

Stop & Go Messsysteme zur Gleisabsteckung und Gleisabnahme

Otto Heunecke | Thorsten Strübing

1 Einleitung

Insbesondere bei Neubaustrecken, aber auch bei Bestandsstrecken werden hohe Genauigkeitsanforderungen an die Vermessung gestellt, um die Gleistrassierung in die Örtlichkeit zu übertragen und eine bereits vorhandene Gleisgeometrie zu prüfen. Sowohl für die Absteckung als auch die Kontrolle müssen komplexe Messabläufe in hoher Anzahl wiederkehrend entlang einer Trasse ausgeführt werden. Die im Folgenden vorgestellten Stop & Go Gleismesssysteme GML (GleisMessLehre) für die prozessintegrierte Feinabsteckung eines Gleises und RACER II (Rapid Automated Control Equipment for Rails II) zur Prüfung eines bereits verlegten Gleises wurden vorrangig für die feste Fahrbahn in Tunneln in Zusammenarbeit mit dem Schweizer Ingenieurbüro Ristag Ingenieure AG entwickelt.

2 Gleisvermessung

Unter Gleisvermessung werden im Folgenden sämtliche ingenieurgeodätischen Tätigkeiten verstanden, die zur Absteckung einer Neubaustrecke oder zur Kontrolle einer Bestandsstrecke notwendig sind. Dies umfasst im Wesentlichen die messtechnische Bestimmung folgender Parameter entlang einer Trasse:

1. Lage und Höhe der Gleisachse
2. Überhöhung (Querneigung)
3. Gradiente (Längsneigung)
4. Spurweite

Messsysteme zur Erfassung der Gleisumgebung und des Lichtraumes werden nachfolgend nicht behandelt. Die genannten Gleisparameter, siehe auch die Abbildung 1, repräsentieren die Gleistrasse an jedem Punkt entlang der Achse. Da kinematische Messsysteme gegenwärtig nicht in der Lage sind, eine kontinuierliche Bestimmung dieser Parameter mit den geforderten Genauigkeiten zu leisten, werden sie mit Stop & Go Messsystemen stationsweise ermittelt. Der Abstand zwischen zwei Stationierungen ergibt sich aufgabenorientiert und wird so dicht gewählt, dass eine daraus abgeleitete Trasse geometrie wie ein Kontinuum betrachtet werden kann. Typische Abstände liegen im Bereich weniger Meter.

An jeder Station sind die absolute Lage und die Höhe der Gleisachse in einem übergeordneten Bezugssystem, dem Gleisvermarkungssystem (GVS) zu bestimmen. Üblicherweise handelt es sich um Lagekoordinaten im Koordinatenreferenzsystem des Gleisbetreibers und Gebrauchshöhen. Das GVS wird durch Festpunkte (Gleisvermarkungspunkte, GVP) realisiert. In Tunneln sind diese im Regelfall in der Ulme eingebrachte Bolzen zur Aufnahme von Prismen. Die Bestimmung der Gleisparameter Überhöhung und Gradiente erfordert die Einbindung in das GVS als horizontbezogene Referenz. Lediglich die Spurweite, definiert als Abstand zwischen den Schienen 14 mm unterhalb der Schienenoberkante, kann unabhängig davon bestimmt werden.

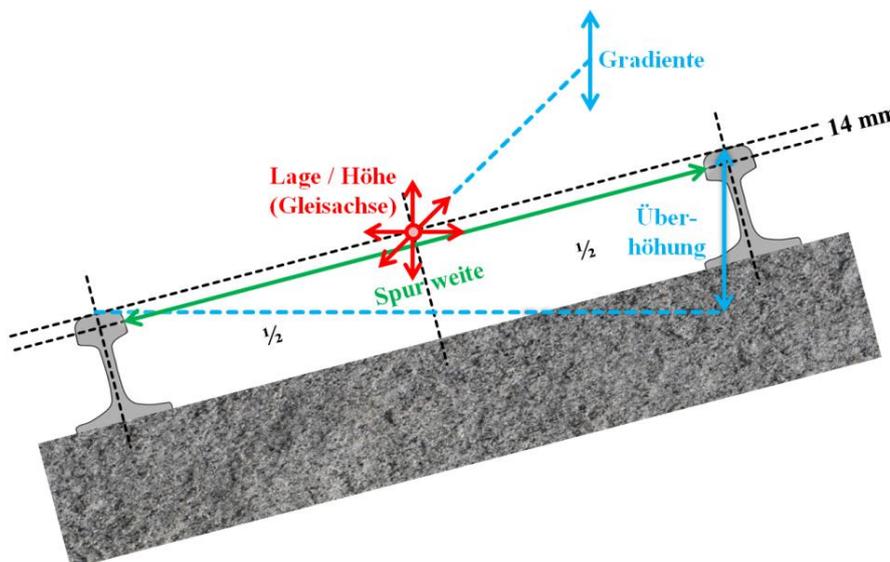


Abb. 1: Definition der Gleisparameter (Strübing 2015)

