

POS/TG – Innovation auf dem Gebiet der Gleisgeometriemessungen

Das von Applanix Corporation mit Unterstützung von Plasser American Corporation entwickelte POS/TG™-System stützt Gleisgeometriemesssysteme mit innovativen Lösungen aus und überwindet so die Mängel der anderen laufend verwendeten Gleisgeometriemesssysteme. Dieser Artikel enthält einen kurzen Überblick über die Gleisgeometrie und die Messansätze wie auch eine Beschreibung der Konfiguration, Funktionalität und Leistung des POS/TG-Systems.

Messung der Gleisgeometrie

Die Bestimmung der Gleisgeometrie umfasst das Messen der geometrischen Eigenschaften der einzelnen Schienen wie auch die relative Verschiebung einer Schiene im Verhältnis zur anderen. Um die Schienengeometrie zu quantifizieren, werden die Schienen als Linien im 3-dimensionalen Raum abgebildet, wobei diese Linien dann auf 2-dimensionale Ebenen projiziert werden. Sobald die Gleisgeometrie vermessen ist, muss der geographische Standort für jede Messung bestimmt werden.

Da die Gleisgeometrie sich direkt auf die Fahrdynamik eines auf Schienen fahrenden Wagens auswirkt (d.h. die Gleisgeometrie wirkt sich auf die linearen und rotierenden Beschleunigungsvektoren des Schienenfahrzeuges aus), ist eine präzise Messung entscheidend für die Bewertung der Bahnsicherheit. Die großen Bahnen und Aufsichtsbehörden messen die Gleisgeometrie systematisch, um eine qualitative Minderung der Gleisgüte zu beobachten und Fehler zu identifizieren. Daten über den früheren Gleiszustand ermöglichen den Bahnen die Geschwindigkeit der qualitativen Gleisminderung einzuschätzen und die Oberbauinstandhaltung zu optimieren. Aufsichtsbehörden verwen-

den Gleisgeometriedaten für die Zuteilung der maximal zulässigen Fahrtgeschwindigkeit für Streckenabschnitte.

Früher wurde die Gleisgeometrie manuell von einem Messtrupp vermessen. Diese Methode ist jedoch sowohl zeitaufwändig als auch kostenintensiv. Darüber hinaus kann mit der manuellen Methode die Gleisgeometrie nicht bei normalen Belastungsbedingungen gemessen werden. Ein präziserer und ökonomischerer Ansatz ist der Einsatz von speziellen Gleisgeometriemesswagen, die entweder mit Eigenantrieb ausgestattet sind oder in einem fahrplanmäßigen Zug mitgeführt werden. Bei der Fahrt des Messwagens über das Gleis berechnet das System auf dem Messwagen die Gleisgeometrieparameter, zeigt sie dem Bediener graphisch an, informiert ihn über Ausnahmen und zeichnet die Daten für die Archivierung, für eine nachträgliche Bearbeitung oder für weitere Analysen auf.

Im letzten Jahrhundert wurde eine Vielzahl von in Messwagen eingebauten Gleisgeometriemesssystemen entwickelt, und viele dieser Konstruktionen sind auch heute noch in Betrieb. Die am häufigsten verwendeten Systeme sind mit mechanischen Sensoren mit beweglichen Punktfühlern ausgestattet, die ständig in Kontakt mit dem Gleis sind. Die Bewegung des Sensors gibt die Gleisgeometrie an. So können die Messergebnisse von 3 horizontalen Fühlern, die auf 3 Teleskopachsen montiert sind und ständig das Gleis abtasten, verwendet werden, um die Richtung der Schienen zu messen. Obwohl diese Systeme eine wesentliche Verbesserung gegenüber der terrestrischen Vermessung darstellen, können Gleisgeometriemesssysteme mit Kontaktsensoren nicht auf Hochgeschwindigkeitsgleisen eingesetzt werden, da die Sensoren dann nicht ständig in Kontakt mit den Schienen sein können.

