

## **Zerstörungsfreie Überwachung der Schienenlängsspannungen im Rahmen des Projekts City Tunnel Leipzig**

Dr.-Ing. Alfred Wegner, Goldschmidt Themit GmbH, Leipzig  
Dipl.-Ing. Peter Kilian, SSF UND PARTNER, Halle (Saale)  
Dipl.-Ing. Hans-Otto Cramer, DEGES, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, Berlin

### **Einführung**

Im Rahmen des insgesamt 4 Kilometer umfassenden und in drei Rohbaulose aufgeteilten Projektes City Tunnel Leipzig ist auch die Unterfahrung des Leipziger Hauptbahnhofes vorgesehen. Für diesen, zusammen mit den sich in Richtung Norden anschließenden Bauwerken in Los C zusammengefassten und als Nord- und Westrampe bezeichneten Bereich wurde ein Tunnelabschnitt mit Überwerfungsbauwerk realisiert, wobei die Anbindung an das bestehende oberirdische Netz durch Rampen erfolgte. Für die Realisierung dieser Arbeiten waren im Gleisvorfeld des Leipziger Hauptbahnhofes Gleisverlegungen sowie die Aufstellung von Behelfsbrücken über die Baugruben erforderlich.

Gegen Ende des ersten Quartals 2007 wurden zur Gewährleistung der Gleisverfügbarkeit für den Nah- und Fernverkehr im Bereich der Nord- und Westrampe während einer Sperrpause mehrere Hilfsbrücken auf Bohrpfehlen hergestellt, wobei unmittelbar unter diesen Hilfsbrücken die Bauarbeiten am Tunnel fortgesetzt wurden. Bei den Hilfsbrücken handelt es sich um typisierte Hilfsbrücken nach Ril 804 Modul 804.9050. Gemäß den Forderungen des Eisenbahnbundesamtes war es erforderlich, an den über diese Hilfsbrücken führenden lückenlos verschweißten Gleisen Langzeitmessungen der Schienenlängsspannungen durchzuführen. Diese Messungen erfolgten mittels Dehnungsmessstreifen und teilweise mit der zerstörungsfreien Messtechnik RailScan.

### **Langzeitmessungen der Schienenlängsspannungen**

Vor der Herstellung des lückenlosen Gleises durch Schlußschweißung im Bereich der Hilfsbrücken wurden auf den unverschweißten Schienen zunächst jeweils ein Dehnungsmessstreifen zur Prüfung der Einstellung des Verspanngrades angebracht. Nach erfolgter Verspannung der Schienen wurden daraufhin auf einer Länge von ca. 110 Metern jeweils weitere 10 DMS angebracht und für Spannungsaufzeichnungen vorbereitet.

Nach Inbetriebnahme der Hilfsbrücken Ende März 2007 wurden zunächst während einer Woche tägliche Spannungsmessungen durchgeführt, anschließend während eines Zeitraumes von einem Monat einmal wöchentlich und daraufhin bis heute einmal monatlich. Dabei wurde jeweils der Spannungszustand aus jedem der insgesamt 40 Dehnungsmessstreifen ausgelesen und protokolliert.

### **Messergebnisse - Maßnahmen**

Die Überprüfung der Schlußschweißungen der 4 Schienen vor und am Tag der Inbetriebnahme ergab, dass die Schienenlängsspannungen der Stränge 1 und 4 im

zulässigen Bereich lagen, die Stränge 2 und 3 aber Spannungen um ca. 2,5 und 1,4 MPa unterhalb der unteren Toleranzgrenze aufweisen, die Spannungen lagen also in diesen beiden Strängen bereits vor Inbetriebnahme leicht unter den zulässigen Werten und wurden weiter regelmäßig überprüft.

