

Automatisierte Gleisvermessung in Punktwolken vom mobilen Laserscanning

Tobias Wittwer

Zusammenfassung

Das niederländische Eisenbahnnetz ist aufgrund starker Nutzung und schlechtem Untergrund permanent in Unterhalt. Diese Unterhaltsmaßnahmen und andere Gleisbauarbeiten erfordern aktuelle Kenntnisse der Gleisgeometrie. Dafür wird inzwischen mobiles Laserscanning verwendet. Die Firma GeoNext hat einen effizienten Prozess für die Qualitätsverbesserung und Modellierung dieser Daten entwickelt. Dabei werden die mobilen Daten auf statische Referenzscans eingepasst. Die Modellierung der Gleise findet vollautomatisch statt, die Modellierung der relevanten Objekte in einem halbautomatischen Prozess.

Summary

The Dutch railway network is in constant maintenance, due to intensive use and weak bedding. These maintenance works and other rail construction projects require current knowledge of the rail geometry. Mobile laser scanning has been established as suitable survey method. The Dutch company GeoNext has developed an efficient process for quality improvement and modelling of this data. The rail modelling is performed fully automatically using static scans for geo-referencing of the mobile scans, a semi-automatic process is used for modelling of relevant objects.

Schlüsselwörter: Gleisvermessung, Kalmanfilter, Laserscanning

1 Hintergrund

Das niederländische Eisenbahnnetz gehört zu den meistbefahrenen der Welt. Auf den meisten Strecken verkehren Intercity- und Nahverkehrszüge im Viertelstundentakt, was in acht Zügen pro Stunde und Richtung resultiert. Im Rahmen des *Programma Hoogfrequent Spoor* (Programm Hochfrequente Eisenbahn) werden in Zukunft einige Linien im dichtbevölkerten Westen des Landes auf einen Zehnminutentakt gebracht. Die starke Nutzung des Netzes führt gleichzeitig zu starkem Verschleiß, wobei durch die intensive Befahrung sowohl schnelle Abnutzung der Schienenköpfe als auch Kompaktion des Gleisbettes auftritt.

Als Herausforderung kommt hinzu, dass große Teile des Netzes auf trockengelegtem Torfboden gebaut sind. Hier treten Setzungen auf, die schon im wenig belasteten Zustand Raten von einigen Zentimetern pro Jahr aufweisen können. Schwachstellen auf stark befahrenen Strecken haben noch deutlich höhere Setzungsraten, die häufige Korrekturen der Gleisgeometrie erfordern.

Mit der Vollendung des Güterkorridors Rotterdam-Ruhrgebiet (*Betuweroute*), der Hochgeschwindigkeitsstrecke Amsterdam–Antwerpen und der *Hanselinie* Lelystad–Zwolle sind die großen Neubauprojekte der letzten Jahre abgeschlossen. Es finden jedoch permanent Umbauarbeiten zur Optimierung des Eisenbahnnetzes statt, wie Elektrifizierung, Umbau auf Zwei- oder Viergleisigkeit, sowie der Bau von Über- und Unterführungen von sowohl Gleis als auch Straße, die für die Erhöhung der Taktfrequenz notwendig sind. Dazu kommt die Anpassung von Bahnsteiggleisen auf eine einheitliche Höhe von 76 cm über Schienenoberkante, die einen barrierefreien Ein- und Ausstieg mit neuem Wagenmaterial (Höhe des Einstiegs ebenfalls 76 cm über Schienenoberkante, keine Stufen), möglich macht, und der schrittweise Umbau des Zugsicherungssystems auf den europäischen Standard ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/European Train Control System), der für Kapazitätserhöhung und bessere Interoperabilität innerhalb Europas benötigt wird.

Zusammenfassend wird die Ist-Position der Gleisachse für die folgenden Anwendungen benötigt:

- Um im Vergleich mit einer Soll-Position die nötigen Korrekturen am Gleis zu ermitteln, die angebracht werden müssen, um den gewünschten Soll-Zustand zu erzielen.
- Um hieraus eine optimale Gleisgeometrie zu berechnen, die im oben genannten Prozess als Soll-Position verwendet werden kann.
- Um nach Umbau- und Neubaumaßnahmen den realisierten Zustand festzulegen, zur Beweisführung, dass die erforderliche Gleisgeometrie realisiert ist, und zur Bestimmung einer Nullposition die bei Wartungsarbeiten als Soll-Position verwendet werden kann.
- Für die Kontrolle der sicheren Befahrbarkeit.

