

# Neue Anwendungsfälle der digitalen referenzierten Gleisgeometrievermessung

Referenced Track Geometry (RTG) von Plasser & Theurer und tmc bietet hinsichtlich Präzision, Sicherheit und Effizienz eine technologisch hoch leistungsfähige Methode der referenzierten Gleisgeometrievermessung. Das System ist bereits weltweit im Einsatz, wird kontinuierlich weiterentwickelt und neuen Anforderungen angepasst.



## Die referenzierte Gleisgeometrie

Sowohl der Neubau als auch die effiziente Instandhaltung von Eisenbahninfrastruktur, insbesondere von Gleisen, erfordern eine präzise Messung der Gleislage, um sicherzustellen, dass die Strecke den vorgegebenen Standards entspricht. Mit herkömmlichen Verfahren, wie dem Ausgleichsverfahren oder der Einzelfehlerbehebung, kann bereits eine hohe Genauigkeit erreicht werden. Jedoch beziehen sich diese Verfahren immer nur auf die relative (oder „innere“) Geometrie. Da diese ohne jeglichen Bezug zu äußeren Referenzpunkten arbeitet, wie beispielsweise Gleisver-

markungspunkten (GVP), kann zwar eine normenkonforme Geometrie hergestellt, allerdings nicht sichergestellt werden, dass das Gleis alle Toleranzbereiche zu umliegenden Bezugspunkten, wie Nachbargleisen oder Bahnsteigkanten, einhält. Diese müssen mit aufwendigen manuellen Vermessungsmethoden separat überprüft werden. Setzt man nun diese Bezugspunkte mit der relativen Gleisgeometrie in Verbindung, spricht man von der referenzierten (oder „äußeren“) Gleisgeometrie. Um deren Vermessung zu optimieren, wurde von Plasser & Theurer und Track Machines Connected (tmc) eine gemeinsame Lösung entwickelt – Referenced Track Geo-



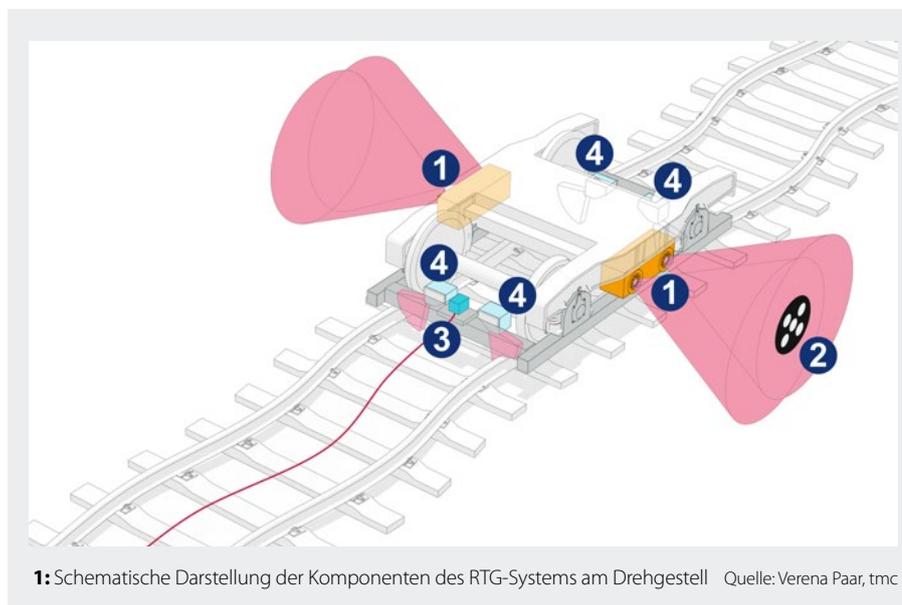
**Dipl.-Ing. Alexander Brennsteiner**

Plasser & Theurer Export von Bahnbaumaschinen, Produktmanagement für Digitale Produkte  
alexander.brennsteiner@plassertheurer.com



**Benjamin Stuntner, M.Sc.**

tmc, Head of Product Management & NPI  
benjamin.stuntner@tmconnected.com



1: Schematische Darstellung der Komponenten des RTG-Systems am Drehgestell Quelle: Verena Paar, tmc

metry (RTG). Das System basiert auf der von tmc entwickelten Hard- und Software (tm-RTG), während die Integration auf den Maschinen von Plasser & Theurer unter dem Namen Plasser ReferencedTrackGeometry umgesetzt wird.