Während der folgenden periodischen Messungen zeigte sich, dass sich der Verspanngrad in Richtung der Brückenlängsordinate geändert hatte und zudem über die Zeit änderte. Bis auf Schiene 1 wiesen bis Mai 2007 alle anderen Schienen zwischen den Brückenendauflegern Bereiche mit zum Teil deutlich zu geringem Verspanngrad auf. Ursache für diese Änderungen könnten erfolgte Verschiebungen in horizontaler und vertikaler Richtung sowie Hebungs- und Setzungsvorgänge von Gleisoberbau und Brücke gewesen sein. Aus dem Bewegungs- und Deformationsmonitoring- Nivellement war jedoch ersichtlich, dass die Hebungen und Setzungen im Bereich der Hilfsbrücke maximal nur weniger als zwei Millimeter betrugten, dagegen im sich unmittelbar an die Brücke anschließenden Gleisbereich größer waren. Hier wurden Unterschiede bis zu ca. -18 Millimeter, bezogen auf die Nullmessung, nachgewiesen. Da in den Bereichen, in denen Spannungen unterhalb der unteren Toleranzgrenze nachgewiesen wurden, bei hohen Schientemperaturen unzulässig große Druckspannungen auftreten können, wurde zu diesem Zeitpunkt empfohlen, die Schienen/Gleise, die eine Neutraltemperatur von kleiner als 17 °C aufwiesen, neu zu verspannen.

Während dieser Maßnahme zur Wiederherstellung des alten Spannungszustandes wurde mittels DMS Technik sichergestellt, dass die Verspanntemperatur auf einen Wert nahe der oberen Toleranzgrenze von 26 °C eingestellt wurde. Nach dem Lösen der Schienenbefestigungsmittel, erfolgtem Trennschnitt und Entspannen der Schienen mittels Anschlagen wurde an allen 40 DMS eine Nullmessung durchgeführt. Anschließend wurde die Schientemperatur gemessen und die für die Verspanntemperatur von 26 °C aufzubringende Dehnung ermittelt. Die unmittelbar neben den Schlussschweißungen auf den Schienen befestigten DMS wurden für die Überprüfung und Sicherstellung der korrekten Verspanntemperatur herangezogen. Das Verspannen der Schienen erfolgte mittels Schienenziehgerät, da die auf den Schienen angebrachten DMS nicht flammbeständig sind. Nach erfolgtem Abgleich wurde die Freigabe zur Schweißung erteilt. Die Schienen wurden mit Hilfe des Schienenziehgerätes bis zum Erkalten der Schweißung gehalten. Danach erfolgte eine erneute DMS-Messung an allen 40 Messpunkten im verspannten Zustand sowie eine Berechnung der eingestellten Neutral-/Verspanntemperatur. Die mittels DMS gemessenen eingestellten Verspanntemperaturen im Bereich der Schlussschweißungen lagen zum Zeitpunkt unmittelbar nach dem Spannungsausgleich zwischen 24 °C und 26 °C, also wie erwünscht an der oberen Toleranzgrenze. Die Neutralisierung wurde damit erfolgreich und entsprechend der DB Ril 824.5010 durchgeführt.

Die während der weiteren Folgemessungen ermittelten Messwerte lagen ebenfalls innerhalb des Toleranzbereiches. Darüber hinaus zeigten die Einzelmesswerte der über die Hilfsbrücke verteilten DMS, dass sich der Verspanngrad seit dem Zeitpunkt der Schlussschweißung über die gesamte Brückenlänge homogenisiert hat. Dies wurde auch anhand von internen zerstörungsfreien RailScan Prüfungen bestätigt. Dieses Verfahren ist im folgenden Anhang kurz vorgestellt. Hinsichtlich der dauerhaften Einflüsse von thermischen Spannungszyklen sowie Lasten aufgrund des Zugbetriebes auf die Sonderkonstruktion der Hilfsbrücken zeigte sich die periodische

Spannungsüberwachung als ein sehr sinnvolles und hilfreiches Mittel zur Sicherstellung von Gleisqualität und -sicherheit.

