

Optimierung absoluter Gleisgeometrie auf Basis von RTK-GNSS

Die Optimierung der absoluten Gleisgeometrie durch den Gleislagecomputer CEO++ erfolgt auf der Basis von inertialer Navigation und RTK-GNSS-Messungen.

**BERNHARD LICHTBERGER |
WILHELM LICHTBERGER | JÜRGEN NOLDI**

Aktuell sind in vielen europäischen Ländern die Gleise an Masten absolut vermarktet. Vor dem Arbeitseinsatz von Stopfmaschinen wird das Gleis vormessen, um die Gleiskorrekturwerte zu ermitteln. Dieser Prozess ist personal- und kostenaufwendig. Mit der vorgestellten Entwicklung eines durch ein inertiales Navigationssystem gestützten Real-Time-Kinematik-Satellitenmesssystems (IMU-RTK-GNSS) treten an die Stelle der Gleisvermarkungspunkte (GVP) absolute Satellitenkoordinaten. Die Vormessung wird durch die Stopfmaschine unmittelbar vor dem Arbeitseinsatz durchgeführt. Die Präzision der Satellitenvormessung erstreckt sich absolut nicht nur auf Mastpositionen, sondern auf alle erfassten Bereiche. Weiterhin wird auch die Messung während des Stopfens optimiert sowie die Verwaltung und Pflege der Vermarkungsdaten unterstützt. Die Verfügbarkeit der Gleise erhöht sich, die Kosten reduzieren sich erheblich.



Abb. 1: Gleisvermarkungspunkt

Quelle: B. Lichtberger



Abb. 2: Aufbau eines Gleislagecomputers CEO++ der Fa. System7 rail GmbH (Touch-Bildschirm links im Bild) auf einer Stopfmaschine des Herstellers Plasser & Theurer Quelle: System7 rail GmbH

Absolutvermarkung der Gleise

Im Jahr 1972 wurde in Deutschland die Gleisvermarkung eingeführt. Dazu sind an Oberleitungsmasten oder anderen feststehenden Trägern GVP angebracht (Abb. 1). Diese sind in das DB_REF-Festpunktfeld eingebettet [7]. Sie definieren Soll-Abstand und Soll-Höhe der Gleisachse zum GVP. Zwischen den Masten sind Langsehnen definiert, auf die in 5 m-Abständen der Soll-Höhen- und der Soll-Seitenabstand festgelegt ist. Entsprechend der Richtlinie (RIL) 883.3250 Geodätische Fahrbahnvermessung; Gleise und Weichen vormessen für maschinelle Stopf-Richtarbeiten muss vor der Stopfung die Abweichung der Gleis-Ist-Lage von der Gleis-Soll-Lage ermittelt werden. Das Verfahren ermittelt und erkennt langwellige Gleisfehler ab Wellenlängen von > 10 m [1].

Die Vormessung zerfällt in zwei Messaufgaben. Die erste erfordert die Messung der Ist-Höhe

und des Ist-Abstands der Gleisachse zum GVP. Die zweite Aufgabe zielt auf die Erfassung der Differenzen von Ist-Gleislage und Soll-Gleislage bezogen auf die Langsehne ab. Die Vermessung der Masten erfolgt durch Totalstationen¹, Festpunktmessgeräte oder Laserdistanzmessgeräte. Differenzen auf die Langsehne werden durch maschinelle Systeme oder handgeschobene gleisfahrbare Messwagen ermittelt. Eingesetzt werden dabei Lasersysteme, Totalstationen und inertielle Messsysteme. In Ausnahmefällen erfolgt die Messung mit dem optischen Pfeilhöhenabsetzgerät und dem Nivelliergerät. Ziel der Messvorgänge ist die Angabe von Korrekturwerten für die Stopfmaschine. Dies sind Hebewerte und Richtwerte im 5 m-Längsabstand des zu berichtenden Gleises.

¹ Totalstation: Elektronischer Tachymeter

Die Gleisvermarkung der Bolzen an den Masten ist innerhalb einer Dreijahresfrist zu überprüfen. Je nach Untergrund können Masten ihre Position verändern und ziehen so das Gleis in eine unerwünschte Lage mit. Die Vormessung erfordert qualifiziertes Personal. Die Messung wird in Zug- oder Sperrpausen durchgeführt und von Sicherheitspersonal begleitet. Die Vormessungsarbeiten wirken sich negativ auf die Verfügbarkeit der Gleise aus und sind personalintensiv und kostspielig. Die Arbeitsleistung ist entsprechend gering. In der Bundesrepublik Deutschland sind 1,2 Mio. GVP installiert, die ständig überwacht und gewartet werden müssen. Ziel der Entwicklung des inertial gestützten Multisensor-Satellitenmesssystems durch die Fia. System7 rail GmbH (System7) ist die Vermeidung dieser Nachteile.