Durch die Kombination mehrerer Systemkomponenten ermöglicht RTG eine präzise Vermessung der referenzierten Gleisgeometrie bei hohen Geschwindigkeiten, ohne Einbußen hinsichtlich der Messgenauigkeit und ohne Gleissperre. tmc entwickelte dafür ein Stereo-Kamera-System, bestehend aus Hochgeschwindigkeitskameras und Infrarot-Ringlichtern (siehe Position 1 in Bild 1), das spezielle Messmarker (Position 2) im Submillimeterbereich auf mehrere Meter Entfernung einmessen kann. Dieses Stereo-Kamera-System kann beidseitig auf einer Maschine

installiert und parallel betrieben werden. So können in einer Messfahrt unabhängig vom Bezugsstrang der Gleisgeometrie alle benötigten Daten aufgenommen werden. Außerdem wird auch eine Messung mit dem etablierten Gleisgeometriemesssystem PosTG durchgeführt, das aus einem Inertialmesssystem (IMU Position 3), Messsystemen zur Spurweitenmessung und zur Wegmessung (Position 4) sowie GNSS-Antennen besteht. Durch die im gegenseitigen Bezug starre Installation beider Systemkomponenten auf dem Drehgestell oder auf einem speziellen Messrahmen können die Daten miteinander verglichen werden. Mit Hilfe der Spurweitenmessung des PosTG werden die Daten schließlich auf die Schiene bzw. auf den Spurkranzanlagepunkt referenziert.

Um diese Daten für die Gleisinstandhaltung nutzbar zu machen, werden die aufgenommenen Messdaten mit den Soll-daten des Gleises kombiniert. Hierbei ist der Bezug der Messdaten zum Spurkranz-anlagepunkt relevant, da sich die Soll-Abstände zwischen Referenzpunkt und Gleis in horizontaler und vertikaler Distanz zwischen Referenzpunkt und Spurkranz-anlagepunkt definieren. Durch die zusätzliche Definition der Soll-Geometrie des Gleises sind alle relevanten Informationen vorhanden, um die sogenannten Korrekturdaten (Hebe- und Richtwerte) für das Präzisionsverfahren berechnen zu können. Diese Daten können dem Steuerungssystem einer Stopfmaschine zugeführt werden und als Basis für die Instandhaltung dienen.

### Referenzierte Gleisvermessung – die digitale Methode im Einsatz

Um auf eine neue, digitale Methode der Gleisvermessung umzusteigen, müssen Eisenbahninfrastrukturbetreiber und Ingenieurbüros strenge Kriterien erfüllen. An oberster Stelle stehen hier Präzision und Sicherheit. RTG ist eine vollständig digitale Lösung, basierend auf der präzisen Inertial-Measurement-Unit-Technologie (IMU-Technologie). Es wird eine sehr hohe Genauigkeit erreicht, die den Anforderungen aller aktuell relevanten Normen entspricht. In Kombination mit der bahnspezifischen Expertise von tmc wird so eine qualitativ hochwertige Gleisinstandhaltung ermöglicht. Im Vergleich zu bisher angewandten Methoden zur Gleisvermessung ermöglicht RTG Messgeschwindigkeiten von bis zu 80 km/h, die einen wesentlichen Beitrag zur Kostenreduktion der Vermessungspro-



2: RTG-System aufgebaut auf einer Plasser & Theurer Stopfmaschine

Quelle: Plasser & Theurer

jekte leisten. Darüber hinaus erhöht sich die Arbeitssicherheit des Personals, da der Gefahrenraum rund um die Gleise nicht mehr betreten werden muss.