Traditionell findet die Vermessung der Gleisachse durch Tachymetrie statt, entweder mit Gleismesslatte oder mit reflektorloser Entfernungsmessung. Ersteres erfordert das Betreten des Gleises und ist damit nach aktueller niederländischer Vorschrift nur bei einer Sperrung des Gleises für den Zugverkehr zulässig. Die reflektorlose Messung ist langsam und fehleranfällig, da bei nebeneinanderliegenden Gleisen häufig die falsche Schiene gemessen wird. Tachymetrie hat grundsätzlich als Nachteil, dass alle zu bestimmenden Objekte bereits während der Messung identifiziert und eingemessen werden müssen.

Bei statischem Laserscanning tritt dieses Problem nicht auf, da direkt ein vollständiges Bild der Umgebung generiert wird, und es ist kein Betreten des Gleises notwendig.

Alle benötigten Informationen können nachträglich aus der Punktwolke abgeleitet werden. Allerdings handelt es sich auch hierbei um eine zeitraubende Aufnahmetechnik, da etwa alle 30 m ein Laserscan ausgeführt werden muss, um die Schienen in der Punktwolke zuverlässig identifizieren zu können. Zusätzlich ist Tachymetrie zur Bestimmung der Koordinaten von Scanzielzeichen erforderlich.

In den letzten Jahren hat sich darum vermehrt mobiles Laserscanning als kosteneffektive Messtechnik für die Gleisvermessung erwiesen. In diesem Artikel wird die durch GeoNext entwickelte Methodik erläutert.

2 Anforderungen

Das niederländische Eisenbahnnetz ist im Eigentum von ProRail, einer Gesellschaft, die zu 100 % im Eigentum des niederländischen Staats ist. Die Nutzung desselben ist privatisiert, das Hauptnetz wird im Personenverkehr durch die *Nederlandse Spoorwegen* (NS, niederländische Eisenbahnen) bedient.

Die Anforderungen an die Bestimmung der absoluten Gleisgeometrie sind in der Richtlinie 296 (ProRail 2016) festgelegt. Diese Richtlinie wurde 2016 auf Version 2 aktualisiert, wobei einige Anpassungen vorgenommen wurden, die den Einsatz von mobilem Laserscanning möglich machen.

Als Genauigkeitsanforderungen an die Gleisachse sind 15 mm Standardabweichung in der Lage vorgegeben. In der Höhe werden je nach Objekt unterschiedliche Standardabweichungen gefordert: 15 mm bei Gleisbettung im Schotterbett, 10 mm bei Weichen, 7 mm bei fester Fahrbahn, Bahnsteigen und manchen Bahnübergangstypen.

Es handelt sich dabei um absolute Standardabweichungen, ausgehend vom Festpunktnetz von ProRail. Dieses Netz besteht aus Punkten im Abstand von maximal 10 km in Bahnnähe, die geeignet sind für das Aufstellen von GNSS-Empfängern. Durch GNSS-Messungen und Nivellement sind diese Punkte ans niederländische RD/NAP Koordinatensystem angeschlossen. Die Koordinaten des ProRail-Festpunktnetzes werden in einem unregelmäßigen Zyklus aktualisiert.

Der erforderliche minimale Abstand der Messpunkte ist abhängig vom Kurvenradius und beträgt zwischen 5 m und 20 m. Bei jedem Messpunkt muss die Überhöhung mit einer Genauigkeit von 5 mm registriert werden. Die Gleisachsen werden beim Wechsel der Gleisbettung (also beim Übergang von Schotterbett zu Bahnübergang usw.) aufgetrennt und entsprechend kodiert. Bei jedem Messpunkt muss außerdem der Schientyp festgelegt werden. Bei Weichen muss die Position von Vorderkante Weichenzunge und Herzstück angegeben und die Gleisachse 1 m vor der Zunge und 5 m nach dem Herzstück aufgetrennt werden.

Außer der Gleisachse muss auch die Position einer Vielzahl von weiteren Objekten bestimmt werden. Dazu

gehören prinzipiell alle Objekte, die Zwangspunkte für den Gleisverlauf darstellen, also die einen gewissen Mindestabstand von der Gleisachse erfordern, um z. B. das Lichtraumprofil sicherzustellen. Dies sind Oberleitungsmasten, Signale, Schilder, Mäuerchen usw. Je nach Einsatzzweck der Messung kann auch die Position aller für die Zugsicherung relevanten Objekte, einschließlich der elektrischen Trennstellen im Gleis, gefordert sein.

