

Georeferenzierung von 3D-Modellen mit dem VA-System für Personenbahnhöfe

Das neue „Koordinatensystem Personenbahnhöfe“ minimiert systematische Abweichungen zwischen Vermessung und 3D-Planung.

CHRISTIAN CLEMEN | ENRICO ROMANSCHKEK |
ANDREJ FLEISCHER

Die barrierefreie Erneuerung von 5400 Personenbahnhöfen ist in vollem Gange, seit 1. Januar 2017 unterstützt durch Building Information Modeling (BIM). BIM konzentriert sich auf dreidimensionale Planung und Modellkoordination. Jedoch arbeiten 3D-Softwarelösungen nicht mit geodätischen Koordinaten, was systematische Abweichungen verursacht. In lokalen Projekten ist die Verwendung kartesischer Koordinaten unverzichtbar. Die Lösung besteht darin, geodätische Koordinaten in ein optimiertes Koordinatenbezugssystem umzuwandeln. Dieses Verfahren wurde standardisiert und für 5400 Verkehrsstationen implementiert. Das VA-System minimiert systematische Abweichungen und nutzt das DB_REF-Datum für den Trassenbezug und kann für die Absteckung von Bauvorhaben aus dem Modell eingesetzt werden.

Motivation

In den vergangenen Jahren hat die barrierefreie Erneuerung der 5400 Personenbahnhöfe erheblich an Fahrt aufgenommen und wird auf hohem Niveau fortgesetzt. Für die effiziente Umsetzung der Maßnahmen ist die Anwendung der BIM-Methode in Projekten der Personenbahnhöfe seit 1. Januar 2017 verpflichtend.

Die dreidimensionale Planung und Modellkoordination von Teil- und Fachmodellen ist neben dem Informationsmanagement das wesentliche Moment des BIM. Die dreidimensionale Vermessung des vorhandenen Baubestandes bildet die Grundlage der dreidimensionalen Modellierung. Allerdings arbeitet die in der BIM-Methode eingesetzten 3D-Autoren- und Koordinationssoftware nicht mit geodätischen Koordinaten, die für die Trassierung und in Geoinformationssystemen (GIS) zu verwenden sind, sondern mit „normalen“ kartesischen Koordinatensystemen – oder überspitzt formuliert: „BIM denkt, die Erde sei eine Scheibe“. Die systematischen Abweichungen zum DB_REF von bis zu 15 cm pro 1 km entstehen derzeit, weil 3D-Planungssoftware die Erdkrümmung nicht berücksichtigt.

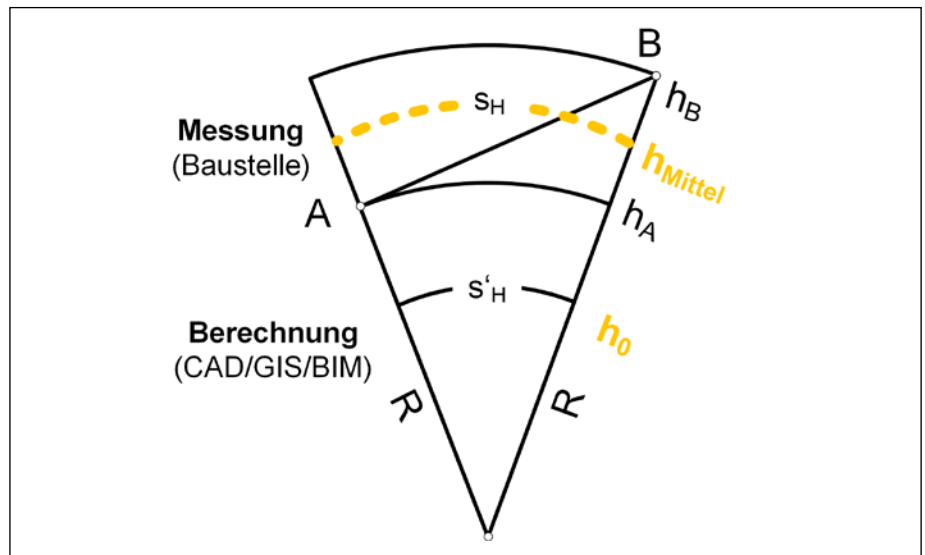


Abb. 1: Die gemessene Horizontalstrecke s_H muss aufgrund der Höhe maßstäblich nach s'_H reduziert werden.