RTG ist mittlerweile auf mehreren Fahrzeugen im Einsatz und vermisst erfolgreich Strecken – etwa in Österreich, Deutschland oder Malaysia. Eine stetige Weiterentwicklung aller Komponenten des Systems sorgt für einen stabilen Betrieb in allen Situationen und bereitet den Weg für zusätzliche Anwendungsfälle, die im Folgenden beschrieben werden.

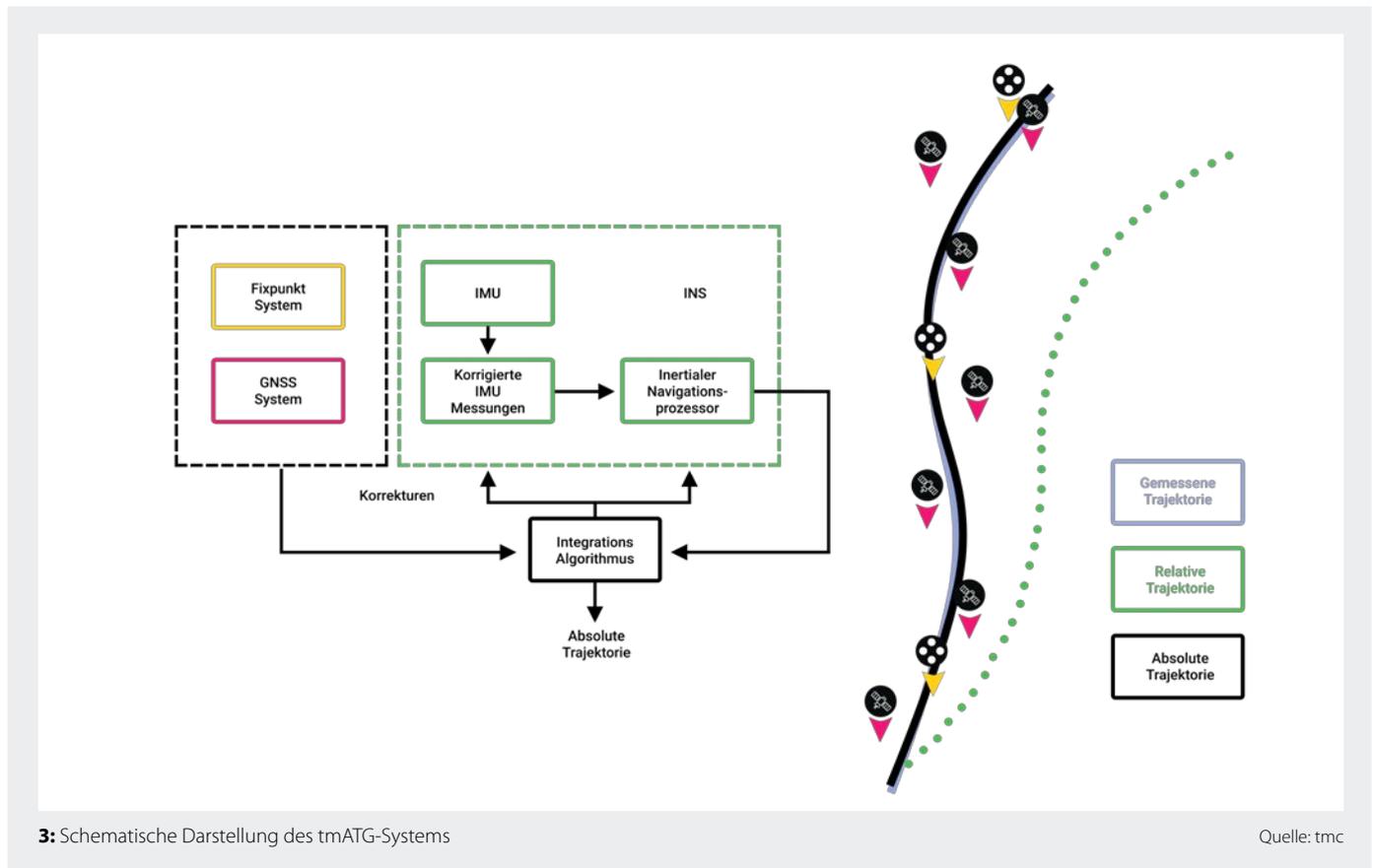
### Fixpunktmessung auf Stopfmaschinen – effizientes Vermessen der Gleisgeometrie

