

Anforderungen der SBB an die Überwachung von Bahntechnikanlagen

Baustellen im nahen Umfeld des Bahntrasses können die Stabilität des Gleiskörpers beeinträchtigen und somit eine Gefahr für den Zugverkehr bedeuten. Um den Normalbetrieb trotz Bautätigkeiten zu gewährleisten, muss beim Vorliegen eines Risikos eine Überwachung der Bahntechnikanlagen durchgeführt werden. Die entsprechenden Anforderungen sind im Regelwerk SBB I 50009 definiert. Darin ist festgelegt, welche Anlageteile zu kontrollieren sind und welche Parameter wie und mit welchen Grenzwerten zu prüfen sind. Ferner werden darin die Zuständigkeiten und der Meldeprozess im Falle von Grenzwertüberschreitungen geregelt. Dieser Artikel soll den Leser mit den bahnspezifischen Herausforderungen vertraut machen und aufzeigen, welche Anforderungen bei einer Gleisüberwachung speziell zu beachten sind.

S. Eisenegger

1. Organisation innerhalb der SBB

Projekte (PJ) ist die Projektmanagement- und Engineering Organisation der SBB-Infrastruktur. Innerhalb PJ ist das Kompetenzzentrum Geomatik neben der Gleistrassierung für die vermessungstechnische Begleitung der Infrastruktur-Projekte zuständig. Darunter fallen auch alle geo-

dätischen Überwachungsmessungen. PJ plant aber keine Immobilienprojekte der SBB. Dort wird in der Regel ein Generalplaner beigezogen, welcher u.a. für die korrekte Überwachung verantwortlich ist.

Für gleisnahe Baustellen von Dritten ist Anlagen und Technologie (AT) zuständig. AT ist der Anlagebesitzer bei der SBB und betreibt eine Koordinationsstelle für bahnnahes Bauen. Sie prüfen Baugesuche im Umfeld von Bahnanlagen auf Risiken für den Bahnbetrieb und für die Infra-

struktur. Bei Bedarf fordern sie entsprechende Überwachungsmassnahmen bei der Bauherrschaft ein.

2. Das Überwachungskonzept

Als Grundlage für jede Überwachung ist ein Überwachungskonzept zu erstellen. Es muss sich jeweils auf das Regelwerk I-50009 abstützen und ergänzt dessen Angaben mit den spezifischen Begebenheiten des Projekts. Dies sind:

- Projektbeschreibung inkl. Objektskizze
- Risikoanalyse, Aufzeigen von potenziellen Gefährdungen für den Bahnverkehr und für die Bahnanlagen
- Beschreibung der zu überwachenden Objekte
- Messgrößen (was gemessen werden soll)
- Überwachungsbereich und Umfang
- Zeitraum und Messintensität
- Grenzwerte und allenfalls Angaben zur Messgenauigkeit, wobei diese i.d.R. aus den Grenzwerten abzuleiten sind
- Personenscharfe Alarmorganisation, Alarmierungsablauf sowie Massnahmen (z.B. Gleisstopfung, Änderung der Baumethode, Betriebseinschränkungen)
- Allenfalls weitere Angaben zur Art der Überwachung (manuell, halbautomatisiert, automatisiert), Auswertung, Dokumentation und Interpretation

Das Überwachungskonzept dient dem Vermessungsunternehmer als qualifizierter Auftragsbestandteil bei der Submission und der Ausführung.

3. Überwachung der Fahrbahn

Bei einer Gleisüberwachung werden im Grunde genommen die sicherheitsrelevanten Grenzwerte der Fahrdynamik überwacht. Da die Berechnung und Beurteilung dieser Grenzwerte umfassende Trassierungskennnisse und eine Trassierungssoftware erfordern, wurden mit dem Regelwerk I-50009 praxisnahe Ersatzgrößen definiert, die relativ einfach messbar sind und lediglich ein Grundverständnis für die Trassierung verlangen.



Abb. 1: Automatisches Monitoring.

Grundlage für die Gleisüberwachung ist ein Punktraster auf den Schienenoberkanten. Alle 4.80 m werden zwei Punkte auf den beiden Schienen, jeweils mittig auf der Oberkante definiert (Querabstand 1.500 m). Von dieser Basis darf nur in Ausnahmefällen und in Rücksprache mit einem Geomatikspezialisten der SBB abgewichen werden, da die Grenzwerte darauf basieren.

