

Gründung eines Eisenbahnfahrweges mittels geogitterbewehrter Bodenkörper auf Pfählen zwischen Spundwänden

Dipl.-Ing. Steffen Tost,
BAUGRUND DRESDEN Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden
Dipl.-Ing. Wolfgang Vogel
Deutsche Bahn AG, Vorstandsressort Technik, Systemverbund und Dienstleistungen (TEC 3)

1 EINLEITUNG - PROJEKTbeschreibung

Südlich des Hamburger Hauptbahnhofes wurde von 2008 bis 2009 die in den Jahren 1902 bis 1906 erbaute Pfeilerbahn neu errichtet (Bild 1).

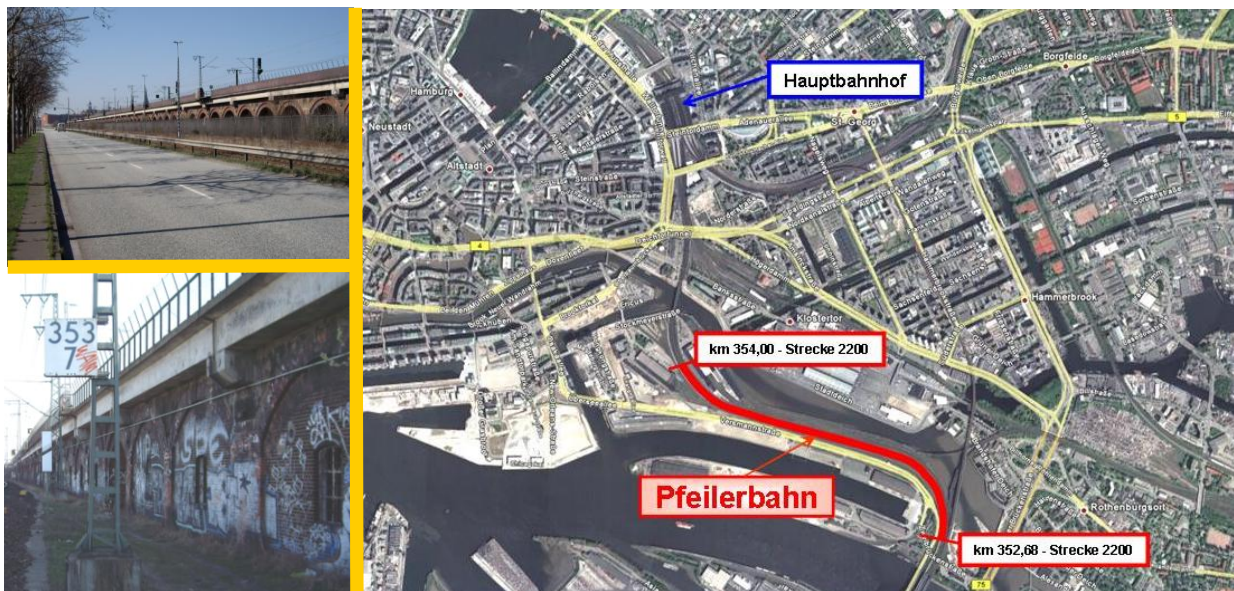


Bild 1: alte Pfeilerbahn (links) und Übersichtslageplan (rechts) – Fotos ARGE Pfeilerbahn

Die ehemals vorhandenen Ziegelgewölbe der alten Pfeilerbahn wurden zurückgebaut. Von einem in diesem Bereich neu errichteten Kreuzungsbauwerk schließen sich in jede Richtung des Kreuzungsbauwerkes Rampenbereiche an, in denen die erneuerte Strecke auf bis zu 8 m hohen Fangedämmen und im südlichen flachen Kurvenbereich zwischen einem beidseitig angeordneten Hochwasserschutz (HW) aus Spundwänden verläuft.

Die Streckengeschwindigkeit liegt bei maximal ca. 80 km/h. Der Oberbau wurde als Schotteroberbau ausgeführt. Der Streckenabschnitt weist 2 Kurvenbereiche mit engen Radien auf; die maximale Längsneigung beträgt im Bereich des Fangedamms bis zu 12 %.

Der anstehende Baugrund hat infolge der vorhandenen Weichschichten eine geringe Tragfähigkeit und eine relativ hohe Verformungsempfindlichkeit sowie eine unterschiedlich hohe Vorbelastung. Deshalb wurde für den Fangedamm und den anschließenden Streckenabschnitt im HW-Schutzbereich eine Tiefgründung auf Pfählen vorgesehen, die in die tragfähigen Sande einbindet.

