

Bolko Maiwald / Martin Krentz

Sanierung eines Setzungsschadens an der ICE-Hochgeschwindigkeitsstrecke Berlin-Hannover

An der ICE-Hochgeschwindigkeitsstrecke Berlin-Hannover kam es auf einem kurzen Stück zum Absacken des Gleiskörpers. An dieser Stelle der Strecke ist als Oberbau die Feste Fahrbahn verwendet worden. Mittels Injektionen wurde die Stelle saniert. Dafür wurde erstmals ein gesteuertes Bohrverfahren angewendet.

An der ICE-Hochgeschwindigkeitsstrecke Berlin-Hannover kam es bei km 120,283 auf einer Länge von etwa 40 m durch außergewöhnliche dynamische Belastungen infolge äußerer Einflüsse zum Absacken des Gleiskörpers. Im Gegensatz zu Schotterfahrwegen ist der Gleiskörper hier als Feste Fahrbahn ausgebildet. Hierbei wurde ein modifiziertes FF-System der Bauart „Rheda“ angewendet (Abb. 1). Die FF besteht aus einer hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT), auf der sich

die zu einem Trog ausgebildete Betontragschicht (BTS) befindet. In diesem Trog befinden sich die Betonschwellen mit der Quer- und Längsbewehrung, welche mit der BTS beim Einbau mit Beton vergossen werden. Auf den Schwellen befinden sich die Schienen mit ihren Befestigungs- und Federelementen. Die Strecke ist im betrachteten Bereich für eine Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h ausgebaut und soll evtl. in absehbarer Zeit auch für

Geschwindigkeiten von bis zu 300 km/h genutzt werden.

Nach Eintritt des Setzungsschadens mit maximalen Versackungen von ca. 20 mm wurden zunächst eine Sofortsicherung und provisorische Lagekorrekturen am Gleiskörper ausgeführt, so dass für das betroffene nördliche Gleis nach einer zwischenzeitlichen Langsamfahrstelle von 70 km/h eine Geschwindigkeit von 160 km/h wieder zugelassen werden konnte.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Martin Krentz, Fa. Martin Krentz Ingenieurdienst für Spezialtiefbau, Eyendorf und Dipl.-Ing. Bolko Maiwald, 1. Bezirksleiter Fahrbahn, DB Netz AG, Netzbezirk Wustermark