Die Gleisverwindung N muss in jedem Fall überwacht werden, weil sie das wichtigste Kriterium für die Entgleisungssicherheit eines Schienenfahrzeugs darstellt. Sie wird in Promille angegeben und berechnet sich aus der Überhöhungsänderung zwischen zwei Messquerschnitten dividiert durch deren Längsabstand mit

$$N_1 [\text{‰}] = \frac{\ddot{u}_2 - \ddot{u}_1}{l} = \frac{\ddot{u}_2 [\text{mm}] - \ddot{u}_1 [\text{mm}]}{4.80 \text{ m}}$$

wobei die Überhöhung (\ddot{u}) definiert ist als die Höhendifferenz zwischen linker und rechter Schienenoberkante. Die Verwindung tritt auch bei einer regelkonformen Trassierung in Form von Überhöhungsrampen auf. Damit wird eine Kurvenüberhöhung auf und wieder abgebaut. Entscheidend für die Fahrsicherheit ist alleine der absolute Betrag der aktuellen Verwindung, nicht aber die Differenz zur Soll-Lage. D. h. bei der *Nullmessung* kann sich der Grenzwert bereits von Beginn weg in der Nähe des Aufmerksamkeitswerts bewegen. Ein wesentlicher Unterschied zu Nullmessungen in der Ingenieurvermessung.

Je nach Gefährdungspotential wird im Überwachungskonzept festgelegt, ob auch Gleissetzungen/hebungen und schiebungen zu überwachen sind. Dabei interessieren absolute Verschiebungen, wie z.B. eine gleichmässige Gleissetzung über 50 m, nur zweitangig. Für die Fahrsicherheit sind vielmehr *lokale Verformungen* von grosser Wichtigkeit. Aus diesem Grund erfolgt die Überwachung über die *Veränderung* der vertikalen und horizontalen Pfeilhöhen (vPf und hPf), die jeweils aus drei benachbarten Punktepaaren abgeleitet werden. Es wird nur die Gleisachse beurteilt. Das heisst, aus den Punktepaaren wird jeweils ein Gleisachspunkt

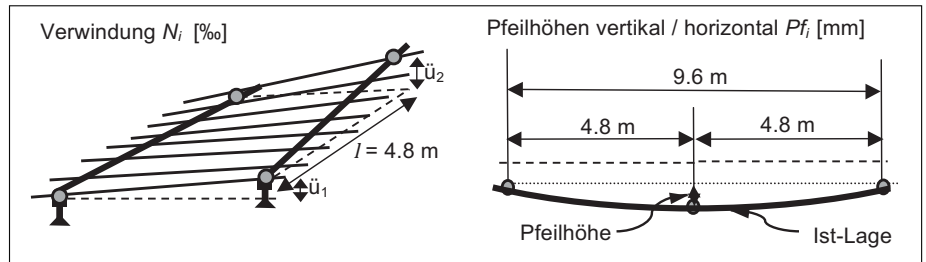


Abb. 2: Basen für die Berechnung der Verwindung (links) und der Pfeilhöhen (rechts).

ermittelt und anschliessend wird die Differenz des mittleren Achspunktes zur Sehne durch die äusseren Achspunkte berechnet. Auf eine getrennte Beurteilung der einzelnen Schienen wird verzichtet.

4. Messmethodik, Genauigkeit und Darstellung der Resultate

Messmethodik

Die Messmethode sollte nur in Ausnahmefällen im Überwachungskonzept vorgeschrieben werden. Grundsätzlich wird angestrebt, dass der Vermessungsunternehmer aufgrund der Anforderungen die wirtschaftlichste Lösung anbietet. Die minimalen Anforderungen an die Messmethode werden bestimmt durch die erforderlichen Messelemente:

- Die Verwindung kann anhand von Neigungsmessungen
- (Gleiswasserwaage) oder mit einer reinen Höhenmessung der Schienenoberkanten bestimmt werden.
- Die vertikalen Pfeilhöhen bzw. die absoluten Setzungen/Hebungen können mittels absoluten Höhen der Schienenoberkanten bestimmt werden.
- Die horizontalen Pfeilhöhen bzw. die Gleisschiebungen erfordern die Bestimmung der E/N-Koordinaten.