Die Verfahren zur Übertragung der Gleislage in die Örtlichkeit basieren auf der Absteckung von Langsehen oder Geometriehauptpunkten mit anschließender Verdichtung (Möser et. al. 2000). Geometriehauptpunkte sind z.B. Bogenhauptpunkte und Punkte mit Neigungswechsel. Neben der absoluten ist vor allem die relative Gleislage von Bedeutung, bei der durch eine hohe Nachbarschaftstreue ein gleichförmiger Trassenverlauf gewährleistet wird. Nur eine hohe relative Genauigkeit ermöglicht eine sichere und verschleißarme Nutzung von Gleisen, speziell bei Hochgeschwindigkeitsstrecken.

Die Abbildung 2 zeigt das Ablaufschema einer Gleisvermessung, bei der unterschieden in Absteckung und Kontrolle an jeder Stationierung ein Vergleich der Soll-Gleislage mit der in der Örtlichkeit gemessenen Ist-Gleislage durchgeführt wird. Durch eine kurze Abstandswahl der Stationierungen ergibt sich der besagte kontinuierliche Vergleich zwischen Planung und Realisierung einer Trasse. Während dieser Vergleich bei Kontrollmessungen, z.B. im Rahmen der Gleisabnahme oder bei wiederkehrenden Prüfungen im Betrieb, zunächst lediglich dokumentiert wird und Grundlage für etwaig einzuleitende Maßnahmen ist, bilden die entsprechenden Ablagewerte bei Neubaustrecken die Basis für den Gleisrichtvorgang im laufenden Prozess. In beiden Fällen ist letztlich zu ermitteln und zu bewerten, ob die Ablagewerte für die Gleisparameter durchgehend innerhalb der vorgegebenen Verlegetoleranzen liegen.

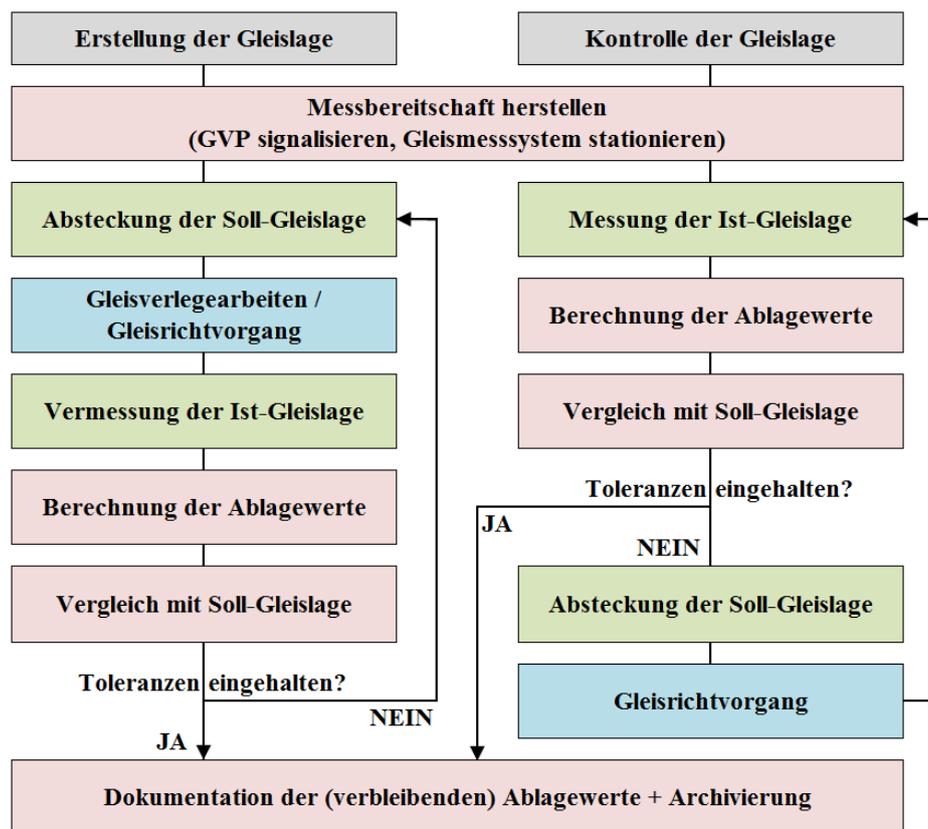


Abb. 2: Ablaufschema einer Gleisvermessung hinsichtlich der Erstellung und Kontrolle der Gleislage (Strübing 2015)