3 Datengewinnung

Die Erfahrungen der Firma GeoNext beziehen sich zum Großteil auf den Einsatz des Riegl VMX-450 Mobile Mapping Systems auf einem Messzug (Abb. 1). Dieses be-



Abb. 1: Riegl VMX-450 Mobile Mapping System auf dem Messzug. Deutlich sichtbar sind die GNSS-Antenne und die zwei Scanköpfe.

steht aus zwei Laserscannern mit einer Rotationsfrequenz von 200 Hz und einer Pulsfrequenz von je 550 kHz. Die absolute Genauigkeit der Entfernungsmessung wird durch Riegl mit 7 mm auf 30 m Entfernung angegeben. Die Navigationskomponente besteht aus einem GNSS/INS-System von Trimble/Applanix. Riegl gibt hierfür eine relative Genauigkeit von 10 mm/10 s an. Optional ist die Ausstattung mit diversen Kamerasystemen möglich, die für diese Zwecke jedoch selten benutzt werden, da die Datengewinnung oft nachts stattfindet. Die technischen Spezifikationen des Riegl VMX-450 Mobile Mapping Systems sind in Riegl (2017) zusammengefasst.

Die Trajektorie des Messsystems wird im Postprocessing berechnet, wobei die Referenzdaten des VRSNow-Referenznetzwerks von Trimble benutzt werden. Die Koordinaten der Referenzstationen werden vom niederländischen Kataster bestimmt und regelmäßig aktualisiert. Die Genauigkeit der Trajektorie liegt bei etwa 5 cm. Vor allem in der Höhe reicht die Genauigkeit nicht aus, um die Anforderungen zu erzielen. Dieses hat mehrere Ursachen:

- die absolute Genauigkeit des eingesetzten GNSS/INS-Systems in Abhängigkeit von der Empfangssituation und den bekannten Fehlerquellen der Positionierung mit GNSS,

- unterschiedliche Datumsdefinition im VRSNow-Netz und im ProRail-Festpunktnetz,
- die Genauigkeit des niederländischen Geoidmodells NLGEO2008.

Um doch die erforderte Genauigkeit zu erzielen, ist der Anschluss der Daten vom Mobile Mapping System an geeignete Referenzpunkte erforderlich. Nach mehreren Versuchen hat sich dabei die folgende Methode als ausreichend genau und kosteneffizient erwiesen.

Entlang des Gleiskörpers werden Referenzpunktwellen gemessen. Hierfür werden zwei GNSS-Empfänger auf in der Nähe liegenden (Abstand < 10 km) Festpunkten des ProRail-Netzes platziert. Bei jedem »Referenzfeld« (Ort der Messung von Referenzpunktwellen) werden zwei Stative platziert, auf denen gleichzeitig zwei GNSS-Empfänger Daten registrieren. Danach werden auf beiden Stativen statische Laserscans mit dem Trimble TX8 Laserscanner ausgeführt, wobei auf dem jeweils anderen Stativ eine Scankugel platziert wird. Wenn möglich, werden auch Scankugeln auf den auf vielen Oberleitungsmasten anwesenden Wild-Bolzen platziert, wovon teilweise Koordinaten bekannt sind, die später zur Kontrolle benutzt werden können.

Die Basislinien zwischen den GNSS-Empfängern bei den Referenzfeldern und auf den Festpunkten werden im Postprocessing berechnet. Auch Daten des VRSNow-Netzwerks werden hierbei, zur Verbesserung der Zuverlässigkeit, benutzt. Durch den Einsatz stets derselben Adapter (Abb. 2), bei denen die Höhe der Kugelmitte mit der Kippachshöhe des Laserscanners übereinstimmt, und der Ablesung der Empfängerantennenhöhe auf den Festpunkten in Zentimetern und Zoll sowie durch sofortige Registrierung und Kontrolle in einer App sind menschliche Fehler bei der Registrierung von Antennen- und Zielhöhen bereits auf ein Minimum reduziert.

Die Koordinaten der Standpunkte werden mit dem Netzausgleichsprogramm MOVE3 berechnet. Bei guter Empfangssituation und einer Messzeit von 20 Minuten werden Standardabweichungen um 5 mm in Lage und Höhe erzielt.