Abb. 1: Feste Fahrbahn mit Konsolen für das Digital-nivellier-System

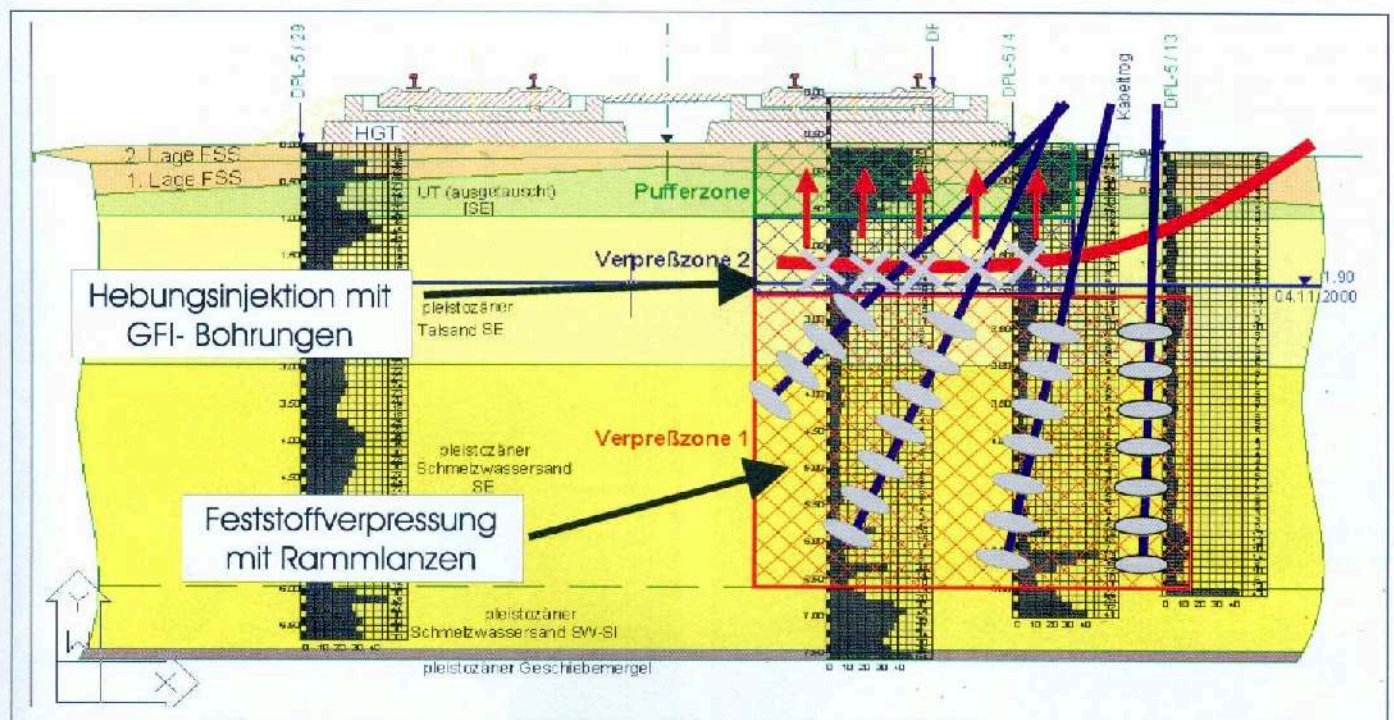


Abb. 2: Baugrundaufbau und Anordnung der Injektionsbohrungen



Abb. 3: Links Standort des Digitalnivelliers, rechts Ansatzpunkte der GFI-Bohrungen

Sanierungskonzept

Zur endgültigen Sanierung des Setzungsschadens wurde vom Ingenieurbüro „Baugrund Dresden“ im Auftrag der DB Netz AG ein Sanierungskonzept aufgestellt. Die Behandlung des Baugrundes sollte in zwei Schritten erfolgen:

Phase 1: Erhöhung der Lagerungsdichte im Bereich 2 m unter GOK bis 6 m GOK

Phase 2: Hebung des Fahrweges durch geeignete Behandlung des Baugrundes im Bereich 1 m unter GOK bis 2 m unter GOK.

Die Bauleistung wurde von der DB Netz AG beschränkt ausgeschrieben. Üblicherweise werden derartige Sanierungsaufgaben gelöst, indem die zur Bodeninjektion erforderlichen Ventilrohre mit nicht ge-

steuerten Spülbohrungen oder nach dem Überlagerungsbohrverfahren eingebracht werden. Durch die dafür notwendigen tiefen Schächte oder Baugruben, von denen aus die ungesteuerten Bohrungen horizontal angesetzt werden, besteht erhöhter Platzbedarf und eine zusätzliche Gefährdung des ohnehin gestörten Baugrundes ist zu befürchten.

Beauftragter Vorschlag der ARGE Spesa-Thellmann

Als Bietergemeinschaft schlugen die Firmen Spesa Spezialbau und Sanierung GmbH und Thellmann Horizontalbohrtechnik GmbH hingegen vor, Phase 1 mit Hilfe herkömmlicher Rammlanzeninjektionen auszuführen. Phase 2, Hebungsinjektion im Baugrundbereich 1 m bis 2 m

unter GOK, sollte nach diesem Plan mit Hilfe „Gesteuerter Flüssigkeitsgestützter Injektionsbohrungen“ (GFI-Bohrungen) ausgeführt werden.