3 Gleisabsteckung

3.1 Grobrichten

Im Gegensatz zum Schotterbau werden beim Einbau der festen Fahrbahn durchgehende Betonschwellen oder Schwellenblocksysteme mit Vergussbeton verwendet, um die Gleise langzeitstabil und wartungsarm zu halten. Diese Vorteile bedingen erhöhte Baukosten und geringere Verlegetoleranzen gegenüber einem dynamisch gelagerten Schottergleis. Für den Transport und den Einbau der Schienenstränge und des Vergussbetons kommen im Tunnelbau Spezialmaschinen zum Einsatz.

Stellvertretend beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen auf den Einbau der festen Fahrbahn im Gotthard-Basistunnel. Zunächst wurden jeweils 120 m Schienenstränge in den Tunnel eingezogen, grob ausgerichtet und mittels Abbrennstumpfschweißen endlos miteinander verbunden. Über ein Hilfsgleis erfolgt das Einbringen und Ablegen der LVT-Schwellen (Low Vibration Track) sowie weiterer Hilfsgerätschaften. Ein Gleisbauroboter hebt die Schienenstränge an, montiert die Schwellenblöcke und richtet die beiden Schienenstränge im Abstand der Spurweite zueinander aus.

Abschließend wird eine Stützkonstruktion montiert, mit der das Gleis im Hinblick auf das Einbringen des Vergussbetons mit definiertem Abstand vom Boden gehalten und justiert werden kann (Perner 2011).

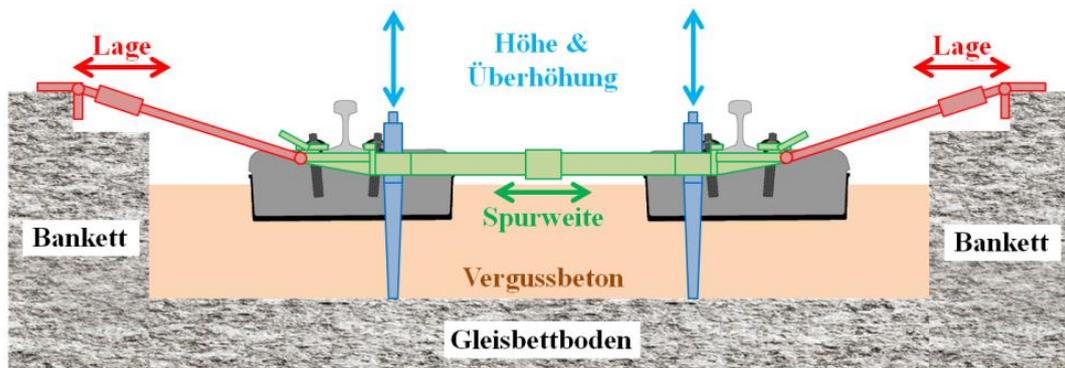


Abb. 3: Stützkonstruktion für den Einbau der festen Fahrbahn für LVT-Schwellen beim Gotthard-Basistunnel

Die Abbildung 3 zeigt schematisch die Stützkonstruktion für die Montage von LVT-Schwellen. Die beiden Schienenstränge werden über eine Spurstange verbunden (grün), wobei die Schienenfüße mit Klemmen fixiert werden. Die Spurweite kann über ein Gewinde in der Mitte der Spurstange frei eingestellt werden. Der Abstand des Gleises zum Boden wird über zwei vertikale Gewindestangen realisiert (blau), über welche sich die Gleisparameter Höhe und Überhöhung einrichten lassen. Die Einrichtung der Lage der Gleisachse erfolgt über die seitlichen Spangen (rot), welche ebenfalls über Gewinde ähnlich der Spurstange verstellbar sind und das Gleis im Bankett einzwängen. Diese Stützkonstruktionen wurden in Abständen von 1,80 m verbaut.

Das Grobrichten macht zunächst der Gleisbau. Nach dem Einbringen weiterer konstruktiver Elemente wie Kontroll- und Entwässerungsschächte, der Schalung der Oberflächenentwässerung etc., erfolgt die anschließende Justierung über ein Messverfahren, bei dem ein Laserstrahl auf eine Zieltafel am Bankett ausgerichtet wird. Die Zieltafel wird ihrerseits an Vermessungspunkten ausgerichtet, welche im Vorfeld der Gleisbauarbeiten zusammen mit dem GVP vermarktet wurden. Der Gleisbau übergibt den fertiggestellten Gleisrost bereits in Annäherung an die vorgegebenen Toleranzen des Bauherrn (IG Betonstraßen 2017).