Der steigende Zeit- und Kostendruck erfordert eine optimale Auslastung der Maschinenflotte und eine Minimierung der durchzuführenden Arbeitsschritte in der Gleisbearbeitung. Dies bringt einen starken Trend zur Integration hochmoderner Messtechnik auf Gleisbaumaschinen mit sich, um den Einsatz von separaten Messfahrzeugen und Handmessgeräten reduzieren zu können. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist die Integration des RTG-Systems auf Stopfmaschinen (Beispiel in Bild 2). Dadurch verfügt die Stopfmaschine in bestimmten Bereichen über die gleichen Funktionen wie ein hochspezialisiertes Messfahrzeug oder Handmessgerät. Die Herausforderungen bei der Integration dieser präzisen Messtechnik auf Gleisbaumaschinen liegen in den beengten Platzverhältnissen und rauen Umgebungsbe-

dingungen durch den laufenden Betrieb der Arbeitsaggregate. Eine Entkoppelung von den Arbeitsprozessen ist dabei essenziell und kann durch geschickte Platzierung der Systeme und Schutzmaßnahmen erreicht werden. Eine flexible Bedienung der Systeme aus verschiedenen Arbeitskabinen und die Möglichkeit, remote zuzugreifen, sind dabei unverzichtbar. Durch das Onboard-Betriebssystem tmOS von tmc können Datenübertragung, flexible Arbeitsplatzgestaltung und Fernzugriff auf die Systeme ermöglicht werden. Alle generierten Daten können im Backoffice bearbeitet werden.

### Die Gleisbaumaschine als effizientes Messfahrzeug – Einsatz in Italien

Ein erstes Vorreiterprojekt für die Anwendung des RTG-Systems auf Gleisbaumaschinen ist in Italien implementiert worden. Dabei wurden Plasser & Theurer-Gleisbaumaschinen des Typs Unimat Combi 08-275 mit modernen RTG-Messsystemen ausgestattet und auf Hochgeschwindigkeitsstrecken zur Gleisgeometrievermessung im Testbetrieb eingesetzt. Ziel der Tests war die Evaluierung der erreichbaren Genauigkeit, der Zuverlässigkeit des Systems sowie ein Vergleich mit dem langjährig bewährten, hochgenauen EM-SAT-System von Plasser & Theurer. Die Messungen mittels RTG-System erwiesen sich als gleichwertig zu den mittels EM-SAT-System erhobenen Messdaten. Somit können Stopfmaschinen nun dank RTG-Technologie zur effizien-



ten Inspektion des italienischen Hochgeschwindigkeitsnetzes beitragen.

**Effiziente Instandhaltung – die unabhängige Stopfmaschine**

Moderne Stopfmaschinen sind auf eine präzise Vormessung der Gleisgeometrie angewiesen, um ein optimales Stopfergebnis zu erzielen. Bisher waren, insbesondere für das Arbeiten im Präzisionsverfahren, Messfahrten mit Messfahrzeugen oder Handmessgeräten notwendig, um die Arbeitsparameter für die Maschine zu generieren. Durch den Einsatz des RTG-Systems kann die Stopfmaschine diese Messungen unabhängig von anderen Fahrzeugen oder Geräten durchführen und die erforderlichen Arbeitsparameter erzeugen. Dies steigert die Effizienz für die gesamte Baustellenorganisation enorm.

