

Lückenlose Sicherheit für Gleisanlagen und Bauwerke – permanente Gleisüberwachung mittels Sensortechnologie

THOMAS HEINIGER & JÖRG KRAMER

Anhand der beiden Projekte „ABS Karlsruhe-Basel, Tunnel Rastatt“ und „Pressrohrvortrieb Bahnhof Ingolstadt“ wird der Einsatz von neuer Sensortechnologie für Gleisüberwachungen vorgestellt. Dabei liefert das System 'Amberg TrackControl' im Minutentakt zuverlässig Resultate zu Überhöhungen, Verwindungen, vertikalen Pfeilhöhen und Setzungsmulden.

Der Tunnel Rastatt unterquert die bestehende Hochgeschwindigkeitsstrecke der DB in einem flachen Winkel auf einer Länge von ca. 500 m. Um die Sicherheit des laufenden Betriebs zu gewährleisten, forderte die DB neben der geodätischen Überwachung ein zweites, redundantes System, welches in der nebelreichen Region unabhängig von der Witterung zuverlässig arbeitet und alarmiert.

Unter dem Gleisfeld mit 29 Gleisen im Bahnhof Ingolstadt wurde ein Kanalisationsstollen mittels Pressrohrvortrieb für die Stadtwerke Ingolstadt gebaut. Der Rangierbahnhof ist der Hauptverlade-punkt für die neuen Autos von Audi und ein reibungsloser Betrieb der Bahnanlage während den Vortriebsarbeiten war zwingend zu gewährleisten.

Schlüsselwörter – TrackControl, Gleissensoren, Gleisüberwachung, Gleismonitoring, Gleislagenkontrolle, Sicherheit Bahnanlagen

1. Einleitung

Infolge der fortschreitenden Verdichtung im Infrastruktur- und Wohnungsbau werden immer mehr Baustellen nahe bei Bahnlinien erstellt oder queren diese. Diese gleisnahe Bautätigkeit stellt eine potentielle Gefahr für die Sicherheit des Bahnbetriebs dar. Die Gleise müssen daher während der Bauzeit überwacht werden. In der Vergangenheit wurden diese Gleisanlagen mit geodätischen Mitteln überwacht, je nach Gefährdungsbild periodisch mittels manuellen Messungen oder mit permanent installierten Überwachungsanlagen. Dabei musste festgestellt werden, dass automatische Überwachungssysteme mit optischen Verfahren in Schlechtwetterperioden (Regen, Schnee, Nebel) teilweise unzuverlässig und verzögert auf Grenzwertüberschreitungen reagiert haben. Aus diesem Grund entstand das Bedürfnis für zusätzliche wetterunabhängige Systeme, welche auch bei den aktuellen kurzen Zugsintervallen die Sicherheit und den Normalbetrieb der Bahn gewährleisten können.

Im folgenden Vortrag wird das System Amberg TrackControl vorgestellt und die praktische Umsetzung anhand der Projekte in Rastatt und Ingolstadt erklärt.

2. Das System Amberg TrackControl

2.1. Allgemein

Amberg TrackControl ist die neue innovative Monitoring-Lösung für Bahnanlagen. Das System gewährleistet höchste Zuverlässigkeit und Sicherheit. Es überwacht die sicherheitsrelevanten Gleisparameter wie Querneigung, Verwindung und vertikale Pfeilhöhe - unabhängig von Wetterbedingungen und in einem Messintervall von einer Minute.

Vorteile durch:

- Hohe Zuverlässigkeit durch 24/7- Überwachung
- Gewährleistung der Betriebssicherheit
- Keine atmosphärischen Störeinflüsse infolge Regen, Nebel, Schnee oder Tau
- Temperaturkompensiert
- Messung und Alarmierung im 1-Minuten-Intervall
- Online Visualisierung der Resultate auf dem Internet Portal Amberg GEOvis
- Möglichkeit zum Datenexport in andere Plattformen
- Geringe Betriebskosten
- Einfache Installation

Anwendungen:

- Baustellen im Gleisbereich
- Microtunneling unter der Gleisanlage (zb. Pressvortrieb)
- Gleise in kritischem Gelände (z. B. Rutschhang)

2.2. Funktionsweise

Die Hauptkomponenten von Amberg TrackControl (ATC) bilden Neigungssensoren, welche Deformationen an Gleisen und Fahrleitungsmasten überwachen.

ATC umfasst pro Modul 48 Längs- und 12 Quersensoren sowie optional 4 zweiachsige Sensoren für die Überwachung von Mastneigungen. Damit kann pro Modul ein Gleisabschnitt von 56 m überwacht werden. Das Basismodul kann mit fünf weiteren Modulen an der gleichen Messtation betrieben werden, so dass ein Bereich von ca. 340 m überwacht werden kann.

Bei einzelnen Ketten von 56 m wird davon ausgegangen, dass der Anfang und das Ende der Ketten in stabilen Bereichen liegen und damit die Ausgangshöhen festlegen. Alternativ können die Kettenenden dem System vorgegeben werden indem sie manuell oder mittels eines automatischen geodätischen Monitorings oder mit GPS-Sensoren auf dem Gleis erfasst werden. Diese Referenzhöhen werden dem System übermittelt und fließen als Stützwerte in die Berechnung ein.

Wird als Resultat eine Setzungskurve über den gesamten Messbereich erwartet, müssen die Stützwerte zwingend erfasst werden.