3.2 Feinrichten

Beim Feinrichten wird das Gleis zeitnah vor der Betonierung deutlich unterhalb der vorgegebenen Toleranzen justiert, um einerseits Spielraum für die verbleibenden Unwägbarkeiten beim Einbau des Vergussbetons zu gewinnen und andererseits die Einhaltung der Vorgaben sicherstellen zu können. Damit dies von dem eingesetzten Messsystem gewährleistet werden kann, sollte dessen Messunsicherheit u für die einzelnen Gleisparameter mindestens um den Faktor fünf geringer sein als die jeweilige Toleranzvorgabe (DIN 2010, Heunecke 2014). So muss beispielsweise bei einer Toleranz von $\pm 1 \text{ mm}$ ($T = 2 \text{ mm}$) das Messsystem eine Messunsicherheit von $u < 0,4 \text{ mm}$ vorweisen. Für das qualitätsgesicherte Feinrichten werden im Regelfall Gleismesswagen in Trolley-Bauweise eingesetzt.

3.3 Gleismesssystem GML

Grundlage für die Absteckung der Gleislage mit der GML (Abbildung 4), bildet die vorherige Stationierung eines im Gleisbett aufgebauten Präzisionstachymeters zu mindestens acht benachbarten GVP. Die freie Stationierung wird so gut an das umgebende Festpunktfeld angepasst und ist ein einmaliger Vorgang vor dem Feinrichten eines Gleisabschnittes. Der Operateur der GML hat zudem jederzeit die Möglichkeit einer Orientierungskontrolle zu ausgewählten GVP, um den unveränderten Aufbau des Tachymeters über den Zeitraum mehrerer Stunden, wie es zum Feinrichten eines Schienenstranges erforderlich ist, verifizieren zu können.

Für das eigentliche Feinrichten misst das Tachymeter mit einer Frequenz von bis zu 3 Hz auf das mittlere Prisma des Gleismesssystems und überträgt die Messdaten über Funk an den Rechner der GML. Anhand der Koordinaten des Prismas kann der Schienenbezug über zwei Lasertriangulationssensoren vom Typ MEL M7LL/20 sowie über Neigungssensoren vom Typ Wyler Zerotronik hergestellt werden. Die Führung der GML wird über beidseitig angebrachte federgelagerte Führungsschlitten realisiert, um eine optimale Verteilung des Anpressdrucks bei Überhöhungen zu erzielen. Als zentrale Recheneinheit ist ein Industrierechner vom Typ NI cDAQ-9136 verbaut. Die Stromversorgung erfolgt über zwei 48 V Batterien, wie sie auch bei Elektro-Fahrrädern verwendet werden. Die Batterien dienen ferner als zusätzliche Gewichte auf den Laufrädern der GML und verbessern damit deren Auflage.

Die installierte Software auf dem Rechner der GML ermittelt aus den Tachymeterdaten und den Messdaten der übrigen Sensoren die Ablagewerte der einzelnen Gleisparameter. Dies erfolgt im ständigen Dialog mit einer Trassierungssoftware für den Soll-Ist-Vergleich. Abhängig von der gewählten Messfrequenz des Tachymeters werden die Ablage-

werte stetig aktualisiert. Sowohl eine grafische als auch eine numerische Anzeige der Ablagen aller Gleisparameter ermöglicht die manuell vorzunehmende Justierung der Stützvorrichtung.



Abb. 4: Gleismesssystem GML auf Stützvorrichtung im Geodätischen Labor der Universität der Bundeswehr München

Die GML wird im Stop & Go Betrieb eingesetzt. Nachdem das Gleis an einer Stationierung justiert wurde, löst der Operateur die Bremse und verfährt die GML zur nächsten zu richtenden Stelle. Der Richtvorgang ist iterativ, da die Justierung der aktuellen Stationierung aufgrund des starren Gleisrostes Auswirkungen auf umgebende Bereiche hat, die mitunter bereits justiert wurden. Um diese relativen Verschiebungsbeträge besser beurteilen zu können, stehen dem Operateur neben den aktuellen Ablagewerten gegenüber Soll auch die Ablagewerte zur vorangehenden Stationierung zur Verfügung. Außerdem ist es möglich, sich die Ablagen zu einer bereits gemessenen identischen Stationierung anzeigen zu lassen. Sämtliche Arbeiten sind in den Feinrichtprozess des Bauunternehmens integriert und müssen so gestaltet sein, dass ein effektiver Fortschritt der Arbeiten gegeben ist. Die GML war daher zwingend als hochautomatisiertes Echtzeit-Messsystem auszuliegen.