Die Auflagerung des Fangedamms erfolgte im höheren Fangedammbereich über 4 m Höhe auf einer Stahlbetonplatte mit Anschluss der Spundwände an die Platte. Im anschließenden niedrigeren Fangedammbereich bis 4 m Höhe und im HW-Schutzbereich wurde auf ca. 550 m Länge der Eisenbahnunterbau nach der sogenannten Säulen-Geogitter-Polster (SGP) – Bauweise mit einem mehrlagig geogitterbewehrten Bodenkörper hergestellt (Bild 2).

Da die dargestellte Bauweise eine nicht geregelte Sonderbauweise nach Ril 836 (/1/) darstellt, wurden mehrere Unternehmensinterne Genehmigungen (UiG) durch die DB Netz und Zulassungen im Einzelfall (ZiE) durch das Eisenbahnbundesamt erforderlich.

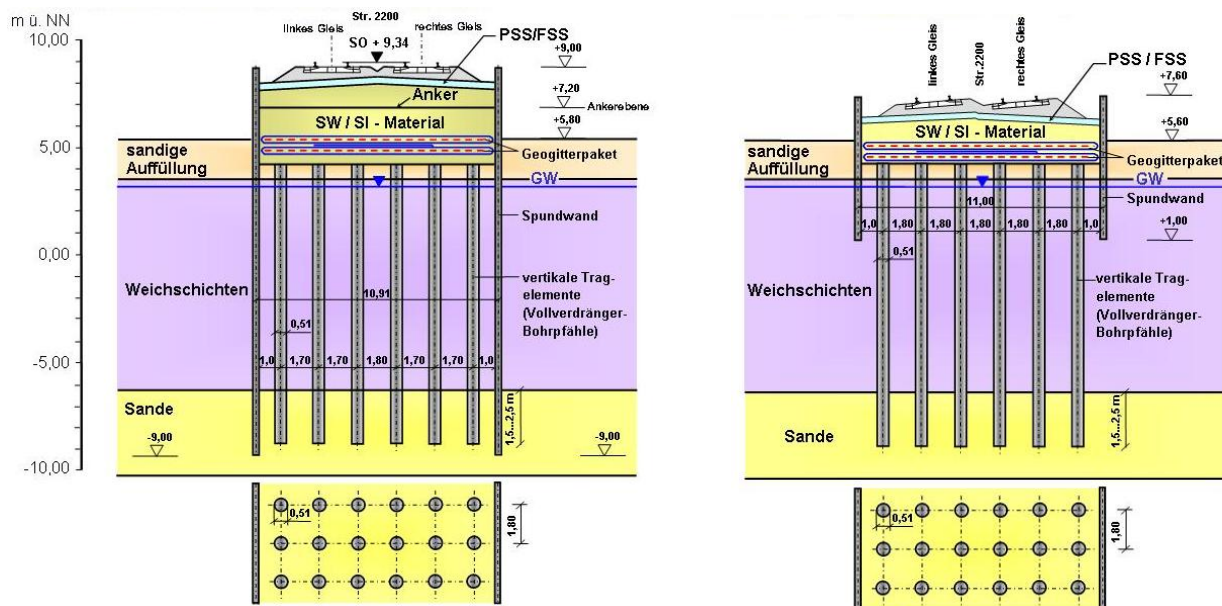


Bild 2: Querschnitte im Bereich der Geraden (links) und im Bereich der Kurve (rechts) mit Draufsicht in Höhe OK vertikale Tragelemente

2 AUSBILDUNG DES TRAGSYSTEMS

Auf Grund der Vorbemessungen in der Entwurfsplanung war ein Tragsystem auszubilden, mit dem langfristig gesichert die statisch festgelegten Spundwände im Bereich unterhalb des geogitterbewehrten Bodenkörpers nur teilweise einen Erddruck aus der Überschüttung und aus Verkehr aufzunehmen haben. Dazu wurde der bereits in der Entwurfsplanung vorgesehene mehrlagig bewehrte Bodenkörper durch u. a. folgende zusätzliche Festlegungen in den UIGs in Anlehnung an eine bereits ausgeführte Konstruktion (/2/) ergänzt (siehe auch Bild 3):