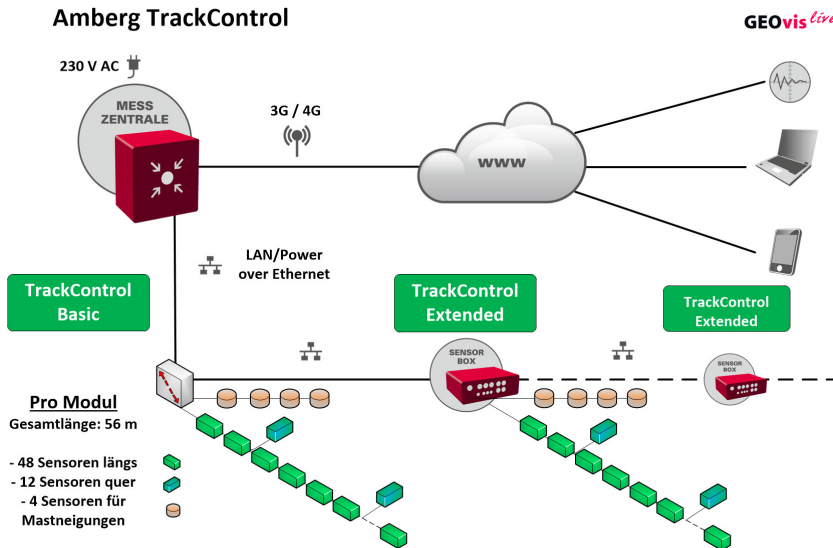


Abbildung 1: Schematischer Aufbau von Amberg TrackControl

Aus den gemessenen Werten werden anschließend die Verwindung, die vertikale Pfeilhöhe und die Setzungmulde abgeleitet.

Alle Berechnungen und Prüfungen auf Grenzwertüberschreitungen erfolgen vor Ort in der Messzentrale. Die ausgewerteten Daten werden anschließend auf das Webportal GEOvis übertragen und dort für den Endkunden visualisiert.

2.3. Installation

Die Installation der Querneigungssensoren erfolgt auf den Schwellen zwischen den Schienen in einem Abstand von 4.80 m (ca. jede 8. Schwelle). Die Sensoren werden geklebt oder geschraubt, sofern dies der Betreiber zulässt. Als Schutz wird eine Stahlblechkappe über den Sensor montiert.

Die Längsneigung wird direkt an der Schiene in einem Abstand von 1.20 m installiert. Die Sensoren werden mit zwei Schienenklammern befestigt (siehe Abb. 8: Quer- und Längsneigungssensoren auf Seite 10).

2.4. Technische Daten



Abbildung 2: Typische Installation der Messzentrale

Messzentrale und Sensorboxen:

- Windows Embedded Computer inkl. 3G/LTE Modem
- Industrieller Temperaturbereich -20° bis 70° Celsius
- Stützbatterie für kurzzeitige Stromausfälle (ca. 1-2 Std. abhängig vom Messintervall)
- Sensorboxen für Ergänzungsketten
- Energieverteilung über das System über das LAN Kabel (30W PoE System in Eigenentwicklung)
- Permanente Internetanbindung

Sensoren:

- Ein- und zweiachsige MEMS Neigungssensoren
- AD-Wandler und Signalaufbereitung im Sensor (Eigenentwicklung)
- Datenkommunikation über RS485 Bus
- Wasserdicht und druckfest vergossen
- Alle Sensoren werden nach der Fertigung in einer Klimakammer temperaturkompensiert (-20° bis +60° Celsius). Die individuellen Korrekturwerte jedes Sensors werden direkt im Sensorchip gespeichert.

Messung / Resultate:

- Kürzestes Messintervall: 1 Minute
- Anordnung der Sensoren

- Gleisüberhöhung alle 4.8 m
- Längsneigung alle 1.2 m
- Berechnung:
 - Verwindung über 4.80 m in ‰ (siehe Abb. 3a)
 - vertikale Pfeilhöhe in mm (siehe Abb. 3b)
 - Setzungsmulde (siehe Abb. 3c)

Genauigkeiten:

- ± 1.0 mm Gleisüberhöhung
- ± 0.2 ‰ Verwindung (auf Basis von 4.8 m)
- ± 1.0 mm vertikale Pfeilhöhe (auf Basis von 9.6 m)
- ± 3.5 mm vertikale Setzungsmulde (pro Messkette von 56 m)

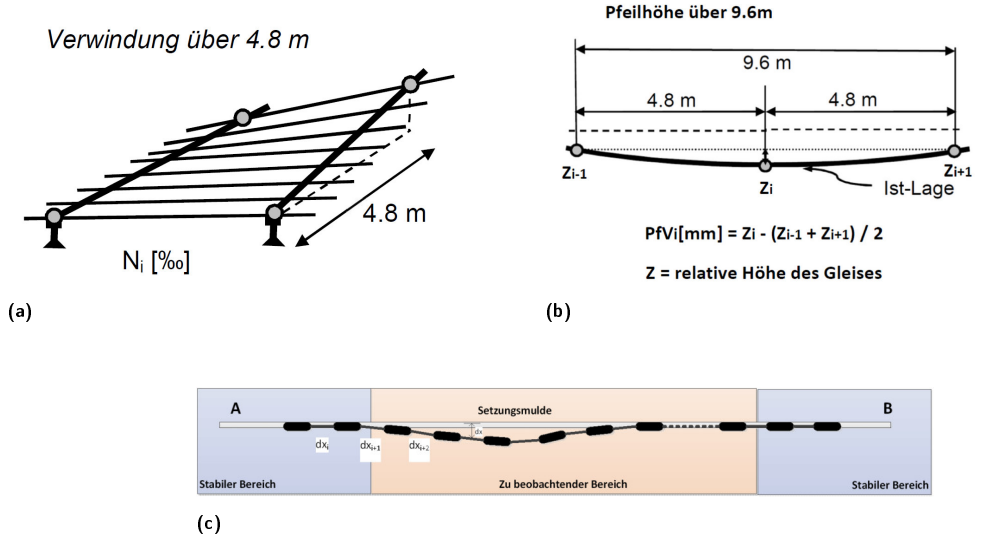


Abbildung 3: (a) Gleisverwindung. (b) Pfeilhöhenberechnung. (c) Schematische Darstellung einer Setzungsmulde.

3. Projekt Tunnel Rastatt

3.1. Allgemein

Im Rahmen der Aus- und Neubaustrecke (ABS / NBS) Karlsruhe - Basel wird im Streckenabschnitt I „Karlsruhe – Rastatt“ eine zweigleisige Neubaustrecke (Strecken-Nr. 4280) für den Hochgeschwindigkeits- und Güterverkehr errichtet.



