

Lothar Marx / Bernhard Lichtberger

# Elektronisch gestützte Messarbeiten in Gleisen und Weichen mit GPS-Anbindung

## EM-SAT

Das Messsystem EM-SAT (Elektronischer Messwagen mit Satellitenvorwagen) hat sich im praktischen Einsatz seit 1990 [1] bewährt. Sechs EM-SAT werden derzeit bei der DB Netz AG, drei EM-SAT (Abb. 1) bei den ÖBB und ein EM-SAT bei der FS eingesetzt. Ein weiterer EM-SAT wird 2001 bei der DB Netz AG zum Einsatz kommen.

Bei den in den Jahren 1998 und 1999 durchgeführten praktischen Einsätzen – insbesondere auf den Schnellfahrstrecken – wurden Abweichungen bei den Festpunkten bis 25 mm (tlw. im Mastabstand von 60 m) festgestellt. Bei der Bauartzulassung des EM-SAT wurde bei der Vergleichsmessung (Abb. 2) die wesentlich höhere Genauigkeit des EM-SAT gegenüber der manuell-optischen Methode dokumentiert.

Durch die Verwendung der mechanisierten Vermessung mittels EM-SAT gegenüber der bisherigen manuell-optischen Methode ergibt sich eine Kosteneinsparung beim Einsatz des EM-SAT von etwa 6,- DM pro Meter Messleistung. Zusätzlich wird die Arbeitsleistung der Stopfmaschine um ca. 50% in der Geraden gesteigert, da das Vorbringen des Lasers entfällt und Stopfbeginn und -ende bereits detailliert festgelegt sind.

Mit dem automatisierten, EDV-unterstützten Messverfahren EM-SAT (Abb. 1) werden langwellige Gleislagefehler in Höhe und Krümmung (Richtung) gemessen sowie – resultierend daraus – exakte Steuerungswerte für die Stopf-

maschinen errechnet. Die Vorgehensweise ist in der Richtlinie 824.0520 beschrieben. Die Richtlinie wurde nach ausgiebigen praktischen Einsätzen erarbeitet und zum 1. Mai 2000 endgültig eingeführt.

- Der EM-SAT wird eingesetzt für
- die Planung und Festlegung der Stopf-Richtabschnitte,
  - das Vormessen zu Stopfarbeiten nach Ril 824.3010,
  - das Vormessen zum Beseitigen von Einzelfehlern mit einer Einzelfehlerstopfmaschine,
  - für Messungen bei Umbauten (Kontrolle der Ablage in Höhe und Richtung) vor bzw. nach den Stopf-Richtgängen und
  - die Abnahme neu erstellter Gleisanlagen zur Feststellung, ob langwellige Fehler vorhanden sind.

Der EM-SAT ermittelt – insbesondere – langwellige Gleislagefehler der Höhe und der Krümmung (Richtung) kontinuierlich. Abb. 3 zeigt schematisch die Defi-

nitionen der Langsehne und der Festpunkte des vermarkten Gleises. Die gewonnenen Ist-Werte werden hierbei für die technische und wirtschaftliche Verwertung in einer Aufzeichnung (Analogschrieb) bezogen auf die Soll-Geometrie dokumentiert und für die weitere Verarbeitung für die Stopfmaschine bereitgestellt.

Als langwellige Gleislagefehler im Sinne dieser Richtlinie werden Lagefehler in der Höhe und der Krümmung (Richtung) mit größeren Wellenlängen bis zu 250 m bezeichnet.

Der Soll-Ist-Vergleich wird an allen im Messabschnitt liegenden Vermarkungspunkten mit dem Festpunktmessgerät (Abb. 4) vorgenommen.

Die Vorteile der EM-SAT-Messung gegenüber dem manuellen Vormessen bestehen

- in der hohen Messgenauigkeit und Messgeschwindigkeit,
- im Messen und Erkennen langwelliger Gleislagefehler auf der Grundlage der verlängerten Standsehne,
- im Erkennen und möglichen Ausschalten von Lage- und Höhenveränderungen der vorhandenen Vermarkungen,
- in der hohen Datensicherheit von der Erfassung mit den Messgeräten über die Auswertung bis zur Übergabe an die Stopfmaschine ohne Medienbruch (durchgängiger Datenfluss),
- in dem Einsatz der Mitarbeiter auf gesicherten Arbeitsplätzen zur Vermeidung von Gefahren aus dem Eisenbahnbetrieb.

## Die Autoren

Dipl.-Ing. **Lothar Marx**, Mitarbeiter DB Netz AG, Zentrale, Frankfurt; Dr. **Bernhard Lichtberger**, Leiter Forschung & Versuch, Fa. Plasser & Theu-



Abb. 1: EM-SAT im Einsatz

Zusatzauswertung vom 3.8.1999 für die Mittelwerte & Standardabweichungen der Handmessungen						
Abstandsmessungen zum Festpunkt						
Mast	Ist-Messungen FPM			Ist-Messungen von Hand		
	1. Messung	2. Messung	Differenz	1. Messung	2. Messung	Differenz
77/27	2574	2573	1	2555	2578	-23
78/3	3598	2600	-2	3586	3600	-14
78/7	3433	3434	-1	3439	3438	1

Längshöhe	
2 Meßreihen	
$n$	= 79 (Anzahl Meßwerte)
$\Delta\bar{X}$	= 1,04 mm (Mittelwert)
$\sigma$	= 0,93 mm (Standardabw. d. Diff.)
$\Delta X_{max}$	= 4 mm (max. Einzelfehler)
$\sigma_{EMSAT}$	= <b>0,3 mm</b>