### **Messdienstleistungen zur zerstörungsfreien Bestimmung der Neutraltemperatur in lückenlosen Gleisen mit RailScan – Technischer Hintergrund**

**Problemstellung/Prüfbedarf.** Das System Rad – Fahrweg besteht aus einzelnen Systemteilen, von denen die Komponenten des Fahrzeuges sehr gut bekannt sind und ihr Verhalten auch mathematisch gut beschreibbar ist. Der Fahrweg jedoch lässt sich in seinen Eigenschaften aufgrund des inhomogenen Verhaltens von Schotterbett, Planum und Untergrund analytisch nicht exakt beschreiben. Daher liegen heute hauptsächlich Erfahrungen vor, welche auf in empirischen Versuchen ermittelten Zusammenhängen und Kenngrößen basieren.

Da die Gleise des Fahrweges heute lückenlos verschweißt sind, entstehen infolge von Temperaturänderungen längsgerichtete Kräfte, welche zu hohen Zug- und Druckspannungen führen können. Die Neutraltemperatur definiert das Verteilungsverhältnis dieser Spannungen und ist die dem Gleis eingegebene und seine Spannungseigenschaften bestimmende Größe. Von der Neutraltemperatur hängen die Bruch- und Verwerfungssicherheit des Gleises, aber auch der Fahrkomfort in ganz entscheidendem Maße ab. Daher ist die Bewertung der Lagesicherheit des durchgehend geschweißten Gleises, Aufgabe der technischen Fahrwegüberwachung, unerlässlich. Da die Ursache für Änderungen der Gleisgeometrie maßgeblich in der Wirkung von Kräften begründet liegt, ist hierbei wichtig, die Gleissicherheit unter Einbeziehung dieser Kräfte zu ermitteln. Für diese, eine vorausschauende Instandhaltung ermöglichende Prüfung, wird ein zerstörungsfreies Messverfahren benötigt.

**Dienstleistung Zerstörungsfreie Neutraltemperaturvermessung mit dem Messgerät RailScan.** Das Messgerät RailScan ermöglicht die zerstörungsfreie Ermittlung der Schienenlängskräfte und der Neutraltemperatur im lückenlos verschweißten Gleis (Abb. 1). Das Gerät arbeitet berührungslos nach dem magneto-elastischen Prinzip und bietet die Möglichkeit der schnellen Vermessung und Dokumentation der Ist-Neutraltemperatur unterschiedlichster Schientypen. Durch Messung der magnetischen Kenngrößen werden Längsspannung in der Schiene und Neutraltemperatur ohne jeden Eingriff ins lückenlose Gleis bestimmt.

Das Gerät besteht aus einem Rahmen mit zwei Rädern zum handgeführten Verfahren auf der Schiene, einer auf dem Rahmen montierten zentralen Geräteeinheit und einem Messkopf. Die Geräteeinheit beinhaltet eine computergesteuerte Messelektronik. Die Stromversorgung erfolgt über einen mitgeführten Akku. Der Messkopf besteht aus zwei Backen, die mit Hilfe eines Bowdenzugs und Federn um den Schienenkopf gekoppelt werden (Abb. 2). Der Messkopf ist geometrisch an den entsprechenden Schientyp angepasst und ist leicht auswechselbar. Die Schienentemperatur wird mittels auf dem Gerät angebrachten Thermometern gemessen.

**Funktionsprinzip.** Durch Anlegen eines magnetischen Wechselfeldes wird die Schiene magnetisiert. Die magnetische Mikrostruktur der Schiene reagiert auf das Wechselfeld durch magnetische Ausrichtung. Dieser Vorgang ist mit einem geeigneten Prüfkopf messbar. Das Messsignal enthält die in der Schiene erzeugten Pulse und hat ein rauschähnliches Spektrum. Die Amplitude dieses magnetischen Barkhausenrauschens (MBR) ist deutlich von der Längsspannung in der Schiene abhängig. Spannung in Zugrichtung erhöht die Amplitude des MBR, Spannung in Druckrichtung führt auf kleinere Signalamplituden.