- Überdeckungshöhe (Abstand Säulenköpfe unter SO) min. 2,5 m, max. 4,0 m
- Festlegung von 5 Lagen Geogitter (3 quer mit oberen 2. Umschlag, 2 längs)
- seitliche Stützung des bewehrten Bodenkörpers zur Aufnahme von Erddrücken durch Umschläge der Geogitter
- seitlicher Überstand der Geogitter über die Randsäulen mind. 0,5 m

- Abstand der Umschläge 0,1 m von der Innenseite Spundwand zur Vermeidung von Druckübertragungen auf die Spundwände
- Pfahlraster 1,8 m x 1,8 m streckenparallel (keine Diagonalanordnung)
- Nachweis der gesicherten Ausführung von mit dem Boden kraftschlüssigen Umschlägen der Geogitter
- Durchführung von 2-D- und 3-D-FE-Berechnungen zur Bestimmung von Beanspruchungen bei Annahme einer teilweisen (40 %) Entlastung der Spundwände
- Bemessung der Geogitter in Anlehnung an Entwurf EBGEO, Kapitel 9: Geogitterbewehrte Bodenkörper auf punkt- und linienförmigen Tragelementen (/3/)

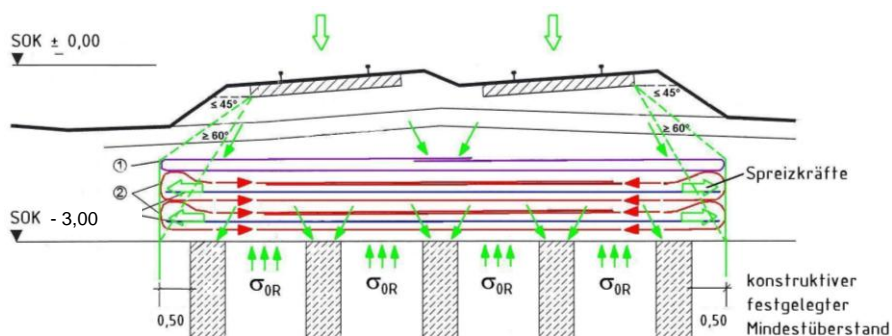


Bild 3: Prinzipdarstellung
des Tragsystems für einen
ähnlichen Anwendungsfall
(entnommen aus /2/)

3 BEMESSUNG DES TRAGSYSTEMS

Für einen mehrlagig geogitterbewehrten Bodenkörper auf Säulen unter Belastung durch Eisenbahnverkehr liegt ein geschlossenes Bemessungsverfahren nicht vor.

Die Dimensionierung der Geogitter erfolgte zunächst hinsichtlich der Tragfähigkeit in Anlehnung an für diesen Fall als anwendbar bestätigte Entwurfsfassungen der Empfehlung der DGGT (/3/). Mit den so festgelegten relativ steifen Geogittern kann das Szenario „Ausfall der Bettung“ unter Zugrundelegung der Sicherheiten im Lastfall 1 gemäß DIN 1054:2005-01 (/4/) für den Tragfähigkeitsnachweis der Geogitter entsprechend dem EBGEO-Ansatz nachgewiesen werden.

Mit Hilfe der FE-Berechnungen wurde zum einen Gebrauchsverhalten der Konstruktion untersucht sowie der Nachweis geführt, dass die Steifigkeit der Geogitter ausreicht, um von einer dauerhaft ausreichenden Entlastung der Spundwände im Einbindebereich ausgehen zu können. Dazu wurde die dauerhaft ansetzbare Entlastung des Untergrundes durch die Geogitter auf numerischen Weg ermittelt. Die FE-Berechnungen wurden als umfangreiche 2D- und 3D-Finite-Elemente-Berechnungen durchgeführt (Bild 4).

Mit den vorgenommenen 3D-FE-Untersuchungen zum Verhalten der Vollverdrängungspfähle konnte u.a. auch gezeigt werden, dass die Zwangsbeanspruchungen infolge ständiger Belastungen, Verkehr und Seitenstoß durch die Pfähle ohne den Verlust der Tragsicherheit aufgenommen werden können.

