

InfraRASTER – Realisierung eines einheitlichen Referenzsystems und eines GNSS-RTK-Positionierungsdienstes für die ÖBB-Infrastruktur AG



InfraRASTER – Implementation of a unified reference system and a GNSS-RTK positioning service for ÖBB-Infrastruktur AG

Klaus Gutleiderer, Wien, Johannes Fleckl-Ernst, Graz und Annemarie Schraml, Linz



Kurzfassung

Historisch bedingt sind Vermessungsdaten der ÖBB-Infrastruktur AG in unterschiedlichen Koordinatenreferenzsystemen und -rahmen definiert, zugleich wurden sie durch verschiedene Abbildungen projiziert. Höchstes Ziel war stets die Realisierung eines hochgenauen lokalen homogenen Referenzrahmens. Als problematisch erweisen sich diese lokalen Netze an Grenzsituationen infolge diskontinuierlicher Übergänge (Klaffungen). Mit dem System InfraRASTER wurde ein einheitliches und homogenes Referenzsystem für die ÖBB-Infrastruktur AG geschaffen, welches einen stetigen Übergang sämtlicher Netze sowie homogene Landeskoordinaten nahe typischer RTK-Genauigkeiten gewährleisten soll.

Verwendung findet seit 2. Jänner 2024 der global-homogene Referenzrahmen ITRF2020 zur Epoche 2015.0 (davor der ITRF2014 zur Epoche 2010.0) sowie der lokale Referenzrahmen im System der österreichischen Landesvermessung. Der Datumsübergang wird durch einen 7-Parametersatz zuzüglich eines Korrekturrasters realisiert und mit dem RTK-Positionierungsdienst der ÖBB (TEPOS) via RTCM 3.1 als InfraRASTER bereitgestellt. Der Korrekturraster wurde aus rund 12500 bahnnahen Punkten und ca. 1200 österreichweit verteilten Punkten abgeleitet. Die Maschenweite beträgt 30" (≈ 600 m) in Länge und 20" (≈ 600 m) in Breite. Die Berechnung der Rasterkorrekturwerte in ellipsoidischer Länge, -Breite und -Höhe erfolgte durch die ÖBB Infrastruktur/Vermessung & Geoinformation mittels bikubischer Residuen-Interpolation flächendeckend für ganz Österreich.

Seit dem 1. Juli 2022 ist InfraRASTER offiziell verfügbar und das entsprechende Regelwerk wurde in Kraft gesetzt. Die geforderten Genauigkeiten wurden bereits partiell bestätigt. Der Korrekturraster ist als iterativer Prozess zu verstehen, welcher anhand laufender Messungen geprüft und gegebenenfalls verbessert wird.

Schlüsselwörter: InfraRASTER, Referenzsystem, RTK Positionierungsdienst, ÖBB Vermessung, Korrekturraster, ITRF2014, ITRF2020, NTV2

Abstract

For historical reasons, survey data from ÖBB-Infrastruktur AG are defined in different coordinate reference systems and frames. At the same time, they were projected using various projections. The primary objective has always been to establish a highly precise, local, and homogeneous reference frame. However, these local networks present challenges in border situations due to discontinuous transitions (gaps). The InfraRASTER system was developed to address these issues by providing a uniform and homogeneous reference system for ÖBB-Infrastruktur AG. It ensures a seamless transition for all networks and delivers homogeneous national coordinates, approaching typical RTK accuracies.

Since January 2, 2024, the globally homogeneous reference frame ITRF2020 for the epoch 2015.0 (previously ITRF2014 for the epoch 2010.0) is being used, along with the local reference frame within the Austrian national surveying system. The geodetic datum transition is achieved through a 7-parameter set, supplemented by a correction grid, and is made available through the RTK positioning service of the ÖBB (TEPOS) via RTCM3.1 as InfraRASTER. The correction grid was derived from approximately 12500 points near the railway, as well as around 1200 points distributed across Austria. The mesh size measures 30" (≈ 600 m) in longitude and 20" (≈ 600 m) in latitude. The calculation of grid correction values in ellipsoidal longitude, latitude and height was carried out by ÖBB Infrastructure/Surveying & Geoinformation using bicubic residuals interpolation, covering the entire territory of Austria.

As of July 1st, 2022, InfraRASTER has been officially available, and the associated regulations have come into effect. The required accuracies have already been partially confirmed. The correction grid should be considered an iterative process, subject to ongoing measurements and potential improvements if necessary.

Keywords: InfraRASTER, reference system, RTK positioning service, ÖBB surveying, correction grid, ITRF2014, ITRF2020, NTV2

1. Einleitung

1.1 Referenzsystem und -rahmen

Zur koordinativen Beschreibung von Objekten in der Natur, wie zum Beispiel Bahnanlagen, ist die Verwendung eines geodätischen Referenzsystems unerlässlich. Ferner ist dies notwendig, um Objekte aus Planinhalten in der Natur herstellen zu können (z.B. durch eine Absteckung). Infolgedessen ist die Forderung gegeben, ein unveränderliches Referenzsystem am Beginn jeder Planung zu definieren. Spätere Prozesse mit koordinativem Bezug (Vermessung, Planung, Dokumentation, Instandhaltung, etc.) müssen sich stets auf dieses ursprüngliche Referenzsystem beziehen. Dieses Referenzsystem wird durch physische Punkte bzw. durch physisch herstellbare Punkte realisiert (Referenzrahmen). Dem Referenzrahmen zugrunde liegt ein geeigneter Referenzkörper, um geographische bzw. ellipsoidische Koordinaten zu berechnen, welche mit dem Erdkörper in Verbindung gebracht werden können.

Der Referenzrahmen soll Homogenität gewährleisten (keine Unstetigkeiten) und möglichst spannungsfrei vorliegen. Werden diese Bedingungen erfüllt, können durch anlassbezogene Netzverdichtungen die höchsten Genauigkeitsanforderungen der Gleisvermessung (Nachbarschaftsgenauigkeit von Gleisvermarkungspunkten: ± 2 mm) als auch Bautoleranzen für die Errichtung und Abnahme von Objekten (z.B. Bahnsteigkanten: ± 5 mm) eingehalten werden [6].

1.2 Referenzsystem und -rahmen der österreichischen Landesvermessung

Grundsätzlich ist die Koordination der österreichischen Landesvermessung hoheitliche Aufgabe des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen (BEV). Das BEV ist eine zentrale Behörde, welche

dem Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft unterstellt ist und die Vermessungsaktivitäten auf Bundesebene abstimmt. Das Referenzsystem der Landesvermessung wird als MGI bezeichnet und leitet sich aus den Arbeiten des Militärgeographischen Instituts ab. Als Bezugsfläche dient das Bessel-Ellipsoid 1841 mit dem Fundamentalpunkt Hermannskogel (höchster Punkt des Gemeindegebiets von Wien). Als Höhensystem werden normal-orthometrische Höhen (Gebrauchshöhen) bezogen auf den Pegel von Triest (mittlerer Adriapegel, Höhenmarke Nummer 1 am Molo Sartorio) von 1875 verwendet.