Abb. 1: Messgerät RailScan im Einsatz



Abb. 2: RailScan Prüfkopf, nach Positionierung des Gerätes an Schienenkopf angekoppelt. Die Qualität der Ankopplung wird durch Kontrollparameter sichergestellt und im Messgerät dokumentiert

**Arbeitsweise.** Die berührungslose Messung erfolgt Punktweise jeweils nach dem Positionieren des Gerätes und Koppeln des Prüfkopfes um den Schienenkopf (Abb. 2). Dabei wird die Schiene über ein Magnetfeld im akustischen Frequenzbereich angeregt und der Pegel des magnetischen Barkhausenrauschens an der Oberfläche des angeregten Bereichs gemessen. Eine Messreihe besteht aus 50 Einzelmesspunkten, die auf einer Messlänge von 30 oder 60 m verteilt werden können, andere Messlängen sind möglich. Die Messwerte werden automatisch im Gerät gespeichert.

**Auswertung.** Nach Abschluss der Messungen werden die Daten aus dem Messrechner ausgelesen und auf einem PC zur weiteren Auswertung gespeichert. Die Auswertung erfolgt nach Datenimport in einer Auswertesoftware. Das Ergebnis der Messung ist die graphische Darstellung der Einzelmesswerte Magnetischer Parameter  $\beta$ , Schienentemperatur, deren Mittelwerte (Abb. 3a) und die anhand von magnetischem Mittelwert und Kalibrierkurve bestimmte Längsspannung (Abb. 3b). Die

Ermittlung der Neutraltemperatur  $T_N$  erfolgt durch Berechnung anhand von Spannung, E-Modul, Ausdehnungskoeffizient und Schienentemperatur nach:

$$T_N [^\circ\text{C}] = \frac{\text{Lastspannung [MPa]}}{\text{Elastizitätsmodul [MPa]} \times \text{Ausdehnungskoeffizient [1/}^\circ\text{C]}} + \text{Schienentemperatur [}^\circ\text{C]}.$$