Ablauf und Voraussetzungen der Gleislageberichtigung

Jede Stopfmaschine benötigt zur Führung einen Gleisgeometrieleitcomputer. Abb. 2 zeigt einen auf einer Maschine des Herstellers Plasser&Theurer aufgebauten Gleisleitcomputer CEO++ von System7.

Die durch die Vormessung ermittelten Hebe- und Richtwerte werden in den Computer manuell eingegeben oder über USB-Stick oder Mobilfunk eingelesen. Die Bahn stellt die Soll-Gleisgeometrie (Krümmungs-, Längshöhen- und Überhöhungsverlauf längs der Kilometrierung) zur Verfügung. Den Vorfahrweg der Maschine ermittelt ein Wegmessrad.

Die überwiegende Anzahl der Stopfmaschinen steuert das Hebe-Richt-Aggregat über ein Drei-Punkt-Messsystem. Oft werden dazu zwei Stahl-Nivellierseile für die Höhe und ein Stahl-Richtseil für die Seitenlage verwendet. Die Seile sind zwischen einem vorderen und hinteren Wagen gespannt. Der mittlere Messwagen befindet sich in der Nähe der Stopfaggregate und unmittelbar vor dem Hebe-Richt-Aggregat. Er trägt Sensoren, die die Auslenkung der Seile messen.

Der Universal Tamping Robot 4.0 von System7 verwendet stattdessen ein patentiertes optisches Messsystem mit hochauflösenden schnellen Digitalkameras mit Bildauswertung und LED-Sendeinheiten. Das System ist fehlertolerant und selbstüberwachend. Es misst gleichzeitig Richtung, Höhe und Querhöhe an allen drei Messwagen. Am hinteren Ende befindet sich der inertielle Navigationsmesswagen. Die inertielle, d.h. trägheitsgestützte Messeinheit erlaubt die gleichzeitige Abtastung der Längshöhe beider Schienen, der Richtung und der Querhöhe. Dieses Prinzip bewährte sich in der Luftfahrtindustrie und vielfach bei System7-Instandhaltungsmaschinen.

Das Drei-Punkt-System führt zu einer von der Fehlerwellenlänge nach Phase und Verstärkung abhängigen Übertragungsfunktion, wie in Abb. 3 gezeigt. Typische Sehnen sind 20 m lang mit einer Sehrenteilung 1:2. Die beispielhaft dargestellte Übertragungsfunktion zeigt im Bereich um 7 m Wellenlänge keine Reduktion der Gleis-

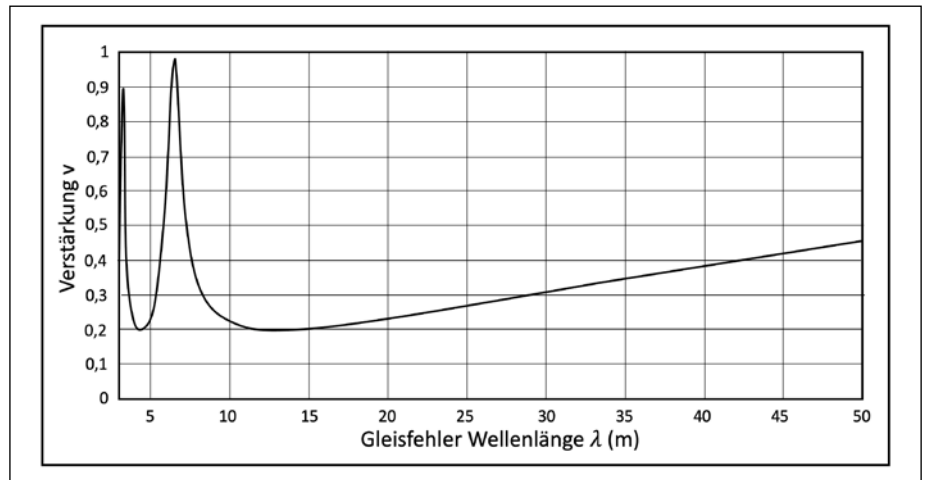


Abb. 3: Übertragungsfunktion (Verstärkung) des Drei-Punkt-Verfahrens Quelle: B. Lichtberger

fehler. Ab 10 m Wellenlänge tritt eine deutliche Verkleinerung auf, die jedoch mit zunehmender Wellenlänge abnimmt. Die Vormessung erfasst langwellige Fehler. Dabei werden jene, die über 50 m Wellenlänge liegen, um die Hälfte verkleinert. Das bedeutet, dass die vorhandenen Drei-Punkt-Verfahren grundsätzlich keine totale Beiseitigung der Gleisfehler erlauben.