Um die dreidimensionalen Systeme in die Ebene abzubilden, ist ein mathematisches Modell (Projektion) notwendig. Dazu werden die geographischen Koordinaten (Länge und Breite) in ein zweidimensionales kartesisches Koordinatensystem umgewandelt. Zur Abbildung in die Ebene im System MGI wird die winkeltreue Gauß-Krüger-Projektion verwendet, woraus drei Meridianstreifensysteme 28° , 31° und 34° östl. vom Bezugsmeridian Ferro (M28, M31, M34) resultieren. Eine genaue Festlegung der in Österreich gültigen 3D-Referenzsysteme [7] und Höhenreferenzsysteme [4] wird vom BEV publiziert.

Die Realisierung erfolgt durch physische Triangulierungspunkte (TP, Festpunkte erster bis fünfter Ordnung; ca. 57000) und Einschaltpunkte (EP, Festpunkte sechster Ordnung; ca. 144000), Stand Jänner 2024. Diese besitzen Gauß-Krüger-Koordinaten (und teilweise Gebrauchshöhen) mit einer allgemeinen Lage-Nachbarschaftsgenauigkeit $< 5-7$ cm (Lagegenauigkeit absolut: $< 1,2$ m). Analog zu den Lagefestpunkten sind Höhenfestpunkte verteilt über ganz Österreich realisiert (ca. 29000). Diese Koordinaten sind Ergebnisse eines Präzisionsnivelements und weisen eine deutlich

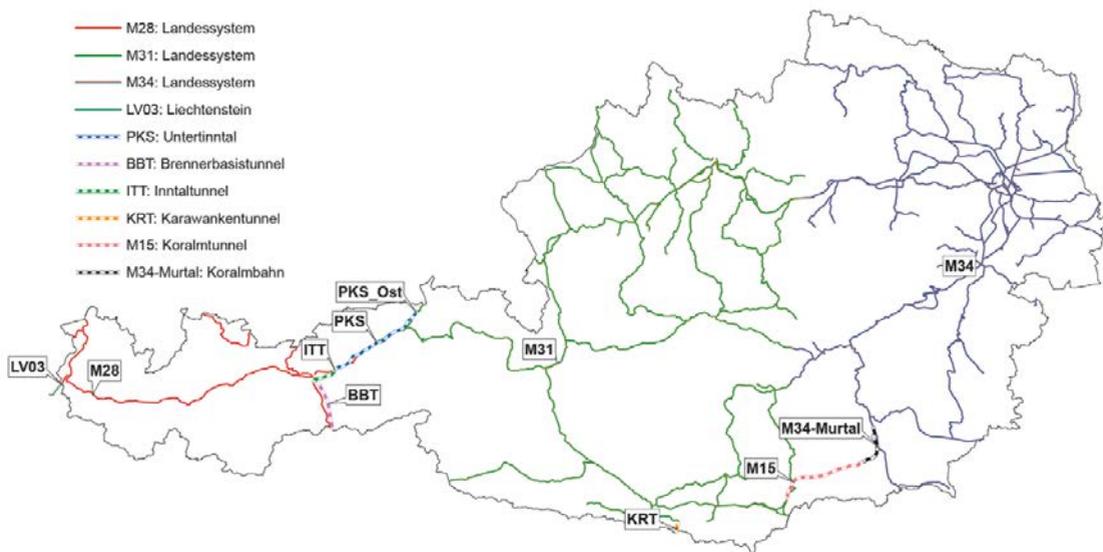


Abb. 1: Vorhandene Referenzsysteme der ÖBB-Infrastruktur AG (eigene Darstellung)

höhere Genauigkeit auf ($\pm 0,6$ mm/km direkt nach der Ausgleichung) als die Gebrauchshöhen der Lage-Festpunkte [1].

Das System MGI wurde für die Katastervermessung geschaffen, ist historisch gewachsen und für die Errichtung von Bahnanlagen und deren technische Vermessungen (Brücken-, Tunnel-, Gleisvermessung, Gleisvermarkung, etc.) oftmals problematisch aufgrund von Inhomogenitäten bzw. Nachbarschaftsgenauigkeiten und ist folglich nicht hinreichend genau.

1.3 Referenzsysteme „alt“ der ÖBB-Infrastruktur AG

Bei der ÖBB-Infrastruktur AG wurden für die Vermessung der Bahnanlagen in den letzten Jahrzehnten folgende Ansätze für die Wahl bzw. für den Anschluss an bestehende Referenzsysteme verwendet:

1. Lokaler geodätischer Anschluss an ausgewählte amtliche Punkte (BEV-Punkte) mit freier oder gezwängter Lagerung, teilweise mit lokaler Transformation ins ETRF89 (European Terrestrial Reference Frame 1989),
2. homogene und spannungsfreie (statische GNSS-) Netze mit linearer Ausdehnung entlang der Strecken und bestanschließender freier Lagerung mit geringem Maßstabsfaktor auf amtliche Punkte (Abweichungen bis 15 cm),

3. homogene und spannungsfreie (statische GNSS-) Netze mit linearer Ausdehnung entlang der Strecken und bestanschließender freier Lagerung ohne (oder mit fixiertem) Maßstabsfaktor auf amtliche Punkte für längere Tunnelabschnitte (z.B. Unterinntal, Semmering-Basistunnel, Koralmtunnel, Karawankentunnel).

Bei den ersten beiden Ansätzen wurden das Bezugssystem und die Projektionen des MGI genutzt. Beim dritten Ansatz kamen auch davon abweichende, projektbezogene Systeme zum Einsatz (Abbildungung 1).

Ergänzend ist beim ersten Ansatz problematisch, dass nicht immer dokumentiert wurde, an welche amtliche Punkte und mit welcher Lagerung angeschlossen wurde. Da es sich um lokale Anschlüsse handelt, kommt es im Allgemeinen beim Übergang zu anderen Projektreferenzsystemen zu Inhomogenitäten (Klaffungen durch Zusammenschluss zweier lokaler Referenzsysteme). Der Bezugsrahmen ist nicht eindeutig festgelegt, sondern nur durch diverse katastrale Festpunkte und Gleisvermarkungspunkte wieder reproduzierbar.

Die Ansätze 2 und 3 stellen klar definierte Referenzsysteme dar, deren Bezugsrahmen durch physische Punkte in der Natur (z.B. Messpfiler, Bodenpunkte, Spiegeladapter, Gleisvermarkungspunkte) festgelegt ist.