Pfeilhöhe	
2 Meßreihen	
$n$	= 79
$\Delta\bar{X}$	= 0,9 mm
$\sigma$	= 0,84 mm
$\Delta X_{max}$	= 3 mm
$\sigma_{EMSAT}$	= <b>0,2 mm</b>

$\sigma(1)$  gemeint – erwartbarer maximaler Fehler bei  $3*\sigma$

Abb. 2: Vergleichswerte bei der Bauartzulassungsmessung

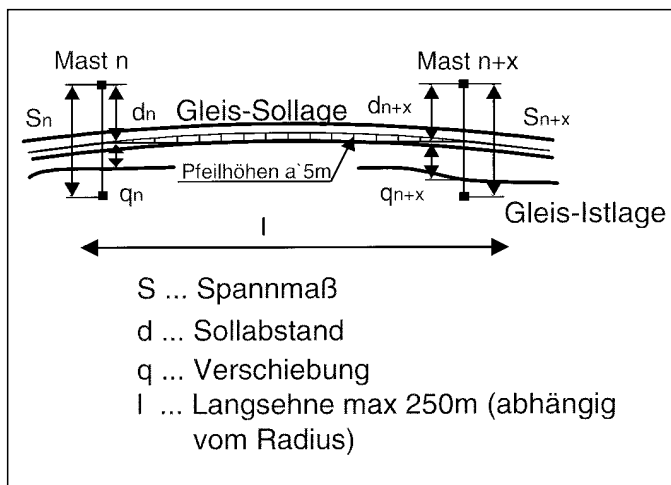


Abb. 3: Schema Definition des vermarkten Gleises



Abb. 4: Festpunktmessgerät

### Beschreibung des Gleisvormesswagens EM-SAT

- Der EM-SAT ermittelt
- bezogen auf eine verlängerte Messbasis – Laserstandsehne – die Richtung und Längshöhe,
  - mit einem Inklinometer die Überhöhung – gegenseitige Höhenlage –,
  - mit dem Messrad den zwischen den Aufstellpunkten zurückgelegten Weg und
  - mit einer Teleskopmessachse die Spurweite des Gleises.

Der EM-SAT ist als Nebenfahrzeug mit zwei Achsen oder als Drehgestellausführung lieferbar. Für die eigentliche Messarbeit führt das Fahrzeug einen absetzbaren und mit Elektromotor angetriebenen selbstfahrenden Satellitenvorwagen mit, auf dem der Lasersender (modulierte Laserdiode) montiert ist. Das Fahrzeug kann mit  $v_{\max} = 100$  km/h (Einzelachsausführung) oder mit  $v_{\max} = 120$  km/h (Drehgestellausführung) in Eigenfahrt in beiden Richtungen umgesetzt werden. Die Messungen werden von gesicherten Arbeitsplätzen, d.h. von der Hauptmaschine und von dem Satellitenvorwagen, vorgenommen, sodass ein Betreten der Betriebsgleise während der Messung nicht notwendig ist.

Nach Absetzen des Satellitenvorwagens von der Hauptmaschine ins Gleis werden die Messungen in einem wiederkehrenden Messzyklus nach folgenden Schritten durchgeführt:

- Aufstellung der Hauptmaschine an der ersten Bezugsvermarkung direkt über der Markierung des Geräteaufstellpunktes im Gleis (Farbmarkierung auf der Schieneninnenseite – Positionierung über Videokamera),
- Vorfahren des Satelliten bis ca. 8 – 10 m hinter die nächste Bezugsvermarkung bis max. 250 m,
- Einrichten des Lasers auf die xy-Laserempfangskamera der Hauptmaschine,
- Messfahrt der Hauptmaschine in Richtung des Satelliten mit  $v_{\text{Mess}} = 5 - 7$  km/h,

- Abschlussmessung an der Bezugsvermarkung vor dem Satellitenvorwagen und Anbremsen der Hauptmaschine,
- Vorfahren des Satelliten wieder ca. 8 – 10 m hinter die nächste Bezugsvermarkung und Beginn der Messfahrt wie bereits beschrieben.

Der Arbeitsbereich und die Messgenauigkeit ergeben sich dabei wie folgt:

#### Arbeitsbereich:

- Pfeilhöhen der Richtung: max. 1000 mm
- Pfeilhöhen der Längshöhe: max. 400 mm
- Lasersehnenlänge: max. ca. 250 m
- Messleistung: 1,5 – 2,6 km/h, abhängig von den Lasersehnenlängen

#### Messgenauigkeit:

- Pfeilhöhen: 1 mm Wiederholgenauigkeit
- Gegenseitige Höhenlage: 1 mm mechanische Ansprechgenauigkeit
- Spurweite: 1 mm mechanische Ansprechgenauigkeit

- Wegmessung: 0,1 m/100 m

Der EM-SAT wird zusätzlich mit einem 8-Kanal-Messschreiber und Geometrie-messeinrichtung (Messsehne mit mechanischen Messachsen) geliefert. Mit Hilfe dieser zusätzlichen Mess- und Aufzeichnungseinrichtungen kann die Dokumentation der Gleisgeometrie nach Ril 824.3010 analog der Stopfmaschinen erfolgen.