Um die Toleranzvorgaben einer Gleisabsteckung einhalten zu können, muss – neben einer Wahl geeigneter Komponenten – das verwendete Gleismesssystem umfassend untersucht und kalibriert werden. Dazu wurden bei der GML für die einzelnen Sensoren unter Laborbedingungen Kalibrierfunktionen ermittelt, die in der Software in einer Parameterdatei hinterlegt werden. Außerdem wurde das Gesamtsystem in der Klimakammer des Geodätischen Labors der UniBw München untersucht, wobei neben der Kalibrierung der Temperatursensoren der GML auch der Ausdehnungskoeffizient der Rahmenkonstruktion bestimmt wurde. Ferner wurde das Gleismesssystem detailliert mit dem Lasertracker Leica AT-901 vermessen und es wurde eine Rahmenkonstruktion entwickelt, auf welcher die GML für eine Kontrolle des Chassis aufgesetzt werden kann. Folgende Messunsicherheiten zur Bestimmung der Gleisparameter werden durch die GML gewährleistet:

- Lage und Höhe der Gleisachse < 0,2 mm
- Überhöhung (Querneigung) < 0,2 mm / 1,5 m
- Spurweite < 0,2 mm

Die Einhaltung der Messunsicherheiten im Einsatz hängt im Wesentlichen von der Genauigkeit des polaren Anschlusses an das Tachymeter ab. Dieser polare Anschluss wird vorrangig von der Entfernung zur GML und der Zuverlässigkeit der automatischen Zielerfassung beeinflusst. Entsprechende Betrachtungen führen dazu, dass eine Mindestdistanz von 10 m und eine maximale Distanz von 60 m von der GML zum Tachymeter einzuhalten ist. Zudem muss eine hohe Standsicherheit des Tachymeters gewährleistet sein, u.a. dadurch zu verbessern, dass die Stativbeine mit Bohrungen im Gleisboden fixiert werden. Die Software der GML überwacht den Aufbau durch wiederkehrende Abfrage den Komparator des Tachymeters und warnt den Benutzer bei Überschreitung eines voreingestellten Schwellwertes.

Die Zuverlässigkeit der Sensorik im Baustellenbetrieb ist entscheidend für die gleichbleibend hohe Qualität der Messergebnisse. Die Software der GML warnt den Operateur durch Farbwechsel am Bildschirm, falls ein Sensor keine plausiblen Messwerte liefert. Ferner kann die Funktionsweise und Genauigkeit der Lasertriangulationssensoren und der Neigungssensoren mit einem Kalibrierungsprogramm vor Ort im Tunnel geprüft werden. Dazu werden zwei weitere

Präzisionsprismen auf dem beweglichen Führungsschlitten der GML, siehe die Abbildung 4, mehrfach in beiden Fernrohrlagen durch das Tachymeter gemessen. Aus diesen beiden Punkten lassen sich die Gleisparameter Spurweite und Querneigung vermittelnd ableiten und innerhalb der Messgenauigkeit des Tachymeters und bei Beachtung des Abstandes zur GML mit den anderen Sensorwerten vergleichen. Bei signifikanten Abweichungen kann der Operateur die Kalibrierung der Onboard-Sensoren durch Übernahme der neuen Messwerte anpassen.

3.4 Betonieren der festen Fahrbahn

Der Vergussbeton wird im Tunnel „just in time“ im Betonzug hergestellt. Der finale Transport zur Einbaustelle erfolgt mit Betonshuttles, die sich entlang des Banketts bewegen und den Vergussbeton über Drehkübel an eine Verteilerstation übergeben. Die Schüttung erfolgt über Förderschnecken, wobei der Betonfluss mittels Flaschenrüttlern unterstützt wird. Die finale Glättung des Betons erfordert manuelles Reiben und Glätten (IG Betonstraßen 2017).

Nachdem der Beton ausreichend ausgehärtet ist, können die Stützkonstruktionen entnommen werden, wobei zunächst die seitlichen Spangen entfernt werden. Durch Lösen der äußeren Klemmen werden die Spurstangen vom Schienenstrang gelöst. Beim Einbau des Vergussbetons bleiben die Spurstangen unberührt, so dass diese seitlich aus dem Gleis entnommen werden können. Die vertikalen Gewindestangen sind allerdings vom Beton umschlossen, lassen sich aber über ein zuvor aufgetragenes Gleitmittel und mit Hilfe eines Schraubers wieder aus dem Beton ziehen. Die verbleibenden Löcher werden verfüllt. Die Stützkonstruktion ist damit vollständig wieder einsetzbar.