Das Odometer (Wegmessrad) misst die Gleislänge relativ und ist mit Schlupf behaftet. Der Leitcomputer wird deshalb synchronisiert. Dies erfolgt durch den Vorwagenbediener an Bogenhauptpunkten oder Mastpositionen durch Drücken einer Taste.

Der Leitcomputer CEO++

Der Leitcomputer CEO++ errechnet aus der Soll-Gleisgeometrie die Soll-Vorgaben für Höhe und Richtung. Das Hebe-Richt-Aggregat berichtigt das Gleis, bis die Differenz zwischen Soll-Vorgabe und Ist-Messung des Drei-Punkt-Systems null wird.

Abb. 4 zeigt den Bildschirm des CEO++ während des Arbeitens. Über die Synchrocamera wird der CEO++ zu Bogenhauptpunkten, die an der Schiene markiert sind, synchronisiert. Über die dreidimensionale Darstellung des Gleislageverlaufes (mittig im Bild, zwischen „Abnahmeschrieb“ und „Korrekturwerte“) entnimmt der Maschinenführer den Korrekturwertverlauf der kommenden 100 m. Links mittig im Bild ist der aktuelle Soll-Geometrieverlauf dargestellt. Dieser kann ein- oder ausgeblendet, in seiner Größe verändert und frei auf dem Bildschirm platziert werden. Unten mittig befindet sich der Abnahmeschrieb [2] der zuletzt gestopften 30 m, rechts davon die aktuellen Arbeitsparameter Hebung, Richtung und Überhöhung. Über die Eventleiste kann der Abnahmeschrieb bildschirmfüllend angezeigt werden. Der CEO++ erfüllt die Doppel-funktion Digitaler Abnahmeschreiber (DAS) und Leitcomputer. Während des Stopfens misst und speichert das vollhydraulische Stopfaggregat der System7 die Schotterparameter. Die Ergeb-

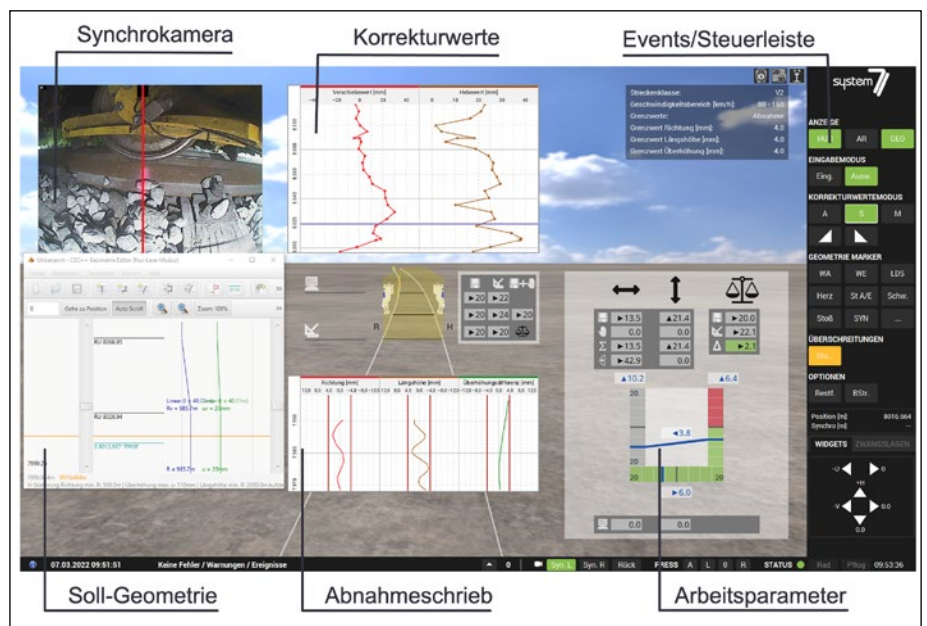


Abb. 4: Bildschirmfoto des Leitcomputers CEO++ Quelle: System7 rail GmbH

nisse gibt der Schotterbettreport [3] wieder. Alle erfassten Daten werden über Mobilfunk auf die Webplattform INFrame übertragen. Autorisierte Nutzer können diese Daten und deren Analyse einsehen.

Inertiales Navigationsmesssystem

Am hinteren Sehnenende des optischen Dreipunkt-Aufbaus der System7 befindet sich der inertielle Navigationsmesswagen. Dieser ist nach EN 13848-3 als Abnahmesystem zertifiziert [4].

Die Messgenauigkeit der Längshöhe, Richtung und Überhöhung ist, als einfache Standardabweichung angegeben, besser als 0,5 mm. Der große Vorteil des inertialen Navigationsmesssystems besteht in seiner hohen Präzision und Messgeschwindigkeit und der phasen- und amplitudenrichtigen Aufzeichnung von Gleisfehlern mit Wellenlängen von bis zu 200 m. Es eignet sich damit nicht nur als Abnahmemesssystem, sondern auch für Messfahrten.