Ziel bei allen Ansätzen war die Generierung eines hochgenauen lokalen Bezugsrahmens. Die Erstellung eines österreichweiten Bezugsrahmens erfolgte beim 2. Ansatz und teilweise beim 3. Ansatz. Klare Vorgaben zur Verwendung von Referenzsystemen gab es nicht, wodurch sich Grenzsituationen als problematisch infolge diskontinuierlicher Übergänge (Klaffungen) erweisen. Zusätzlich liegen für Teilbereiche der Bahnanlagen aktuell keine Vermessungen vor. Demnach gibt es in diesen Bereichen keine Realisierung eines Bezugsrahmens.

2. InfraRASTER – neues Referenzsystem der ÖBB-Infrastruktur AG

2.1 Anforderungen

Aus den vorangegangenen Betrachtungen leiten sich folgende Anforderungen an ein einheitliches Referenzsystem ab. Das Referenzsystem muss

- als Bezugssystem das Landeskoordinatensystem haben,
- als Bezugsrahmen nahe dem Landeskoordinatensystem sein (Abweichung < 20 cm),
- die historischen Projektreferenzsysteme bestmöglich repräsentieren, damit vorhandene Vermessungen, Gleistrassierungen, Planungsunterlagen und Dokumentationen weiterhin verwendbar sind,
- einen definierten Übergang zu globalen Referenzsystemen haben,

- eine nachvollziehbare, gesicherte und wirtschaftliche Verwaltung des Bezugsrahmens ermöglichen,
- für zukünftige Vermessungen, Gleistrassierungen, Planungen und Dokumentationen verwendbar sein,
- für bestehende Vermessungsmethoden (GNSS, terrestrische Vermessung, Nivellement, Laser-scanning, Photogrammetrie, mobile Multisensorik-Systeme) und zukünftige Messmethoden anwendbar sein,
- den Digitalisierungsprozessen entsprechen und online verfügbar sein,
- sämtliche Bahnanlagen der ÖBB-Infrastruktur AG abdecken.

2.2 Referenzsystem und -rahmen „neu“

Das System InfraRASTER verwendet als globales geodätisches Referenzsystem das in der Geodäsie gebräuchliche International Terrestrial Reference System (ITRS). Als Bezugsrahmen gilt die aktuelle Realisierung, der ITRF2020 (Ep.2015.0), welcher vom ÖBB-Infrastruktur AG internen GNSS-Referenznetzdienst TEPOS (Telematik-Echtzeit-Positionierung) durch 40 Permanent-Referenzstationen in Österreich realisiert wird (Abbildung 2). Zusätzlich wurde dieses Referenznetz durch Partnerschaften um 11 Stationen im grenznahen Ausland erweitert. Sämtliche Stationen empfangen kontinuierlich die Signale der globalen Satellitennavigationssysteme GPS, GLONASS, Galileo und BeiDou.

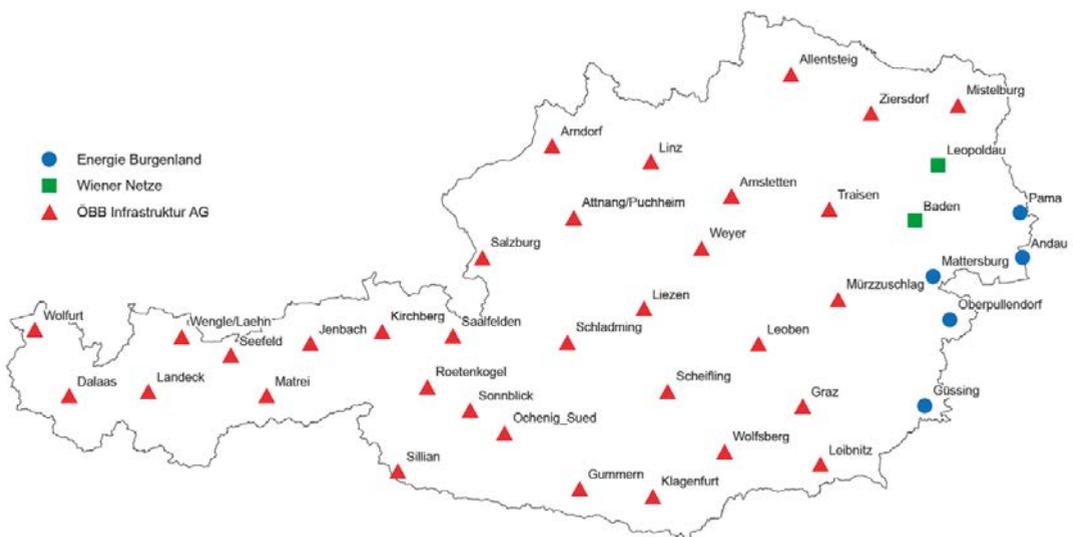


Abb. 2: Sämtliche TEPOS-Referenzstationen in Österreich; Darstellung nach Eigentümer (eigene Darstellung)

Messverfahren	wiederholbare Lagegenauigkeit	wiederholbare Höhengenaugigkeit
RTK-Messung	± 2 cm	± 4 cm

Tab. 1: Genauigkeiten der RTK-Messung in TEPOS, ITRF2020 (Ep.2015.0), NavCert, Prüfzeichen PPP80013

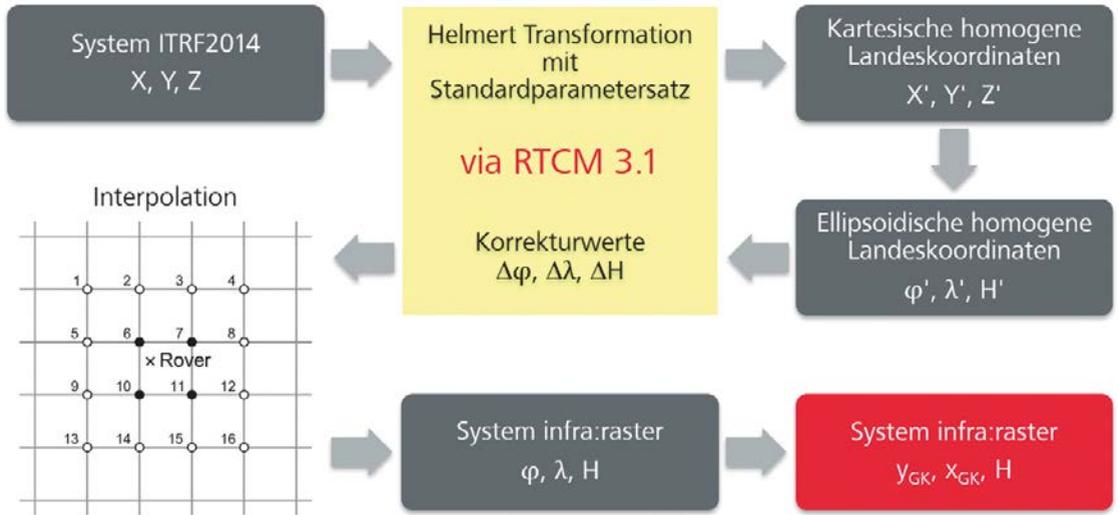


Abb. 3: Prozessdarstellung: Übergang global → lokal (eigene Darstellung)