Quelle aller Abb.: C. Clemen

Im lokalen Bereich, z.B. bei der Planung von Baumaßnahmen an Personenbahnhöfen oder einer Brücke, ist es allerdings unabdingbar, dass kartesische Koordinatensysteme verwendet werden, weil diese die Grundlage der Planungssoftware von Architekten sowie Bau-, Elektro-, und Maschinenbauingenieuren ist. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Volumenkörper der CAD/BIM-Software zukünftig mathematisch korrekt mit den gekrümmten Gauß-Krüger-Koordinaten modelliert werden können.

Die Aufgabe besteht also darin, die notwendige geodätische Sichtweise für qualifizierte Trassierung zur Durchführung von schnellen Zugfahrten (DB_REF; GIS-Systeme) mit der ebenso notwendigen kartesischen Sichtweise der Planung (3D; CAD-Systeme) lokal begrenzter Bauwerke ineinander zu übersetzen. Die Lösung liegt darin, dass die geodätischen Koordinaten so umgeformt werden, dass die systematische Abweichung zwischen 3D-Planung und Vermessung durch die optimale Definition eines Koordinatenbezugssystems (engl. coordinate reference system = CRS) minimiert wird. Für diese Umrechnung wurde ein systematisches, standardisiertes Verfahren entwickelt und getestet, welches prinzipiell für alle Verkehrsanlagen (VA) sinnvoll ist.

Mit diesem neuen einheitlichen und standardisierten Verfahren wurde für alle 5400 Ver-

kehrsstationen ein lokales CRS erstellt und auf der Infoplattform ([1], siehe auch Infokasten) als Datenbank zur Verfügung gestellt. Dieser Typ von CRS wird lokales Koordinatensystem Personenbahnhöfe (kurz VA-System) genannt. Die Umformung der lokalen VA-Systeme zum DB_REF ist einfach mit GIS- und CAD-Software umzusetzen und basiert auf gängigen IT-Standards. VA-System und DB_REF/GK unterscheiden sich eigentlich nur wenig: Statt einer globalen Gauß-Krüger-Abbildung mit 3°-Meridianstreifen findet beim VA-System pro Verkehrsstation eine lokal optimierte kartographische Projektion statt. Dadurch wird die systematische Abweichung auf maximal 2 mm/1 km minimiert. Das lokale Koordinatensystem Personenbahnhöfe nutzt als Grundlage das DB einheitliche geodätische Datum DB_REF (Deutsche Bahn AG, DB). Dadurch ist insbesondere der Trassenbezug garantiert. Die hohe Netzqualität (absolut 1 cm/relativ 5 mm) des DB_REF bleibt im Koordinatensystem Personenbahnhöfe erhalten.

Mit dem neuen standardisierten Verfahren können auch in den Jahren nach der Planung die geometrischen Informationen lagerichtig weiterverwendet sowie in andere CRS überführt und zusammengeführt werden. Des Weiteren ermöglicht dieses standardisierte Vorgehen zukünftig das direkte Abstecken des Bauvorhabens aus dem Modell.