Abbildung 4: Projekt Tunnel Rastatt

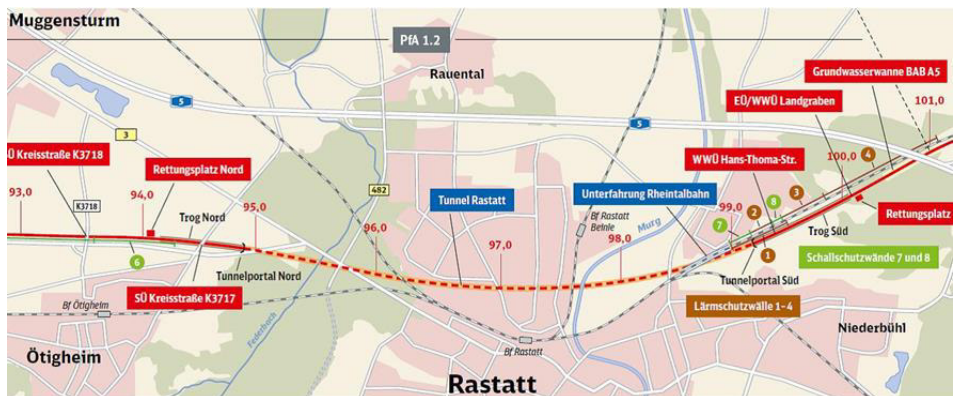


Abbildung 5: Übersicht der Strecke (aus Infobroschüre der DB ProjektBau GmbH)

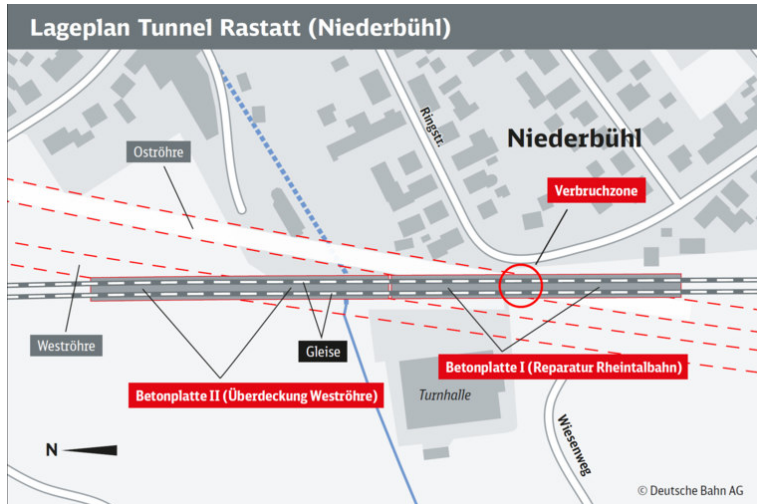


Abbildung 6: Kreuzung Tunnel Rastatt / bestehende Rheintalbahn

Bei dem Projekt „Tunnel Rastatt“ handelt es sich um die Errichtung des eingleisigen, zweiröhriigen Tunnels Rastatt mit einer Länge von ca. 4.270 m sowie der vor- und nachgelagerten Trogbauwerke. Der Tunnel Rastatt unterquert das Stadtgebiet von Rastatt sowie die Federbachniederung. Er beginnt östlich von Ötigheim und endet südlich von Rastatt im Bereich Niederbühl.



Abbildung 7: Installierte Messsysteme (geodätisch und geotechnisch)

Das Bauwerk beginnt im Norden als Grundwasserwanne auf Gemarkung Ötigheim, die Strecke verläuft anschließend in Tunnellage. Der Tunnel unterquert im Norden zunächst die Federbachniederung, danach das gesamte Stadtgebiet Rastatt bis in den Bereich Niederbühl. Daran anschließend erfolgt die Streckenführung auf der Gemarkung Niederbühl wieder innerhalb einer Grundwasserwanne. Zusammen mit den nördlich und südlich anschließenden Trogbauwerken ergibt sich eine Gesamtlänge des Ingenieurbauwerkes von ca. 6 km.

Im Bereich des Ortsteils Niederbühl wird die vorhandene Rheintalbahn mit geringen Überdeckungen mit einer TVM im Schutze einer Vereisung unterquert. Nördlich und südlich der Rheintalbahn werden Zwischenschächte zur Herstellung der Vereisungsbohrungen direkt am Bahnkörper errichtet.

Aufgrund der sehr geringen Überdeckung und des spitzen Kreuzungswinkels werden hier seitens der Deutschen Bahn besondere Anforderungen hinsichtlich der Sicherheit der Fahrgäste und der Beeinträchtigung des Bahnbetriebes gestellt. Die Beeinflussung des Bahnbetriebes soll möglichst gering sein.

Bauabläufe, die in unmittelbarer Nähe bzw. direkten Einflussbereich einer aktiven Bahntrasse erfolgen, können eine Gefahr für den Zugverkehr bedeuten. Um das Gefahrenpotential so gering wie möglich zu halten und den Normalbetrieb der Bahn zu gewährleisten, ist der Einsatz qualifizierter Überwachungssysteme erforderlich.

Für das Projekt „Tunnel Rastatt, Unterfahrung der Rheintalbahn bei Niederbühl durch eine TVM im Schutze einer Vereisung“ ist eine permanente Überwachung der Bahntechnikanlagen unter Berücksichtigung von Grenzwerten, Meldeprozessen etc. erforderlich.

3.2. Geodätisches Überwachungssystem

Das im Einsatz befindliche automatische 3D-Monitoring mittels Präzisionstachymeter für den vorgeannten Bauabschnitt gewährleistet eine relative Messsicherheit während des gesamten Betriebs. Zahlreiche Ursachen können das System durch Störungen jedoch negativ beeinflussen, wie zum Beispiel:

- Witterungsverhältnisse (starker Nebel, Regen, Schneefall, etc.)
- Verschmutzung der Prismen
- Unterbrechung der Sichtverbindung temporär oder permanent
- Stromausfall

Diese Art von Einflüssen auf die Messgenauigkeit und die Zuverlässigkeit wurden bei Vorgängerprojekten im Rahmen der ABS/NBS Karlsruhe – Basel, wie dem Bau des Katzenbergtunnels (PfA 9.1), der Grundwasserwanne BAB A5 (PfA 1.2), und bei dem zurzeit laufenden Projekt Tunnel Rastatt-Vereisungsbereich, ebenfalls festgestellt.