4 Gleiskontrolle

4.1 Zielsetzung

Beim Einbau des Vergussbetons sorgt die Stützkonstruktion dafür, dass das Gleis in der feinabgesteckten Gleislage fixiert ist. Dennoch kann es vorkommen, dass es bei der Schüttung zu Verschiebungen in Lage und Höhe kommt. Zusätzlich sorgt das Betonschwindverhalten vor allem für eine Unsicherheit bei der Höhenkomponente der Gleislage. Diese Effekte werden zwar durch die entsprechende Erfahrung beim Gleisbau weitgehend reduziert, können jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Eine abschließende Kontrolle nach dem Aushärten des Betons, die Gleisabnahme, ist demnach unerlässlich. Die Gleisabnahme sollte ferner eine unabhängige Kontrolle sein und daher nicht mit dem gleichen Messsystem durchgeführt werden, das bei der Gleisabsteckung eingesetzt wurde.

4.2 Gleismesssystem RACER II

Anders als beim Gleismesssystem GML ist beim RACER II (Abbildung 5) das Präzisionstachymeter auf dem Messwagen adaptiert. Da der Messwagen unmittelbar die Überhöhung des Gleises übernimmt, ist der Kompensator des Tachymeters zu deaktivieren. In Folge werden die polaren Messelemente zu den GVP im lokalen Koordinatensystem des Messwagens (Messwagensystem, MWS) erfasst. Die Anzahl der GVP ist prinzipiell frei wählbar. Um die für eine Stationierung erforderliche Messzeit klein zu halten, erfolgt gewöhnlich eine Beschränkung auf vier benachbarte GVP. Wie auch bei der GML wurde dazu eine Routine entwickelt, die in Abhängigkeit von der Näherungsposition die umgebenden GVP aus einer Koordinatendatei identifiziert und eine sequentielle Anzielung durch das motorisierte, selbstzielende Tachymeter leistet. Wird ein GVP nicht gefunden, da beispielsweise die Sicht versperrt ist, wechselt das System auf einen weiteren GVP in der Nachbarschaft.



Abb. 5: Gleismesssystem RACER II (Strübing 2015)

Voraussetzung für diesen vollständig automatisierten Vorgang ist allein, dass die umgebenden GVP mit Präzisionsprismen bestückt sind. Entsprechende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verwendung von 360°-Prismen angesichts der Genauigkeitsanforderungen nicht ausreicht. Dies bedingt dann ein manuelles Ausrichten auf die jeweilige Stationierung des Messsystems. Über eine dreidimensionale Helmert-Transformation werden die Transformationsparameter des MWS abgeleitet. Das Tachymeter ist prinzipiell frei wählbar, jedoch muss innerhalb der Software des Gleissmesssystems eine entsprechende Schnittstelle implementierbar sein.

Der Bezug zur Gleislage wird über Lasertriangulationssensoren im übergeordneten Koordinatensystem des GVS hergestellt. Diese sind durch Abdeckbleche vor Streulichteinfluss geschützt. Die vier Lasertriangulationssensoren vom Typ MEL M2-ILAN 120/60 erfassen die Innenseite des Schienenkopfes mit bis zu 100 Hz als Profillinie zu je etwa 300 Einzelpunkten (Abbildung 6, links). Für die lokalen Koordinatensysteme der Lasertriangulationssensoren liegen ebenfalls Transformationsparameter vor, so dass die einzelnen Profilpunkte ins das übergeordnete GVS umgerechnet werden können (Strübing 2015). Aus den Profilpunkten im übergeordneten Koordinatensystem werden relevante Punkte extrahiert (Abbildung 6, rechts), aus denen die Gleisparameter abgeleitet werden. Der RACER II verfügt auch über einen Neigungsmesser vom Typ MEAS NS-15/DMG2-U, welcher die redundante Überprüfung der Gleisparameter Querneigung und Gradienten ermöglicht.