Eine weitere Verbesserung wird durch eine Parallelisierung der Arbeitsabläufe erreicht. Die Referenzpunkt-basierte Gleisgeometrievermessung kann auch während des Stopfvorgangs durchgeführt werden. Dies reduziert insbesondere bei mehreren Stopfdurchgängen die notwendigen Messfahrten auf ein Minimum.

**Das portable Gleisvermessungssystem pRTG: Einsatz in Japan**

Im Zuge des Austauschs des Gleisschotter muss in Japan mehrmals punktuell der Abstand des zu bearbeitenden Gleises in Referenz zum Nachbargleis vermessen werden. Ziel ist es, die Gleisgeometrie nach dem Schottertausch nicht nur relativ zu korrigieren, sondern auch in Bezug auf Nachbargleise, Oberleitungen und Bahnsteigkanten wieder in die ursprüngliche Lage zu bringen. Dieser Arbeitsprozess wird aktuell manuell durchgeführt und ist dadurch langsam und fehleranfällig.

Auf Basis des RTG-Systems wurde mit pRTG („Portable RTG“) eine effiziente Lösung entwickelt, um diesen Prozess zu digitalisieren und zu optimieren. Zum Einsatz kommt ein Stereo-Kamera-System ohne hochpräzise IMU, jedoch mit Überhöhungsmessung, aufgebaut auf einem Handmesswagen. Dieser wird zusätzlich mit einem Laptop, einem Encoder und einer Batterie ausgestattet, wodurch das System auch bei längerer Vermessungstätigkeit autark betrieben werden kann. Als Bezugspunkte werden die bereits erwähnten Messmarker verwendet.

Das pRTG-System misst zunächst temporär entlang der Strecke aufgestellte Marker initial ein und speichert diese Messung als Referenz ab. Nach erfolgtem Austausch des Schotterbetts wird der Handmesswagen ein zweites Mal die Strecke entlang geschoben, um die Marker erneut zu vermessen. Dadurch werden die Differenzen in der horizontalen und vertikalen Distanz zwischen Referenzmessung und zweiter Messung ermittelt, die nun bei der Berechnung der Korrekturdaten berücksichtigt werden können. Nach der Wiederherstellung der Gleisgeometrie durch eine Stopfmaschine wird schließlich ein drittes Mal mit dem Handmesswagen gemessen und somit auch eine Überprüfung der Distanzen durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Abstände wieder dem Originalzustand entsprechen. Das Ersetzen dieses ursprünglich manuellen durch einen halbautomatisierten Arbeitsprozess mit Hilfe von pRTG führt zu einer enormen Arbeitserleichterung, gewährleistet Zeitersparnis, Fehlervermeidung und erhöhte Messzuverlässigkeit aufgrund der Reduktion manueller Tätigkeiten. Nach erfolgreichen ersten Testeinsätzen des Systems laufen aktuell erweiterte Tests mit unterschied-



4: QR-Codes des Projekts „Blue Eagle“

Quelle: Michael Fellingner, PRODES GmbH

lichen Handmesswagen zur Optimierung des Gesamtkonzepts auf unterschiedlichen Streckenabschnitten.

#### tmATG – von der referenzierten Gleislage zur absoluten Gleisachse

Einen weiteren, besonders spannenden Anwendungsfall bietet die Software tmATG („Absolute Track Geometry“). tmATG nutzt die Daten aus tmRTG und errechnet daraus in einem eigenen, nachgelagerten Post-Processing-Verfahren die hochpräzise absolute Gleisachse. Die Lösung wurde in Deutschland bereits mehrfach erfolgreich eingesetzt und nun auch in Schweden im Zuge eines Shift2Rail-Projekts demonstriert. In der Nähe von Attarp wurden 2022 auf einem 1 km langen Gleisabschnitt die tmRTG-Messmarker installiert und anschließend Messfahrten vor und nach dem Stopfvorgang durchgeführt.

Mit einem mehrstufigen, iterativen Prozess (siehe Bild 3) wird aus der Kombination von korrigierten GNSS-Koordinaten, der IMU-Messung und den Stereo-Kamera-Messungen eine Trajektorie mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich berechnet. Schließlich wird durch die Kompensation der Bewegungen des Drehgestells die absolute Gleisachse berechnet und in einem Koordinatensystem nach Anforderung des Projekts ausgegeben. Dabei werden die länderspezifischen Definitionen einer Gleisachse berücksichtigt.