Bei vielen der neueren Systeme werden kontaktlose optische Lasersensoren in Verbindung mit Beschleunigungsmessern und einem vertikalen Gyroskop verwendet, um die gewünschten Gleisgeometriemessdaten abzuleiten. Mit diesem Ansatz werden die Geschwindigkeitsbeschränkungen mechanischer Sensorsysteme überwunden. Die Verwendung von Beschleunigungsmessern und vertikalen Gyroskopen bringt jedoch ihre eigenen Probleme mit sich.

Wenn die Ausgabedaten des Beschleunigungsmessers doppelt integriert werden, um die Verschiebung des Schienenfahrzeuges zu berechnen, produziert der inhärente Systemfehler des Beschleunigungsmessers einen Verschiebungsfehler, der proportional zum Quadrat der Zeit wächst. Das führt dazu, dass die vom Beschleunigungsmesser abgeleitete Verschiebung für Gleisgeometriemessungen bei niedrigen Geschwindigkeiten nicht verwendet werden kann. Zusätzlich dazu sind vertikale Gyroskope dafür bekannt, falsche Ausrichtungsanzeigen unter der Einwirkung von zentripetalen Kräften zu erstellen, was zu ungenauen Überhöhungsmesswerten in Kurven führen kann.

Traditionell wurde der Standort von gemessenen Gleisgeometriedaten bestimmt, indem der gefahrene Abstand zu einem vorbestimmten Referenz-(Null)punkt gemessen wurde. Um Gleisgeometriedaten aussagekräftig zu machen, ist es für die Bahnen wichtig, dass der Standort der Gleisgeometriedaten einen (synchronisierten) Bezug hat zu Landmarken wie Meilensteinen, Kreuzungen, Weichen usw. Normalerweise wird dieser entweder vom Gleisgeometriebediener manuell eingegeben oder automatisch von ALD-Detektoren (ALD = automatische Standort-Detektoren) eingelesen. Keiner der beiden Ansätze ist ideal, da die manuelle Synchronisierung häufig fehlerhaft ist, während ALD-Detektoren teuer sind und von Oberbaumaschinen leicht beschädigt oder verschoben werden können.

POS/TG-Messsystem

Aufgrund der Systemmängel der bestehenden Gleisgeometrie- und Lokalisierungssysteme war Plasser American Corporation aus Chesapeake, Virginia, USA, ein führender Lieferant von Gleisgeometriemesssystemen für Bahnen weltweit, an der Entwicklung eines kontaktlosen Systems interessiert, das diese Unzulänglichkeiten überwindet.

Die Lösung kam von Applanix Corporation aus Richmond Hill, Ontario, Kanada [1]. Applanix, ein führender Lieferant von integrierten Inertial-GPS-Navigationslösungen für kommerzielle Präzisionsanwendungen, schlug die Entwicklung eines neuen Gleisgeometriemesssystems basierend auf der Technologie seines Standort-

Die Autoren

Dr. **Günther Oberlechner**, Abteilungsleiter für computergestützte Gleisgeometrie-Analysiersysteme der Plasser American Corporation, Chesapeake / USA und **Jan Zywiell**, Produktionsleiter für bahntechnische Anwendungen des Applanix-Systems (POS), Applanix Corporation, Richmond Hill, Ontario / Kanada

und Orientierungssystem (POS™) vor. Diese Technologie mischt Daten eines GPS-Empfängers (GPS = Global Positioning System = Satellitennavigationssystem) und Inertialsensoren, wodurch ein kontinuierliches, widerstandsfähiges und präzises Navigationssystem erzielt wird. Entworfen sollte ein System werden, das die Navigationsdaten des POS-Systems mit den optischen Spurweitenmessungen kombiniert, um präzise Gleisgeometriemessdaten sowie deren geographischen Standort zu erhalten.