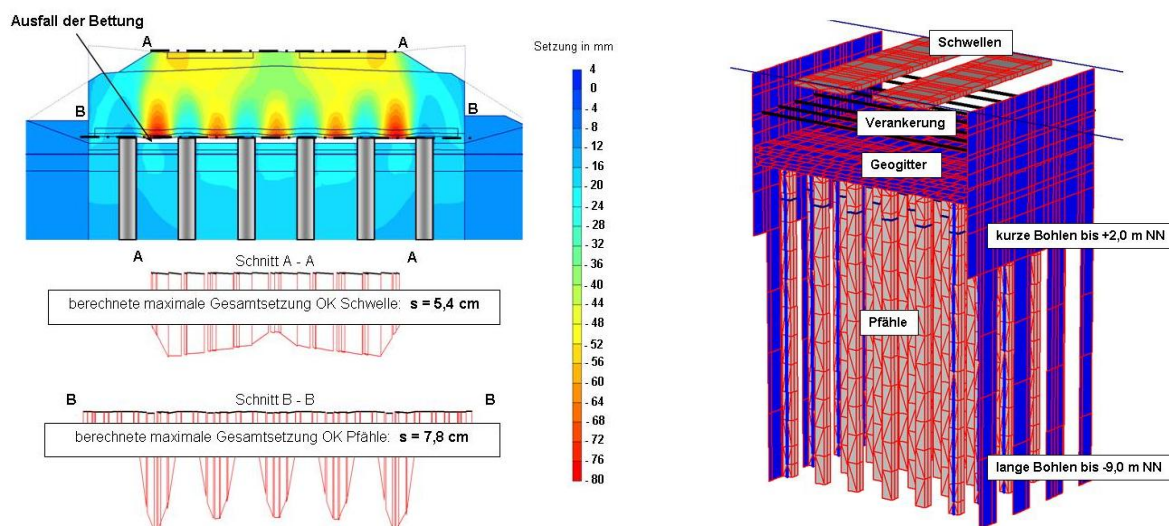
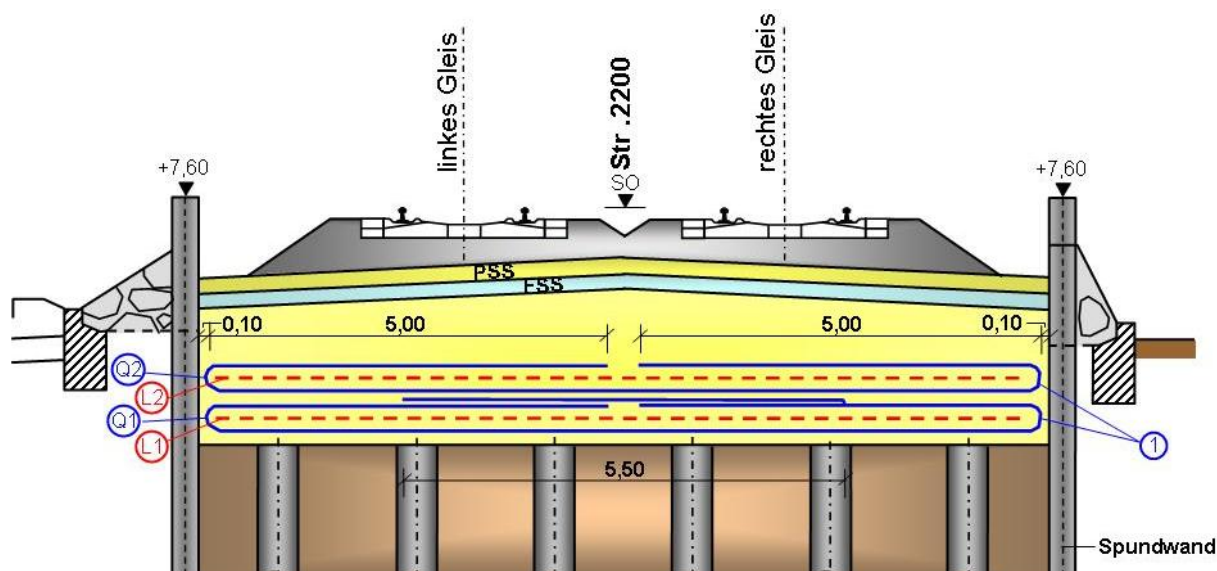


Bild 4: berechnete Verformungen im Lastfall Bettungsausfall im 2D-FE-Modell (links) und Ausschnitt aus dem 3D-FE-Modell zur Untersuchung des Verhaltens des Gesamtsystems (rechts)

4 BAUAUSFÜHRUNG

Ausgeführt wurde ein 5-lagig geogitterbewehrtes Tragsystem gemäß dem in Bild 5 beispielhaft dargestellten Regelquerschnitt.