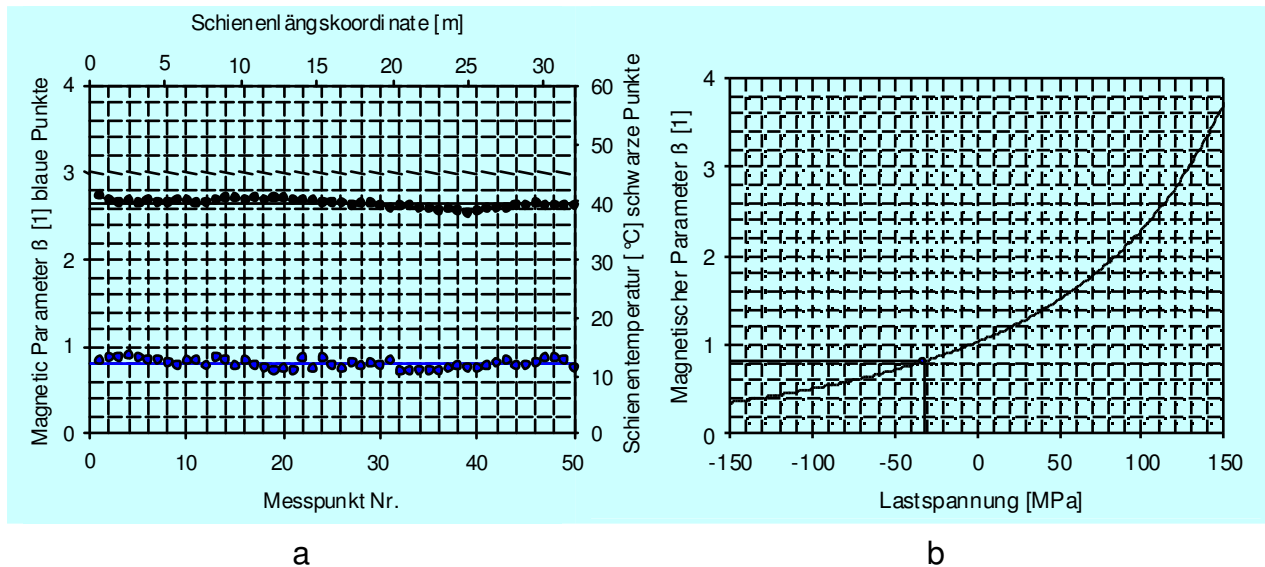


Abb. 3: Messergebnis: a: Spannungssensitiver Parameter  $\beta$ , mitgemessene Schienentemperatur und Mittelwerte, aufgetragen jeweils über Längskoordinate und Messpunkt- Nummer. b: Bestimmung der Längsspannung anhand des berechneten arithmetischen Mittelwertes von  $\beta$  und der schienentypenspezifischen Kalibrierkurve

**Ergebnistabelle/Messbericht.** Nach Abschluss der Auswertungen wird ein Bericht erstellt, aus dem alle Ergebnisse der Messungen hervorgehen. Tabelle 1 und Abb. 3 zeigen beispielhaft typische Neutraltemperatur- Messergebnisse, aufgetragen in tabellarischer Form (Tab. 1) sowie in Form einer Streckenskizze (Abb. 3). In der Ergebnistabelle sind alle wesentlichen Streckendaten enthalten. Inhalt und Form des Messberichtes können auf Anfrage individuell gestaltet werden.

Datum	Messort	Km	File	Schiene links	Schiene rechts	Ü-Bogen km aufwärts	Ü-Bogen Km abwärts	Bogen Innen - I Außen - O	$T_N$ [°C]
W10/11	S. Loop	102.401 – 102.523	S102_4T1		X	-		O	33.5
			S102_4T2	X		-		I	35.1
	Mangalore	108.996 – 109.362	S9		X	X		O	25.6
			S10	X		X		I	29.5
		109.392 – 109.908	S5	X		X		I	38.2
			S6		X	X		O	33.5
			S12		X	Bogenmitte		O	30.4
			S212	X		Bogenmitte		I	34
			S3		X		X	O	25.2
			S4	X			X	I	23.3
	Mangalore/Avend	112.751 – 113.300	M112T1	X		X		O	31.1
			T2		X	X		I	38
			T3	X			X	I	23.4
			T4		X		X	O	38.7

Tabelle 1: Typische Ergebnistabelle mit Streckendaten und Neutraltemperatur- Messergebnissen

**Kalibrierung.** Die Kalibrierung des Gerätes erfolgt vor dem Messeinsatz im Labor anhand von Kalibrierschienen. Dabei werden Messungen des MBR für unterschiedliche Längsspannungszustände durchgeführt und die Kalibrierkurve MBR als Funktion der Längsspannung aufgetragen. Damit kann die Neutraltemperatur des lückenlosen Gleises unter Berücksichtigung des Elastizitätsmoduls, des Längenausdehnungskoeffizienten und der Schientemperatur berechnet werden (siehe 2.4). Die Vorgehensweise bei der erstmaligen Einführung der Dienstleistung und Technik wird individuell an die Anforderungen, Verhältnisse vor Ort und Kundenwünsche angepasst. Eventuell empfiehlt es sich, vor Beginn der Messungen Vorabmessungen zur Prüfung von Geräteeinstellungen und Kalibrierung vorzunehmen. Elektro-Thermit verfügt über das Know-how und die Messausrüstung zur Durchführung aller Prüfungen.

**Spannungsmessungen mittels Dehnungsmessstreifen.** Die Dehnungsmessstreifentechnik ist eine bewährte konventionelle Messmethode, um den Verspannungszustand einer Schiene/ eines Gleises in Verbindung mit einem Trennschnitt zuverlässig festzustellen. Damit ist sie aber keine zerstörungsfreie Methode und durch den mit den Vorarbeiten, dem Schienenschnitt und der erforderlichen Wiederherstellung des lückenlosen Gleises durch Schlussschweißung verbundenen Aufwand darüber hinaus teuer im Vergleich zur vorgestellten zerstörungsfreien Messtechnik RailScan.