Die Bietergemeinschaft erhielt den Zuschlag, weil sich ihr Vorschlag sowohl wirtschaftlich als auch technisch positiv von herkömmlichen Techniken abhob. Schächte und Baugruben waren nicht erforderlich (Abb. 2), zudem konnten im Baufeld vorhandene Leitungen sicher umfahren werden. Die Arbeiten wurden nahezu komplett vom Randbereich des Fahrweges her ausgeführt, so dass der Bahnverkehr kaum beeinträchtigt wurde.

Bauwerksbeobachtung

Wesentlicher Bestandteil des Gesamtkonzeptes war die messtechnische Beobachtung der Fahrbahn und der benachbarten Bauwerke während der Bohr- und Injektionsarbeiten. Dazu wurde ein digitales Nivelliersystem installiert, das in programmierbaren Zeitintervallen automatisch die Höhenlage des zweigleisigen Fahrweges und angrenzender Bauteile an ca. 70 Messpunkten mit einer Genauigkeit von 3/10 mm erfasste (Abb. 3). Zusätzlich wurde die Lage der Fahrbahn konventionell nivellitisch (Abb. 4) und mit einem sogenannten Zieltafel-Messsystem (Abb. 5) auf Laser-Basis mit 1/10 mm-Genauigkeit kontrolliert.

Ausführung Phase 1

Rund 2 bis 6 m unterhalb des sanierungsbedürftigen Fahrbahnabschnitts wurden Schmelzwassersande mit lockerer Lagerung festgestellt. Bevor die Hebung des Gleiskörpers erfolgen konnte, war es erforderlich, die Lagerungsdichte dieser Horizonte zu erhöhen, um spätere Nachsetzungen weitgehend zu vermeiden. Mit

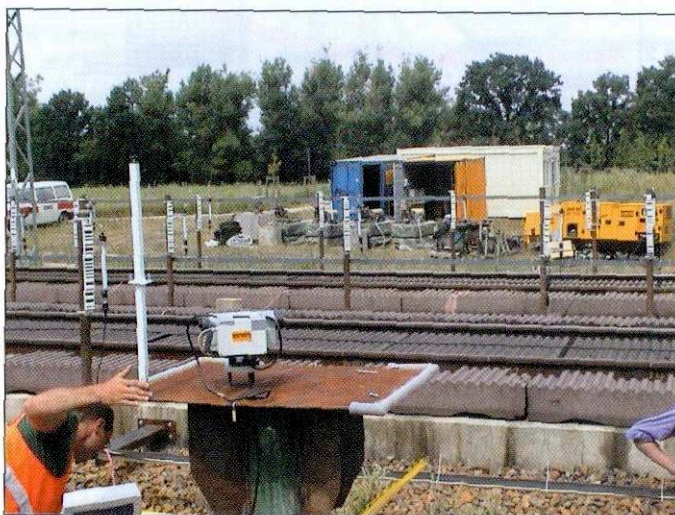


Abb. 4: Aufbau des Digitalnivelliers



Abb. 5: Zieltafel-Messsystem Fa. Intermetric

leichten Rammhämmern wurden dazu schlanke Stahlrohre mit abstoßbaren verlorenen Spitzen niedergebracht. Nach Erreichen der erforderlichen Endteufe wurden die Lanzen etappenweise gezogen, gleichzeitig wurde eine feststoffreiche Zementsuspension in den Baugrund gepresst. Das Ziehintervall war vom Erreichen eines festgelegten Verpressdruckes abhängig. Die Rammlanzenverpressung wurde im gesamten Arbeitsbereich ausgeführt, bis das automatische Vermessungssystem erste sichere Hebungstendenzen anzeigte (Abb. 6).