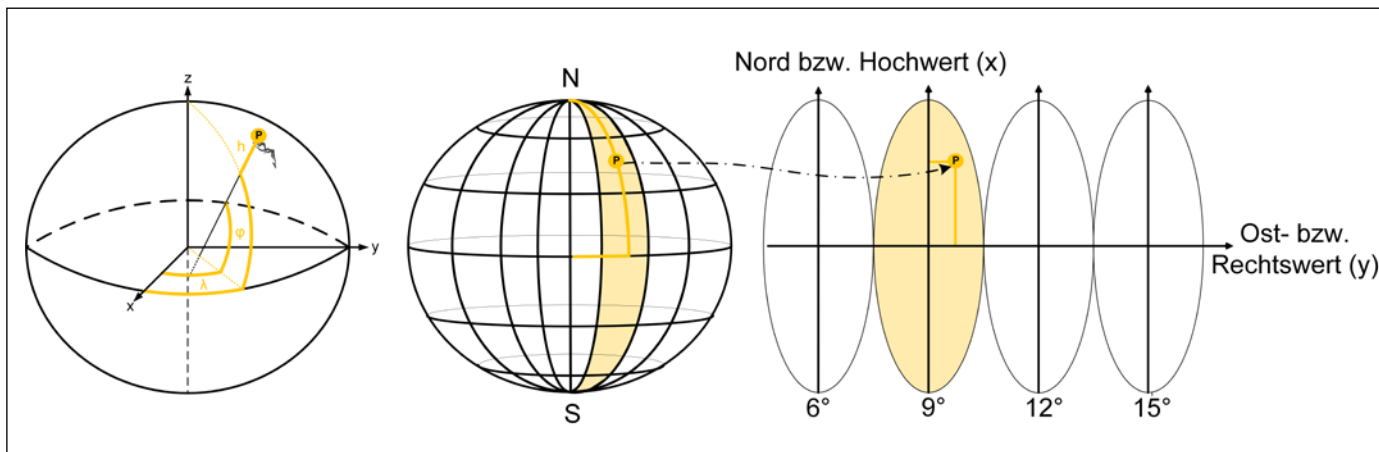


Abb. 2: Die z. B. mit GNSS gemessenen 3D-Koordinaten (x, y, z) von Punkt P werden in ellipsoidische Koordinaten (λ, φ, h) umgeformt und dann mittels kartographischer Projektion (Gauß-Krüger) als lokal-winkeltreue Rechts- und Hochwerte dargestellt.

Geodätische Grundlagen

Datum, Abbildung und Höhenreduktion

Die Wissenschaft der Geodäsie liefert die mathematischen, physikalischen und konzeptionellen Grundlagen für praktische Vermessungsarbeiten. Die im Infokasten schematisch dargestellten geodätischen Grundlagen sind für das Verständnis des neuen VA-Systems erforderlich. Alle Messwerte, z. B. Strecken oder GNSS-Koordinaten werden in ein projiziertes „Gebrauchssystem“ umgerechnet, damit in CAD, BIM und GIS die Lage in einem horizontalen, kartesischen Koordinatensystem angegeben werden kann. Besonders wichtig für das VA-System ist das Verständnis der kartographischen Projektion. Das DB_REF verwendet dafür eine Gauß-Krüger-Abbildung mit 3°-breiten Meridianstreifen.

Eine in der Örtlichkeit gemessene Horizontalstrecke s_H muss maßstäblich reduziert werden, damit die Strecke s'_H zu den Koordinaten auf der Rechenfläche (Ellipsoid) passt (Abb. 1). Diese Verkürzung der Strecke wird Höhenreduktion genannt. Anschließend erfolgt die kartographische Projektion in die Ebene, z. B. bei DB_REF mittels der Gauß-Krüger-Projektion. Die Änderung der Streckenlänge aufgrund der kartographischen Projektion wird Abbildungsreduktion genannt.

GNSS-Messungen erfolgen in erdbezogenen dreidimensionalen, kartesischen Koordinaten (x, y, z). Die 3D-Koordinaten werden zunächst in ellipsoidischen Koordinaten (x, y, z) -> (λ, φ, h) umgeformt und dann mittels kartographischer Projektion (λ, φ) -> (y, x) in das Gebrauchskordinatensystem projiziert (Abb. 2).