Gleislageoptimierungsprogramm CEOOPT

Abb. 5 zeigt das Gleislageoptimierungsprogramm CEOOPT, welches aus den Daten der IMU (Inertial Measurement Unit) eine Soll-Geometrie im gängigen Krümmungsbildformat sowie Verschiebe- und Hebewerte erzeugt. Das Winkelbild der IMU wird in eine 3D-Gleisspur überführt. Aus dieser Gleisspur wird die Krümmung an jeder Gleisposition bestimmt. Dies bildet das Ist-Krümmungsbild, welches in Abb. 5 in

JOSEPH HUBERT
Bauunternehmung
GmbH & Co. KG

TRADITION | KOMPETENZ | QUALITÄT
in Gleisbau und Schweißtechnik

jhubert – Hauptsitz | Bleichstraße 15 | 90429 Nürnberg
Tel.: (0911) 92684-0 | Fax: (0911) 92684-50 | mail: info@jhubert.de | www.jhubert.de

jhubert – Niederlassung | Harpener Str. 2 a | 44791 Bochum
Tel.: (0234) 90182-0 | Fax: (0234) 90182-50 | mail: info-bochum@jhubert.de | www.jhubert.de

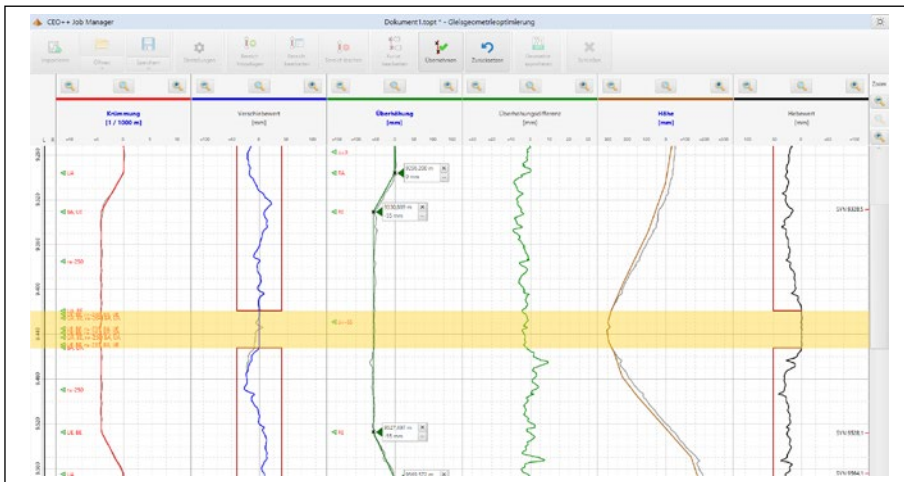


Abb. 5: Bildschirmfoto des CEOOPT: Optimierung mit Soll-Überhöhung im Editiermodus

Quelle: System7 rail GmbH

der Spalte Krümmung grau dargestellt ist. Aus dieser Ist-Krümmung errechnet das Gleislageoptimierungsprogramm automatisch die beste Ausgleichsgeometrie (Soll-Krümmung in rot²). Bei Zwangslagen wie z.B. einem Bahnübergang wird die Soll-Geometrie automatisch so lange der Ist-Krümmung angenähert, bis die definierte maximale Verschiebung eingehalten wird. Dies ist in Abb. 5 im gelben Bereich (Markierung einer Zwangslage) dargestellt. Die Differenz aus Soll- und Ist-Krümmung definiert die Verschiebewerte.

Für Überhöhung und Höhenlage wird ebenso der beste Ausgleich errechnet. Dies resultiert in der Überhöhungsdifferenz sowie den Hebewerten.

Der Benutzer legt eine Reihe von Parametern für die Optimierung fest (Zwangslagen, Zwangspunkte, maximale Verschiebung/Hebung/Überhöhungsdifferenz, Grundhebung usw.) und kann die optimierte Soll-Geometrie manuell modifizieren.

RTK-GNSS-Messsystem

Die Echtzeitkinematik (RTK: Real-Time Kinematik) ist ein Verfahren der Satellitennavigation GNSS³ [6]. Sie dient der präzisen absoluten Positionsbestimmung. Moderne Satellitenempfänger verarbeiten verschiedene Navigationssysteme wie GPS (USA), GLONASS (Russland), BEIDOU (China) oder GALILEO (EU). Absolute Genauigkeiten von 5-15 mm sind erzielbar. Die Koordinaten werden nach der Initialisierung in Echtzeit berechnet. Die Verwendung als RTK-GNSS-Messsystem erfordert den gleichzeitigen Empfang von mindestens fünf Satelliten. In der Anfangszeit der RTK-Messungen musste eine stationäre Referenzstation eingerichtet werden [8]. Zur Messung der aktuellen

² Die grau dargestellte Ist-Krümmung liegt unter der roten Soll-Krümmung und ist dadurch weitgehend verdeckt.