Messgenauigkeit

Quer zur Gleisachse und in der Höhe liegt die geforderte Nachbargenauigkeit zwischen 0.5 mm und 1.0 mm als einfache Standardabweichung. Dies ist insofern bei tachymetrischen Messungen herausfordernd, wenn ein Überwachungsbereich mit mehreren Stationierungen abgedeckt

KM Profil	Punkt	Punktnr	Abstand Profil [m]	Soll		Nullmessung vom 18.04.2016				12. Folgemessung vom 25.05.2016							
				Pfeilhöhe vertikale Auslenkung (v Pf v) + Kuppe / - Wanne [mm]	Höhe Schienenoberkante (H SOK L/R 0) [m]	Höhe Gleisachse (H SOK 0) Nullmessung [m]	Überhöhung (ü 0) L/R [mm]	Verwindung (N 0) [‰]	vertikale Pfeilhöhen (v Pf 0) + Kuppe / - Wanne [mm]	Höhe Schienenoberkante (H SOK L/R 12) [m]	Höhe Gleisachse (H SOK 12) Folgemessung [m]	Überhöhung (ü 12) L/R [mm]	Verwindung (N 12) [‰]	vertikale Abweichung (v Abw 0-12) + Hebung / - Senkung [mm]	vertikale Pfeilhöhe (v Pf 12) + Kuppe / - Wanne [mm]	horizontale Abweichung (h Abw 0-12) + rechts / - links [mm]	horizontale Pfeilhöhe (h Pf 12) + rechts / - links [mm]
12'184.95	L	1	4.77	0	447.360	447.359	3	0.0		0.000	0	0					
	R	2		447.358													
12'189.72	L	3	4.80	0	447.363	447.362	2	-0.1	-1	0.000	0	0				-1	
	R	4		447.361													
12'194.52	L	5	4.83	0	447.367	447.366	2	-0.1	-1	447.365	447.364	2	0	-2	3	2	
	R	6		447.365													
12'199.35	L	7	4.79	0	447.373	447.372	2	-0.1	2	447.371	447.370	1	0	-2	1	2	-2
	R	8		447.371													
12'204.14	L	9	4.78	0	447.374	447.374	1	0.1	1	447.374	447.374	1	0	0	2	4	0
	R	10		447.373													
12'208.92	L	11	4.79	0	447.375	447.374	2	0.1	-1	447.375	447.374	4	1	0	3	7	-1
	R	12		447.373													
12'213.71	L	13	4.76	0	447.378	447.377	2	-0.7	-1	447.372	447.368	12	2	-9	-2	11	-4
	R	14		447.376													
12'218.47	L	15	4.81	0	447.380	447.381	-1	0.5	1	447.374	447.365	19	0	-17	-5	24	7
	R	16		447.382													
12'223.28	L	17	4.79	0	447.385	447.384	1	0.5	-1	447.382	447.371	22	-1	-13	-2	23	5
	R	18		447.383													
12'228.08	L	19	4.80	0	447.391	447.389	4	0.1	1	447.389	447.382	14	0	-7	4	13	-3
	R	20		447.387													

Tab. 1: Tabelle für die Gleisüberwachung.

werden muss. Absolut genügen 2–3 mm einfache Standardabweichung. Die Längsrichtung kann vernachlässigt werden.

Darstellung der Resultate

Die Messresultate und deren abgeleitete Grössen sind sowohl tabellarisch, als auch graphisch nachvollziehbar zu protokollieren. Die Lage der Überwachungspunkte ist in einem Situationsplan darzustellen. Die zu prüfenden Parameter sind in den Überwachungstabellen eindeutig erkennbar anzugeben. Falls Grenzwerte überschritten wurden, müssen diese in den Tabellen deutlich hervorgehoben werden. Anhand von Diagrammen soll die zeitliche Entwicklung der Deformationen besser analysiert werden können. Es sind für die Gleisverwindungen, die Gleissetzungen, hebungen und schiebungen graphische Darstellungen zu erstellen. Optional können auch Grafiken für weitere Überwachungswerte verlangt werden.

Versicherung der Überwachungspunkte

Je nach Messintervall, Zugänglichkeit oder auch aus Sicherheitsgründen ändern sich die Anforderungen an die Punktversicherung. Die einfachste Methode ist die direkte Aufnahme der Schienenoberkante mittels Doppelprismenlatte oder durch direktes Nivellieren. Dafür muss ein erhöhter Sicherheitsaufwand für die Folgemessungen betrieben werden.