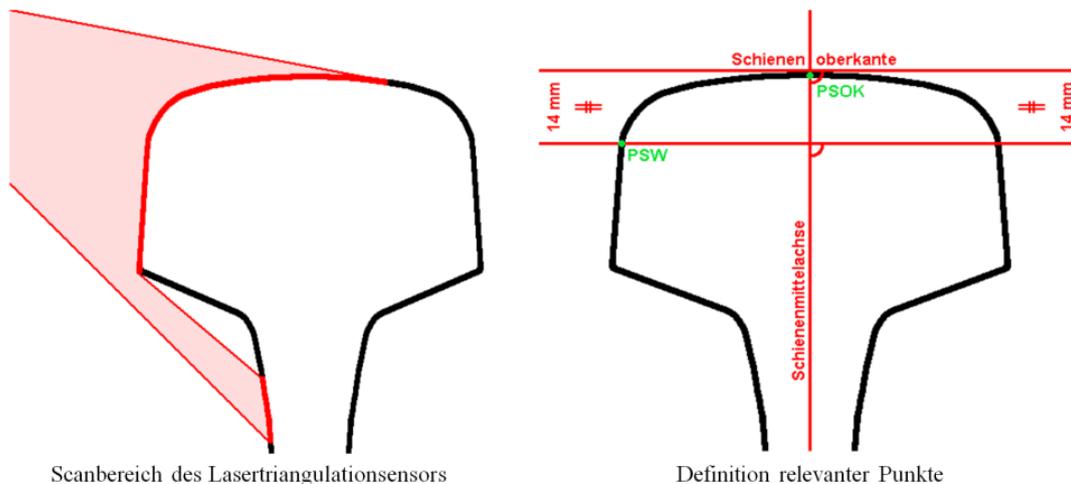


Abb. 6: Erfassung eines Schienenkopfes durch Lasertriangulationssensoren (Strübing 2015)

Anders als sein Vorgänger RACER (Heister 2007) besteht der RACER II aus zwei Wagen: dem Messwagen mit der Sensorik (3 Räder) und dem Antriebswagen (4 Räder, eine motorisierte Achse). Die Aufteilung in zwei separate Wagen bietet den Vorteil, das Gewicht beim Transport aufzuteilen sowie die optionale Bestückung des Antriebswagens mit weiterer Sensorik wie beispielsweise eines Laserscanners zur Erfassung der Umgebung. Die Stromversorgung erfolgt wie bei der GML über zwei 48 V Batterien. Dabei ist durch das Powermanagement ein Batteriewechsel im laufenden Betrieb gegeben. Wie die GML arbeitet der RACER II im Stop & Go Betrieb, der Messvorgang verläuft jedoch aufgrund der elektrischen Antriebe des Wagens und des Tachymeters vollautomatisch. Für den Operateur verbleibt lediglich die Funktionskontrolle des Messsystems, optional im abgesetzten Betrieb gegeben via WLAN-Verbindung zu einem Tablet sowie die Bestückung und Nachführung der Prismen der GVP. Anders als beim Arbeiten mit der GML ist die Gleiskontrolle nicht in einen Bauprozess integriert.

Beim Initialisieren benötigt der RACER II lediglich eine Näherungsposition und -orientierung über die manuelle Eingabe der Stationierung und Anzielung eines Bezugspunktes zur automatisierten Ermittlung der polaren Messelemente zu den umgebenden GVP. Parallel erfolgt die Auswertung der vier Lasertriangulationssensoren und aller weiteren Onboard-Sensoren, u.a. für den Luftdruck und die Lufttemperatur. Aus den korrigierten und reduzierten Messdaten werden im Dialog mit einer Trassierungssoftware die Ablagewerte der Gleisparameter je Stationierung ermittelt, visualisiert und dokumentiert. Die numerische Wiedergabe erfolgt als Messreihen der Ablagen über der Trasse je Gleisparameter. Eine farbliche Hinterlegung der Toleranzbänder ermöglicht ein schnelles Identifizieren von Bereichen mit Überschreitungen.

Der RACER II musste neben einer obligatorischen Komponenten- und Systemkalibrierung vor seinem Ersteinsatz umfassend untersucht werden. Neben der Ermittlung von Kalibrierfunktionen für die einzelnen Sensoren wurde das Gesamtsystem in der Klimakammer des Geodätischen Labors der UniBw München durch wechselnde Temperaturen „gealtert“. Dabei wurden die Temperatursensoren des RACER II kalibriert und der Ausdehnungskoeffizient der Rahmenkonstruktion bestimmt. Wie bei der GML erfolgt die Bestimmung der Geometrie des Chassis mit dem Lasertracker Leica AT-901. Zeitnah vor den Messkampagnen ist eine diesbezügliche Re-Kalibrierung durchzuführen, um die Qualitätsanforderungen gewährleisten zu können. Die Transformationsparameter der lokalen Koordinatensysteme der vier Lasertriangulationssensoren werden im Labor indirekt über Referenzgeometrien bestimmt, die mit einem speziellen Kalibrierrahmen realisiert und mit der flächenhaft messenden T-Scan des Lasertrackers erfasst werden (Strübing 2015).