- L1 und L2: 1. und 2. Geogitterlage in Längsrichtung
 - Q1: 1. und 2. Geogitterlage in Querrichtung
 - Q2: 3. Geogitterlage in Querrichtung und deren Umschlag
 - ①: Verfüllung des Spaltes zwischen dem geogitterbewehrten Bodenkörper und den Spundwänden mit unverdichtetem enggestuften Sand (SE-Material)
- ohne Darstellung der Strecken-Entwässerung

Bild 5: Querschnitt der SGP-Bauweise – Detail

Als vertikale Tragglieder wurden teilbewehrte Vollverdrängerbohrpfähle „System Bauer“ in einem Rechteckraster mit maximalem Pfahlabstand von 1,80 m und einem Durchmesser von 0,51 m hergestellt.

Als horizontale Bewehrungselemente wurden Geogitter aus gewebten Kunststoffäden mit Bitumentummantelung mit einer Kurzzeitzugfestigkeit in Hauptzugrichtung von 400 kN/m verwendet. Das eingesetzte Geogitter besitzt eine „allgemeine Zulassung“ des EBA nach Abschnitt 4.7 der Prüfbedingungen des Eisenbahn-Bundesamtes (/5/).

Für die Geogitterlagen in Längs- und in Querrichtung wurden Übergreiflängen in Hauptzugrichtung von $\geq 5,00$ m bzw. $\geq 5,50$ m und von $\geq 0,55$ m in Nebenzugrichtung nachgewiesen und eingehalten (siehe auch Bild 5).

Als Polstermaterial zwischen den Geogittern wurde ein nichtbindiges und gut abgestuftes Sand/Kies-Material (SW/SI nach DIN 18196) mit einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 1,0$ eingebaut. Für dieses Material wurde ein Reibungswinkel von $\varphi' > 35^\circ$ im Zuge von Eignungsuntersuchungen nachgewiesen. Für das Polstermaterial war ein pH-Wert von $4 < \text{pH} < 9$ einzuhalten. An den beiden Endbereichen der SGP-Bauweise wurden Übergangsbereiche zur Vermeidung von Steifigkeitssprüngen zu dem östlich vorhandenen unbewehrten Erdkörper bzw. zu der westlich vorhandenen Stahlbetonplatte geplant und realisiert. In Bild 6 ist der hergestellte Übergang von der SGP-Bauweise zur Stahlbetonplatte als Längsschnitt dargestellt.

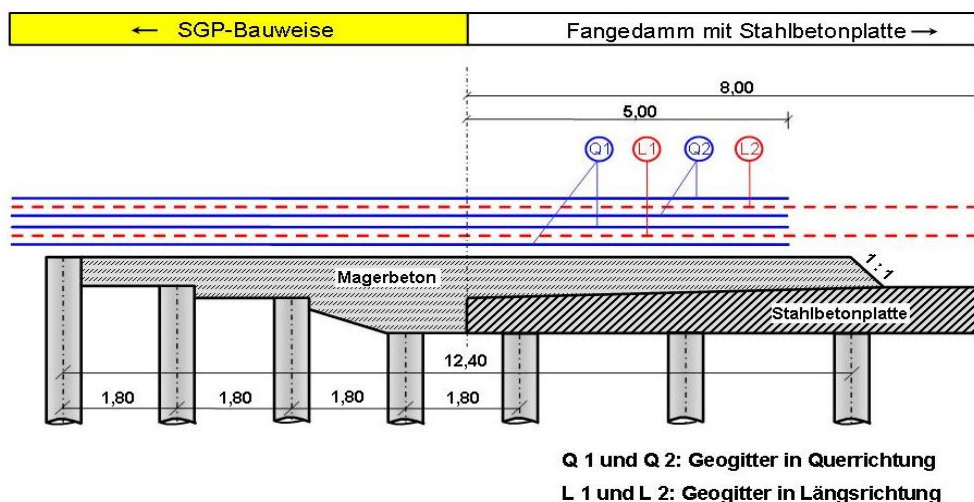


Bild 6: Übergangsbereich zur Stahlbetonplatte (Längsschnitt)

Im Vorfeld der eigentlichen Herstellung des geogitterbewehrten Bodenkörpers erfolgte ein Probeeinbau. Zielstellung des Vorabbaustellenversuches war neben einer Erprobung der vorgesehenen Einbautechnologie insbesondere auch die sachgerechte Herstellung des Umschlagsbereiches der Geogitterquerlagen. Für die qualitätsgerechte Herstellung der Umschlagsbereiche der Quergeogitter wurden von bauausführender Seite eigens für diesen Zweck gefertigte Schalungen aus Metall verwendet (siehe Bild 7).