DB_REF

Mit der Richtlinie (Ril) 883.2000 [2] ist die Verwendung des DB_REF-Datums bei der DB geregelt. Darüber hinaus beschreibt die Ril 883.2500 [3] die Verwendung des DB_REF für BIM-Projekte mit Trassendaten. Das Datum DB_REF legt die Lage des Koordinatensystems (x, y, z) gegenüber dem Erdkörper fest. Das geodätische Datum des

DB_REF wurde bestmöglich an das Deutsche-Haupt-Dreiecksnetz DHDN90 angepasst und ist aus dem Europäischen Koordinatenreferenzrahmen ETRS89 ableitbar. Zusätzlich ist für das DB_REF2016 festgelegt, dass Normalhöhen verwendet werden.

Weil die Streckenverzerrung Δs mit der Entfernung vom Mittelmeridian (Abb. 3, 9°-Meridianstreifen) zunimmt und im DB_REF ein Maximum von 15 cm/km erreichen kann, wird das VA-System jeweils so angelegt, dass der Meridianstreifen durch die geographischen Koordinaten der Verkehrsstation läuft. Im Gegensatz zu den festgelegten 3° breiten Meridianstreifen #2=6°, #3=9°, #4=12° und #5=15° wird für die Verkehrsstation eine eigene transversale Mercator-Projektion angelegt, damit nur minimale systematische Abweichungen aufgrund des Maßstabes der Projektion und der Höhenreduktion auftreten.

Erstellen der VA-Systeme

Die Parameter in der erstellten VA-System-Datenbank parametrieren eine automatisierte Umformung von DB_REF-Koordinaten zum lokalen System und zurück. Die Umformung der Koordinaten kann mit Standardsoftware (GIS/CAD) durchgeführt werden. Die Parameter (Werte der VA-System-Datenbank) wurden unter folgenden Prämissen berechnet:

- Die Parameter beschreiben ein aus Lage und Höhe zusammengesetztes (engl. compound) 2D+1D-Koordinatenreferenzsystem (CRS).
- Das geodätische Datum des DB_REF (Lagerung und Ellipsoiddimension) bleibt unverändert. Es findet keine geodätische Datums-transformation statt.
- Es wird lediglich die (kartographische) Projektion angepasst. Der Mittelmeridian λ_0 einer transversalen Mercator-Projektion läuft durch die gegebenen geographischen Koordinaten der Verkehrsstation.
- Der Ursprung der Projektion ist durch Breiten- und Längengrad (φ_0, λ_0) definiert. Die lokalen VA-System-Koordinaten erhalten einen Zuschlag in Ostrichtung $f_E = 5000$ m und in

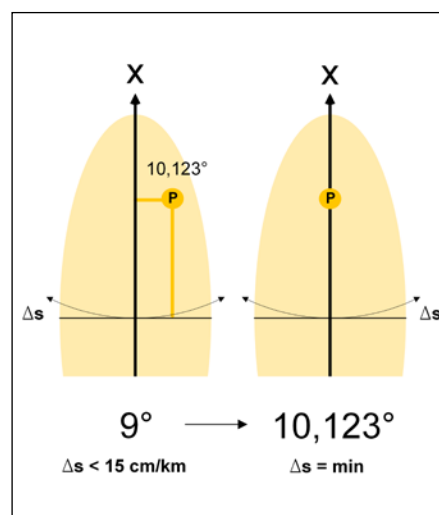


Abb. 3: Durch die Verschiebung des Mittelmeridians der kartographischen Projektion in das Projektgebiet ist keine Maßstabsreduktion erforderlich.



VA-System

Die Methode wurde von der DB Station&Service für die Planung von Personenbahnhöfen mit der BIM-Methode entwickelt. Weil das Verfahren einer verzerrungsminimierenden Projektion aber prinzipiell für alle Verkehrsanlagen (VA), insbesondere größere Ingenieurbauwerke, sinnvoll ist, wurde die Abkürzung VA-System gewählt. Detaillierte Informationen zum Workflow sowie Datenbank und Erklär-Video findet man unter: <https://infoplattform-personenbahnhoeefe.deutschebahn.com/pbhf/Georeferenzierung-fuer-DB-Personenbahnhoeefen-in-BIM-Projekten-9561164>