Durch die oben beschriebenen Umstände kam es in den Projekten jeweils zu Ausfällen im Messsystem. Dies führt zwangsläufig zu Risiken, sowohl für den Bahnbetrieb als auch für die Baumaßnahme.

Das Projekt „Tunnel Rastatt, Unterfahrung der Rheintalbahn bei Niederbühl durch eine TVM im Schutze einer Vereisung“ macht es jedoch aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten zwingend erforderlich, eine lückenlose permanente Überwachung zu gewährleisten, da hier eine zentrale und sehr stark befahrene Bahnstrecke unterfahren wird. Es ist daher sicherzustellen, dass Veränderungen an den Gleisanlagen in Echtzeit erfasst werden und der Bahn- und Baubetrieb auf der Grundlage des Alarmplanes umgehend reagieren kann.

Auf Grund der vorgenannten negativen Einflussgrößen wurde ein neues Messverfahren entwickelt, um das konventionelle Monitoring mit Tachymetern zu ergänzen und die bekannten Schwachstellen auszugleichen. Dabei ist es wichtig, dass beide Messsysteme zwar unabhängig voneinander arbeiten, die Ergebnisse hingegen unmittelbar gegenseitig abgeglichen werden können.



Abbildung 8: Quer- und Längsneigungssensoren Amberg TrackControl

3.3. Geotechnisches Überwachungssystem

Aufgrund des schleifenden Winkels der Tunnelunterfahrung mit der Rheintalbahn hat das Monitoring Rtb - GM4 - eine Länge von 500m. Über die zu überwachenden Streckenabschnitte wurden im Abstand von 4,8m Messquerschnitte eingerichtet. Hier sind auf den Betonschwellen beider Strecken der Rheintalbahn Prismen und Querneigungssensoren angebracht.

Die Querneigungssensoren sind mittig auf den Betonschwellen alle 4,8m aufgeklebt. Zum Schutz vor mechanischer Zerstörung und Sonneneinstrahlung sind über den Sensoren Schutzhauben aus Stahlblech montiert. Die Querneigungssensoren messen die Neigung direkt, so dass die gegenseitige Höhenlage (GH) als wichtigster Überwachungsparameter ohne zusätzliche Berechnung bestimmt wird. Aus den Neigungsänderungen der einzelnen Messquerschnitte (MQ) wird die Verwindung (Vw) berechnet. Zur permanenten Überwachung der Gleise in Längsrichtung mittels elektronischen Neigungssensoren sind an beiden Richtungsgleisen, jeweils an der westlichen Schiene, elektronische Längsneigungssensoren angebracht. Der Abstand der einzelnen Sensoren beträgt 1.2 m. Über die gemessenen Neigungen der Längsneigungssensoren wird die Höhenentwicklung des Gleises in Längsrichtung bestimmt und die Pfeilhöhe vertikal (Pfv) ermittelt.

Zur Überwachung der Oberleitungsmasten sind an jedem Mast jeweils zwei Glasprismen und ein biaxialer Neigungssensor angebracht. Über die automatischen Tachymeter werden die Koordinaten der Glasprismen gemessen und daraus die Neigungen der Masten berechnet. Die biaxialen Neigungssensoren messen die Neigungen der Masten direkt in Längs- und Querrichtung zum Gleis.

Nach der Havarie wurden Gleistragplatten aus Stahlbeton erstellt und Messquerschnitte mit Glasprismen und Neigungssensoren eingerichtet, um die Bewegung der Betonplatten beobachten zu können. Des Weiteren wurden zwei permanent messende Geophone (jeweils an den südöstlichen Ecken der West- und Ostplatte) zur Überwachung des Schwingungsverhaltens der Stahlbetonplatten installiert. Das Messintervall der elektronischen Quer- und Längsneigungssensoren beträgt 1 Minute. Die Glasprismen werden im Intervall von 20 Minuten gemessen.

Die Ergebnisse beider Monitoringsysteme werden automatisch unmittelbar nach der Berechnung der einzelnen Parameter in das Dateninformationsportal des Projektes hochgeladen. Das Dateninformationsportal prüft die Messwerte hinsichtlich Überschreitungen vordefinierter Warn-, Alarm- bzw. Eingreifwerte und löst, entsprechend des im Alarmplan festgelegten Personenkreises, via E-Mail und/oder SMS Alarmnachrichten aus.

Im Monitoring Rheintalbahn werden 900 elektronische Neigungssensoren eingesetzt. Bei einem Messintervall von 1 Minute ergibt dies stündlich 54.000 und täglich 1.296.000 Messwerte, welche in das Dateninformationsportal des Projekts hochgeladen und hinsichtlich der Alarmstufen überprüft werden.