Der notwendige Abstand der Referenzfelder ist von den folgenden Faktoren abhängig:

1. Der geforderten Genauigkeit. Hohe Genauigkeitsanforderungen wie bei Weichen oder Bahnsteigen erfordern einen kürzeren Abstand der Referenzfelder.
2. Der Genauigkeit der Trajektorie des Messsystems. Eine schlechte GNSS-Empfangssituation (weniger als sechs Satelliten) sorgt vor allem bei niedriger Fahrgeschwindigkeit oder Stillstand für eine niedrige Genauigkeit.
3. Der Anzahl der Fahrten über die gleiche Strecke. Mehrere Messfahrten können untereinander ausgeglichen werden, was zufällige Fehler reduziert und so zu einer höheren Genauigkeit der ausgeglichenen Trajektorien führt. Systematische Fehler, vor allem unterschiedliche Datumsfestlegungen, sind hierdurch nicht zu eliminieren.

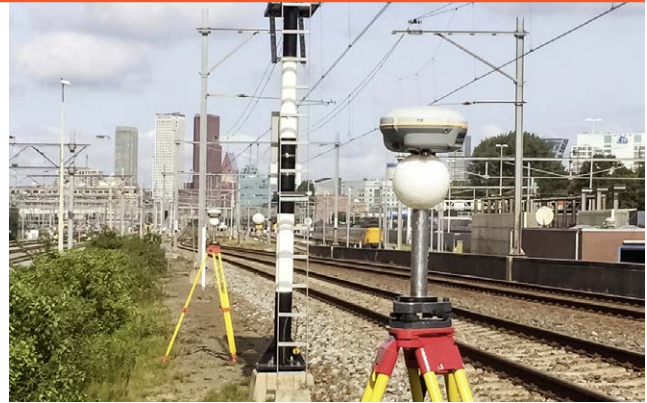


Abb. 2: GNSS-Empfänger auf Scankugel. Nach erfolgter Messung wird erst auf dem einen, dann auf dem anderen Stativ ein Laserscanner platziert.

In der Praxis werden Referenzfelder bei Objekten mit erhöhten Genauigkeitsanforderungen (also alle Objekte, bei denen eine Standardabweichung in der Höhe von weniger als 15 mm gefordert wird) angelegt. Dazwischen wird, abhängig von der Genauigkeit der ausgeglichenen Trajektorie, mit einem Abstand der Referenzfelder von 500 m bis 1.000 m gearbeitet.

4 Datenverbesserung

Zur Verbesserung der Genauigkeit der Daten des mobilen Laserscansystems müssen aus diesen und den statischen Scans Korrekturwerte berechnet werden. Hierbei werden die 3D-Verschiebungsvektoren zwischen mobilen und statischen Daten berechnet. Dieses passiert mittels eines durch den Autor geschriebenen Programms, das für einen Teil der Punkte im statischen Scan korrespondierende Punkte im mobilen Scan sucht, wie durch Grant (2013) beschrieben. Der Abstand zwischen den beiden Punktgruppen wird auf den Normalenvektor der ersten Punktgruppe projiziert, um die X-, Y- und Z-Komponente des Verschiebungsvektors des Korrespondenzpaares zu erhalten (Abb. 3). Eine zuverlässige Bestimmung der Verschiebung in X- und Y-Richtung ist nur möglich, wenn in der Punktwolke Punktgruppen vorliegen, deren Normalenvektor eine deutliche X- und Y-Komponente aufweist. Dies ist auf freier Strecke bei nicht elektrifizierten Bahnstrecken (keine Oberleitungsmasten) nicht immer der Fall. In Z-Richtung tritt dieses Problem nicht auf, da das Gleisbett hier die benötigte Verschiebungsinformation liefert.

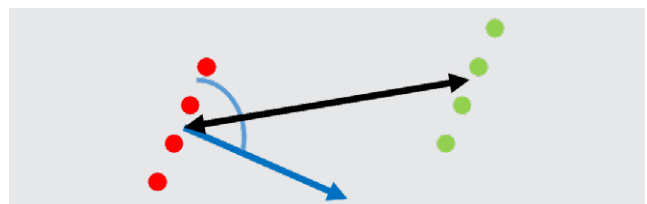


Abb. 3: Beispielhafte Bestimmung des Verschiebungsvektors. Der Abstand (schwarze Strecke) zwischen der Punktgruppe im statischen Scan (rot) und im mobilen Scan (grün) wird auf den Normalenvektor (blau) projiziert.