### Beschreibung des Festpunktmessgerätes

Für die genaue Bestimmung der absoluten Gleislage, d.h. für die Bestimmung der Hebe- und Verschiebewerte des Gleises im Bereich der Vermarkungen (Bolzen, Tiefpunkt, Pfahlvermarkung u.a.), wird z.Z. ein Festpunktmessgerät (Abb. 4) eingesetzt.

Dieses Gerät ist eine Kombination eines elektronischen Tachymeters für Infrarotstreckenmessung und Winkelmessung.

sung sowie eines Präzisionsinklinometers für die Überhöhungsmessung. Der Wagen ist in Aluminiumleichtbauweise ausgeführt, kann einfach und schnell in drei Teile zerlegt werden. Damit kann das Gerät mit jedem üblichen Pkw transportiert und durch einen einzelnen Bediener betrieben werden. Zur Auswertung der Messwerte und ihrer Speicherung besitzt das Gerät einen Mikrokontroller mit Protokolldrucker und Datenspeicherkarte.

Für die Bestimmung der Hebe- und Verschiebewerte (Messung) wird das Festpunktmessgerät über die Markierung des Geräteaufstellpunktes der Vermarkung gestellt und am festgelegten Richtstrang mit Schnellverschluss arretiert. Für das Anmessen wird auf den Vermarkungspunkt ein Prisma aufgesetzt. Die Ist-Werte und Soll-Werte werden auf der Speicherkarte gespeichert und für die Berechnung des Soll-Ist-Vergleiches des Gleises an den Hauptrechner des EM-SAT übergeben. Außerdem wird ein Soll-Ist-Vergleich

nach Höhe und Seite (Hebung und Verschiebung) angezeigt und auf einem Kontrollstreifen protokolliert.

Der Arbeitsbereich und die Messgenauigkeit des Festpunktmessgerätes ergeben sich dabei wie folgt:

**Arbeitsbereich**

- Streckenmesseinrichtung: ≥ 1,3 m
- Messleistung: 1,1 – 2,6 km/h abhängig von der Distanz der Vermarkungen sowie der Messaufgabe (Ist-Gleislage/Spannmaß)

**Messgenauigkeit**

(für die einzelne Messung lt. Hersteller im Nahbereich):

- Höhenmessung: 1 – 3 mm (1,5 m – 5m)
- Streckenmessung: 1 – 3 mm (1,5 m – 15 m)

**Einsatz in Weichen**

EM-SAT und Festpunktmessgerät sind für die Überprüfung von Weichen und

Weichenverbindungen bezogen auf die äußere Vermarkung einsetzbar.

Dabei sind folgende Besonderheiten zu beachten:

- Richtungs- und Gegenrichtungsgleis oder Abzweig sind auf dieselben Vermarkungspunkte zu beziehen. Bei einer Weichenverbindung muss die Messlänge – Lasersehenlänge – mindestens den Bereich von Weichenmitte bis Weichenmitte überschneiden.
- Der Ist-Gleisabstand sollte zusätzlich im Bereich der Weichenenden mit dem Festpunktmessgerät bestimmt werden.
- Bei Weichenverbindungen sind einheitliche Vermarkungspunkte für die gesamte Verbindung zu wählen, d.h. für das Richtungsgleis gelten die gleichen Bezugspunkte wie für das Gegenrichtungsgleis. Darüber hinaus muss der Verbindungsbereich (Weichenmitte bis Weichenmitte) innerhalb einer Messlänge liegen. Die Soll-Werte sind entsprechend in das EDV-System einzubringen.
- Die Weichenverbindung selbst sollte unter Einbeziehung WA und WE beider Weichen zusätzlich mit Wandersehne und wo möglich mit der Laserstandsehne aufgenommen werden.
- Kontrolle der Passstücklängen zwischen den WE.

**Einsatz des EM-SAT bei Gleis- und Weichenumbauten**

Der EM-SAT wird auch für den Gleisumbau eingesetzt. Beim Gleisumbau werden die geschilderten Messungen unmittelbar vor Einsatz der Stopfmaschine durchgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die vom EM-SAT bestimmten Hebe- und Richtwerte der einzelnen Stopfgänge zu einer parallelen Höhenlage des projektierten Soll-Zustandes führen, in dem der Hebevorgang nach DS 820 03 02 in der Vorgabe begrenzt wird bzw. vor dem zusammenhängenden 1. Hebe- und Verdichtgang eine Behandlung der Senken erfolgt. Optional kann der EM-SAT mit einer Datenfunkanlage ausgerüstet werden, mit der die Daten drahtlos an den Geometrieleitcomputer WINALC der Stopfmaschine übertragen werden können.

**Festlegungen und Vorbedingungen für die Messarbeiten bei Instandsetzungsmaßnahmen**

Für Instandsetzungsarbeiten – außer bei Umbauten – wird vom Auftraggeber nach Auswertung

- der Geometriemessfahrten,
- der fahrtechnischen Prüfungen und
- eventuell weiterer Inspektionsergebnisse

festgelegt, wo Messungen mit verlängerter Messbasis durchgeführt werden müssen, um die Beseitigung langweiliger Gleislagefehler sicherstellen zu können.