3.4. Resultate

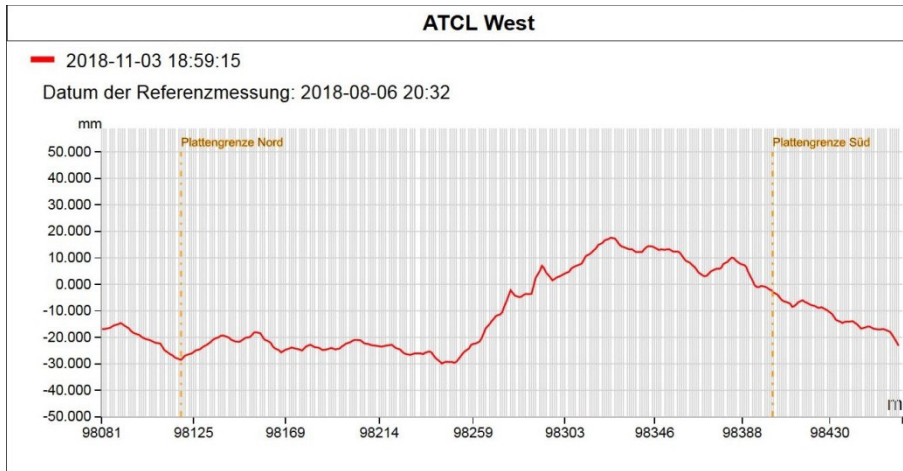


Abbildung 9: Längenprofil

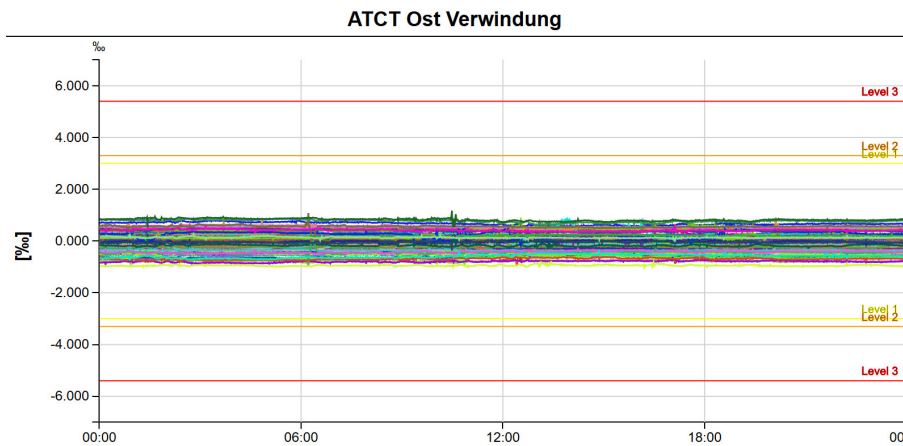


Abbildung 10: Verwindung über einen Tag

In Abbildung 9 ist der vertikale Verlauf des Westgleises ersichtlich. Die Messungen erfolgen jede Minute, die Darstellung beschränkt sich auf ausgewählte Profile alle 3 Stunden plus die aktuelle Messung. Immer an den Enden der Ketten ist jeweils ein Prisma installiert, welches vom tachymetrischen Monitoring erfasst wird. Die Koordinaten werden automatisch in TrackControl übertragen und fließen in die Berechnung des vertikalen Verlaufs ein.

In Abbildung 10 sind alle Verwindungen des Ostgleises dargestellt. Anomalien sind schnell auf einen Blick erkannt.

3.5. Havarie vom 12. August 2017



Abbildung 11: Havarie vom 12. 08. 2017

(Quelle: Taberg)

Stellungnahme DB:

„Die Sicherungssysteme (Anm.: geotechnisches und geodätisches System) schlugen Alarm und schnell konnte reagiert werden. So kam niemand zu Schaden, die Rheintalbahn wurde gesperrt.“ (O-Ton DB, aktuelles Video auf YouTube: https://youtu.be/qS_yu9zO5fU)

3.6. Learnings

3.6.1. Tachymetrisches Monitoring

Monitoring mit Tachymetern ist sehr stark von den Witterungseinflüssen abhängig. Neben Regen, Schnee, Eisbildung und Nebel beeinflussen auch hohe Temperaturen mit Luftflimmern die Messergebnisse, die Genauigkeit und Zuverlässigkeit.

Ferner konnte festgestellt werden, dass die Glasprismen durch den Bremsstaub und Schmutz nur eine begrenzte Lebensdauer aufweisen und mehrfach ausgetauscht werden müssen. Aufgrund der Tatsache, dass die Glasprismen auf den Betonschwellen ungeschützt sind, werden sie immer wieder durch mechanische Beeinflussung verdreht oder gar zerstört und können daher nicht mehr angezielt werden. In

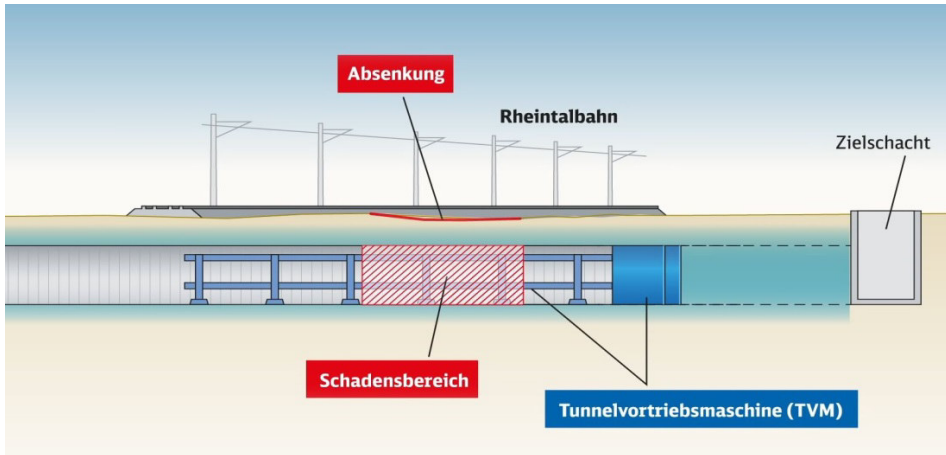


Abbildung 12: Sicherungsmassnahmen

(Quelle DB)

einem wöchentlichen Rhythmus werden die Glasprismen hinsichtlich vorgenannter Punkte überprüft, ggf. korrigiert oder komplett ausgetauscht. Dazu muss der gesamte Streckenabschnitt begangen werden.

Über die 3D-Koordinaten der Glasprismen werden über mehrere Zwischenrechnungen die Überwachungsparameter berechnet und in das Dateninformationsportal hochgeladen. Dieser Mess- und Berechnungsvorgang dauert zwangsläufig mehrere Minuten Zeit, was mit dieser Messmethode technisch nicht weiter verbessert werden kann. Die Möglichkeiten zur Reduzierung der Messzeiten sind ausgeschöpft.

3.6.2. Geotechnisches Monitoring mit Amberg TrackControl

Dank der in Kapitel 3.3 beschriebenen Installationsart konnte der Ausfall von Sensoren gering gehalten werden. In den ca. 8 Monaten seit der Installation der Querneigungssensoren mussten nur wenige Schutzhauben (< 10 Stück) neu geklebt werden. Witterungseinflüsse schränken die Funktionalität und Genauigkeit der elektronischen Neigungssensoren nicht ein.