Die Berechnung des Verschiebungsvektors wird für viele Tausend zufällig ausgewählte Punktgruppen ausgeführt. Durch Mittelung und Histogrammanalyse wird aus der Großzahl von Vektoren der tatsächliche Verschiebungsvektor iterativ berechnet. Die Position des statischen Scans wird auf die Trajektorie projiziert, um den Zeitstempel zu ermitteln, auf den sich die berechnete Korrektur bezieht. Jede Passage eines Referenzfeldes durch den Messzug ergibt also einen Zeitstempel und die zugehörigen Korrekturen (Elemente des Verschiebungsvektors) in X, Y und Z.

Alle Korrekturen müssen visuell kontrolliert werden, da diese nicht immer korrekt berechnet werden. Fehlerquellen sind dabei Unterschiede in zwei Scans (z.B. sind in den mobilen Daten Schranken geschlossen, in den statischen Scandaten dagegen nicht) oder unterschiedliche Blickrichtungen, wodurch die Objektdicke als Fehler auftritt (Abb. 4).

Aus den kontrollierten Korrekturen (Abb. 5) wird eine Korrekturtabelle aufgebaut. Aus dieser wird für jeden Laserpunkt die notwendige Korrektur in X, Y und Z berechnet. Hierbei wird auf Basis des Zeitstempels linear interpoliert. Die statischen Scans und die berechneten Korrekturen werden als fehlerfrei angenommen, sodass die mobilen Punktwolken damit exakt auf die statischen Scans eingepasst werden.

Eine mögliche Erweiterung wären die Verwendung einer Spline-Interpolation statt linearer Interpolation und die Glättung der Korrekturen ausgehend von der relativen Genauigkeit der Trajektorie und der Referenzscans.

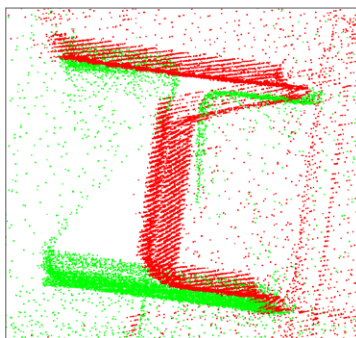


Abb. 4: Fehler durch Blickrichtung, Oberleitungsmast ist im statischen Scan (rot) von oben/Norden gescannt, im mobilen Scan (grün) von unten/Süden (Draufsicht).

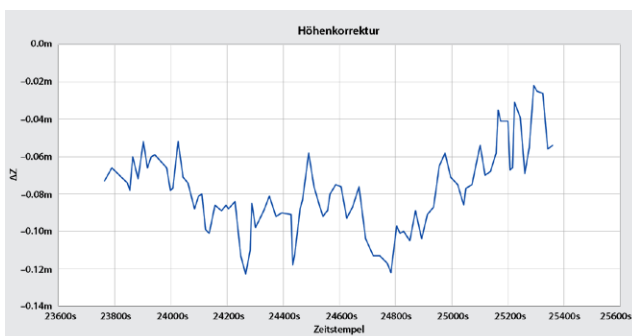


Abb. 5: Beispielhafter Verlauf der berechneten Höhenkorrekturen über gut 25 Minuten Messfahrt. Die Knicke resultieren aus der Ungenauigkeit der Stationierung der Referenzscans und der Trajektorie des Messzugs, die Differenzen werden nicht geglättet.

5 Datenverarbeitung

Resultat der vorhergehenden Schritte sind Punktwolken aus dem mobilen Messsystem, die die Genauigkeitsanforderungen erfüllen. Hiermit kann die eigentliche Datenverarbeitung ausgeführt werden, die zweigeteilt in Gleise und Objekte erfolgt.

Die automatische Gleismodellierung in einem durch den Autor geschriebenen Programm basiert auf einem Kalmanfilter. Der Zustandsvektor enthält die Koordinaten der Gleisachse, die Richtung, die Überhöhung, die Höhenänderung und die Richtungsänderung.