Kombiniert mit der RailScan Technik und unter Vermeidung von Schienenschnitten eingesetzt, kann sie aber zusätzliche und wertvolle Messergebnisse liefern. Bringt man die DMS vor der Herstellung des lückenlosen Gleises z. B. während eines Schienenwechsels oder einer Instandsetzungsmaßnahme auf den Schienen an, stehen diese als „Spannungsgedächtnis“ zum Beispiel für Langzeitmessungen und/oder periodischen Prüfungen zur Verfügung. Eine weitere nützliche Anwendung für die DMS ist die kontinuierliche Messung ganzer Temperaturzyklen, womit insbesondere Spannungsänderungen infolge von sich ändernden Verschiebe- und/oder Durchschubwiderständen nachgewiesen werden können.



7. Chemnitzer Bahnkreis Chemnitz, 4.- 5. März 2008

**Zerstörungsfreie Überwachungen der Schienenlängsspannungen im Rahmen des Projekts City Tunnel Leipzig**




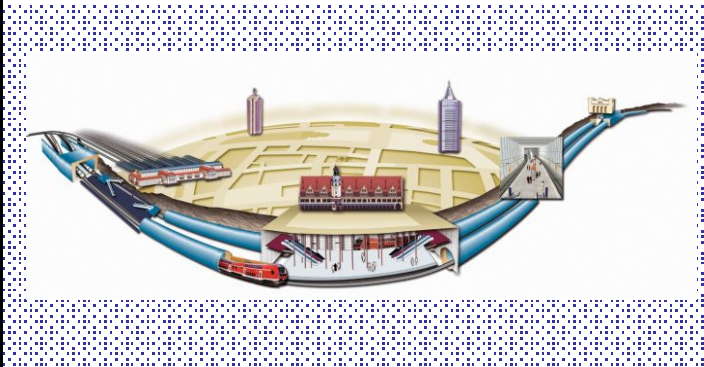
Dr.-Ing. Alfred Wegner, Goldschmidt-Thermit GmbH, Leipzig  
Dipl.-Ing. Peter Kilian SFF:UND:PARTNER, Halle (Saale)  
Dipl.-Ing. Hans-Cito Grone, DEGES, Deutsche Einheit  
Fernstraßenplanungs- und Bau GmbH, Berlin

**Kontakt: Elektro-Thermit GmbH & Co.KG, Halle-Saale, Germany**  
T. +49 (0) 3457795 802, Tel. +49(0) 172 2594791, [af.wegner@elektro-thermit.de](mailto:af.wegner@elektro-thermit.de), [www.elektro-thermit.de](http://www.elektro-thermit.de)



Goldschmidt-Thermit-Group

**Projekt City Tunnel Leipzig**



Goldschmidt-Thermit-Group

### Elektro-Thermit Messdienstleistungen – Ausrüstung/Geräte

Neutraltemperatur - RailScan
Spannungen - Mikromagnetik, DMS

#### Geometriemessverfahren

Gleisgeometrie
Ebenenicht
Verschiebbänder

Goldschmidt-Thermit-Group

Goldschmidt-Thermit-Group

### RailScan Neutraltemperaturmesstechnik – Definition der Neutraltemperatur

$$\sigma_x = \sigma_{xT} + \sigma_{xM} + \sigma_{xR}$$

(Thermisch) (Mechanisch) (Residual)

$$\sigma_x = E \times \alpha \times (T_N - T_R) + \dots \text{small} \dots + 0 \approx E \times \alpha \times (T_N - T_R)$$

vernachlässigt

**Neutraltemperatur  $T_N = \sigma_x \times E^{-1} \times \alpha^{-1} + T_R$**

Goldschmidt-Thermit-Group

Goldschmidt-Thermit-Group

### City Tunnel Leipzig - Spannungskontrolle auf Hilfsbrücken


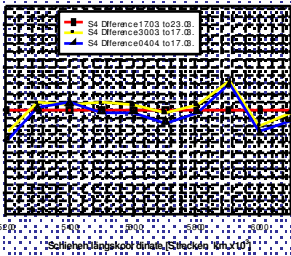
- Kontrolle der Verspanntemperatur
- Langzeitüberwachung von Schienenspannungen