Translation		Rotation		Maßstabskorrektur	
dX [m]	-577,326	rX ["]	5,137	ds [ppm]	-2,423
dY [m]	-90,129	rY ["]	1,474		
dZ [m]	-463,919	rZ ["]	5,297		

Tab. 2: Globaler Parametersatz des BEV (ETRS89 ⇒ MGI) als auch näherungsweise für ITRF2020 (Ep.2015.10) ⇒ MGI-homogen

Die 2 Sigma RTK-Genauigkeit für die statische Messung mit TEPOS im ITRF2020 (Ep.2015.0) ist bei optimal GNSS-tauglichen Punkten in Tabelle 1 angegeben [5]. Die RTK-Positionsbestimmung im TEPOS-Referenznetz folgt dem Konzept der virtuellen Referenzstation (VRS).

Das lokale Referenzsystem entspricht dem der österreichischen Landesvermessung (MGI). Der lokale Rahmen (MGI-InfraRASTER) wird durch die vorhandenen Vermessungsfestpunkte und Gleisvermarkungspunkte realisiert.

Um nun lokale Lagerungen und die dadurch etwaigen Konflikte an den lokalen Netzgrenzen zu lösen, wird eine zusammenhängende Transformationsfläche in Form eines regelmäßigen Korrekturrasters über das gesamte österreichische Staatsgebiet definiert (Kapitel 3.3). Dieser Korrekturraster beinhaltet Residuen, welche zwischen einem homogenen MGI-Rahmen und den lokalen Rahmen bestehen (äquivalent zu z.B. NTv2).

Der Übergang vom globalen Rahmen in den lokalen Rahmen wird anhand Abbildung 3 beschrieben. Zu Beginn erfolgt eine Helmert-Transformation der RTK-Lösung mit einem österreichweiten mittleren Parametersatz (Standardparametersatz, siehe Tabelle 2) vom ITRF2020 (X, Y, Z) in ein genähertes, homogenes MGI (X', Y', Z') bzw. (φ', λ', H'). Im Anschluss findet die flächenhafte Transformation mithilfe von ellipsoidischen Korrekturwerten des Rasters (Δφ, Δλ, ΔH) statt. Die tatsächlich angebrachten Korrekturen ergeben sich durch bilineare (optional bikubische) Interpolation aus den Korrekturwerten der umgebenden Rasterpunkte. Dadurch wird für den gesamten Definitionsbereich ein stetiger Transformationsverlauf garantiert.

Die tatsächlich angebrachten Korrekturen ergeben sich durch bilineare (optional bikubische) Interpolation aus den Korrekturwerten der umgebenden Rasterpunkte. Dadurch wird für den gesamten Definitionsbereich ein stetiger Transformationsverlauf garantiert.

Die RTCM-Messages, welche neben den Echtzeit-Korrekturdaten der Referenzstationen die Transformationsparameter (Messagety 1021), den Korrekturaster (Messagety 1023) und Projektionen (Messagety 1025) beinhalten, werden via Mobilfunk übertragen und stehen anhand verschiedener Mountpoints (Einwahlknoten) zur Verfügung. Je nach Aufgabenstellung (Zielsystem) ist einer der Mountpoints am GNSS-Rover zu wählen.

Projektionen

Zur Vereinheitlichung für Vermessungen und Planungen sind ausschließlich die Projektionen der Landesvermessung (M28, M31, M34) zu verwenden. Bei der Verwendung von Planungs- und Vermessungsdaten aus historischen ÖBB-Referenzsystemen sind diese in der Weiterbearbeitung in den InfraRASTER zu überführen. Dabei werden erstmalig klare Übergangspunkte zwischen den Projektionen definiert. Somit ist eine Überführung von Geodaten in zentrale Datenbanksysteme (z.B. InfraPLAN, siehe Kapitel 4) geregelt.

Vergleich der Referenzsysteme anderer Bahnverwaltungen

Im Zuge der Festlegung des InfraRASTERs wurden gleichzeitig verschiedene alternative Ansätze zur

Einführung eines einheitlichen Referenzsystems sorgfältig untersucht. Die Vorschläge der Deutschen Bahn AG (DB) und der Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB) wurden in mehreren DACH-Treffen (Deutschland, Österreich und Schweiz) der Vermessung ausführlich diskutiert. Die Wahl eines eigenen, deutlich von der Landesvermessung abweichenden Referenzrahmens, wie der DB_REF [8] der DB, wurde aufgrund der umfangreich vorliegenden Daten (Pläne, Trassierungen, etc.) verworfen. Die SBB bezieht sich auf den spannungsfreien Bezugsrahmen der Landesvermessung (LV95), welcher auf Messungen mittels GNSS-Positionierungsdiensten zwischen den Jahren 1989 und 1995 basiert [9]. Diese Spannungsfreiheit ist im MGI nicht gegeben.

2.3 Korrekturrasterberechnung

Zur Ermittlung der Korrekturwerte für den Raster müssen die Netzspannungen des inhomogenen Systems MGI bestimmt werden. Diese lassen sich aus Punkten, welche sowohl im homogenen ITRF2020 als auch im spannungsbehafteten MGI gelagert sind (Passpunkte), ableiten. Die Berechnung dieser Residuen folgt dem Konzept laut Abbildung 4.