Der Startpunkt der Modellierung wird in der Punktwolke manuell ausgewählt (Mittelpunkt Oberkante linke und

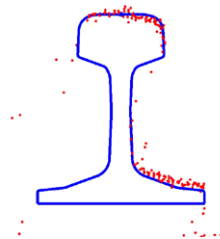


Abb. 6: Automatische Einpassung des Schienenmodells (blau) in die Punktwolke (rot).

rechte Schiene). Das Programm passt, wie in Díaz Benito (2012) beschrieben, ein 2D-Modell des Schienenkopfes in einen 15 cm dicken Querschnitt durch die Punktwolke ein (Abb. 6), wobei iterativ die Quadratsumme des Abstandes aller Punkte zum Modell minimiert wird.

Durch die Modellierung des kompletten Schienenkopfes können auch die Schienen des Nebengleises gut modelliert werden. Aus der gefundenen Position von linkem und rechtem Schienenkopf werden durch Mittelung die Koordinaten der Gleisachse und die Überhöhung berechnet. Diese Beobachtungen werden in das Kalmanfilter eingebracht. Der Einsatz eines Kalmanfilters (z.B. Welsch et al. 2000) bringt drei Vorteile mit sich:

1. Beobachtungen, die durch den Verträglichkeitstest des Kalmanfilters abgewiesen werden, werden nicht zur Aufdatierung verwendet. Dieses sorgt für eine korrekte Verfolgung des Gleisverlaufs auch dort, wo der Schienenkopf nicht gut gefunden werden kann, z.B. in Weichen oder bei Bahnübergängen.
2. Es findet, abhängig vom stochastischen Modell, eine leichte Glättung statt, die Messrauschen reduziert.
3. Aus der prädierten Gleisachse werden die Suchpunkte für den nächsten Schritt abgeleitet.

Die Modellierung findet in Meterschritten statt. Das Programm kann sowohl im Batchbetrieb mehrere aufeinanderfolgende Punktwolken abarbeiten, als auch interaktiv vom CAD-Programm Microstation aus angesteuert werden, um z.B. in Weichenstraßen schnell alle benötigten Schienen zu modellieren.

Das Programm ermittelt auch den vorliegenden Schienentyp. Dabei wird ausgenutzt, dass die beiden hauptsächlich in den Niederlanden verwendeten Schienentypen NP46 und UIC54 einen unterschiedlichen Abstand von der Schienenoberkante zum Schienenfuß haben.

Die weitere Verarbeitung findet im CAD-Programm Microstation statt, das hierfür mit zusätzlicher Funktionalität erweitert wurde. Hierin werden die Gleisachsen aufgetrennt (Abb. 7) und richtig codiert.

Aus Microstation werden die Gleisachsen inklusive aller Metadaten (Überhöhung, Codierung, Schientyp, Messdatum, Messmethode) in das in der RLN00296 spezifizierte Textformat exportiert.

Objekte (Oberleitungsmasten, Signale, Schilder, Schaltschränke) werden in einem halbautomatischen Verfahren in Microstation modelliert. Bisher konnte noch kein Verfahren gefunden werden, das eine Punktwolke zu 100 % automatisch korrekt klassifiziert und segmentiert. Darum werden die Objekte visuell in der Punktwolke gesucht, wobei Querschnitte durch die Punktwolke, die Basiskarte von ProRail und Videos von Führerstandsmittfahrten als Hilfsmittel dienen.

Längere linienförmige Objekte wie Bahnsteigkanten werden nach manueller Festlegung des Startpunktes und der Laufrichtung in der Punktwolke automatisch modelliert, wobei obiges Kalmanfilter zum Einsatz kommt. Auch Objekte wie Oberleitungsmasten und Schilder, bei denen der Mittelpunkt 0,5 m über Schienenoberkante gefunden werden muss, werden durch das automatische Einpassen entsprechender Schablonen auf die Punkt-

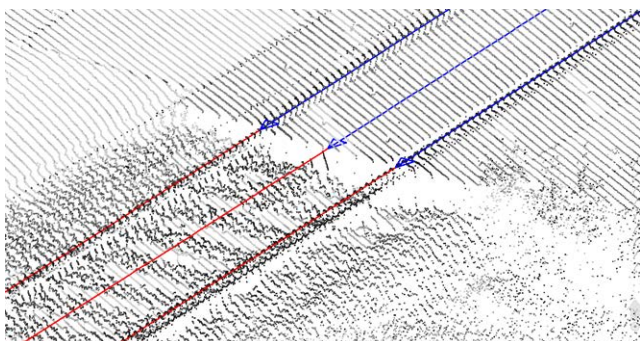


Abb. 7: Wiedergabe von Punktwolke, modellierten Schienen und Gleisachse in Microstation. Schienen und Gleisachse sind am Übergang vom Bahnübergang (rechts im Bild, blaue Linien) zum Schotterbett (links, rote Linien) aufgetrennt.