Ausführung Phase 2

Anschließend wurde der Baugrund oberhalb der verdichteten Zone mit 19 GFI-Bohrungen (Abb. 9, 10) bestückt und die Hebung des Fahrweges durch Aufreißinjektion durchgeführt. Im Gegensatz zu „herkömmlichen“ gesteuerten Bohrungen war ein Austreten des Bohrkopfes am Zielpunkt nicht vorgesehen. Stattdessen wurden Sacklöcher hergestellt. Im CAD 3D-Modell wurden die Bohrachsen an die Lage der vorhandenen Leitungen angepasst (Abb. 7). Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Ausführungspläne.

Die Verpresselemente wurden auf der Baustelle vormontiert und nach Fertigstel-



Abb. 6: Rammlanzeninjektion Fa. Spesa

lung der Bohrung in das mit frischer Bohrspülung stabilisierte Bohrloch eingeführt. Nach Erhärten der Bohrspülung wurde mehrfach eine feststoffreiche Bindemittelsuspension in den Baugrund gepresst. Das Injektionsgut penetriert nicht in den Porenraum des Bodens, sondern verdrängt den anstehenden Boden und bewirkt dadurch eine Verdichtung. Durch das zusätzlich eingebrachte Feststoffvolumen

wird bei fortgesetzter Wiederholung der Injektion eine Hebung an der Geländeoberfläche erzeugt (Abb. 8).

Die Bohrarbeiten wurden zunächst während nächtlicher Sperrpausen ausgeführt. Nachdem die Bauwerksvermessung zeigte, dass keine Bewegungen aufgetreten sind, wurde unter Aufsicht bei laufendem Bahnbetrieb weitergearbeitet.

Das GFI- Bohrverfahren

Der sensible Fahrbahnkörper mit seinen Strom- und Steuerleitungen sowie der laufende Bahnbetrieb machten verschiedene



Abb. 7 : CAD 3D-Modell zur Festlegung der Bohrachsen unter Berücksichtigung vorhandener Leitungen

Permanente Setzungsbeobachtung mit iGM = intermetric Geotechnik Monitor

intermetric
 Vermessung Geotechnik Geoinformatik
 Industriestr. 24 70565 Stuttgart
 Tel.: (0711) 78 00 39-2 Fax: -7
 Berlin Dresden Limburg Ulm