Speziell für das Projekt in Schweden wurde diese Verarbeitung auf mehreren Messfahrten angewandt und erlaubt somit zusätzlich eine Vergleichbarkeit der Instandhaltungsmaßnahme der Stopfmaschine auf Basis absoluter Werte.

#### „Blue Eagle“ – vollautonomer Einsatz am Messanhänger im Regelbetrieb

Unter dem Namen „Blue Eagle“ läuft aktuell ein Projekt in Kasachstan mit dem Ziel, die Eisenbahninfrastruktur und deren Lebenszyklus durch den konsequenten Einsatz digitaler Lösungen zu optimieren. Von der Nachrüstung bestehender Arbeitsmaschinen, dem Einsatz eines Messanhängers mit neuester Messtechnik über die Vernetzung der Maschinen miteinander bis hin zur Etablierung eines zentralen Managementsystems wird ein ganzheitliches Ende-zu-Ende-Instandhaltungskonzept eingeführt.

Zentraler Baustein ist dabei die Umstellung der Instandhaltung auf das Präzisionsverfahren – die Vermessung und Bearbeitung des Gleises auf Basis der referenzierten (äußeren) Gleisgeometrie. Um die weitläufigen Bahnstrecken in Kasachstan effizient vermessen zu können, wird das RTG-System auf einem Messanhänger aufgebaut und die Eisenbahninfrastruktur mit entsprechenden Messmarkern ausgestattet. Ziel des Projekts ist es, Messanhänger und die darauf installierten Mess-

systeme möglichst autark und in hoher Frequenz im Regelbetrieb einzusetzen. Aus diesem Grund wird zum Messmarker auch ein QR-Code installiert (siehe Bild 4), durch den die Messung in Kombination mit dem QR-Code eindeutig einem Mastbolzen und dem entsprechenden Mast zugeordnet werden kann. Somit trägt RTG neben der hochpräzisen Vermessung des Messmarkers auch zur genauen Lokalisierung des Messanhängers im Gleisnetz bei.

Basierend auf dieser Weiterentwicklung der RTG-Anwendung kann somit ein autonomes System entwickelt werden, das sich automatisch aktiviert, seine genaue Position im Gleisnetz kennt und dadurch ohne manuelle Bedienung qualitativ hochwertige Messdaten in regelmäßigen Abständen generieren kann. In Kombination mit der Vernetzung der Systeme über die Maschinengrenzen hinweg, können diese Messdaten schließlich auch automatisch übertragen werden. So können dem zentralen Managementsystem möglichst aktuelle Daten zur Verfügung gestellt und die entsprechenden Maßnahmen zur Instandhaltung der Infrastruktur präzise und effizient abgeleitet werden.

#### Referenced Track Geometry – heute und morgen

Referenced Track Geometry (RTG) bietet eine digitale, präzise, sichere und effiziente Methode zur Durchführung digitalisierter referenzierter Gleisvermessung. RTG ist vielerorts erfolgreich im Einsatz und hat sich bereits in unterschiedlichen Anwendungsfällen in Bahnnetzen in Europa und Asien bewährt. Ausgehend von den bisherigen erfolgreichen Einsatzerfahrungen wird kontinuierlich an der Weiterentwicklung des Systems gearbeitet. Die Kooperation mit Infrastrukturbetreibern auf der ganzen Welt soll dabei den Rahmen für viele weitere praktische Anwendungsfälle bilden. ●

#### Summary

##### New application cases of digital referenced track geometry

New application cases of digital Referenced Track Geometry (RTG) by Plasser & Theurer and tmc provide a digital, precise, safe and efficient method to conduct digital referenced track measurement. RTG is continually developed and adapted to new application cases. The system is already successfully in use in railway networks in Europe and Asia.