Die Kombination aus Plassers Bahnerfahrung und Applanix Know-how auf dem Gebiet der integrierten Navigation resultierte in einem einzigartigen neuen System, dem sogenannten POS/TG (POS für Gleisgeometrie). Als ein in ein Schienenfahrzeug eingebautes System, ermöglicht das POS/TG Gleismessungen unter normalen Belastungsbedingungen. Es ist kompakt und leicht und deshalb einfach zu installieren und einzurichten. Da es sich nicht um ein mechanisches System handelt, ist es auch einfach zu warten. Alle POS/TG-Sensoren sind vom Hersteller kalibriert, weshalb keine Feldkalibrierung nötig ist. Durch die Verwendung von Luftfahrttechnologie sowohl bei den Sensoren als auch bei der Datenverarbeitung ist POS/TG betriebssicher in einer Vielzahl von Umgebungen. Aufgrund der Widerstandsfähigkeit der POS-Technologie wird die Präzision des POS/TG weder durch die Fahrzeugdynamik noch durch die Fahrtrichtung beeinträchtigt.

Mit POS/TG können Gleisgeometriemessungen kontinuierlich berechnet werden, wobei die Intervalle vom Verwender gewählt werden können (üblicherweise alle 25 cm) in einem Geschwindigkeitsbereich von fast 0 bis weit über 300 km/h. Der untere Geschwindigkeitsschwellenwert bezieht sich auf die Durchschnittsgeschwindigkeit auf einer Sehnenlänge (üblicherweise 10 m oder 20 m) oder auf einer Raumkurvenwellenlänge (üblicherweise 30 m oder 50 m), wodurch kurze Stillstände möglich sind, ohne dass dadurch die Gleisgeometriemessungen ungültig werden.

Beispielsweise muss die Sehnenlänge in weniger als 300 s überfahren werden, um präzise Werte zu erhalten, wenn Gleisgeometrie bei niedrigen Geschwindigkeiten gemessen wird. Das heißt, bei einer Sehnenlänge von 10 m beträgt die Minstdurchschnittsgeschwindigkeit 0,03 m/s oder ca. 0,1 km/h.

POS/TG ist nicht nur ein Gleisgeometriemesssystem sondern auch ein Navigationssystem. Als solches liefert es kontinuierlich genaue geographische Standortpositionen (Breite, Länge und Höhe), Geschwindig-

Abb. 1: POS/TG-Systemkomponenten (OGMS und DMI sind nicht abgebildet)



keitsvektor, Orientierung (Rollwinkel, Nickwinkel, Orientierungswinkel) sowie Fahrdynamik (Beschleunigungs- und Winkelbewegungsvektoren). Daher kann das POS/TG-System sowohl für die Messung der Gleisgeometrie als auch für Bahnvermessungsarbeiten verwendet werden. Die Fähigkeit des POS/TG-Systems präzise Standortdaten für den Messwagen auch bei Ausfall der GPS-Signale zu liefern, ermöglicht die Implementierung der einzigartigen Funktion der Standortsynchronisation (Locations Synchronization). Bei der Standortsynchronisation werden Geometriedaten mit Festpunkten ohne zusätzliche Hardware korreliert.

PS/TG-Konfiguration

POS/TG (Abb. 1) besteht aus einem POS/TG-Computersystem (PCS) und vier Sensoren: einer Inertialmesseinheit (IMU), einem GPS-Empfänger, einem Messabstandsanzeiger (DMI) und einem optischen Spurweitenmesssystem (OGMS). Die Modulbauweise der POS/TG-Konfiguration ermöglicht den einfachen Einbau auf jeden Messwagen.

Die Inertialmesseinheit ist eine Baugruppe von integrierten Sensoren, bestehend aus linearen Beschleunigungsmessern aus Silikon und Glasfasergyroskopen. Sie tastet die Beschleunigung und die Winkelrotationsvektoren in der Mitte der Inertialmesseinheit ab. Normalerweise wird die Inertialmesseinheit entweder auf ein Drehgestell oder eine einzelne Achse montiert.

Der GPS-Empfänger verarbeitet Signale aus einem Netzwerk von 24 die Erde umkreisenden Satelliten. Überall auf der Welt liefert GPS Daten mit einer Standortgenauigkeit von wenigen Metern. Falls eine bessere Standortgenauigkeit erforderlich ist, kann das Differential-GPS (DGPS) verwendet werden. Mit DGPS kann eine Genauigkeit von einigen wenigen Dezime-

tern oder mehr in Echtzeitbetrieb erzielt werden.