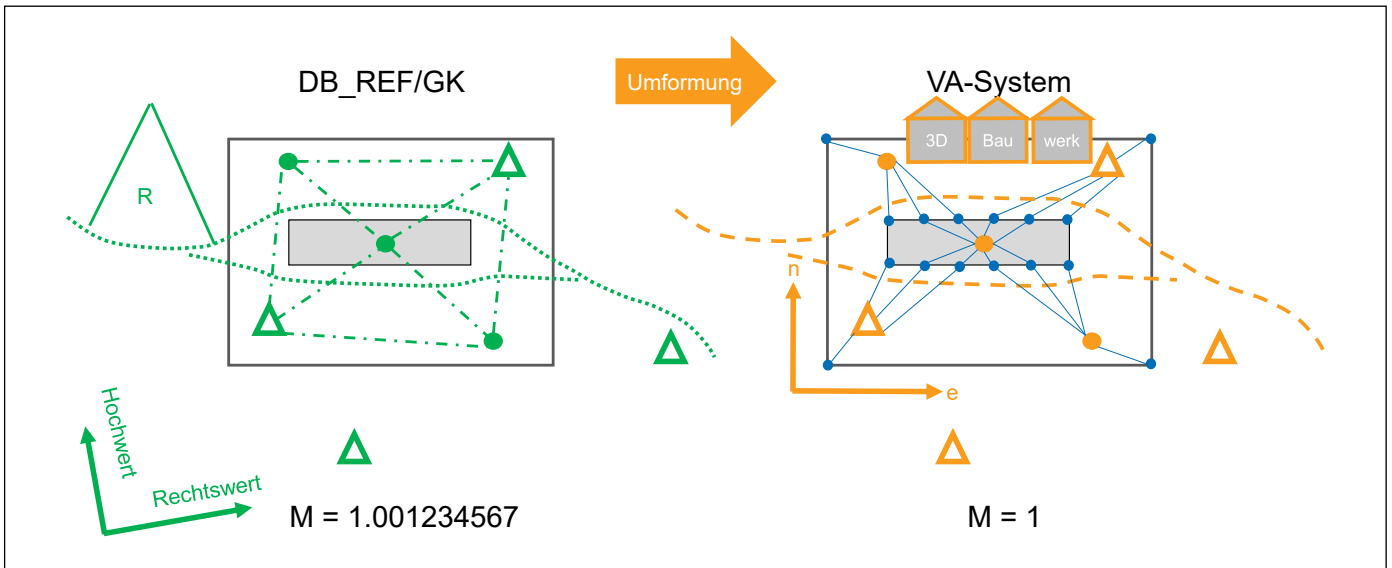


Abb. 4: Die übergeordnete Netzverdichtung und Trassierung finden im DB_REF statt. Die Festpunkte werden dann automatisiert in das VA-System umgeformt. Für die lokale Verdichtung, Objektvermessung und Modellierung sind keine geodätischen Korrekturen aufgrund des Koordinatenreferenzsystems nötig.

Nordrichtung $f_N = 10\,000$ m, damit negative Koordinatenwerte im Maßnahmenbereich vermieden werden.

- Der Maßstab k_0 der Mercator-Projektion wird so optimiert, dass die Differenz zwischen gemessener Horizontalstrecke und aus Koordinaten gerechneter Strecke in der Projektionsebene lokal minimiert wird. Ausschließlicher Einflussfaktor für k_0 ist die Höhe des Projektgebietes.
- Die Höhen des VA-Systems sind identisch mit DB_REF2016.
- Für jedes VA-System wird ein Ordner erstellt, der die Parameter nach ISO 19162 (engl.: Well-known text representation of coordinate reference systems) in den syntaktischen Dialekten u. a. für SIMPLE, SFSQL, GDAL, ESRI, ProjJSON, GML sowie ein spezielles Autodesk xml Format enthält.

Mit diesen Prämissen wird das Ziel erreicht, die systematischen Abweichungen zwischen Vermessung und 3D-Software zu minimieren. Wenn die Vermessungsmodelle (Festpunkte, topographische Aufnahme, 3D-Punktwolke) im VA-System vorliegen, können diese direkt von 3D-BIM-Software verwendet werden. Die Erde darf – überspitzt gesagt – für BIM eine Scheibe bleiben.