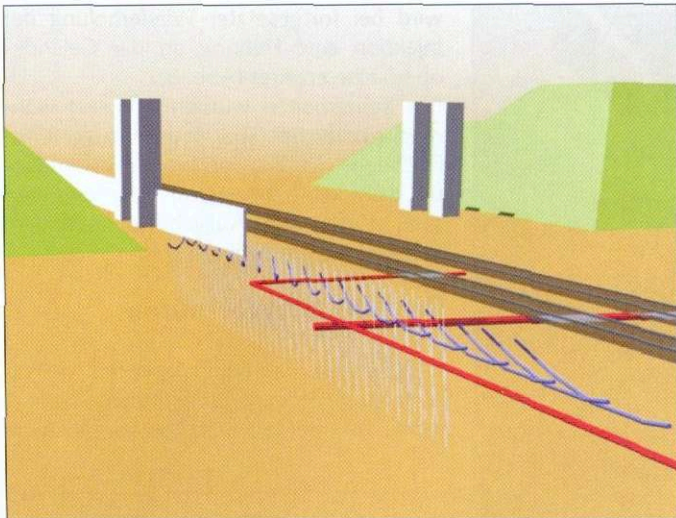


Abb. 8: Prinzipskizze einer Hebungsinjektion

Abb. 9: Bohrergerät der Fa. Thellmann mit steuerbarem Bohrkopf

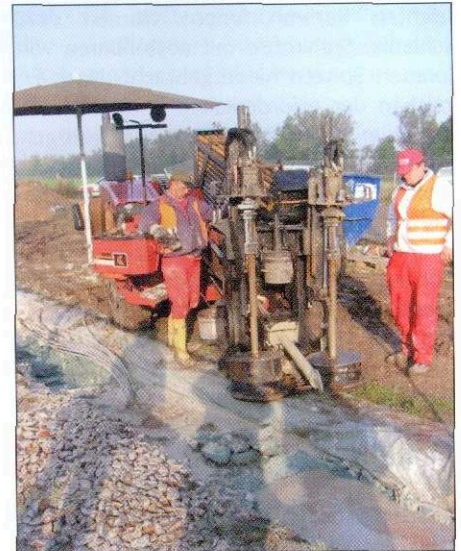


Abb. 10: Herstellung der GFI-Bohrungen

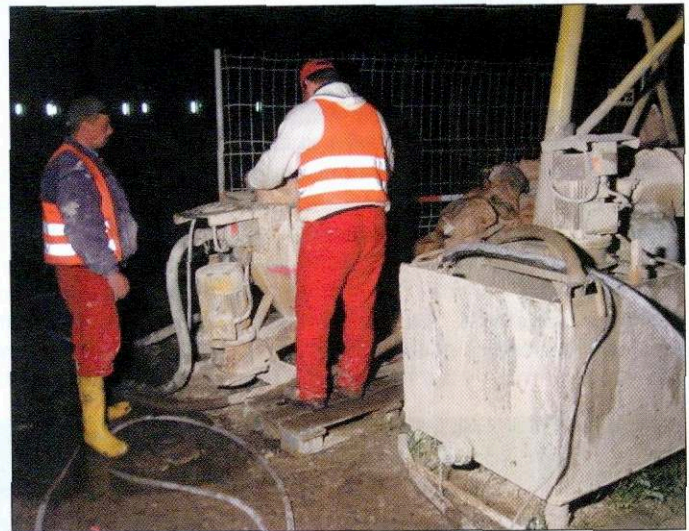


Abb. 11: Mischer und Rührwerk für Bohrspülung / Injektionsgut

bohrtechnische Anpassungen erforderlich. Die vorgenommenen Entwicklungen führten zu einem neuen Bohr- und Installationsverfahren für Verpressrohre zur Bodeninjektion, das nach erfolgreichem Einsatz bei der Sanierung des Setzungsschadens an der HGV-Strecke bei Dallgow zukünftig durch Thellmann als System „Gesteuerte Flüssigkeitsgestützte Injektionsbohrung“, kurz GFI-Bohrung, ausgeführt wird.

Von der Fa. Thellmann wurde die Messtechnik zur Ortung und Steuerung des Bohrkopfes dahingehend verändert, dass elektromagnetische Störeinflüsse, die durch Oberleitung und Steuerleitungen der Bahnstrecke verursacht werden, weitgehend eliminiert werden können. Ferner wurde in Zusammenarbeit mit dem Schwesterunternehmen Eckard Harmstorf Wasser- und Dückerbau GmbH für die Bodeninjektionen ein neuartiges Verpressrohrsystem und ein geeignetes Einbauverfahren entwickelt.

Besondere Anforderungen an die Bohrspülung

Die Bohrspülung übernimmt eine im wahrsten Sinne des Wortes „tragende Rolle“ in diesem System, denn ein Teil der Spülung verbleibt in der fertiggestellten Bohrung, erhärtet dort und bewirkt dadurch eine homogene, tragfähige Verfüllung des erzeugten Hohlraumes. Einerseits wird so die Entstehung von Bodenversackungen vermieden, zusätzlich ist gewährleistet, dass das später eingepresste Injektionsgut an der vorgesehenen Stelle in den Baugrund gelangt und nicht unkontrolliert durch den Bohrkanal zutage treten kann. Klassische Rezepturen für derartige selbsterhärtende Bohrspülungen, die im Fachjargon als Mantelmischung oder Sperrmittel bezeichnet werden, bestehen aus Zementen und Betoniten unterschiedlicher Art und werden auf der Baustelle gemischt. Moderne selbsterhärtende Bohrspülungen, werkseitig trocken

gemischt, bieten gegenüber den klassischen Rezepturen verbesserte rheologische Eigenschaften und die Möglichkeit, die Festigkeitsentwicklung gezielter einzustellen.

