden. Die Qualität der beiden Punktwolken weist jedoch größere Unterschiede auf, da beim MMS-Algorithmus kleine Details nicht

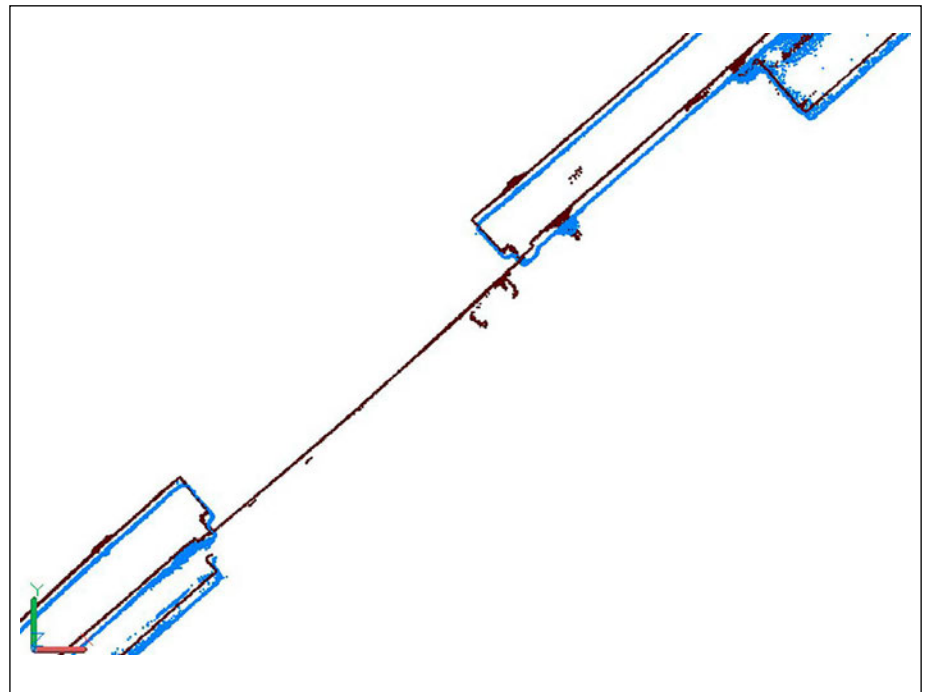


Abb. 4: Vergleich MMS-Verfahren zu TLS-Verfahren (schwarz TLS; blau MMS)

erkennbar sind oder interpoliert und teilweise mit der Wand verschmolzen werden. So ist es z.B. bei schmalen Metallzargen nicht möglich, die lichte Öffnungsbreite von Türen aus der Punktwolke abzuleiten. Auch bei gefliesten Oberflächen führt das Reflexionsverhalten des MMS-Verfahrens zu Abweichungen, die nur durch Expertenwissen und Nachmessungen kompensiert werden können.

Die reine Begehungszeit des Empfangsgebäudes betrug ca. zwei Tage mit zwei Mitarbeitern. Der Zeitaufwand für Organisation und Festpunktfelderstellung wurde hier nicht berücksichtigt, da er für beide Scansysteme identisch ist. Zusätzlich wurden an einem Tag manuelle Nachmessungen durch zwei Mitarbeiter durchgeführt. Beim TLS-Verfahren hätte man nach dem oben berechneten Faktor ca. neun Tage Arbeitsaufwand, dafür entfallen die Nachmessungen.

Eine Vermessung des vollständigen Empfangsgebäudes mittel TLS-Messungen hätte noch ca. weitere zwei Tage Nachbearbeitung (Bereinigen, Zuschneiden und Registrieren der Punktwolken) erfordert. Die Kontrollmöglichkeit der Punktwolke ist hier deutlich höher, da man Einfluss auf die Ausgleichsrechnung nehmen kann und bessere statistische Kontrollmechanismen zur Verfügung stehen.

Fazit

Der Vergleich der beiden Messverfahren im praktischen Einsatz zeigt die aktuellen Stärken und Schwächen des MMS-Verfahrens. Der Vorteil liegt eindeutig in den deutlich kürzeren Außendienstzeiten, erfordert aber – wie auch beim TLS-Verfahren – eine sorgfältige Planung der Messarbeiten und den Aufbau eines ausgewogenen Festpunktfeldes.

Im Bereich der Genauigkeit und der Qualität der Ergebnisse zeigt das MMS-Verfahren jedoch noch zukünftige Verbesserungspotenziale, insbesondere bei der Behandlung von Messdriften und der Abbildung feinerer Strukturen durch den Cloud-Algorithmus. Daher setzt auch die Anwendung dieses Verfahrens entsprechende Fachkenntnisse und praktische Erfahrungen des Anwenders voraus.

Es ist jedoch für viele Zwecke, bei denen ein geringerer Detaillierungsgrad erforderlich ist, sehr wirtschaftlich einsetzbar, z.B. als Grundlage für Massenmodelle, Kapazitätsmanagement, Brandschutzpläne oder Flächenberechnungen nach DIN 277. Für sehr hohe Genauigkeits- und Detaillierungsgrade ist das MMS-Verfahren derzeit noch nicht in vollem Umfang geeignet. ■

QUELLEN

- [1] Lindow, H.; Sander, K.: 3D-Bestandsdokumentation von Empfangsgebäuden gemäß BIM-Methodik, El 08/2021, S. 50–53
- [2] Richtlinie 883.2000 DB REF-Festpunktfeld, DB InfraGO AG
- [3] Clemen, C.; Romanschek, E.; Fleischer, A.: Georeferenzierung von 3D-Modellen mit dem VA-System für Personenbahnhöfe, El 11/2023, S. 56–59



Johannes Seubert, M.Eng.
Digitale Bestandserfassung
DB InfraGO AG – Personenbahnhöfe,
Frankfurt a. M.
johannes.seubert@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Hans Lindow
Leiter Vermessung
und Baudokumentation
DB InfraGO AG – Personenbahnhöfe,
Frankfurt a. M.
hans.lindow@deutschebahn.com



**29. Internationale
Ausstellung
Fahrwegtechnik**
20.-22. Mai 2025
in Münster



JETZT ANZEIGENPLATZ SICHERN!

Offizielle Messeausgabe DER EISENBAHNINGENIEUR Nr. 5/25
Anzeigenschluss: 09.04.2025 Sie finden uns in Halle Süd, Stand 420

Kontakt: Silke Härtel • E-Mail: silke.haertel@dvvmedia.com • Telefon: 040/237 14-227