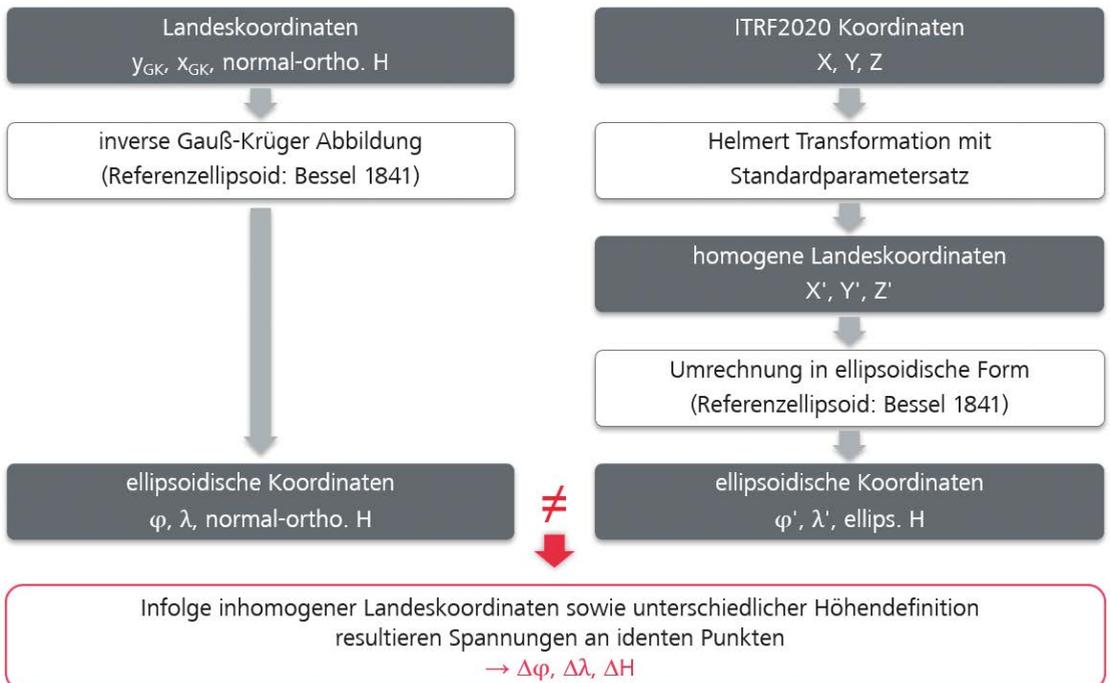


Abb. 4: Konzept zur Berechnung der Residuen (eigene Darstellung)

Dabei werden einerseits die vorhandenen Punkte im System MGI durch eine inverse Gauß-Krüger-Projektion in ellipsoidische Koordinaten umgerechnet. Auf der anderen Seite werden die mit GNSS bestimmten Punkte, gelagert im ITRF2020 (Ep.2015.0), mit dem Parametersatz laut Tabelle 2 in homogene MGI-Koordinaten transformiert und anschließend in ellipsoidische Koordinaten umgerechnet. Nach Überführung beider Datensätze auf ein gemeinsames Ziel-Datum erfolgt die Residuen Berechnung per Definition: Landespunkte minus GNSS-Punkte im ITRF2020 (Ep.2015.0); Definition entsprechend RTCM 3.1.

Zu beachten ist, dass für die Landeskoordinaten genähert orthometrische Höhen (Gebrauchshöhen, sphäroidisch korrigiert) vorliegen, wohingegen sich aus GNSS-Messungen ellipsoidische

Höhen ableiten. Aus der Berechnung der Höhenresiduen ergibt sich somit eine Approximation der negativen Geoidundulationen bezüglich der nationalen Lagerung des Bessel-ellipsoids. Das negative Vorzeichen ergibt sich aus der Definition der verwendeten Differenzbildung. In aller Strenge beziehen sich die Differenzen auf die Landeshöhen. Damit zeigt der Korrekturraster den negativen Geoidverlauf, überlagert mit der Differenz zwischen orthometrischen Höhen und normalorthometrischen Höhen (Gebrauchshöhen), als auch die Höhenfehler in den Landeskoordinaten.

Aus diesen unstrukturiert verteilten Residuen werden mittels triangulationsbasierter bikubischer Interpolation die Residuen für ein landesweites, regelmäßiges Gitter (Korrekturraster) berechnet (Abbildung 5).

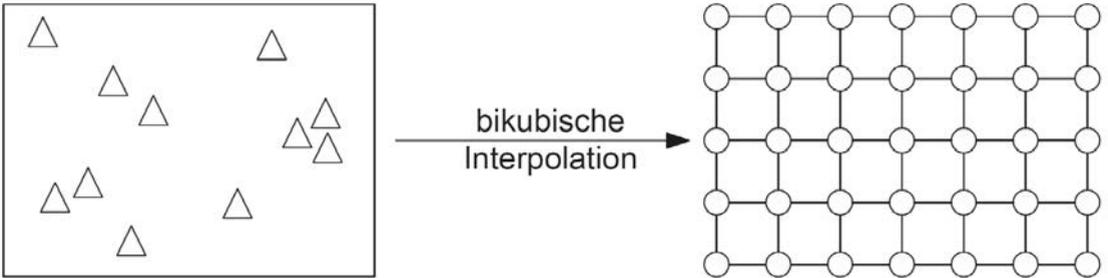


Abb. 5: Interpolation auf ein regelmäßiges Gitter (eigene Darstellung)

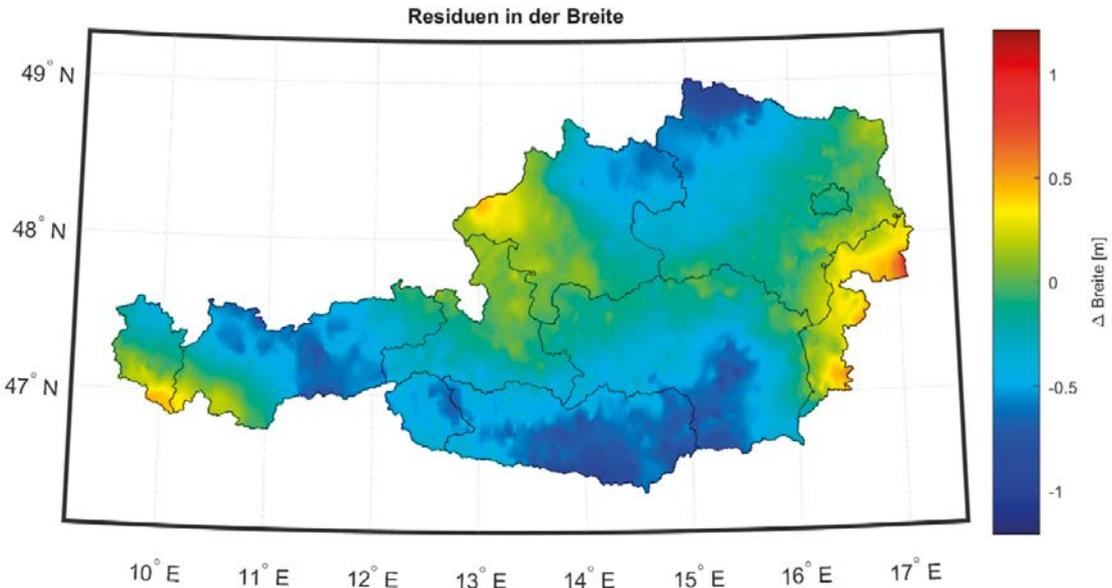


Abb. 6: Korrekturraster in Breite (eigene Darstellung)