Dieser Vorteil ist insbesondere bei der Ausführung von Bohrungen unter hochsensiblen Bauwerken wie der Festen Fahrbahn von besonderer Bedeutung. Während der Herstellung der Bohrung sind gute Fließeigenschaften wichtig, um Staudrücke im Bohrloch, die zu einer unkontrollierten Hebung des Bodens führen könnten, zu vermeiden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass trotz günstiger Fließeigenschaften ein ausreichender Austrag des Bohrgutes gewährleistet bleibt, denn auch ein Verstopfen des Bohrlochringraumes kann zu den unerwünschten Staudrücken führen.

Um die Standsicherheit der Bohrung bis zum Erhärten der Spülung sicherzustellen, muss der Anteil des abfiltrierbaren Wassers möglichst gering gehalten und die Se-

dimentation möglichst unterbunden werden. Für den ungehinderten Einbau des Verpressrohrelementes in eine GFI-Bohrung ist neben der hydrostatischen Stabilisierung des frischen Bohrloches auch eine möglichst glatte Bohrlochwandung erforderlich. GFI-Bohrungen unterscheiden sich von herkömmlichen Injektionsbohrungen unter anderem auch dadurch, dass aufgrund der Steuerbarkeit des Bohrkopfes gekrümmte Bohrachsen hergestellt werden können. Insbesondere in den Bögen besteht die Gefahr, dass während der Installation der Verpressrohrelemente hier die Bohrlochwandung verletzt wird und dies zu Bohrlochverbrüchen führt. Spezielle Spülungszusätze sorgen dafür, dass eine Glättung und Verfestigung der Bohrlochwandung erzielt und das „Verletzungsrisiko“ dadurch minimiert wird.

Der Erstarrungszeitpunkt der verwendeten Spülung wird so eingestellt, dass die Bohrlochfüllung nach Einbau der Verpressrohrelemente verhältnismäßig früh eine dem umgebenden Boden vergleichbare Tragfähigkeit aufweist. Erst nach Erreichen dieser Festigkeit kann mit der Herstellung benachbarter Bohrungen begonnen werden, und dadurch eine großflächige Schwächung des Baugrundes vermieden werden. Aus injektionstechnischer Sicht ist zu

berücksichtigen, dass die Endfestigkeit der erhärteten Mantelmischung ein festgelegtes Höchstmaß nicht überschreitet, weil für das spätere Einpressen des Injektionsgutes ein Aufbrechen des Mantels möglich sein muss.

Das Thellmann-Team hat eine selbsterhärtende Bohrspülung durch Zusatz weiterer mineralischer Additive in seinen ausgeprägten thixotropen Eigenschaften optimiert und so weiterentwickelt, dass sie den unterschiedlichen Anforderungen des GFI-

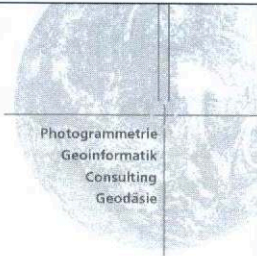
Bohrverfahrens gerecht wird. Es wurde sowohl der Mittelweg zwischen guter Fließfähigkeit und optimalem Tragverhalten als auch der Kompromiss zwischen hoher Anfangsfestigkeit und begrenzter Endfestigkeit gefunden.