Der Messabstandsanzeiger gibt Impulse aus, die Bruchteile der Radumdrehungen darstellen. Die summierten Impulse liefern die vom Fahrzeug gefahrene Strecke. POS/TG verwendet die Daten des Messabstandsanzeigers, um die Berechnung von Gleisgeometriedaten zu programmieren und um die Genauigkeit der Navigationsdaten zu verbessern, insbesondere bei GPS-Ausfällen.

Das optische Spurweitenmesssystem der Plasser American ist ein Lasermesssystem, das die Verschiebung jeder Schiene von einem Referenzpunkt misst, wie das Zentrum der Inertialmesseinheit. Kombiniert mit den Standortdaten gibt das Spurweitenmesssystem die punktgenaue Lage jeder Schiene und ermöglicht die Berechnung der präzisen Richtwerte und horizontalen Raumkurvenparameter. Wie die Inertialmesseinheit wird das Spurweitenmessgerät entweder auf ein Drehgestell oder auf eine einzelne Achse montiert.

POS/TG-Funktionsbeschreibung

Die Sensoren werden vom POS/TG kontinuierlich während des Betriebs kalibriert, um die bestmögliche Leistung beizubehalten. Zeigt ein Sensor eine beeinträchtigte Leistung, wird er von POS/TG isoliert und rekonfiguriert, um die Datensicherheit zu gewährleisten. Die Funktion des POS/TG wird in Abbildung 2 dargestellt.

Der in das POS/TG eingebaute Inertialnavigator verwendet einen Inertialnavigationalgorithmus, der die Newtonschen Bewegungsgleichungen anhand der Beschleunigungs- und Winkeldaten der Inertialmesseinheit löst. Der Kalman Filter vergleicht die Inertiallösungen mit den entsprechenden Daten des GPS-Empfängers und Messabstandsanzeigers und schätzt die Inertialnavigationfehler. Dieser Prozess der Inertialnavigation, Fehler-

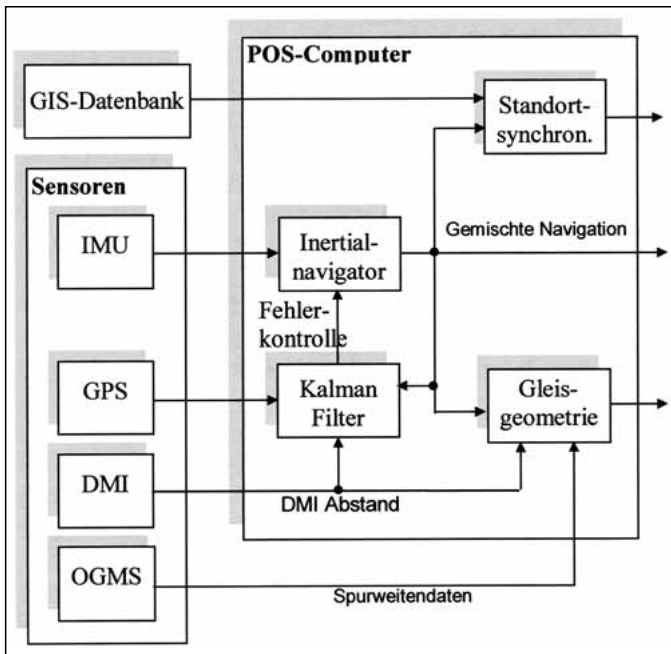


Abb. 2 : Funktionsdiagramm des POS/TG

schätzung und Fehlerkorrektur bildet eine geschlossene Fehlerregulierungsschleife, wodurch die Daten des Inertialnavigators auf die unterstützenden Daten der Sensoren abgestimmt werden.

Die auf dem Kalman Filter basierende Datenintegration, die vom POS/TG verwendet wird, bewirkt ein Beibehalten der besten Merkmale aller verwendeten Sensoren unter Minimierung ihrer Beschränkungen. Des Weiteren wird Datenwiderstandsfähigkeit gewährleistet, da die Inertialkomponente des POS/TG auch dann Standortdaten liefert, wenn das GPS-Signal nicht verfügbar ist. Das ist ein wesentliches Merkmal, da z.B. Brücken, Tunnel, Bewuchs bewirken können, dass die Satellitensignale die GPS-Antennen nicht erreichen, und es so zu GPS-Ausfällen kommt.