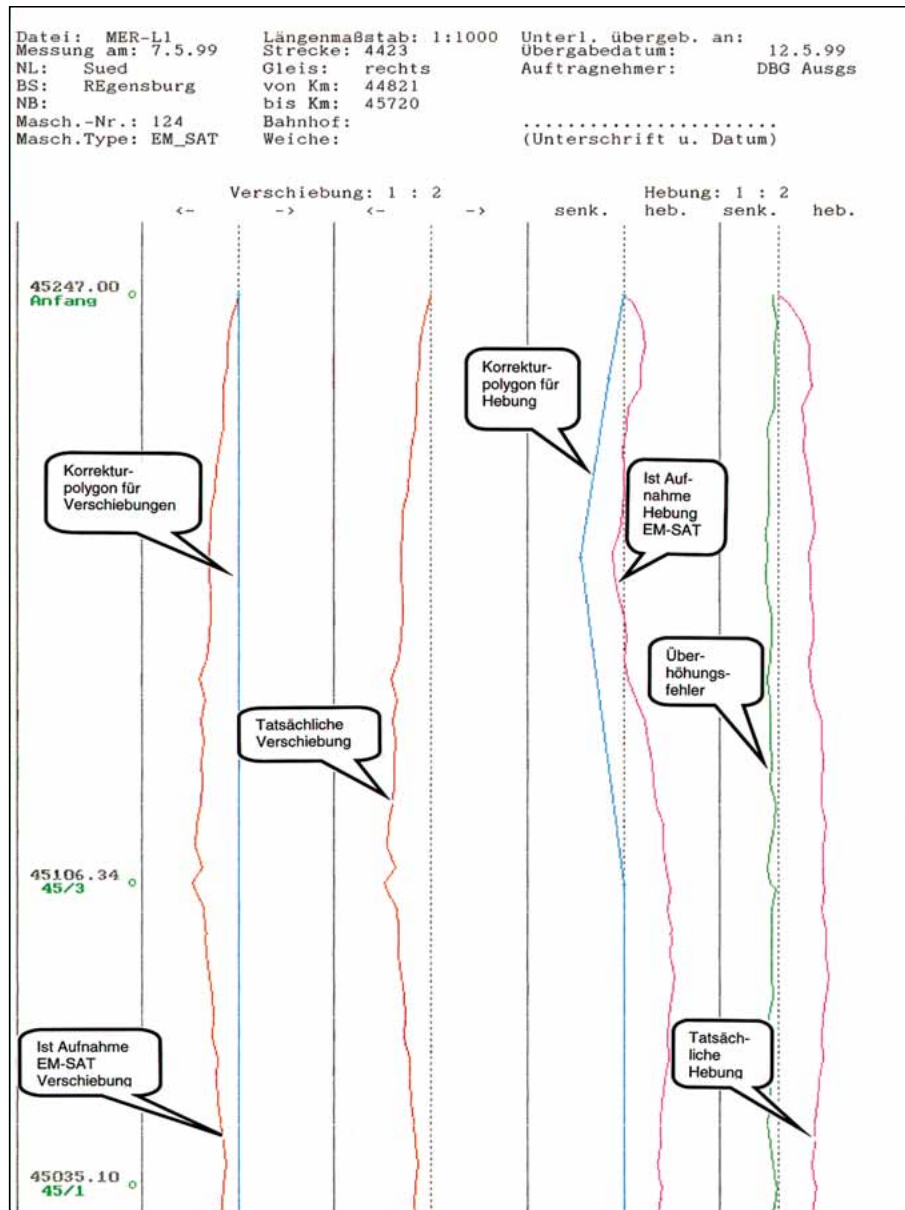


Abb. 5: EM-SAT-Gleiskorrekturdiagramm

Die Messungen werden – außer bei Umbauten – zeitlich so eingeplant, dass sie acht Wochen vor der Ausführung der Instandsetzungsarbeiten beendet sind, damit betriebliche Maßnahmen und notwendige Zusammenhangsarbeiten rechtzeitig eingeleitet werden können (z.B. Einschotterung bei größeren Hebungen, Gleistrennen bei größeren Verschiebungen etc.).

### **Auswertung der Messungen und Festlegung der erforderlichen Maßnahmen**

Die aus dem EDV-System gewonnene, maßstäbliche grafische Aufzeichnung (Messschrieb) der Hebe- und Verschiebewerte wird unter Berücksichtigung der gegenseitigen Höhenlage vom Auftragnehmer dem Netzbezirk (NB) zum Festlegen der erforderlichen Maßnahmen übergeben (Abb. 5). Eine fachliche Beratung erfolgt durch den Betreiber des EM-SAT. Durch den NB werden nach der Auswertung Stopfbeginn und -ende so gewählt, dass sowohl in der Gleichhöhenlage, als auch in der Krümmung (Richtung) ein harmonischer Übergang zu den nicht zu bearbeitenden Abschnitten zu Stande kommt.

An Hochpunkten kann eine Nullhebung hingenommen werden, wenn die Verschiebung in diesem Bereich nur gering und die Abweichung in der gegenseitigen Höhenlage  $< 5$  mm ist. Die gegenseitige Höhenlage wird dann mit 1:2000 angerammt.

### **Übergabe und Verbleib der Messdokumente**

Dem Auftragnehmer der Stopfarbeiten werden die Soll-Geometriewerte, die Hebe- und Verschiebewerte sowie die Werte des Soll-Abstandes und der Soll-Höhe zu den Vermarkungspunkten softwaremäßig (z.B. Diskette) übergeben.

Ebenfalls wird an den Auftragnehmer der Stopfarbeiten ein digitaler Ausdruck der Hebe- und Verschiebewerte übergeben, um sie ggf. (bei Ausfall der EDV-Anlage der Stopfmaschine) zur manuellen Führung der Stopfmaschine verwenden zu können.