Fazit aus der Sicht der DB Netz AG

Das angewendete Verfahren gestattete es unter Beachtung aller Faktoren für die Be-

Geotec

Vermessungsgesellschaft mbH



- **Ingenieurvermessung**
- **Geodatenerfassung und Aufbereitung (DB GIS LITE)**
- **Photogrammetriegestützte IvL-Planerstellung**
- **(PELIM) Untersuchung von Lichtraumengstellen**

R.-Luxemburg-Str. 3a
17291 Prenzlau

Fon: (03984) 85 75 - 0
Fax: (03984) 85 75 49
info@geotec.de
www.geotec.de

SELECONTROL® MAS Traffic

Massgeschneiderte Lösungen für Schienenfahrzeuge

Transport
Division



Wir bieten:

- Leittechnik-Komplettlösungen
- Hardware und Engineering für Fahrzeug-Teilsysteme
- Leittechnik- und Steuerungsbaugruppen
- Technical Support, Engineering, Service

Selectron

Selectron Systems AG
Bernstrasse 70
CH-3250 Lyss
Tel. +41 32 387 61 51
Fax +41 32 387 61 00

transport@selectron.ch
www.selectron.ch



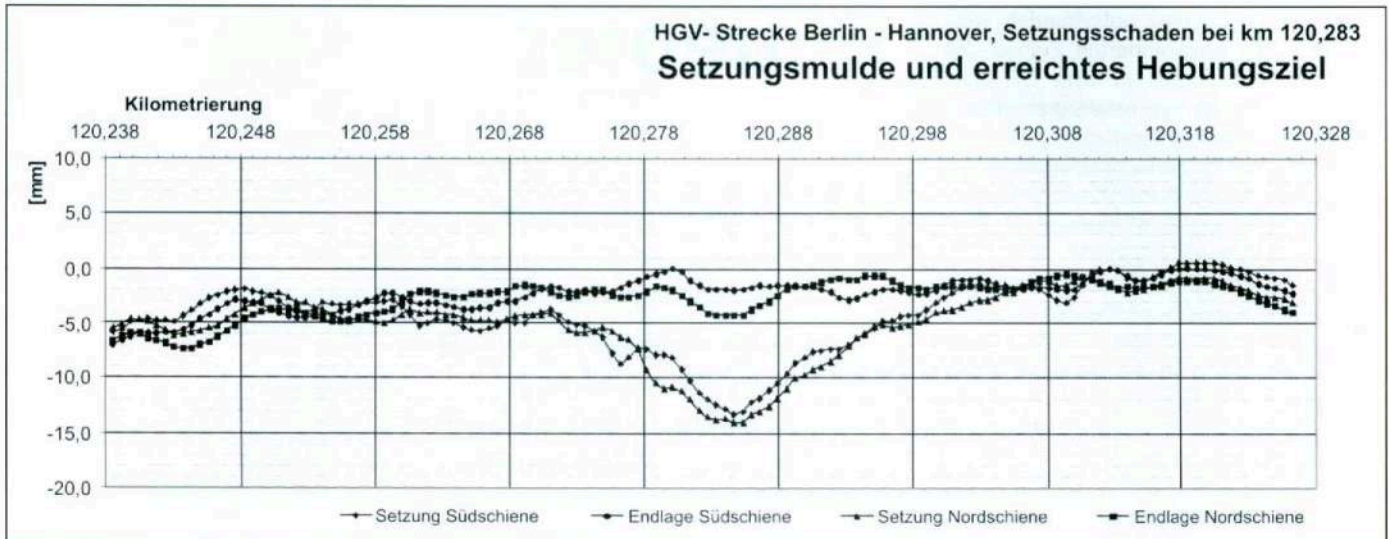


Abb. 12: Auswertung der Zieltafelmessung

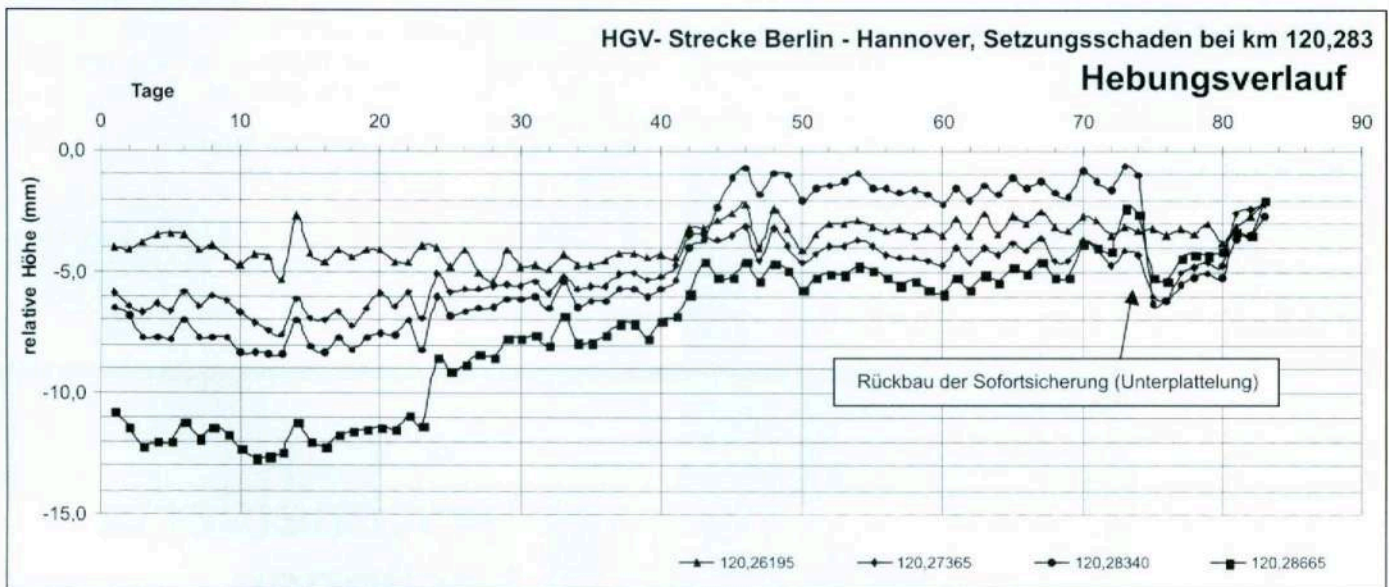


Abb. 13: Auswertung der automatisierten Höhenmessung

triebssicherheit, vorwiegend am Tage unter Nutzung von operativen Sperrpausen (Zugpausen) zu arbeiten. Dies verlangt jedoch eine optimale Abstimmung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Umfangreiche Sperrungen der Gleise blieben so auf die Nachtstunden beschränkt und wurden vor allem für die Erprobung der angewendeten Verfahren genutzt. Der Sanierungserfolg (Hebung der FF, Abb. 12, 13) konnte