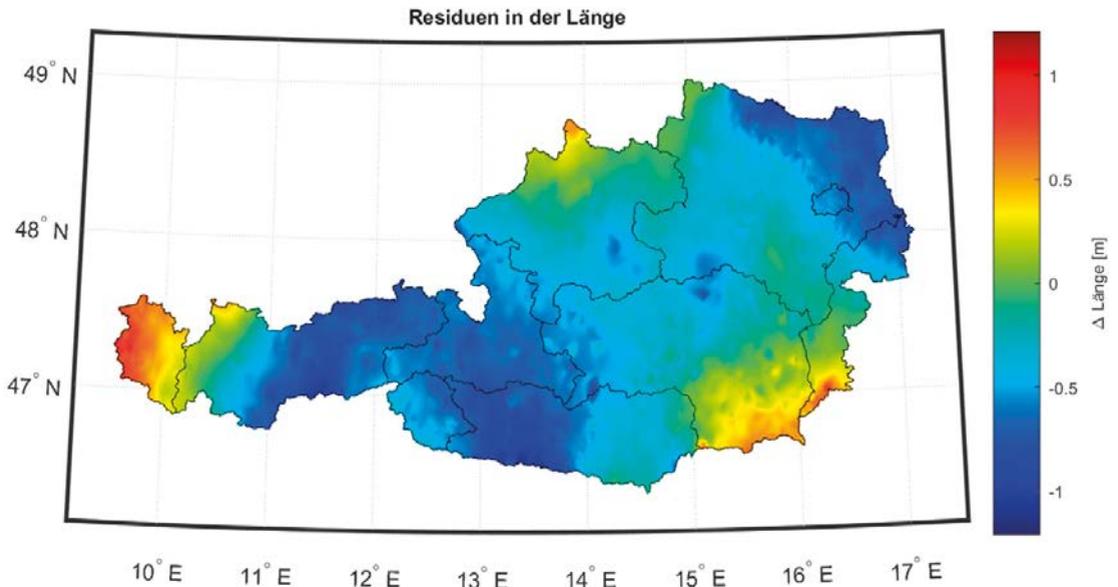


Abb. 7: Korrekturraster in Länge (eigene Darstellung)

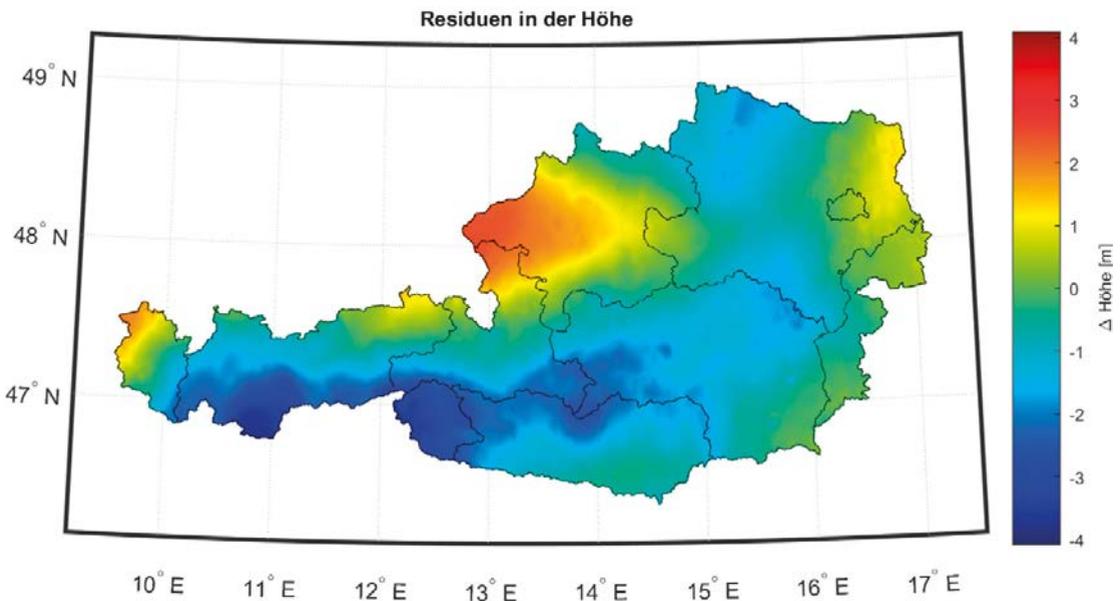


Abb. 8: Korrekturraster in Höhe (eigene Darstellung)

Triangulationsbedingt können außerhalb der Randpunkte keine Werte interpoliert werden. Dadurch, dass alle Passpunkte und somit auch die Randpunkte innerhalb Österreichs liegen, können keine Residuen in der Nähe der Staatsgrenze errechnet bzw. keine grenznahen Landeskoordinaten auf cm-Genauigkeitsniveau gemessen werden. Abhilfe schaffen rechnerisch ermittelte (Extrapolations-) Residuen für vorgegebene Punk-

te außerhalb der Staatsgrenze. Mit den Residuen der Passpunkte, als auch den extrapolierten Residuen, wird der Korrekturraster (Abbildungen 6 bis 8) berechnet. Die Interpolationsqualität beträgt $< 0,5$ cm (2σ) in den Lagekoordinaten sowie $< 0,7$ cm (2σ) in der Höhenkoordinate.

Die Rasterweite beträgt $30''$ (≈ 600 m) in geografischer Länge und $20''$ (≈ 600 m) in geografischer Breite. Aufgrund der hohen Anzahl der

Eingangsdaten (knapp 14000 Passpunkte) und der geringen Gitterweite können die berechneten Rasterpunkte einem variablen Verlauf der Residuen gut folgen. Ferner ist die Gitterweite ausreichend groß, um auch für dynamische Verfahren anwendbar zu bleiben.

2.4 Eingangsdaten

Zur Bestimmung der Residuen sind zwingend die Koordinaten der vorhandenen Punkte in den Projektreferenzsystemen der ÖBB-Infrastruktur AG zu erheben. Dabei sind für diese Eingangspunkte einerseits die Gauß-Krüger-Koordinaten (y, x) inkl. Höhe (H) der vorhandenen Referenznetze (lokaler Bezugsrahmen) und andererseits die globalen kartesischen 3D-Koordinaten (GX, GY, GZ) in einem definierten globalen Bezugsrahmen erforderlich. Neben diesen Koordinateninformationen sind auch die Metadaten der Eingangspunkte zur Qualitätssicherung erforderlich.