³ GNSS: Globales Navigationssatellitensystem

Gleisposition diene ein mobiler Empfänger (Rover) auf dem Schienenfahrzeug. Mittlere werden Korrekturdienste angeboten (SAPOS in Deutschland, APOS in Österreich etc.). Die Korrekturdienste verrechnen viele voneinander 50-100 km entfernte Referenzstationen und liefern Korrekturen für den aktuellen Ort der Messung. Die Korrekturen sind wegen Einflüssen der Refraktion in der Ionos- und Troposphäre, Mehrwegempfang, Empfängerfehlern, Abschattungen und Bahnungenauigkeiten der Satelliten notwendig. Die Übertragung der Korrekturdaten erfolgt per Satellit oder Internet. Die stationäre Referenzstation entfällt.

Wie in Abb. 6 ersichtlich, kann es im Bereich von Brücken, Überführungen oder nahe neben dem Gleis stehenden Gebäuden zur Beeinflussung der GNSS-Empfangsqualität kommen, weswegen es wichtig ist, die Empfangsqualität ständig zu überwachen. Bereiche mit schlechtem Empfang (in der Kartenansicht z.B. gelb markiert) werden als solche erkannt und für die Kombination von IMU- und RTK-Daten ignoriert.

Da für die Zusammenführung von relativen IMU- und absoluten RTK-Daten nur wenige Referenzbereiche notwendig sind, stellen jene



Abb. 6: RTK-Empfangsqualität über die Messstrecke in der Kartenansicht aufgetragen (RTK fix: blau, RTK float: gelb, DGPS: orange)

mit ungenügendem GNSS-Empfang kein Problem dar. Diese Abschnitte werden durch die hochpräzise IMU-Spur überbrückt.

In Abb. 7 sind zu derselben Messstrecke (mit den drei Bereichen mit mangelhaftem GNSS-Empfang aufgrund eines Gebäudes, einer Überführung und einer Brücke) folgende GNSS-Empfangsqualitätsparameter dargestellt:

- PDOP (Position Dilution of Precision): gibt die Genauigkeit der dreidimensionalen Positionsbestimmung bzgl. der Satelliten- und Empfängerposition an – kleinere Werte stehen für höhere Genauigkeit.
- GNSS pseudorange error statistics RMS: RMS-Wert der Standardabweichung der Eingangsgrößen für den Navigationsprozess
- GPS-Qualitätsindikator (QI) [1 ... GPS, 2 ... DGPS, 4 ... RTK fix, 5 ... RTK float]
- Latitude-, Longitude-, Height 1-Sigma-Error [m].

Multisensorsystem

Das Multisensorsystem (MSS) IMU-RTK-GNSS ist auf einer bei der Deutsche Bahn AG zugelassenen Universalstopfmaschine S7 PLS 16 4.0 der Fa. Leonhard Weiss als Prototyp aufgebaut. Es besteht aus einem inertialen Navigationssystem, einem RTK-GNSS-System bestehend aus Spectra Precision SP90m GNSS-Empfänger mit Trimble Zephyr 3-Rover Antenne und zwei Kompensationslaserscannern. Über den Geometrieleitcomputer CEO++ der Maschine werden die Messdaten erfasst und ausgewertet.

Abb. 8 zeigt den Messaufbau. Die GNSS-Antenne ist auf dem Dach der Stopfmaschine zentrisch über der IMU angebracht und zeichnet die GNSS-Daten auf. Sie bewegt sich relativ zum im Gleis geführten IMU-Messwagen. Diese Quer- und Höhenbewegungen der Antenne werden mit den beiden hochpräzisen Kompensationslaserscannern kompensiert und in Bezug zur IMU-Messung gebracht.

Während der Messfahrt wird die 3D-Spur im Raum mit dem inertialen Navigationssystem aufgezeichnet. Parallel dazu wird die 3D-Spur mittels RTK-GNSS ermittelt. Die