somit ohne wesentliche Beeinträchtigungen des Eisenbahnbetriebes erreicht werden.

Dies ist ein wesentlicher Vorzug der von der ARGE Spesa-Thellmann angewendeten Technologie und dürfte in Zukunft ein wichtiger Faktor bei ähnlichen Aufgabenstellungen sein. Weiterhin hat sich gezeigt, dass es möglich war, die FF auf 1 bis 2 mm genau zu heben, wo hingegen eine Feinregulierbarkeit der gegenseitigen

Höhenlage der Schienen durch Unterplatteln nur beschränkt gegeben war.

Summary / Résumé

Correction of subsidence damage on the Berlin-Hannover ICE line

A short section of the track on the Berlin-Hannover ICE line – laid with slab track – suffered subsidence. The article describes how this section of track was repaired using injections.

Assainissement d'un affaissement sur la ligne à grande vitesse ICE Berlin – Hanovre

Sur la ligne à grande vitesse ICE Berlin – Hanovre, la voie s'est affaissée sur un court tronçon. A cet endroit, la superstructure est constituée d'une voie sans ballast. Ce tronçon a été assaini au moyen d'injections. L'article présente la façon de procéder.

Schalten Sie Ihre Stellenanzeige in „Der Eisenbahningenieur“ – wenn Sie die Besten wollen!