Goldschmidt-Thermit-Group





Goldschmidt-Thermit-Group

### City Tunnel Leipzig - Spannungskontrolle auf Hilfsbrücken

Brückensetzungen führen u.U. zu Änderungen der Neutraltemperatur  
→ Spannungsüberwachung von EBA vorgeschrieben

Goldschmidt-Thermit-Group

### City Tunnel Leipzig - Spannungskontrolle auf Hilfsbrücken Umfangreiche Baumaßnahmen unter Hilfsbrückenkonstruktion

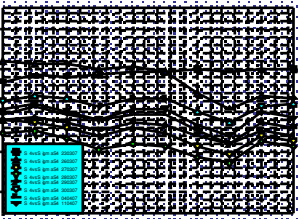
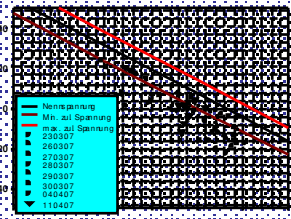






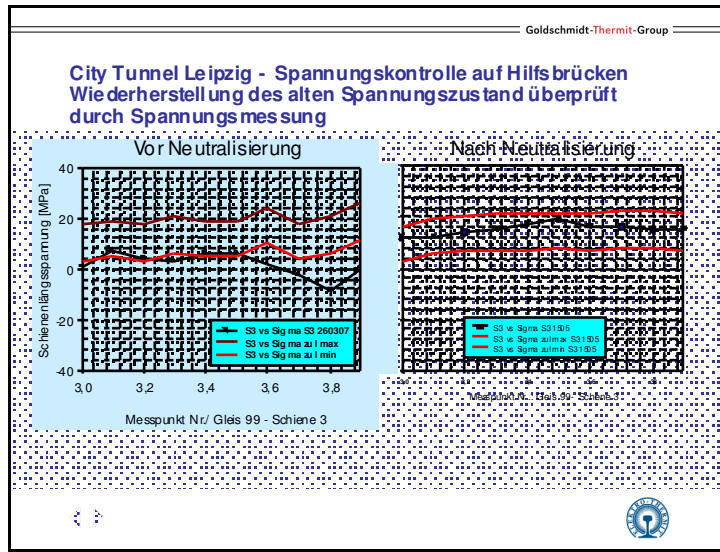

Goldschmidt-Thermit-Group

### City Tunnel Leipzig - Spannungskontrolle auf Hilfsbrücken

#### Detektion zu niedriger Schienenspannungen

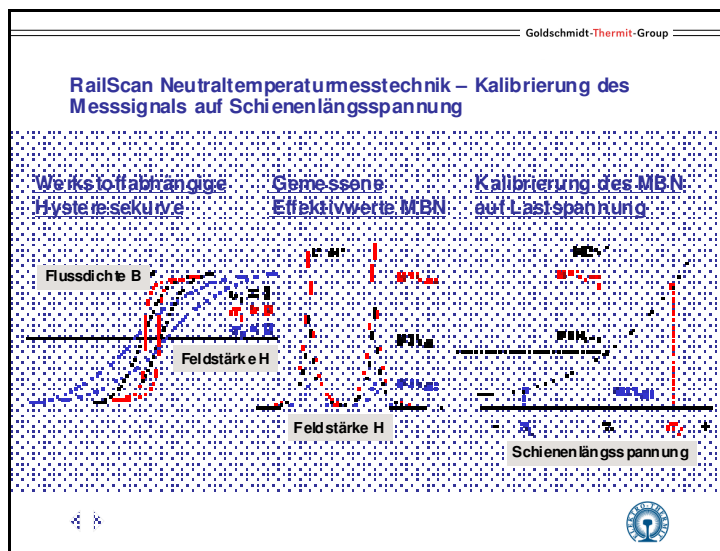
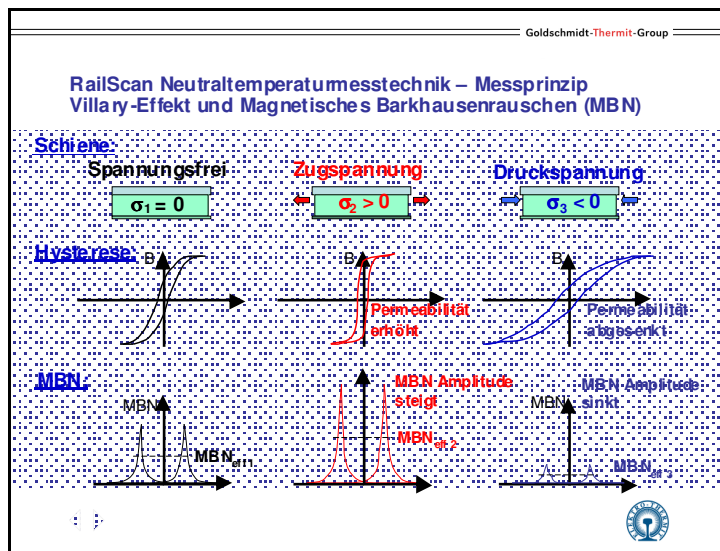