Die Daten des Ausdrucks dienen

- der Erkennung der Länge der Stopfabschnitte,
- der entsprechend zu wählenden Hebung und Verschiebung zur Erkennung von Stopfbeginn und -ende,
- zur Erkennung der gegenseitigen Höhenlage, insbesondere am Stopfbeginn und am Stopfende,
- zur Ermittlung des Schotterbedarfs,
- für die Festlegung des Einsatzes von Mitarbeitern der Fachlinien Leit- und Sicherungstechnik (LST) und der Elektro-Technik.

Die Messergebnisse sind nach jeder Mess-/Bearbeitungsstufe grafisch und elektronisch (z.B. Diskette) festzuhalten. Die gewonnenen grafischen Dokumente werden vom Auftragnehmer orts- und auftragsbezogen beschriftet und beim NB aufbewahrt.

Für die Auftraggeber (NB) steht zum Lesen der Dateien ein „Mini-GVM-Programm“ zur Verfügung.

### **Einsatz von GPS bei der Durchführung von Oberbauarbeiten**

Bei der Durchführung von Oberbauarbeiten zeichnet sich eine Weiterentwicklung durch den Einsatz des GPS (Global Positioning System) ab. Mittels Geo++@-GNBAHN ist ein System zur kinematischen Gleisvermessung vorgesehen [2 und 3]. Es ermöglicht die Erfassung der vollständigen Gleisgeometrie, d.h. der dreidimensionalen Gleiskoordinate, der Überhöhung sowie der Spurweite, mit hoher Genauigkeit und hoher räumlicher Dichte in einem Arbeitsgang in Echtzeit. GNBAHN wurde in Zusammenarbeit mit der DB Netz AG entwickelt und bereits auf vielen Trassen der DB Netz AG erfolgreich eingesetzt.

### **Einsatzbereiche**

GNBAHN eignet sich für alle Aufgaben, die eine präzise Vermessung der Gleislage erfordern. Hierzu gehören

- Baukontrolle bei Neubau und Umbau,
- Gleisabsteckung,
- Soll-Lagenerfassung, Ist-Lagenerfassung.

Die Software GNBAHN/PM dient zur Erfassung, Kontrolle und Visualisierung aller Messdaten sowie zur Durchführung gleistechnischer Berechnung mit graphischer Bedienoberfläche.

**Kombination von EM-SAT und GPS**

Von 1993 bis 1995 untersuchten die Technische Universität Graz und die Forschungs-&Versuchsabteilung der Fa. Plasser&Theurer in einem gemeinsamen Forschungsprojekt die Möglichkeiten von GPS im Hinblick auf die Gleisvermessung [2]. Ziel war die Beantwortung der Frage, ob mit GPS vergleichbare Genauigkeiten wie jene der Laserlangsehne erreichbar sind.

Diese Frage musste klar mit nein beantwortet werden [3 und 4].

Mit GPS sind absolute Lagegenauigkeiten von maximal etwa  $\pm 6$  mm erreichbar. Die Höhengenaugigkeit ist um einen Faktor 1,5-2 schlechter. GPS ist als Ersatz für Laserlangsehnenmessungen zu ungenau. Die Anforderungen an die Gleiskorrekturwerte zur Steuerung von Gleisbaumaschinen liegen im Bereich 1mm.

Der Fehler bei GPS-Messungen wird durch folgende Parameter beeinflusst:

- Ionosphärische Refraktion,
- Troposphärische Refraktion,
- Phasentrauschen,
- Anzahl der empfangenen Satelliten,
- Empfänger-Satelliten-Konfiguration und
- Multipatheffekte.

Die ionosphärische Refraktion kann durch die Verwendung von Zweifrequenzempfängern kompensiert werden. Der Einfluss der Troposphäre wird durch entsprechende Modellrechnungen reduzierbar. Das Phasentrauschen ist eine Frage der Qualität der gewählten Satellitenempfangsgeräte. Die Anzahl der empfangenen Satelliten hängt zum einen von der Topografie ab, kann aber durch Mehrsystemempfänger (gleichzeitiger Empfang der Satelliten des Navstar- und des Glonass-Systems) verbessert werden. Die Empfänger-Satelliten-Konfiguration ist zeitabhängig (Satellitenbahnen) und eine Frage der



Abb. 6: Satellitenvorwagen mit GPS-Messeinrichtung

geografischen Lage und kaum beeinflussbar (außer über Planung der Messungen zu bestimmten Tageszeiten).

Den für den Fehlerhaushalt entscheidendsten Einfluss hat der Multipath-Effekt. Bei Multipath-Empfang wird nicht nur das Phasenlagesignal des direkt beobachteten Satelliten sondern auch das reflektierte Signal empfangen (von Dächern, rollendem Material etc.). Das reflektierte Signal überlagert sich dem Originalsignal und führt zu einer fehlerbehafteten Messung. Multipath kann durch die Verwendung von besonderen Antennen und kinematischer Messung vermindert aber leider nicht gänzlich vermieden werden. Meist werden durch die Art der Antennen (Choken Ring Antennen) nur Bodenreflexionen, also Signale unter kleinem Höhenwinkel eliminiert.