In vielen Fällen ist eine Versicherung mit permanenten Zielzeichen sicherer und wirtschaftlicher. Die Punkte können dabei durch eine Person ausserhalb des Sicherheitsbereiches gemessen werden. Nicht zu unterschätzen ist dabei der Wartungsaufwand, insbesondere an Stellen, wo häufig Züge bremsen. Die Zielzeichen sind mit einem Mindestabstand von 1.5 m zueinander und 2–3 cm unterhalb der Schienenoberkante zu installieren, um die Zerstörung durch schienengebundene Baufahrzeuge zu verhindern. Die Verwendung von Prismenhalterungen mit einer Bruchstelle könnten den entstandenen Schaden wesentlich verkleinern.

Die Klärung der Schuldfrage führt jeweils zu längeren Diskussionen und die SBB ist



Abb. 3: zerstörte Prismen.

immer weniger bereit, den entstandenen Schaden abzugelten.

Deswegen ist eine Verwendung von längeren Zielzeichen mit dem SBB-Ansprechpartner abzusprechen.

Wichtig: Bei einer Montage der Zielzeichen auf den Schwellen müssen die Messwerte rechnerisch exakt auf SIOK der Schienen umgerechnet werden. Die Überhöhung ist auf die genaue Basis von 1.500 m zu normieren. Alle Verformungswerte sind anhand der Punkte Mitte SIOK zu berechnen!

5. Spezielle Überwachungsobjekte

Überwachung von Hilfsbrücken

Der Einfluss von Hilfsbrücken auf die Gleishebung oder Einsenkung ist örtlich auf einen Bereich von ca. 5 m vor und nach der Hilfsbrücke beschränkt, wobei die maximalen Gleiseinsenkungen in der Regel ungefähr einen Meter hinter den Hilfsbrückenden auftreten. Zur Sicherstellung einer genügend guten Gleislage ist eine Hilfsbrücke während ihrer gesamten Betriebsdauer zu überwachen. Beschädigungen der Hilfsbrücken sind zu vermeiden. Daher darf an Hilfsbrücken weder geschweisst noch gebohrt werden. Allfällige Prismen sind daher aufzukleben, wobei es bei starren Hilfsbrücken ausreicht, die Prismen an den Fundamenten anzubringen. Die Wahl der Messpunkte variiert von Fall zu Fall. Die Problematik mit schienengebundenen Baufahrzeugen tritt aufgrund der Konstruktion der Hilfsbrücken verstärkt auf.

Überwachung Fahrleitung

Massgebend für die Überwachung der Fahrleitung ist die Einhaltung der Tragsicherheit der Tragwerke und die Einhaltung der Fahrdrähtlage. Neigungsveränderungen und Schiebungen von Fahrleitungsmasten müssen quer und längs zum Gleis bestimmt und auf die Grenzwerte hin überprüft werden. Bei einer tachymetrischen Überwachung der Neigung soll der Punktabstand mind. 2 m betragen. Der Soforteingriffswert (siehe Kap. 6) richtet sich nach den Reserven der Fahrdräht Ist-Lage zu den einzuhaltenden Grenzwerten und wird bei jedem Projekt separat definiert. An den Fahrleitungsmasten sind in der Regel die Gleisversicherungsbolzen angebracht. Bei Deformationen > 5 mm wird die Verfälschung des relativen Bezugs zwischen der Gleisversicherung und der Gleisachse zu gross und muss deshalb dem Kompetenzzentrum Geomatik bei PJ gemeldet werden.

6. Alarmierung

Die Grenzwerte für alle Parameter sind abhängig von der maximalen Fahrgeschwindigkeit, weshalb die Grenzwerte für vier verschiedene Geschwindigkeitsbereiche definiert sind.

Die Alarmierung bei Überschreitungen der Grenzwerte erfolgt in einem dreistufigen Verfahren.

- Aufmerksamkeitswert: Orientierung der Projektbeteiligung, evtl. Verkürzung der Messintervalle und sorgfältige Beobachtung der Entwicklung.
- Interventionswert: Mögliche Massnahmen sind Korrekturen der Gleise, Ge-

schwindigkeitsreduktion oder Änderung der Baumethodik.

- Soforteingriffswert: Fahrsicherheit ist nicht mehr gewährleistet, es sind sofortige Massnahmen zu treffen. Information an den Zugverkehrsleiter, anschliessend Alarmierung des Technischen Zentrums und der Betriebsleitzentrale. Zusätzliche Massnahmen sind Baustopp und/oder Streckensperrungen.