Die Erfahrungen aus dem Einsatz der vorgenannten Messtechnik bzw. der Kombination der Messsysteme zeigen, dass sich Fehlalarme, resultierend aus Fehlmessungen nicht gänzlich vermeiden lassen. Der prozentuale Anteil an Fehlmessungen / Fehlalarmen liegt bei ca. 0,002% der Messwerte. Damit bietet das System eine hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit.

Aufgrund des Einbaus von zusätzlichen Messstationen (Hardware außerhalb der Strecke) und aufgrund von kontinuierlichen Verbesserungen der Software der elektronischen Neigungssensoren konnten Fehlalarme auf ein Minimum reduziert werden.

Nutzen

- Witterungsunabhängiges Messsystem
- Kurze Messzeiten im 1 Minutentakt



Abbildung 13: Tunnel Rastatt mit Amberg TrackControl

- Hohe Genauigkeit bei der Messung der Vertikalbewegungen (Pfeilhöhen, Verwindung und Setzungsmulden)
- Geringere Störanfälligkeit gegenüber anderen Messsystemen
- Gewährleistung der Betriebsicherheit durch hohe Zuverlässigkeit
- Geringe Installationszeiten
- Der Einsatz der Längs- und Quersensoren ermöglicht eine komplexe Auswertung und Analyse der Gleisparameter
- Datentransfer der Messwerte auf Dritt-Plattformen mit Warn- und Alarmwertbegrenzung
- Automatische Datenintegration von Drittsystemen

Mehrwert gegenüber Tachymeter-Monitoring

- Kostengünstige Messtechnik
- Erheblich geringere Anzahl von Tachymetern, dadurch Kostenreduzierung
- Kürzere Messzeit bei gleicher Genauigkeit
- Wegfall der Aufwendungen für Prismen Wechsel, Justierung und Erneuerung
- Geringere Wartungskosten
- Reduzierung der Kosten durch Beschädigung bzw. Vandalismus
- Höhere Ausfallsicherheit, dadurch höhere Sicherheit für den Bahnbetrieb

4. Projekt Ingolstadt



Abbildung 14: Hauptbahnhof Ingolstadt

4.1. Allgemein

Unter dem Gleisfeld im Hauptbahnhof Ingolstadt wurde ein neuer Mischwasser-Durchlass für die Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR gebaut. Der Durchlass mit einer Länge von ca. 220 m und einem Durchmesser von 1500 mm unterquert dabei 29 Gleise des HBF Ingolstadt. 21 Gleise betreffen den Güterbahnhof, welcher insbesondere die Hauptverladestelle der Audi Werke und der Bayernöl Raffinerie darstellt. Die Hauptgleise des Bahnhofs gehören zur Ende 2017 eröffneten Schnellfahrstrecke München – Berlin.

Um einen reibungslosen Betrieb den Bahnanlagen zu gewährleisten evaluierte die hkc GmbH, Ingenieur Consult eine permanente Überwachungsanlage. Da ein optisches System mit Tachymetern infolge schwieriger Sichtbedingungen wegen der vielen Gleise und den darauf abgestellten Zügen ungeeignet war, fiel die Entscheidung für ein System mit geotechnischen Sensoren. Die Vergabe der Überwachung ging an die IngenieurTeam GEO GmbH mit Sitz in Karlsruhe und als Subunternehmer bekam Amberg Technologies AG mit dem System Amberg TrackControl den Zuschlag.

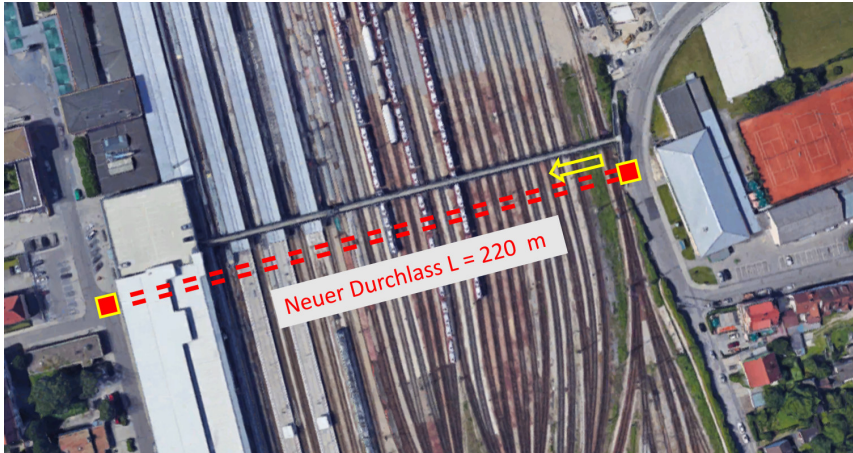


Abbildung 15: Lage des Durchlasses

Der Schacht wurde mit einem hydraulischen Rohrvortrieb aufgeföhren, wobei die Überdeckung zwischen OK Durchlass und den Gleisen lediglich z. T lediglich 2 m betrug. Die Vortriebsdauer wurde mit ca. 28 Tagen veranschlagt. 10 Tage davon fielen in den kritischen Bereich der 8 Betriebsgleise, der Schnellfahrstrecke. Die maximal erwartete Setzung über der Schachtachse betrug 15 mm.



Abbildung 16: Startschacht des Pressvortriebs

4.2. Mess-System

Eine Überwachung mit dem Standard TrackControl System bedeutete, dass 29 Ketten benötigt würden. Das hätte den Kostenrahmen für die Überwachungsmaßnahme gesprengt. In Abstimmung mit der DB AG wurde daher entschieden, dass der Überwachungsbereich im Güterbahnhof ± 7 m und bei den Hauptgleisen ± 14 m ausreichend ist. Auf dieser Basis hat Amberg Technologies Spezialversionen der ATC-Ketten mit Viertel- und Halblängen produziert. Damit konnte der ganze Bahnhofsbereich mit 550 Sensoren überwacht werden.