Die meisten GPS-Empfänger liefern Daten zwischen 1 Hz und 10 Hz. Durch den in das POS/TG-System integrierten Inertialnavigationsalgorithmus kann das System genaue Navigationsdaten mit 200 Hz liefern. Diese hohe Bandbreite ermöglicht eine präzisere Standortbestimmung der Gleisgeometriedaten, als dies mit dem GPS allein möglich wäre. Abschließend berechnet die Inertialnavigationskomponente des POS/TG die präzise und widerstandsfähige Orientierung der Inertialmesseinheit (Rollwinkel, Nickwinkel, Orientierungswinkel), was für die Berechnung der Gleisgeometrieparameter wesentlich ist.

POS/TG berechnet eine Reihe von Gleisgeometrieparametern (Tabelle 1) für das vom Anwender spezifizierte Abtastintervall, normalerweise alle 25 cm. Bis zu 3 Sehnen- oder Kurvenmessungen können

gleichzeitig ausgegeben werden für den Längshöhen-, Richt- und Raumkurvenparameter des linken als auch rechten Schienenstranges. Desgleichen können Verwindungsparameter gleichzeitig für alle 3 verschiedenen Basislängen ausgegeben werden. Schienenricht- und Längshöhenwerte können sowohl für symmetrische als auch asymmetrische Sehnen ausgegeben werden. POS/TG beinhaltet eine Reihe von Filtern, die vom Anwender ausgewählt werden können, wodurch die Ausgabe der relativen Gleisgeometrieparameter möglich ist.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Genauigkeiten beruhen auf tatsächlichen Messungen bei mehrmaligen Fahrten über dasselbe Gleis. Das Messfahrzeug fuhr sowohl vorwärts als auch rückwärts, in beide Fahrzeugrichtungen und mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

Für die Berechnung von Schienenricht-, Längshöhen- und Raumkurvenwerten gibt es zwei Methoden. Die erste Methode erfasst kurze Wellenlängen sehr genau, setzt jedoch höhere Geschwindigkeiten voraus. So ist für die Berechnung einer 10 m Sehne eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 10 km/h oder mehr über die Sehnenlänge erforderlich. Mit der zweiten Arbeitsmethode kann effizient bei niedrigen Geschwindigkeiten gearbeitet werden, sie ist jedoch weniger genau bei der Erfassung von kürzeren Wellenlängen. Der Berechnungsmodus kann für jeden Parameter einzeln jederzeit während der Messfahrt umgeschaltet werden. POS/TG behält andauernd eine hohe Genauigkeit für alle Gleisparameter (Tab. 1) bei verschiedenen Geschwindigkeiten, dynamischen Bedingungen und Fahrtrichtungen,

Parameter	Genauigkeit
Richten	Besser als 1 mm*
Längshöhe	Besser als 1 mm*
Horizontale Raumkurve	Besser als 1 mm*
Vertikale Raumkurve	Besser als 1 mm*
Überhöhung	Besser als 2 mm
Verwindung	Besser als 1 mm
Krümmung	Besser als 1 mm
Krümmungswechsel	0,02 %
Neigung	0,05 %
Spurweite	besser als 1 mm

Tab. 1: Gleisgeometrieparameter
*für eine 10 m-Sehne oder eine 30 m-Raumkurve

wie bei mehreren Einsätzen weltweit bewiesen wurde.

Die Fähigkeit des POS/TG-Systems, den geographischen Standort des Gleismesswagens kontinuierlich bei hohen Frequenzen zu berechnen und auszugeben, führt ihrerseits zur eleganten Implementierung der Standortsynchronisationsfunktion. Bei einer Messfahrt minimiert die Standortsynchronisation den Abstand zwischen dem gegenwärtigen Standort des Messwagens und den Synchronisationsstandorten, die in der GIS-Datenbank gespeichert sind. Sobald das Minimum erreicht ist, gibt die Standortsynchronisation eine Synchronisationsnachricht und ein Synchronisationssignal aus. Der Vorgang ist sowohl vollautomatisch als auch zuverlässig und wird von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) erfolgreich eingesetzt [2], [3].