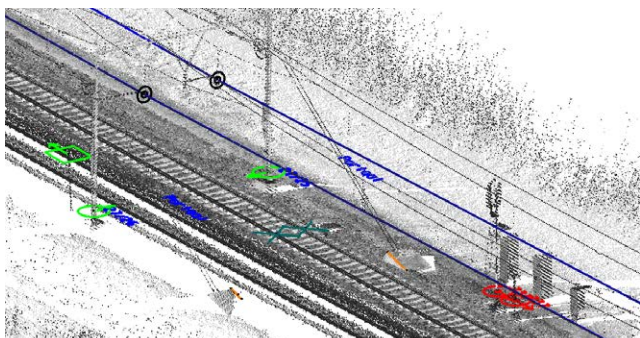


Abb. 8: Punktwolke und modellierte CAD-Objekte in Microstation. Bei den Oberleitungsmasten ist die Richtung zum Gleis (grüner Pfeil) und die Mastnummer angegeben, bei Signal und Schild (rechts im Bild, rote Kreise) die Richtung von Lampen bzw. Beschriftung (roter Pfeil).

wolke modelliert. Übrige Objekte (Schaltschränke, Betonblöcke zur Abspannung der Oberleitung) werden manuell modelliert. Alle erforderlichen Metadaten (Nummern von Oberleitungsmasten und Signalen, Richtung zum Gleis, Typ von Signalen und Schildern, bei Signalen auch die Richtung der Lampen) werden direkt im CAD erfasst und an die Objekte gekoppelt (Abb. 8). Auch hier erfolgt nach Modellierung und Kontrolle ein Export in das erforderliche Textformat.

6 Fazit und Ausblick

Die hier beschriebene Methodik ermöglicht es, kosteneffizient mittels mobilem Laserscanning die aktuelle Gleisgeometrie zu bestimmen. Die erzielten Genauigkeiten entsprechen dabei den Anforderungen der niederländischen Richtlinie RLN00296 für absolute Gleisgeometrie. Schlüsselemente sind die Qualitätsverbesserung mittels Anschluss auf statisch gescannte Referenzfelder und die automatische Gleismodellierung mit Unterstützung durch einen Kalmanfilter.

Diese Methodik hat sich im praktischen Einsatz bewährt, u. a. in einem Projekt, bei dem innerhalb von sieben Monaten knapp 700 km Gleis vermessen werden mussten. Hierbei wurden deutliche Kostenreduktionen von etwa 50 % gegenüber traditionellen Messmethoden erzielt. Mit dieser Methodik belaufen sich die Kosten auf etwa 1.000 Euro pro Kilometer Gleis. Nicht zu unterschätzen ist dabei der Vorteil, dass deutlich weniger Vermessungsarbeiten in Gleisnähe stattfinden, was die Unfallgefahr signifikant reduziert.

Als mögliche zukünftige Erweiterungen bei der Datenauswertung sind eine Spline-Interpolation statt linearer Interpolation zwischen den Korrekturen und eine Glättung der Korrekturen unter Berücksichtigung der absoluten und relativen Genauigkeit von Trajektorie und Referenzfeldmessung vorgesehen. Außerdem wird an einer weitergehenden Automatisierung der Objektmodellierung gearbeitet.

Literatur

- Díaz Benito, D. (2012): Automatic 3D modelling of train rails in a lidar point cloud. MSC thesis, MSc thesis, University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC).
- Grant, D.S. (2013): Cloud to Cloud Registration for 3D Point Data. Open Access Dissertations. Paper 161, Purdue University.
- ProRail (2016): Richtlijn Absolute Spoorgeometrie, RLN00296 versie 2. ProRail Assetmanagement.
- Riegl (2017): Compact Mobile Laser Scanning System – RIEGL® VMX-450. www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_VMX-450_2015-03-19.pdf.
- Welsch, W., Heunecke, O., Kuhlmann, H. (2000): Handbuch Ingenieurgeodäsie – Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. Wichmann, Heidelberg.

Kontakt

Dr. Ir. Tobias Wittwer
GeoNext BV
Willem Armtszaan 117, 3734EE Den Dolder, Niederlande
tobias.wittwer@geonext.nl