Folgende Messunsicherheiten zur Bestimmung der Gleisparameter werden durch das Gleismesssystem RACER II gewährleistet:

- Lage und Höhe der Gleisachse < 0,2 mm
- Überhöhung (Querneigung) < 0,2 mm / 1,5 m
- Spurweite < 0,3 mm

Die Software des RACER II führt im Messeinsatz eine Reihe von Plausibilitätsüberprüfungen durch. Diese umfassen einerseits die Plausibilität einzelner Messwerte mit entsprechenden Filtermechanismen, andererseits die Gegenüberstellung redundant ermittelter Zielgrößen, die vorwiegend aus dem Einsatz der vier Lasertriangulationssensoren resultieren. Entsprechende Abweichungen werden dem Operateur signalisiert. Der Operateur kann dann z.B. wahlweise die Messdaten des Neigungsmessers oder die standardmäßig eingestellten Informationen aus der Helmert-Transformation verwenden. Sämtliche Plausibilitätsprüfungen werden pro Stationierung in einer separaten Datei gespeichert. Grundsätzlich ist bei dem RACER II kein Postprocessing erforderlich und die Ergebnisdateien des Systems können unmittelbar zur Dokumentation herangezogen werden. Bei einem Stationierungsabstand von 2,5 m liegt die Messgeschwindigkeit bei ca. 0,2 km/h, sofern die Messungen nicht durch andere Umstände wie beispielsweise Zugdurchfahrten zu unterbrechen ist.

5 Zusammenfassung

Die beiden entwickelten Gleismesssysteme GML und RACER II wurden vor ihren ersten praktischen Messeinsätzen neben den obligatorischen Laborprüfungen auch auf unterschiedlichen Teststrecken erprobt, validiert und entsprechend den gemachten Erfahrungen optimiert. Das Gleismesssystem RACER II wurde u.a. bei der Gleisabnahme von rund 114 km fester Fahrbahn im Gotthard-Basistunnel eingesetzt. Zwar sind beide Messsysteme für den Bau der festen Fahrbahn in Tunneln entwickelt, können prinzipiell aber auch für den Schotterbau und über Tage eingesetzt werden, sofern umgebende GVP vorhanden sind.

Um die hohen Genauigkeitsanforderungen bei der Gleisabsteckung und -kontrolle erfüllen zu können, sind beide Messsysteme für den Stop & Go Betrieb konzipiert. Eine Erweiterung des RACER II um eine kinematische Datenerfassung zwischen zwei Stationierungen ist zumindest hinsichtlich der Gleisparameter Spurweite, Überhöhung und Gradienten vorstellbar. Beide Messsysteme können auch für Kontrollmessungen im laufenden Betrieb eingesetzt werden. Anwendungsfelder sind beispielsweise die Beweissicherung bei Schäden oder die Verschleißdokumentation der Schienenköpfe mit der profilhaften Erfassung durch die Lasertriangulationssensoren des RACER II. Entsprechende Potentiale wurden jedoch bislang noch nicht ausgeschöpft.

Literatur

- DIN (2010): DIN-18710 - Ingenieurvermessung. ICS 07.040, Deutsches Institut für Normung, Normausschuss Bauwesen (NABau).
- Heister, H.; Liebl, W.; Pink, S.; Riesen, H.-U. (2007): RACER – ein automatisiertes, kinematisches System zur Gleisvermessung. In: Ingenieurvermessung 07 – Beiträge zum 15. internationalen Ingenieurvermessungskurs, Graz, S. 55-68, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Heunecke, O. (2014): Eignung geodätischer Messverfahren zur Maßkontrolle im Hochbau. In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (ZfV), Ausgabe 4, S. 241-251, Wißner Verlag.
- IG Betonstraßen (2017): Feste Fahrbahn im längsten Eisenbahntunnel der Welt – dem Gotthard Basistunnel. In: Aktuelles zu Betonstraßen und zur Verkehrsinfrastruktur – Update 47, vertrieben durch BETONSUISSE Marketing AG, Bern, u.a.
- Möser, M.; Müller, G.; Schlemmer, H.; Werner, H. (2000): Handbuch Ingenieurgeodäsie - Eisenbahnbau. 2. völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage, ISBN 3-87907-297-3, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Perner, R. (2011): Vergussbeton für die feste Fahrbahn im Gotthard-Basistunnel. In: Zement + Beton, Ausgabe 3/2011, S. 14-17, Wien.
- Strübing, T. (2015): Kalibrierung und Auswertung von lasertriangulationsbasierten Multisensorsystemen am Beispiel des Gleisvermessungssystems RACER II. Dissertation. In: Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie, Universität der Bundeswehr München, Heft 91, Neubiberg.

Kontakt

Otto Heunecke | Thorsten Strübing
Institut für Geodäsie – Geodätisches Labor
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
85579 Neubiberg
otto.heunecke@unibw.de