Zur Transformation von ITRF2020 (Ep.2015.0) Koordinaten in homogene MGI-Koordinaten wird der Standard-Parametersatz verwendet. Dem geht voraus, dass sämtliche globalen Koordinaten im ITRF2020 (Ep.2015.0) definiert sind. Dementsprechend sind sämtliche Eingangspunkte vorab ins ITRF2020 (Ep.2015.0) zu transformieren. Die Ursache der verschiedenen globalen Bezugssysteme der Eingangspunkte liegt im hierarchischen und historischen Aufbau. Die für den InfraRASTER

wichtigste Grundlage sind die ÖBB-Netze, welche vorwiegend in den letzten 20 Jahren entstanden sind und oftmals bezogen auf AREF (Austrian Reference Frame) gemessen wurden.

Die Umrechnung AREF (Ep.1996.45) \Rightarrow ITRF2020 (Ep.2015.0) erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden durch einen geringen Shift die AREF-Koordinaten ins ITRF2000 (Ep.1997.0) überführt, anschließend werden die ITRF2000-Koordinaten durch eine Helmert-Transformation mit einem österreichweit gültigen Parametersatz ins ITRF2020 (Ep.2015.0) transformiert. In Bereichen, in denen keine Netze vorhanden sind, wurden in einem Korridor von ca. 1,5 km zur Streckenachse, amtliche Punkte vom BEV (System ETRF) angekauft. Die Umrechnung ETRF \Rightarrow ITRF2020 (Ep.2015.0) erfolgt durch eine Helmert-Transformation mit einem weiteren österreichweit gültigen Parametersatz. Beide Parametersätze als auch der Shift sind vertraulich und wurden von der TU Wien berechnet.

Schließlich wurden, zur Flächenabdeckung und zugleich zur universelleren Anwendbarkeit, Punkte von EPOSA miteinbezogen, welche im ITRF2014 (Ep.2010.0) vorliegen, diese wurden ebenfalls mit einem von der TU Wien berechneten Parametersatz in den aktuellen ITRF überführt. Die Summe der drei Quellen ergibt knapp 14000 Passpunkte. Abbildung 9 zeigt die Verteilung der Eingangspunkte.

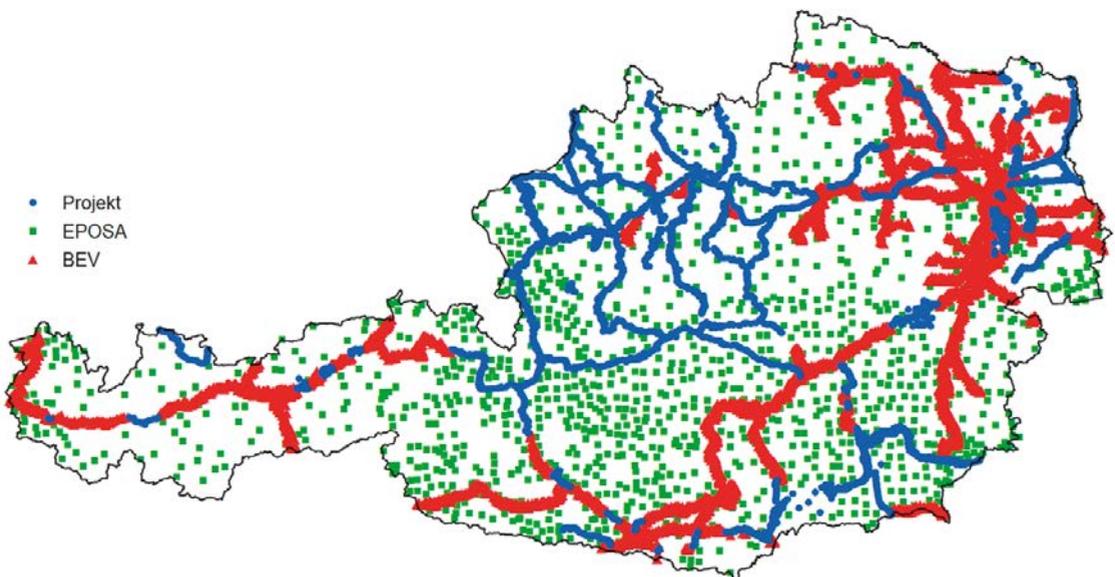


Abb. 9: Verteilung der Eingangspunkte (eigene Darstellung)

Herkunft der Eingangspunkte	maximale systematische Fehleranteile in der Lage	maximale systematische Fehleranteile in der Höhe
Projektpunkte	3 cm	6 cm
amtliche Punkte	6 cm	10 cm
EPOSA-Punkte ¹	10 cm	20 cm

Tab. 3: Systematische Fehleranteile InfraRASTER

2.5 Reproduzierbarkeit

Durch umfangreiche Testmessungen wurde untersucht, wie vorhandene Vermessungsdaten (GNSS-Netze, Bestandsvermessungen, Gleisvermessungen und Gleisvermarkungspunkte) mit dem InfraRASTER reproduziert werden können und wie groß die systematischen Fehleranteile sind. Diese Fehleranteile wurden nach Herkunft der InfraRASTER-Eingangspunkte eingeteilt und sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Die angegebenen systematischen Fehleranteile kumulieren Einflüsse aus Fehlern

- der InfraRASTER-Eingangspunkte bei GK-Koordinaten und Gebrauchshöhen sowie der AREF/ETRF89/ITRF2014-Koordinaten,
- der InfraRASTER-Berechnung durch Interpolation der InfraRASTER-Eingangspunkte,
- bei der Anbringung und Interpolation der Residuen.

Diese Angaben setzen voraus, dass die Vermessungsdaten an vorhandene GNSS-Netze bzw. aktuelle amtliche Punkte angeschlossen wurden. Zusätzlich zu den systematischen Fehleranteilen sind die Genauigkeiten der RTK-Messung laut Tabelle 1 zu berücksichtigen.

3. Anwendung, Erfahrungsstand & Ausblick

Mit dem System InfraRASTER wurde erstmals eine einheitliche Definition der geodätischen Referenzsysteme für die ÖBB-Infrastruktur AG geschaffen. Er wird künftig bei sämtlichen Verortungsaufgaben als Grundlage für Vermessungen innerhalb der ÖBB-Infrastruktur AG und in deren Auftrag verwendet. Der Korridor, in dem der InfraRASTER gültig ist, erstreckt sich entlang der Bahnanlagen bis zu einer Breite von ± 300 m quer zur Streckenachse und für alle Anwendungen, welche eine Genauigkeitsanforderung von < 2 m aufweisen. Da der InfraRASTER nicht kongruent mit dem Referenzrahmen der Landesvermessung

1) EPOSA-Punkte liegen außerhalb des für Bahnvermessungen relevanten Bereiches

ist, dürfen katastrale Vermessungen nicht im InfraRASTER durchgeführt werden.