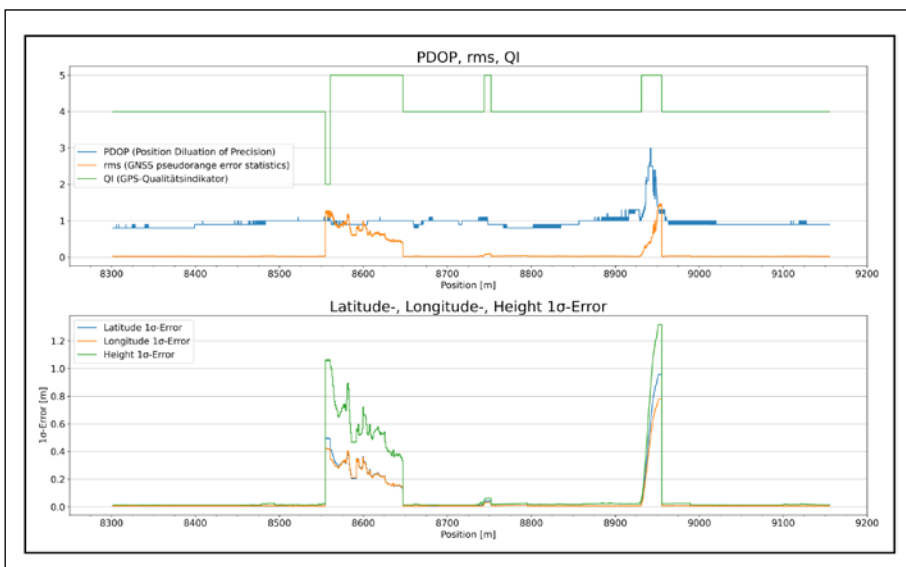


Abb. 7: GNSS-Empfangsqualitätsparameter

Quelle: System7 rail GmbH

aktuell mit dem inertialen Messsystem gemessene relative Gleislage wird mittels der GNSS-Messungen absolut gestützt. Bei Vorliegen von absoluten präzisen GNSS-Punkten der geometrischen Gleis-Soll-Lage (Bogenhauptpunkte, Gleis-Soll-Punkte bei Masten etc.) werden die notwendigen Korrekturwerte in Höhe und Richtung ermittelt. Liegen keine GNSS-Punkte der Gleis-Soll-Lage vor, dann werden diese vom Computersystem mithilfe des Gleisgeometrie-Optimierungsprogramms CEOOPT und der aktuellen RTK-GNSS-Messung definiert.

Mithilfe der Daten der IMU und der Kompensationsscanner (in Abb. 8 links und rechts zwischen Maschinenrahmen und Messwagen) werden die GNSS-Koordinaten auf die Gleis-

mitte bzw. den angespressten Schienenstrang umgerechnet. Die Kompensationsscanner zeichnen die Distanz in der Höhe und die Verschiebung quer zum Gleis auf.

Einsatzgebiete und praktische Ergebnisse

Unbekannte Gleislage

Vermarktete Gleise sind in Ländern wie Deutschland, Österreich, Schweiz, Frankreich, Spanien, Italien und England üblich. In vielen anderen Ländern sind die Gleis-Soll-Geometrien nur teilweise präzise bekannt. Oftmals werden diese Strecken im Ausgleichsverfahren gestopft. Die Aufmessung und Erstellung eines Festpunktfeldes sowie die Einrichtung der GVP sind aufwendig und kostspielig, ebenso wie die anschließende Pflege.

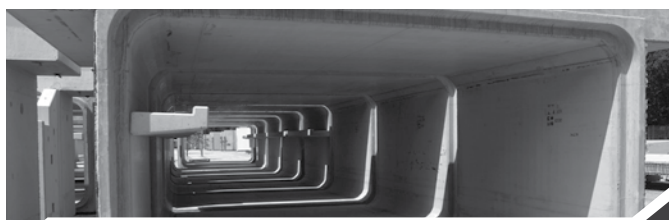
Für diese Strecken zeigt das hier geschilderte Verfahren einen von den Kosten und den Aufwänden her gangbaren Weg auf. Nach einer Messfahrt mit der Stopfmaschine wird nicht nur über eine automatische Gleislageoptimierung die Gleis-Soll-Lage definiert, sondern diese gleichzeitig absolut über Satellitenkoordinaten vermarkt.

Nach einer derartigen absoluten Definition der Gleis-Soll-Geometrie kann diese jederzeit wieder hergestellt werden. Dazu führt die Stopfmaschine eine Messung der Ist-



Abb. 8: Multisensor IMU-RTK-GNSS mit Antenne, IMU-Messwagen und Kompensationsscanner

Quelle: B. Lichtberger



Betonbauteile

Es kommt drauf an, woraus man sie macht

Ressourcen schonen und CO₂ einsparen bei der Produktion von Betonbauteilen? Geht das? Aber sicher.

Bei der Produktion unserer Betonbauteile setzen wir auf

- den Einsatz von Zuschlagstoffen aus recyceltem Beton
- die Verwendung von CO₂-reduziertem Hochofenzement
- statische Optimierung der Bauteile zur Gewichtsreduktion

► Dies reduziert die Kohlendioxid-Emissionen und senkt den Primärenergiebedarf.