Die Installationsarbeiten wurden auf den Gütergleisen tagsüber und auf den Betriebsgleisen nachts in Sperrzeiten durchgeführt. Die gesamte Installation konnte innerhalb von 4 Tagen mit 5 Personen durchgeführt werden.

Amberg TrackControl lieferte im Minutentakt zuverlässig Resultate zu Überhöhungen, Verwindungen und vertikalen Pfeilhöhen. Die Alarmierung im Falle von Grenzwertüberschreitungen wurde direkt an den Fahrdienstleiter und die Projektleitung weitergeleitet.

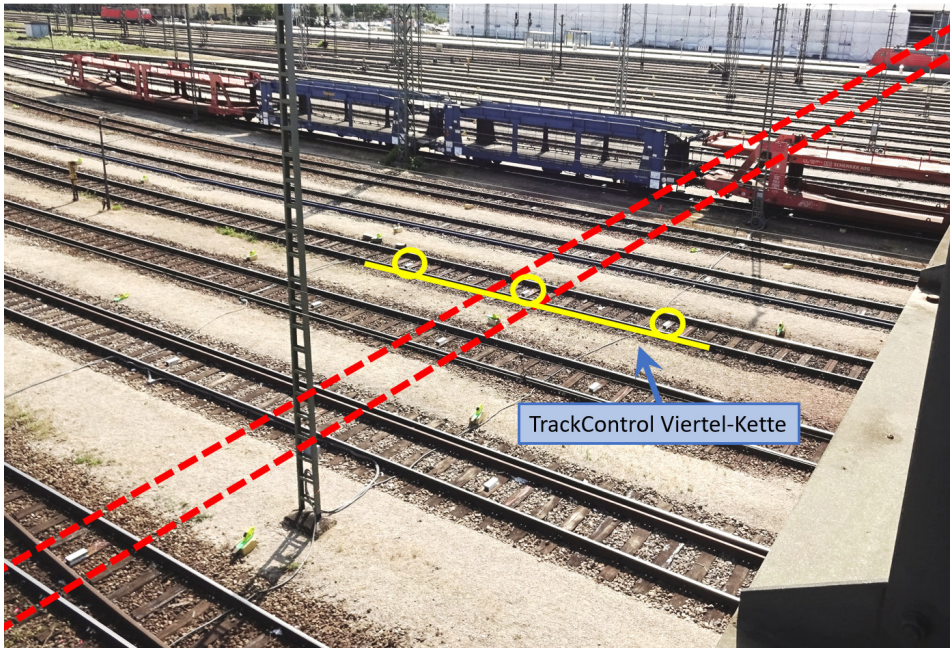


Abbildung 17: TrackControl Sensoren über dem Pressschacht

4.3. Resultate

Die permanenten Messungen haben die Voraussagen für Hebungen und Setzungen weitgehend bestätigt:

- Im Bereich der Kettenenden blieben die Gleise stabil

- Während der Unterquerung der Gleise durch die Tunnelbohrmaschine wurde eine Hebung des entsprechenden Gleises von bis zu 30 mm festgestellt
- Die Gleislage normalisierte sich nach der Durchfahrt der TBM wieder und die Setzung lag schlussendlich bei ca. 5-10 mm, was innerhalb der vorhergesagten Setzung lag
- Dieselben Bewegungen wurden ebenfalls bei den Verwindungen und den vertikalen Pfeilhöhen festgestellt

In den Abbildungen 18 – 20 wird die Bewegung vom Betriebsgleis 7 während der Unterfahrung durch die TBM am 11./12. September 2018 aufgezeigt.