Beispiele für Anwendungsgebiete:

- Lagerung von Grundlagennetzen für Bestands-, Bau- und Gleisvermessungen,
- Lagerung bei Messungen mit automationsunterstützten Gleismesswägen,
- Bestandsvermessungen außerhalb des Gleisbereichs,
- Vermessungen bei der Abwicklung von Bauprojekten,
- Positionierung der Messwägen bei Instandhaltungs- und Inspektionsaufgaben,
- Dokumentation der Infrastrukturanlagen (z.B. Kabel, Masten, Signale, Balisen, Durchlässe, Lärmschutzwände, Mauern),
- Dokumentation für Naturgefahrenmanagement (z.B. Lehnen),
- Dokumentation von hydrogeologischen Messstellen und Pegeln,
- präzise Fahrzeugpositionierung.

Der InfraRASTER stellt somit ein einheitliches, reproduzierbares, homogenes, anforderungsgerechtes, genaues, spannungsreduziertes und wirtschaftliches dreidimensionales geodätisches Referenzsystem für die Bahnanlagen der ÖBB-Infrastruktur AG dar. Zur Umsetzung dieser Vorgaben wurde ein ÖBB-Infrastruktur AG-Regelwerk erstellt. Für die Begriffsdefinitionen wurden die DIN 18709-1:2020 und die DIN 18709-6:2021 verwendet.

3.1 Prüfung und Verbesserung

Bei allen Vermessungen im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG, bei welchen der lokale Bezugsrahmen geprüft, hergestellt, verändert oder verdichtet wird, ist eine Prüfung und gegebenenfalls eine Verbesserung des InfraRASTERs durchzuführen.

Zur Prüfung und Verbesserung des InfraRASTERs sind vorhandene InfraRASTER-Eingangspunkte, Festpunkte und Gleisvermarkungspunkte

bzw. davon abgeleitete Punkte zu übermessen und gegebenenfalls neue InfraRASTER- Eingangspunkte zu bestimmen. Als Ziel wird definiert, dass zumindest alle 300 m ein InfraRASTER-Eingangspunkt vorliegen muss.

Bei einer Verbesserung ist Rücksicht zu nehmen, ob im Messbereich schon eine Vermessung oder eine koordinative Trassierung vorliegt. In den ersten Jahren nach der Einführung wurde eine jährliche Neuberechnung des InfraRASTERs erwartet. Die erste Validierung erfolgte nun Ende 2023. Im Zuge dieser Validierung wurden ca. 900 Neupunkte in die neueste Rasteriteration integriert sowie übermessene Punkte geprüft und ggf. ausgeschieden. Diese fundiertere, qualitativere Version wurde zeitgleich mit dem Referenzrahmenwechsel von ITRF2014 nach ITRF 2020 am 2. Jänner 2024 veröffentlicht.

Das ITRF2020 ist die neueste Umsetzung des International Terrestrial Reference System. In Anlehnung an das bereits für frühere ITRF-Lösungen verwendete Verfahren verwendet das ITRF2020 als Eingabedaten Zeitreihen von Stationspositionen und Erdorientierungsparametern (EOPs), die von den Technikzentren der vier geodätischen Weltraumtechniken (VLBI, SLR, GNSS und DORIS) bereitgestellt werden sowie lokale Bindungen an Colocation-Standorten. Basierend auf vollständig überarbeiteten Lösungen der vier Techniken wird erwartet, dass das ITRF2020 eine verbesserte Lösung im Vergleich zu ITRF2014 darstellt.

3.2 InfraPLAN und Digital Twin

Mit InfraPLAN wurde bei der ÖBB-Infrastruktur AG 2023 eine Datenbank/Applikation für Vermessungs- und Bestandspläne auf Grundlage des InfraRASTERs eingeführt. Hier wurden alle bisherigen Bestandspläne in einer einheitlichen Datenstruktur objektorientiert und blattschnittfrei organisiert. Zugleich können aktuelle, aus Vermessungen gewonnene Bestandspläne bearbeitet, erstellt und verwaltet werden. Die Daten dienen als einheitliche geodätische Grundlage für jegliche generalisierte Darstellung der Anlagen. Weiters ist eine automatisierte Verarbeitung der Daten möglich.

Durch Prüfung und Verbesserung des InfraRASTERs wird das einheitliche Referenzsystem der ÖBB-Infrastruktur AG fortgesetzt. Das System InfraRASTER und die Applikation InfraPLAN stellen damit die Grundlagen für künftige Aufgabenstellungen wie „Digital Twin“, eine zukünftige digitale Abbildung des Gesamtsystems Bahn sowie für den (teil-)automatisierten Bahnbetrieb, als auch für BIM Anwendungen sowie für Positionierungen mit Low-Cost GNSS Empfängern bereit.

Referenzen

- [1] BEV (2023): Datenkatalog BEV. <https://data.bev.gv.at/> (27.07.2023).
- [2] DIN 18709-1 (2020): Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie – Teil 1: Allgemeines. Berlin.
- [3] DIN 18709-6 (2021): Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie – Teil 6: Geodätische Bezugssysteme und Bezugsflächen. Berlin.
- [4] HELLERSCHMIED, A. (2020): Höhenreferenzsysteme. BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Wien.
- [5] ISO 17123-8 (2015): Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK). 2. Auflage. Vernier.
- [6] ÖBB-INFRASTRUKTUR AG (2023): Regelwerk der ÖBB-Infrastruktur AG. 17.01.01 Referenzsysteme und InfraRASTER. Wien.
- [7] OTTER, J. et al. (2015): 3-D Referenzsysteme in Österreich. BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Wien.
- [8] REIFENHÄUSER, M. (2018): Vermessungsrichtlinie 883.2000 DB_REF-Festpunktfeld. Version 12.0.
- [9] SWISSTOPO (2006): Informationsbroschüre. Neue Koordinaten für die Schweiz – Der Bezugsrahmen LV95. 1. Auflage. Wabern.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Klaus Gutleiderer, ÖBB Infrastruktur AG, FB Bautechnik Vermessung und Geoinformation, Lassallestraße 5, 1020 Wien.

E-Mail: klaus.gutleiderer@oebb.at

Dipl.-Ing. Johannes Fleckl-Ernst, ÖBB Infrastruktur AG, FB Bautechnik Vermessung und Geoinformation, Europaplatz 12, 8020 Graz.

E-Mail: Johannes.Fleckl-Ernst@oebb.at

Dipl.-Ing.(FH) Annemarie Schraml, ÖBB Infrastruktur AG, FB Bautechnik Vermessung und Geoinformation, Bahnhofstraße 3, 4020 Linz.

E-Mail: Annemarie.Schraml@oebb.at