Wir operieren nachhaltig

Im Jahre 2022 wurde unser Unternehmen erneut mit dem Concrete Sustainability Council (CSC)-Zertifikat in Gold ausgezeichnet. Dieses attestiert uns auf breiter Linie ein ökologisches, soziales und ökonomisch verantwortliches Handeln.



- Zuschläge zum Teil aus recycelten Baustoffen
- Verwendung von CO₂-reduziertem Hochofenzement
- CSC-zertifiziert

www.kleihues-beton.de • info@kleihues-beton.de



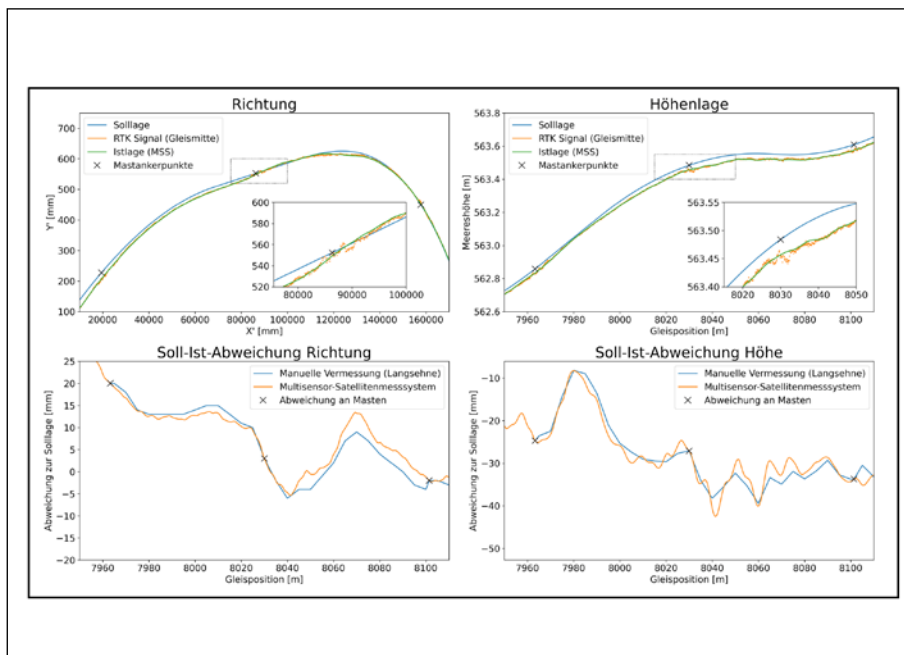


Abb. 9: Messergebnisse Multisensor-Satellitensystem bei bekannter Soll-Geometrie; oben: Ist-GNSS-Spur, Multisensormesssystem (MSS) GNSS-Spur und Soll-Lage für Richtung und Höhe; unten: Vergleich konventionelle Langsehenmessung und MSS Quelle: System7 rail GmbH

Lage durch und vergleicht diese mit den definierten Soll-Koordinaten und leitet daraus die Korrekturwerte ab.

Vermarktete Gleise mit bekannter Soll-Geometrie

Bei bekannter Soll-Geometrie wird diese über absolut-GNSS-vermarktete Punkte geankert. Aus der vom Multisensor-Satellitenmesssystem (MSS) bestimmten GNSS-Spur und der geankerten Soll-GNSS-Spur werden an jeder Gleisposition die Abweichungen in der Richtung und Höhe bestimmt. Die Ankerpunkte werden entweder direkt über die exakte GNSS-Lage der Bogenhauptpunkte angegeben oder aus dem DB_REF [7]-System übernommen.

In Abb. 9 ist oben die geankerte Soll-Lage (blau) der Richtung und Höhe dargestellt. Das orange Signal entspricht den gemessenen GNSS-RTK-Koordinaten, welche IMU-gestützt in das grüne Ist-Lagesignal überführt wird. Das System ermittelt die GNSS-Koordinaten der Gleismittelachse. Für Richtung und Höhe ist ein kleiner Ausschnitt vergrößert dargestellt. Wie in den Ausschnitten zu sehen ist, berichtigt das hoch präzise IMU-Signal Schwankungen des RTK-Signals.

Unten in Abb. 9 ist die Abweichung zwischen Ist-GNSS-Koordinaten und Soll-GNSS-Koordinaten dargestellt (orange) sowie der Vergleich mit einer konventionellen Langsehenmessung (blau).