Mit dem EM-SAT ist die mechanisierte Vermessung der Langsehne realisiert worden. Die absolute Nachbargenauigkeit der EM-SAT-Messungen liegt unter 1mm. Will man die Lage der Sehne und damit die Soll- und Ist-Lage des Gleises in einem Koordinatensystem festlegen, dann bedarf es dazu der Festpunkte. Der Nachteil dieser Festpunkte liegt in deren Veränderlichkeit (auch sie sind absolut gesehen nicht „fest“), sie sind aufwändig und teuer hinsichtlich der Vermessungsarbeit und der Wartung durch den Vermessungsdienst, und sie verlangsamen die Arbeitsge-

schwindigkeit der mechanisierten Systeme.

GPS bietet sich als elegante Methode an, Festpunkte zu ersetzen. Die erzielbaren Genauigkeiten in der Lage von  $\pm 6$  mm bzw.  $\pm 9$  bis 12 mm für die Höhe sind für diese Zwecke ausreichend.

Die Einmessung eines Festpunktes (Abstand und Höhe) mit Spanmaßmessung verursacht heute Kosten von rund 260,- DM (zuzüglich Sicherheitsaufwand) je Messung. Dies macht deutlich, welches Kosteneinsparungspotenzial durch die kombinierte Anwendung EM-SAT - GPS noch vorhanden ist.

Voraussetzung für hochgenaue GPS-Messungen

- Empfang von mehr als gleichzeitig vier Satelliten.
- Relative GPS-Messungen (ein feststehender GPS-Referenzempfänger und ein bewegter GPS-Empfänger – Rover).
- Feststehende GPS-Referenzstation (4 bis 6 km Abstand – z.B. eingemessene Referenzpunkte in Bahnhöfen oder auf Bauwerken oder im Aufbau befindliche GPS-Referenznetzwerke). Die DB Netz AG plant den Aufbau eines Referenzpunktnetzwerkes mit Basislängen von 4 km (d.h. max. Abstand zur Referenzstation 2 km).

GPS-Problembereiche

- Eingeschränkter Satellitenempfang (Topografie, Häuserschluchten, Brücken, Tunnel etc.),
- Multipathempfang.

Stand der Realisierung

Derzeit befindet sich ein EM-SAT der ÖBB mit einer GPS-Messeinrichtung im Versuchseinsatz. Der EM-SAT 120 der Fa. Krebs, Deutschland mit Liefertermin April 2000 wurde ebenfalls mit einer GPS-Messeinrichtung ausgerüstet.

Abb. 6 zeigt den EM-SAT-Satellitenvorwagen mit GPS-Messeinrichtung. Seitlich am selbstfahrenden Vorwagen ist die GPS-

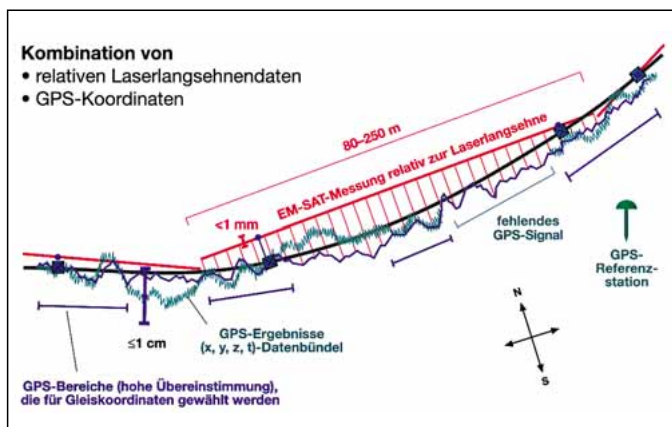


Abb. 7: Kombination Laserlangsehnenmessung mit GPS-Koordinatenmessungen

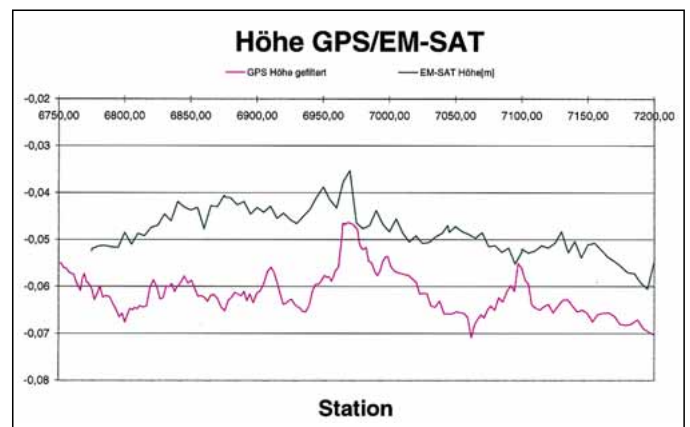


Abb. 8: Vergleich EM-SAT-Laserlangsehnenmessung und GPS-Messung für die Höhenlage

Antenne angebracht. Ihre genaue geometrische Position bezogen auf die Berührungspunkte der Räder zur Schiene werden kalibriert und abgespeichert. Auf dem Satellitenvorwagen befindet sich außerdem ein GPS-Empfänger der letzten Generation (gleichzeitiger Empfang von Navstar- und Glonass-Satelliten), welcher mit einem Computer zur Datenaufzeichnung verbunden ist. Auf dem Computer ist das Programm zur kinematischen Gleisvermessung GNBAHN installiert. Der Satellitenvorwagen ist mit berührungsloser Spurweitenmessung und Überhöhungsmessung ausgestattet, damit die Position der Antenne zur Schiene jederzeit bekannt ist. Auf der Hauptmaschine befindet sich das berührungslose Abstandsmessgerät Distomat mit welchem, nach Stillstand der Hauptmaschine, der Abstand zwischen Hauptmaschine und Satellitenvorwagen exakt vermessen wird. Damit kann ein Bezug zur Bogenlänge des Gleises, den Laserlangsehndaten und den GPS-Koordinaten hergestellt werden. Auf mindestens einem eingemessenen Referenzpunkt (in z.B. 4 km Entfernung) befindet sich der GPS-Referenzempfänger, mit Notebook zur Datenspeicherung ausgerüstet. Beide Systeme (Referenzempfänger und Rover) sind über Funk miteinander verbunden.