Goldschmidt-Thermit-Group

### RailScan - Spezifikation

#### Technische Daten


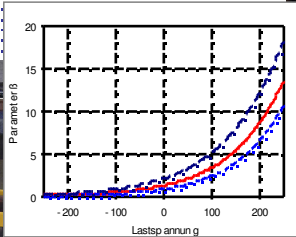

Messrate	100/h
Gehäufigkeit	± 3 °C
Gewicht	< 20 kg
Abmessungen	600x900x380 mm
Batteriestandzeit	min. 8h
Temperaturbereich:	
Luft	-10 - 55 °C
Schiene	-5 - 80 °C



Goldschmidt-Thermit-Group

### RailScan Neutraltemperaturesmesstechnik

- ✓ Kalibrierung im Prüfstand
- ✓ Messung im Gleis bei nur 1 Schienen-temperatur

Durchführung Kalibriermessung
Kalibrierkurve
Messung im Gleis

Goldschmidt-Thermit-Group

### RailScan Neutraltemperaturesmesstechnik – Durchführung der Messungen / Auswertung

Messung 1

Messung 2

Messung 3

Messung 4

**Aufnahme von 50 Einzelmesspunkten**  
Basislänge 33m/65m  
Benötigte Messzeit - 20min

↓

Datentransfer Messgerät - PC

↓

Auswertung der Messdaten  
Ergebnis: Neutraltemperaturwerte

Goldschmidt-Thermit-Group

Mess-Anfrage

↓

Benötigte Informationen - Kunde definiert Aufgabenstellung:

- > Gesamtlänge zu vermessende Strecke
- > Lage der Messorte
- > Angaben zu den Strecken: Geschwindigkeit, Befahrungsdichte/Sperrpause, Arbeitszeit (Tag/Nacht)
- > Angaben zum Oberbau: Neufstandgesetzt/alt
- > Schienen: Typen, Güten, Hersteller, Walzjahre
- > Weitere Angaben: Erf. Sicherheitsunterweisungen, erf. Ausrüstung (z.B. Kleidung)
- > Stellung der Sicherungsposten

Technologiezentrum ET Halle

- > Festlegung Vermessungsstrategie (MP-Abstand, Serienabstand, Anzahl Messeräte, Größe Messtrupp, ...)
- > Definition Kalibrierung: benötigte Kalibrierschienen, Zeitaufwand Kalibrierung, Verbrauchsmaterial
- > Benötigte Ausrüstung (Fahrzeuge, Sicherheitskleidung, Lampen, ...)
- > Erforderliche Ausbildung (Sicherheitsunterweisungen, Gleisbegehungsberechtigungen)

Angebot / Projektplan

Neutraltemperaturesmesstechnik - Projektentwicklung