Bild 7: seitliche Schalung zum Umschlagen der Geogitterquerlagen

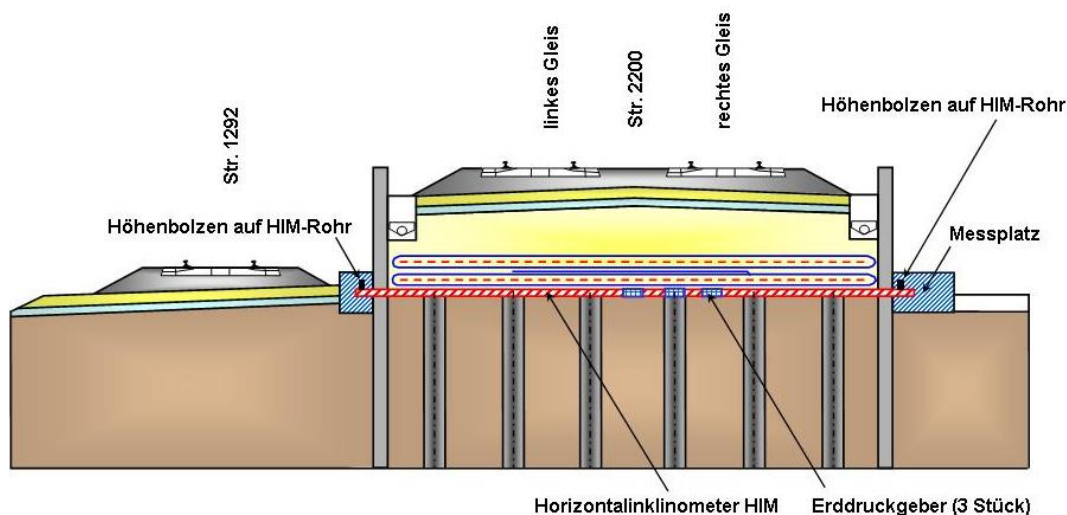
Aufgrund enormer terminlicher Zwänge erfolgte die Herstellung des geogitterbewehrten Bodenkörpers durchgängig 24 h am Tag jeweils in 2 Schichten. Für die eigentliche Herstellung des geogitterbewehrten Tragsystems wurden insgesamt 16 Arbeitstage benötigt. Bild 8 vermittelt einen Eindruck von der örtlichen Situation während der Herstellung des Tragsystems.



Bild 8: Einbau der Geogitter zwischen den Spundwänden

Die eingesetzten Geogitter ließen sich trotz ihrer relativ hohen Steifigkeit bzw. hohen Zugfestigkeit weitgehend unproblematisch in der erforderlichen Qualität verlegen. Dies trifft insbesondere für den herzustellenden, bautechnisch anspruchsvollen Umschlagsbereich der Quergeogitter zu. Durch die Wahl von gleichen Geogittertypen sowohl in Längs- als auch in Querrichtung wurden die technologischen Abläufe beim Verlegen der Geogitter vereinfacht. Durch die vorgenommene seitliche Materialbeaufschlagung (Polster- bzw. Verfüllböden und Geogitter) wurde das Befahren der Einbauebene auf ein Minimum begrenzt.

Das Tragsystem wurde bis zur Inbetriebnahme bzw. nach der Inbetriebnahme an 2 hergestellten Messquerschnitten messtechnisch beobachtet. Bild 9 zeigt exemplarisch einen Querschnitt mit den installierten Messwertaufnehmern in Form von Horizontalinklinometern und Erddruckgebern.



Im Zuge der messtechnischen Beobachtung ist festzustellen, dass die gemessenen Verformungen generell unter den Prognosewerten liegen. In Bild 10 sind exemplarisch die bis ca. 1,5 Jahre nach der Inbetriebnahme gemessenen Verformungen an einem ausgewählten Querschnitt dargestellt.