Während der Vorfahrt des Satellitenvorwagens werden die GPS-Empfangsdaten empfangen und auf dem Notebook abgespeichert. Das System arbeitet in Echtzeit und Online, allerdings wird vorrangig eine Offlineverarbeitung der gemessenen Daten angestrebt, denn auch bei Ausfall der Funkverbindung soll mit dem EM-SAT ohne Leistungseinbuße weitergearbeitet werden. Erst am Ende einer Messperiode werden alle Daten zusammengeführt und daraus die absoluten Gleislagekoordinaten und Gleiskorrekturewerte ermittelt.

### Anwendung des kombinierten Systems EM-SAT – GPS

Durch die gleichzeitige Vermessung des Ist-Gleises mit Laserlangsehnen und GPS ist es möglich, die Laserlangsehne (in einem lokalen Koordinatensystem arbeitend) absolut im WGS84-System koordiniert

zu lagern und damit die hochgenauen relativen Laserlangsehndaten in absolute Koordinaten (WGS 84) zu transformieren.

Praktisch jede gemessene GPS-Koordinate kann so prinzipiell als Festpunkt herangezogen werden (Abb. 7).

Es ergeben sich ohne erheblichen Mehraufwand und Mehrkosten die folgenden Vorteile:

- Wiederholte Messperioden des Systems werden Aussagen über Verfügbarkeit und Genauigkeit von GPS-Messungen liefern. Dies wird eine Kartierung über Verlässlichkeit von GPS-Messungen und Festlegungen erlauben, wo auf herkömmliche Festpunkte verzichtet werden kann. Der Vergleich der hochgenauen Laserlangsehndaten mit dem Verlauf der GPS-Messwerte wird Aussagen über die Güte des GPS-Empfangs (Multipath etc.) erlauben.

- In nicht vermarkten Gleisen werden Gleiskoordinaten mit sehr hoher innerer Genauigkeit und an den Sehnenendpunkten mit Genauigkeiten im 1cm-Bereich ermittelt. Diese sind eine hervorragende Grundlage für den Trassenentwurf oder Linienverbesserungen durch den Vermessungsingenieur. Das Einsparungspotenzial gegenüber einer geodätischen Vermessung zur mechanisierten Vermessung des kombinierten Systems EM-SAT-GPS ist enorm.

- Ist die Soll-Lage des Gleises hinsichtlich seiner WGS84-Koordinaten einmal definiert, dann kann bei Messungen mit dem kombinierten System jederzeit die Abweichung des Gleises von der Soll-Lage gemessen werden. Dabei kann jeder Ort des Gleises, an welchem GPS-Daten ermittelt werden, Festpunkt sein. Es müsste dann keine definierten Festpunkte mehr geben – diese könnten frei gewählt werden. Abb. 8 zeigt als Ergebnis den Vergleich einer Laserlangsehnenaufnahme mit einer GPS-Aufnahme.