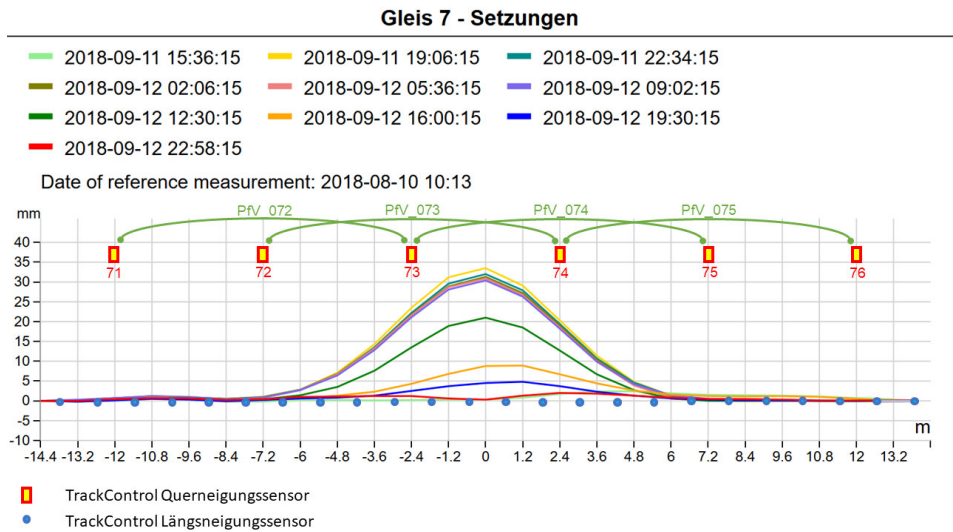


Abbildung 18: TrackControl Setzungsmulde

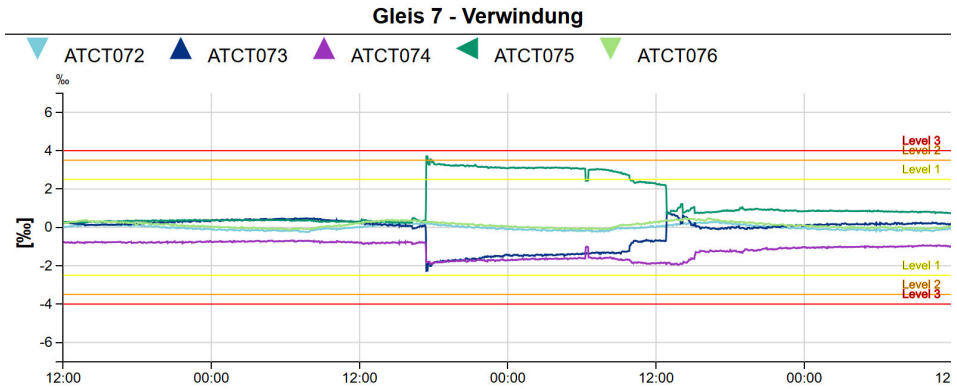


Abbildung 19: TrackControl Verwindung Gleis 7 während der Unterfahrung

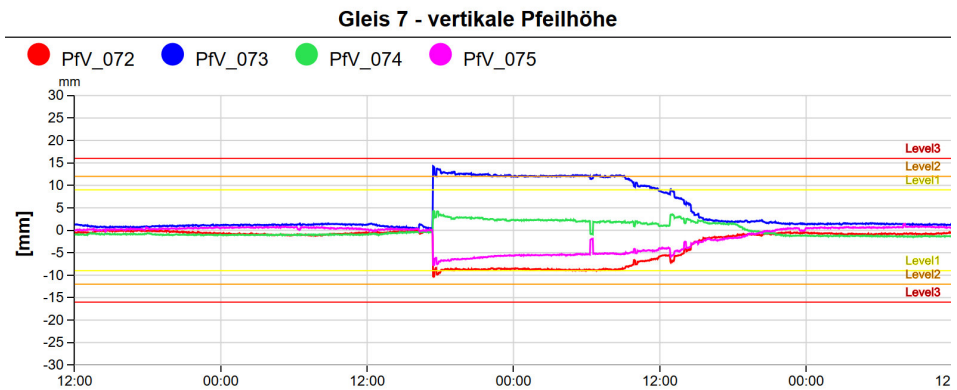


Abbildung 20: TrackControl vertikale Pfeilhöhe Gleis 7 während der Unterfahrung

Die Abbildung 21 zeigt die Gleislage im Zeitraum von 1-3 Wochen nach der Unterfahrung. Das Gleis stabilisierte sich bei einer maximalen Setzung von -5 bis -7 mm. Die Streuung der Setzungskurven in diesem Zeitraum spiegelt in etwa die Messgenauigkeit wieder.

Gleis 7 - Setzungen

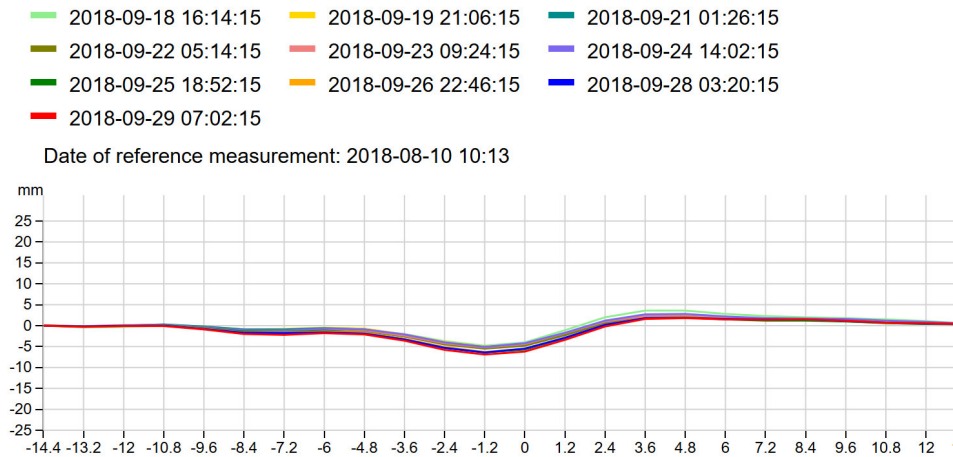


Abbildung 21: TrackControl Setzungsmulde, Lage nach der Unterfahrung

4.4. Learnings

- Installation mit eingespielter Truppe in Zugpausen möglich
- Bei einem Pressvortrieb, senkrecht zur Gleisachse reichen im Normalfall ± 7 m. Ausserhalb dieses Bereichs wurden keine Veränderungen am Gleis festgestellt
- Durch die Beobachtung der Messresultate kann der Anpressdruck und/oder die Vortriebsgeschwindigkeit optimiert werden
- Eine betriebseinschränkende Gleisverformung trat nicht ein
- Mit Abschluss der Unterfahrung ist eine Korrekturstopfgang oder händische Lagekorrektur durchgeführt worden

5. Fazit & Ausblick

5.1. Installation

Die Erfahrungen aus den beiden vorgestellten Projekten und weiteren Installationen hat gezeigt, dass die Qualität der Installation entscheidend für stabile Messresultate ist. Insbesondere bei den Querneigungssensoren muss die Art der Installation den Schwellentypen angepasst werden. Auf Beton trocken, staub- und fettfrei ist. Bei Holzschwellen ist eine Lösung mit geschraubten Halterungen von Vorteil, sogar zwingend, wenn die Installation bei feuchtem Wetter oder Temperaturen um den Gefrierpunkt erfolgen muss.

5.2. TrackControl mit Stützpunkten

Werden mehrere aneinandergereihte Ketten gemessen sollte auch die Erfassung der Stützpunkte möglichst witterungsunabhängig sein. Die Lösung mit Tachymetern hat sich dabei nur bedingt bewährt. Insbesondere in Phasen mit Nebel wurden größere Messausfälle festgestellt. Langzeittests mit GNSS Sensoren auf den Schwellen bei den Kettenverbindungen haben sehr zuverlässige Resultate in Lage und Höhe gezeigt. Damit kann für eine Langzeitüberwachung für die Berechnung von Setzungsmulden eine Alternative zum Tachymeter eingesetzt werden. Die kurzzeitige Alarmierung erfolgt über die lokalen Parameter Verwindung und vertikale Pfeilhöhe.



Abbildung 22: Kombination von Gleisprisma, TrackControl Sensoren und GNSS Sensor

Quellennachweise

Alle Bilder und Diagramme © Amberg Technologies AG und Taberg-isb mit Ausnahme:

- Bild 3a, 3b Schweizerische Bundesbahn SBB
- Bild 5, 6, 12 DB ProjektBau GmbH / Deutsche Bahn
- Bild 14 Hintergrund Google Maps