Die Messung enthält drei Masten (als Kreuze dargestellt) im Abstand von ca. 70 m. An diesen Masten wurde mit konventionellem Fixpunkt-messgerät die Soll-Ist-Abweichung in Richtung und Höhe bestimmt. Aus diesen Abweichungen und einer RTK-Messung wurden die Soll-GNSS-Koordinaten der Gleisachse an den Masten

bestimmt. Die Soll-Geometrie aus dem Bogenhauptverzeichnis wird über diese Ankerpunkte fixiert. Daraus resultiert eine Absolutvermarkung der Gleismittelachse an jeder beliebigen Gleisposition zwischen den Masten. Die Differenz aus Soll-GNSS-Spur und Ist-GNSS-Spur des MSS liefert die Abweichung in Richtung und Höhe, welche für das Führen der Stopfmaschine benötigt wird (Hebe- und Verschiebewerte). Konventionelle Langsehenmesssysteme geben die Abweichungen im Abstand von 5 m an. Das MSS hat dagegen eine wesentlich höhere Auflösung. Dadurch werden, wie besonders bei der Höhe zu sehen ist, wesentlich kürzere Gleisfehler-Wellenlängen aufgelöst.

Vorteile des IMU-RTK-GNSS-Systems

Zu den Vorteilen des beschriebenen IMU-RTK-GNSS-Systems zählt im Falle eines existierenden Referenzpunktfeldes der Wegfall von dessen Pflege und den damit verbundenen Kosten. Wird eine Absolutvermarkung erstmalig eingeführt, ist deren Erstellung als Nebenprodukt von Stopfarbeiten äußerst kostengünstig.

In Zeiten der Klimakrise wird die Bahn als Verkehrsträger immer wichtiger. Die Anforderungen an die Verfügbarkeit der Gleise sind hoch und steigen weiter. Das beschriebene System bringt deutliche Vorteile. Es spart Sicherheitsposten, Sperrpausen und Kosten für die Vormessung und erhöht die Verfügbarkeit der Bahn. Das Problem des Personalmangels im Vermessungs- und Sicherungsbereich wird entschärft. Durch die absoluten Satellitenkoordinaten ist die Stopfmaschine millimetergenau positionierbar, die manuelle Synchronisation durch den Maschinenführer entfällt. Erkannte Hindernisse im Gleis sowie Schwachstellen in der Schotter-

bettung werden präzise erfasst, gespeichert und automatisch an die Stopfmaschine übergeben. Damit wird die Gleisanlage während des Stopfens gegen ungewollte Zerstörung oder Beschädigung geschützt. Durch weitere Automatisierungsschritte kann die Stopfmaschine zukünftig autonom arbeiten und der Vorwagen-Maschinist eingespart werden. Die gesammelten Daten können von anderen Gleisbaumaschinen wiederverwendet werden.

Die übliche manuelle Kontrolle an den GVP nach der Stopfarbeit entfällt. Das maschineneigene IMU-RTK-GNSS erlaubt eine kontinuierliche Überwachung, welche zur laufenden Korrektur der Maschine während der Arbeit genutzt wird. ■

QUELLEN

- [1] Lichtberger, B.: Das große Handbuch der Gleisstandhaltung, Band 1, tredition Verlag GmbH, Hamburg 2022
- [2] Schmitzberger, H.; Lichtberger, B.: Abnahmeschrieb des Schotterbettzustandes durch eine Hochleistungsstopfmaschine – in situ Messung während des regulären Stopfbetriebes, ZEVrail 2020/ 1, S. 372-378
- [3] Lichtberger, B.: Stopftechnologien und ihre Auswirkung auf die Haltbarkeit der Gleislage, ZEVrail 2023/8
- [4] Kuttelwascher, C.; Lichtberger, B.; Mittermayr, P.: Präzise Gleisvermessung mit einem inertialen Mess- und Navigationsmesssystem, EI 11/2020, S. 46-50
- [5] Lichtberger, B.: Auf dem Weg zum autonomen Arbeiten – Der Universal Tamper 4.0, EIK 2022, S. 15-40
- [6] Hofmann-Wellenhopf, B.; Lichtenegger, H.; Wasle, E.: GNSS – Global Navigation Satellite Systems, Springer-Verlag, Wien, 2008
- [7] DB-Regelwerk: Handbuch Gleis- und Bauvermessung, RIL 883, 2019
- [8] Wübbena, G.; Lahr, B.; Marx, L.; Lichtberger, B.: Laserlangsehenvermessung und Ermittlung von GPS-Absolutkoordinaten, EI 5/2003, S. 36-44
- [9] Microsoft Bing Maps; 2023, <https://www.bing.com/maps>



Univ.-Doz. Dr. techn. Bernhard Lichtberger

Technischer Direktor
bernhard.lichtberger@s7-rail.com



Wilhelm Lichtberger, M.Sc.

Softwareentwickler
wilhelm.lichtberger@s7-rail.com



Dipl.-Ing. Jürgen Noldi

Softwareentwickler
juergen.noldi@s7-rail.com

Alle Autoren:
System7 rail GmbH, AT-Laakirchen