### **Erweiterungsmöglichkeit für den EM-SAT mit einem Schotterprofilmesssystem**

Bei der Planung der ausführbaren Hebungen basierend auf den gemessenen He-

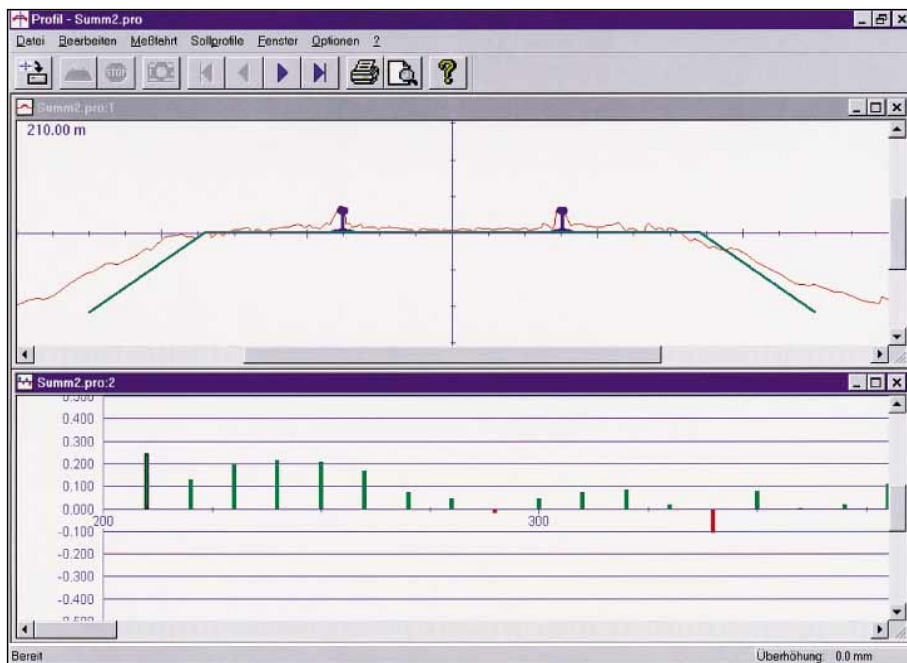


Abb. 9: Monitorschaubild Schotterprofilmesssystem

bekorrekturwerten ist das aktuelle Schotterprofil vor Ort ein wesentlicher Parameter. Für die Hebungen muss nämlich ausreichend Schotter zum Stopfen zur Verfügung stehen. Mit der berührungsfreien laser-gestützten Schotterprofilmesseinrichtung steht ein System zur Verfügung, welches durchgängig das aktuelle Schotterprofil aufzeichnen kann. In der Kombination mit dem EM-SAT wird dem NB ein Werkzeug in die Hand gegeben, welches eine weitere Aufwandsreduzierung (Einsparung der Begehung vor Ort, Schottermanagement) und Kosteneinsparung mit sich bringt.

Alle 2 m wird ein gemessenes Profil abgespeichert, dabei wird durch Vergleich des Schotter-Istprofils mit dem vorgegebenen Schotter-Sollprofil der Überschuss bzw. der Mangel berechnet und in Form eines Balkendiagramms dargestellt. Die Profile und Volumendifferenzen können im Büro auf einem Personal Computer dargestellt und weiterverarbeitet werden. Abb. 9 zeigt den Arbeitsbildschirm. Grün eingezeichnet ist das Schotter-Sollprofil. Die rote Linie stellt das aktuell gemessene

Schotter-Istprofil dar. Der gemessene Bereich kann beliebig vergrößert oder verkleinert werden, je nachdem ob auch der Randweg oder das Nachbargleis dargestellt werden sollen. Sollprofile können über Koordinatenpaare eingegeben, geändert und erweitert werden.

### Zusammenfassung

Mit dem EM-SAT und dem Festpunkt-messgerät stehen zwei ausgereifte Systeme zur Verfügung, mit denen die automatisierte und mechanisierte Gleisvermessung effizient, personal- und kostensparend durchgeführt werden kann. Durch die Verwendung der mechanisierten Vermessung mittels EM-SAT gegenüber der bisherigen manuell-optischen Methode ergibt sich eine Kosteneinsparung von etwa 6,- DM pro Meter Messleistung. Zusätzlich wird die Arbeitsleistung der Stopfmaschine um ca. 50 % in der Geraden gesteigert, da das Vorbringen des Lasers entfällt und Stopfbeginn und -ende bereits detailliert festgelegt sind.

Nach einer von der DB Netz AG durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnung werden mit dem neuen System „EM-SAT mit GPS“ weitere erhebliche Einsparungen erzielt.

In den kommenden Jahren wird die Kombination aus EM-SAT und GPS zu einem System führen, welches nicht nur Korrekturdaten für die Instandhaltungsmaschinen ermittelt, sondern welches ohne wesentlichen Mehraufwand automatisch Absolutkoordinaten der Gleislage für den Vermessungsingenieur liefert.

Das System wird nicht nur für Länder mit vermarkten Gleisen interessant, sondern auch gerade für jene Bahnverwaltungen, die sich in dieser Hinsicht gerade im Aufbruch befinden.

Eine optionale Ergänzung des Systems EM-SAT mit dem berührungsfreien laser-gestützten Schotterprofilmesssystem erlaubt dem Planungsingenieur ohne Begehung Entscheidungen über durchführbare Hebungen (Schotterbedarf) zu treffen.

### Literatur

- [1] Hollinger, W.; Lichtberger, B.: Einsatzverfahren mit dem Gleisvormessvorwagen EM-SAT, EI - Der Eisenbahningenieur 46 (1995) 5, S314ff
- [2] Lichtberger, B.: Stand der Langsehnenvermessung mittels EM-SAT oder GPS; EI - Der Eisenbahningenieur 46 (1995) 8, S560ff
- [3] Lahr, B.: Homogene Koordinaten durch GPS-Referenzstationen; Erfahrungen mit GPS-Echtzeitanwendungen in Hessen; EI - Der Eisenbahningenieur (50) 3/99, S38ff
- [4] Lahr, B.; Wübbena, G.: Grundlagen und Begriffe des GPS, Eisenbahningenieurkalender - EIK 2000 S. 317 ff
- [5] Lichtenegger, K.; Hofmann-Wellenhof; Lichtberger: Real Time GPS, An application for railway engineering, General Meeting of IAG, Beijing, P.R. China, August 6-13, 1993

### Summary/Résumé

Electronically assisted measurement on track and switches with GPS link

The article shows that automated machine-based measurement using EM-SAT can detect even long-wave level errors, provides greater measurement accuracy than previous methods and has a higher performance. Working conditions are improved and safe jobs (accident prevention) are created. Mention is also made of the reduced workload and associated commercial benefits. Combining EM-SAT with GPS technology further increases measurement accuracy and profitability.

Travaux de mesure assistés par ordinateurs dans les voies et les aiguillages avec accès au GPS

L'article montre que le mesurage automatique avec l'EM-SAT détecte aussi les défauts de la géométrie de la voie à ondes longues, augmente la précision de mesure en comparaison des méthodes utilisées auparavant et accroît les performances de mesure. Les conditions de travail sont améliorées et des emplois sécurisés (prévention des accidents) sont créés. En outre, l'article aborde la réduction des dépenses de travail et l'avantage commercial correspondant. La combinaison de l'EM-SAT avec la technique GPS augmente encore la précision de mesure et améliore les performances de mesure et le succès économique.