Umrechnung und Transformation

Für GIS haben sich die sogenannten European Petroleum Survey Group Geodesy (EPSG) Codes etabliert. Die Codes und Parameter werden derzeit durch das Geomatics Committee der International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) verwaltet. Mit den EPSG-Codes erhält man eine eindeutige Definition von Koordinatenreferenzsystemen (CRS) und Transformationsparametern zwischen den Systemen. Wenn die EPSG-Codes einem Datensatz zugeordnet werden, kön-

nen GIS-Systeme raumbezogene Daten mit unterschiedlichen Koordinatenreferenzsystemen erfassen, verwalten, analysieren und visualisieren. Wenn kein EPSG-Code vorliegt, können Koordinatenbezugsysteme mit sogenannten „Well Known Text“ (WKT) gemäß ISO19162 [4] standardisiert werden. Mit den EPSG-Codes für das DB_REF und den in der VA-System-Datenbank abgelegten CRS/WKT-Definitionen der lokalen VA-Systeme können viele Softwaresysteme automatisiert und standardisiert zwischen den CRS-Systemen DB_REF/GK <-> VA-System umrechnen.

Vermessen und Modellieren mit dem VA-System

Workflow

Um systematische Abweichungen zwischen Vermessung und 3D-Modellierung zu minimieren, erfolgt die Umformung der Koordinaten DB_REF -> VA-System zeitlich zwischen Netzverdichtung und anlassbezogener Vermessung im Maßnahmenbereich (Abb. 4).

1. Verdichtung des DB_REF Festpunktfeldes. Die Netzverdichtung erfolgt nach allen Qualitätsvorgaben und Verfahrensvorschriften der DB Netz, die Punkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert.
2. Umformung DB_REF -> VA-System. Die Festpunkte werden automatisiert in das VA-System der Verkehrsstation überführt. Hierfür stellt die VA-System-Datenbank Parameter für alle Verkehrsstationen der DB Station&Service bereit.
3. Projektbezogene Verdichtung des Festpunktfeldes. Die Netzverdichtung erfolgt nach ingenieurgeodätischen Erfordernissen im maßstabsfreien VA-System, die Punkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert.

4. Messen der Objektpunkte und 3D-Laserscanning. Die Punktwolken und Koordinaten der Objektpunkte werden im VA-System gemessen. Die Punkte beschreiben das Bauwerk und bilden die Grundlage für die Modellierung in CAD, GIS und BIM. Es entstehen keine systematischen Differenzen zwischen Vermessung und Modellierung in 3D-Software. Der Einfluss der Erdkrümmung auf die Lagekoordinaten kann aufgrund der Umformung vernachlässigt werden.
5. Maßstabsfreie und homogene 3D-Modellierung. Alle Maße und Mengen können ohne Korrekturfaktor aus dem 3D-Modell abgeleitet werden.

Vorteile

Der Übergang der Bestandsdokumentation und Modellierung in das VA-System hat gegenüber einer Modellierung im DB_REF/GK geometrische und administrative Vorteile:

- Passpunkte für die Objektvermessung, topographische Vermessung, 3D-Punktwolke und 3D-Modelle sind verzerrungsfrei, haben also den Maßstab 1. Die „kleinen“ Koordinaten sind für die komplexen Berechnungen in der CAD-Software geeignet.
- Alle externen Geodaten werden bzgl. des Koordinatenbezugsystems qualitätsgesichert in das Projekt übernommen, weil eine Umformung in das VA-System erfolgen muss.
- Für Sonnenstandanalysen ist die Meridiankonvergenz minimal, und Projekt Norden ist identisch mit geographisch tatsächlich Norden. (Im DB_REF kann die Meridiankonvergenz bis zu 1° betragen, bei UTM Koordinaten 4°.)