Anwender-Schnittstellen

Das POS-TG-System von Applanix beinhaltet POS/TG Controller Software, die unter dem Windows® Betriebssystem läuft. Die POS/TG Controller Software ermöglicht es dem Anwender die Gleisgeometriedaten zu konfigurieren und zu überwachen wie auch diese entweder auf der Festplatte oder auf der PC-Karte zu speichern. Gespeicherte Daten können für Analysen verwendet werden oder können mit der Zusatzsoftware POSpac™ von Applanix nachbearbeitet werden. Eine Nachbearbeitung kann die Genauigkeit der Navigationslösungen erhöhen und wird üblicherweise bei Vermessungsanwendungen verwendet. Das POS/TG-System ist so konzipiert, dass es eine Schnittstelle mit dem auf Windows NT® laufenden Gleisgeometriemess- und Analysiersystem von Plasser American hat. Die Messdaten der Gleisgeometrie werden maßgeschneidert den spezifischen Wün-

schen der Bahnen entsprechend angezeigt, gespeichert und analysiert.

Ausblick

Die Kooperation zwischen Plasser American Corporation und Applanix Corporation resultierte in der Entwicklung eines schlüsselfertigen Systems, das verschiedene Mängel anderer zur Zeit verwendeter Gleisgeometriessysteme überwindet. POS/TG weist eine Anzahl von Merkmalen auf, die niemals zuvor bei einem Messsystem für Gleisgeometrie verfügbar waren. Es wird die parallele Verwendung für Gleisvermessungen und GIS-Datenerstellung ermöglicht. All dies wurde bei gleichzeitiger Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses und der Zuverlässigkeit anderer kommerziellen Gleisgeometrieinheiten erzielt.

Eine einfache Installation, Konfigurierung und minimale Wartungserfordernisse ermöglichen es, dass POS/TG in fast alle herkömmlichen Gleisfahrzeuge oder Lokomotiven eingebaut werden kann, wodurch die Messungen der Gleisgeometrie

während planmäßiger, normaler Bahnfahrten bei Gleisgeschwindigkeiten ausgeführt werden kann. POS/TG-Systeme wurden bei zahlreichen Bahnen in der Welt installiert und haben dauerhafte Genauigkeiten von weniger als 1 mm für Sehnen und Raumkurvenparameter und weniger als 0,05 % auf Neigungen bewiesen.

POS/TG ist so konzipiert, dass es eine Schnittstelle mit dem weltweit bewährten Plasser American Gleisgeometriemess- und Analysiersystem aufweist.

Literatur

- [1] Webseite der Applanix Corporation – www.applanix.com
- [2] Oberlechner, G.; Metzger, B.; Zywiell, J.: "GPS System to Boost Accuracy", International Railway Journal, September 2000
- [3] Oberlechner, G.; Metzger, B.; Zywiell, J.: "GPS-unterstützte Standortsynchronisation", ETR Eisenbahntechnische Rundschau, Januar/Februar 2001

Summary / Résumé

POS/TG – innovation in track geometry measurement

Developed by Applanix Corporation with support from Plasser American Corporation, the POS/TG™ system offers innovative solutions for track geometry measurement systems that remedy the shortcomings of other commonly used systems. The article provides a short overview of track geometry and the measurement approaches, and describes the configuration, functionality and performance of the POS/TG system.

POS/TG – Innovation dans le domaine des mesures de la géométrie de la voie

Le système POS/TG®, développé par Applanix Corporation avec l'aide de Plasser American Corporation, équipe les systèmes de mesure de la géométrie de la voie avec des solutions innovantes et surmonte ainsi les lacunes des autres systèmes utilisés couramment pour mesurer la géométrie de la voie. Le présent article comporte un bref aperçu de la géométrie de la voie et des mises en équations pour les mesures, ainsi qu'une description de la configuration, de la fonctionnalité et de la performance du système POS/TG.