Bei jeder Überwachung ist sicherzustellen, dass die Alarmierung und die Erreichbarkeit der Projektbeteiligten zu jedem Zeitpunkt der Bauarbeiten möglich ist und funktioniert. Bei automatisierten Überwachungssystemen ist die Alarmierung in mehrfacher Hinsicht eine grosse Herausforderung. Zum einen müssen Fehlmessungen zuverlässig erkannt und aus dem Auswerteprozess gefiltert werden. Bei häufigen Fehlalarmmeldungen kann es zu einer Abstumpfung bei den Verantwortungsträgern kommen und tatsächliche Verformungen könnten ignoriert werden. Zudem werden Bauarbeiten häufig in der Nacht ausgeführt. Bei Alarmierungen ab Interventionswert wird ein SBB interner Pikettdienst aufgeboten, welcher vor Ort die Sicherheit der Bahnanlagen überprüft.

7. Automatisches Monitoring

Es wird grundsätzlich zwischen einem vollautomatischen und einem halbautomatischen Monitoring unterschieden. Bei Ersterem wird sowohl das Geomonitoring als auch die Alarmierung automatisch durchgeführt, während bei Letzterem der Vermessungsunternehmer die Messergebnisse vor der Alarmierung auf Plausibilität überprüfen muss. Die vollautomatischen Systeme sind technisch sehr anspruchsvoll, da die Häufung von Fehl-

Informationsveranstaltungen

Bei genügend Anmeldungen organisiert die SBB an den Standorten (Zürich, Bern, Lausanne und Bellinzona) Informationsveranstaltungen. Die Veranstaltungen sollen auch dem Austausch zwischen Vermessungsfirmen und der SBB Geomatik dienen.

Die Anmeldung mit Angabe des bevorzugten Standortes ist zu richten an: stephan.eisenegger@sbb.ch

alarmen ausgeschlossen werden muss. Bei der Überwachung von Gleisanlagen gibt es sehr viele Einflüsse, die einen Fehlalarm auslösen können. (Verschmutzung durch Brems- oder Baustaub, Schnee, teilweise Messung der Prismen unter Belastung, deformierte Prismenhalterungen, hohe Ansprüche an die Messgenauigkeit bzw. Grenzwerte).

Bei der Installation der Tachymeter ist darauf zu achten, dass es nicht zu elektrischen Störeinflüssen durch Erdungskabel, Starkstromkabel oder Antrieben der Fahrzeuge kommen kann. Diese können beispielsweise zur Zerstörung der Elektronik durch Potenzialausgleich über das Datenkabel führen.

Werden Tachymeter an Fahrleitungsmasten im Bereich einer Baustelle angebracht, kann es durch die Eigenbewegung des Mastes zu einer Neigungsveränderung kommen, die den Bereich des Neigungskompensators des Instrumentes überschreitet.

Ferner muss bei der Installation sowie bei der Wartung des Systems mit erhöhtem Aufwand für die Bahnsicherheit gerechnet werden. Sicherheitswärter sind frühzeitig zu bestellen und häufig sind die Gleisanlagen lediglich in der Nacht zugänglich. Die Vorgaben für die Einhaltung des Lichtraumprofils sind zu beachten. Von Vorteil ist es, wenn ein möglichst grosser Teil des Systems (auch der Steuerkasten) im «Sicheren Bereich» installiert wird, da dort die Anlage zu jeder Zeit ohne Sicherheitswärter zugänglich ist.

8. Fazit

Für Überwachungsmessungen von Gleisanlagen gelten spezielle Anforderungen für die zu überwachenden Parameter, deren Grenzwerte, der Alarmierung, Auswertung und Dokumentation. Insbesondere der Gleisverwindung ist besondere Beachtung zu schenken, da sie sich sehr sensitiv auf die Fahrsicherheit auswirkt.

Die Installation eines Geomonitoringsystems im Umfeld von gleisnahen Baustellen ist besonders herausfordernd bezüglich der Montage der Prismen im Gleisbereich und unterbruchfreies Vorhalten des Systems unter laufendem Bahnbetrieb.

Bei einer Gleisüberwachung, sei es im Auftrag der SBB oder auch durch Fremdfirmen bzw. Behörden, sollte immer eine Fachperson vom Kompetenzzentrum Geomatik beigezogen werden. Diese kann auf Besonderheiten hinweisen und Unterstützung bieten für die Ermittlung von Kilometrierungen, Sollverwindungen oder der Pfeilhöhe der vertikalen Ausrundung.

Stephan Eisenegger
Leiter Kompetenzzentrum Geomatik
Schweizerische Bundesbahnen SBB
Infrastruktur Projekte Engineering
Vulkanplatz 11
CH-8048 Zürich
stephan.eisenegger@sbb.ch