Softwaresysteme für VA-Systeme parametrieren

Der komplette Werkzeugkasten für die Umsetzung des VA-Systems in Projekten, inkl.

der Datenbank mit den Definitionsdateien für 5400 Verkehrsstationen findet sich auf der Informationsplattform Bau, Anlagentechnik, IT/TK der Personenbahnhöfe frei zugänglich im Internet ([1] und siehe Infokasten).

Die VA-System-Datenbank führt für jede Bahnhofnummer einen eigenen Ordner, der die kleinen Definitionsdateien enthält. Es werden neben den ISO Standards ISO 19162:2019 auch WKT-Dialekte für ESRI und ein spezielles Format für Autodesk- und Bentley-Produkte bereitgestellt.

Mit wenigen Klicks oder Standardbefehlen im GIS- oder CAD-System wird die passende WKT-Datei eingebunden. Die Software ist dann in der Lage, das VA-System gemeinsam mit DB_REF/GK bzw. den Koordinaten-

bezugssystemen der Landesvermessung zu verwenden.

Ausblick

Die dreidimensionalen BIM-Modelle schaffen die Voraussetzung dafür, erst digital zu planen und dann real zu bauen. Mit dem VA-System „passen“ nun Geodaten, Vermessung und Modell geometrisch im Koordinationsmodell exakt zueinander. Durch die standardisierte Anwendung der Koordinatenumformung und die einfache Bereitstellung der Datenbank wird die digitale Planung einfacher und schneller. Das VA-System ermöglicht, dass künftig Punkte und Achsen direkt aus dem Ausführungsmodell auf der Baustelle abgesteckt werden können. Die derzeit genutzten

Umrechnungen mit Einfügekpunkt bzw. Offset können zukünftig entfallen. Weil die Absteckung zukünftig modellbasiert ist, sind keine gesonderten Absteckungspläne mehr erforderlich. Die Methode kann zukünftig problemlos von Personenbahnhöfen auf andere lokal begrenzte Bauwerke wie Brücken und Tunnel übertragen und auch von anderen Verkehrsträgern angewendet werden.

QUELLEN

- [1] <https://infoplattform-personenbahnhoeefe.deutschebahn.com/pbhf/Georeferenzierung-fuer-DB-Personenbahnhoeefen-in-BIM-Projekten-9561164>, 03.10.2023 um 16:30
- [2] Richtlinie 883.2000 DB REF-Festpunktfeld, DB Netz AG
- [3] Richtlinie 883.2500 Geodätisches Bezugssystem für BIM, DB Netz AG
- [4] ISO 19162:2019 Geoinformation - WKT-Darstellung von Koordinatenreferenzsystemen



Prof. Christian Clemen
 Professur für Geodäsie und BIM
 Fakultät Geoinformation
 HTW Dresden, Dresden
 christian.clemen@htw-dresden.de



Enrico Romanschek, M.Eng.
 Wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Geodäsie und BIM
 Fakultät Geoinformation
 HTW Dresden, Dresden
 enrico.romanschek@htw-dresden.de

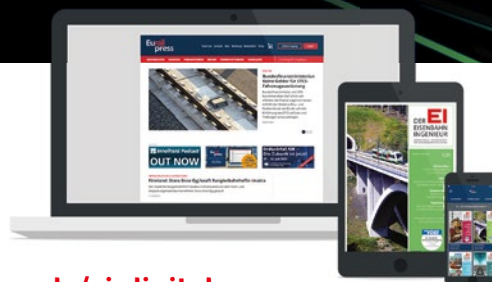


Andrej Fleischer
 Senior BIM Berater
 Standardisierung und Digitalisierung
 DB Station & Service AG, Berlin
 andrej.fleischer@deutschebahn.com

DIGITAL

IST EINFACH SCHNELLER

Nutzen Sie Ihre digitalen
 DER EISENBANINGENIEUR-Services
 und -Leistungen und lesen Sie bereits
 am Vortag die Neuigkeiten von morgen.



JETZT FREISCHALTEN

www.eurailpress.de/ei-digital