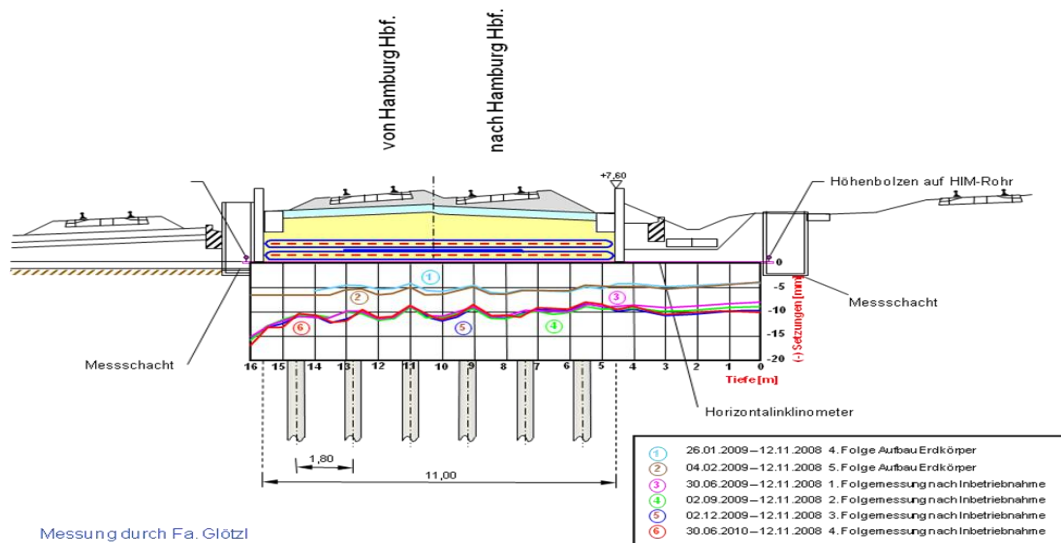


Bild 10: gemessene Verformungen der Horizontalinklinometer nach ca. 1,5 Jahren Betrieb an einem ausgewählten Querschnitt

Zudem wird seitens des Anlagenverantwortlichen eine sehr gute Gleislage bestätigt. Bild 11 zeigt die fertig gestellte Pfeilerbahn.



Bild 11: fertige Pfeilerbahn, links im Bereich der Kurve, rechts im Bereich der Rampe zum Kreuzungsbauwerk (Datum: September 2009)

5 FAZIT

Der im Rahmen der Entwurfsplanung zur Erneuerung der Pfeilerbahn Hamburg vorgesehene geogitterbewehrte Bodenkörper auf Pfählen zwischen Spundwänden für einen Fangedamm auf weichem Untergrund wurde im Rahmen des nachgezogenen unternehmerischen Genehmigungsverfahrens umfassend ergänzt, teilweise modifiziert.

Durch die durchgeführte redundante Bemessung und die umfassende Absicherung des Gesamttragverhaltens der Konstruktion über hoch entwickelte FE-Modelle sowie bei den im Zuge der Baudurchführung festgestellten deutlichen Tragreserven des Untergrundes kann davon ausgegangen werden, dass mit dem geogitterbewehrten Bodenkörper auf Säulen eine dauerhaft tragfähige Fahrwegskonstruktion entstanden ist. Dies wird auch durch die Messungen und das günstige Streckenverhalten nach der Inbetriebnahme bestätigt.

Die besonderen Randbedingungen der Planung mit den beengten Platzverhältnissen erforderten die Ausführung eines in sich tragfähigen verformungsarmen Bodenkörpers mit mehrlagiger Bewehrung zur dauerhaften Entlastung von Spundwänden für einen Fangedamm auf weichem Untergrund.

Literatur, Vorschriften und Regelwerke

- /1/ DB Netz AG: Richtlinie 836, Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, 20.12.1999 a (zwischenzeitlich ersetzt durch Ril 836, 1. Aktualisierung, Ausgabe Okt. 2008)
- /2/ W. Vogel: Fahrwegtiefundungen – ein state-of-the-art-Bericht in: Vorträge der 7. Tiefbau-Fachtagung, Dresden, 05./06.02.2009 (CD beziehbar über VDEI)
- /3/ Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO), Entwurf Ausgabe 02/2009 (Vorausgabe zur Endfassung von 2010)
- /4/ DIN 1054:2005-1: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- /5/ Eisenbahnbundesamt: Prüfbedingungen für Geokunststoffe des Eisenbahn-Bundesamtes, Ausgabe 01.02.2007