

Von der Erkundung bis zur Inbetriebnahme eines anspruchsvollen Abschnittes der Bahnstrecke Rostock – Berlin

Dipl.-Ing. S. Tost, BAUGRUND DRESDEN Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

Dipl.-Ing. B. Adam, Centrum Pfähle GmbH, Leipzig

Dipl.-Ing. (FH) G. Einnatz, DB ProjektBau GmbH, Techn. Projektleiterin Schwerin

Bei der Ertüchtigung der Bahnstrecke von Rostock nach Berlin wurden im Abschnitt zwischen Nassenheide und Löwenberg insgesamt 4 Moorbereiche mit mächtigen Weichschichten im Untergrund gequert. Dabei wurde auf einer Gesamtlänge von ca. 1,4 km die so genannte Säulen-Geogitter-Polster-Bauweise ausgeführt. Nach umfangreichen Baugrunderkundungen sowie Planungen und Genehmigungen dieser im Bahnbau nicht geregelten Bauweise wurde der Abschnitt im Rahmen einer Totalspernung des Streckenabschnittes unter überwiegend winterlichen Bedingungen umgebaut.

In the course of the renewal of the railway line Rostock – Berlin, a total of 4 moor areas with thick soft subsoil layers were crossed in the section between Nassenheide and Löwenberg. The so called column-geogrid-cushion construction method was executed for a total length of approx. 1.4 km. After extensive explorations of the ground as well as designs and approvals of this construction method for which no regulations are given in railway engineering, the entire section was closed and reconstructed under mostly winterly conditions.

1. Einleitung und Bauvorhaben

Bei der Ausbaustrecke (ABS) Rostock – Berlin handelt es sich um eine zweigleisige, elektrifizierte Strecke mit Schotteroberbau der DB Netz AG. Bisher wurde sie mit Geschwindigkeiten von maximal 120 km/h befahren und war für Achslasten von 22,5 Tonnen ausgelegt. Sie wird derzeit für eine Geschwindigkeit von 160 km/h und Achslasten von 25 Tonnen ertüchtigt, wobei Güterzüge maximal 100 km/h erreichen werden. Der etwa 11 km lange Abschnitt zwischen Nassenheide und Löwenberg durchquert insgesamt vier Moorgebiete mit zum Teil über 10 m mächtigen Weichschichten im Untergrund. Dabei weisen drei Moorbereiche (Moor 1 bis 3) Längen zwischen 700 m bis 800 m auf, Moor 4 ist mit ca. 200 m deutlich kürzer. Alle vier Moorbereiche befinden sich

in Dammlage, wobei die größten Dammhöhen von etwa 10 m im Moor 4 erreicht werden. Im Moor 1 und 3 sind die Dämme mit 1 m bzw. 6 m Dammhöhe flacher. Die Ertüchtigung des Streckenabschnittes erfolgte im Rahmen einer Totalspernung von 2012 bis 2013, wobei gleichzeitig zwei weitere Streckenabschnitte der ABS Rostock – Berlin gesperrt und umgebaut wurden (Bild 1).

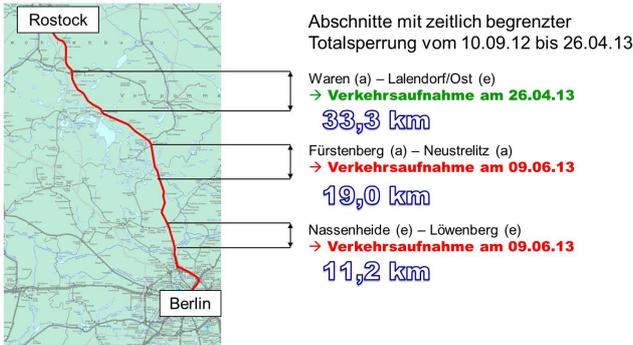


Bild 1: Abschnitte mit Totalsperrung der Strecke Rostock – Berlin 2012-2013

2. Baugrundverhältnisse und Baugrunduntersuchungen

Bereits der Name des Ortes und der ebenfalls so bezeichnete Bahnhof „Nasse“nheide deutet auf die topografische Situation sowie auf schwierige Untergrundverhältnisse hin. Kennzeichnend für den Streckenabschnitt sind unzureichende Vorflutverhältnisse sowie das Vorkommen von gering tragfähigen Weichschichten. Das Grundwasser steht nahezu geländegleich an. Exemplarisch zeigt Bild 2 für Moor 1 die vorherrschenden Baugrundverhältnisse, welche in ähnlicher Form in den Mooren 2 und 3 durch umfangreiche Baugrunderkundungsmaßnahmen festgestellt wurden.

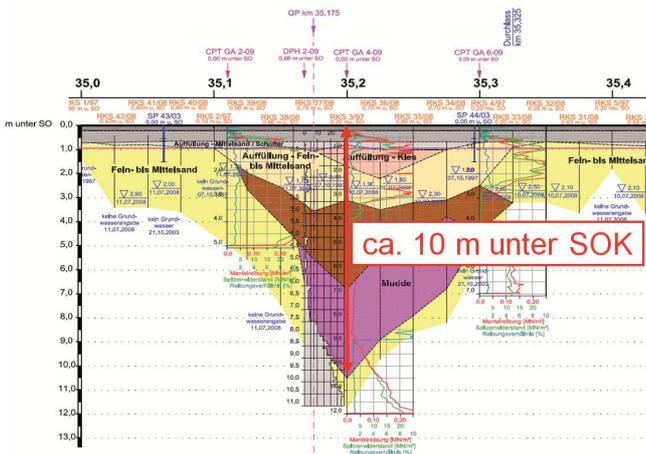


Bild 2: Exemplarischer Längsschnitt im Moor 1

Die Untergrundverhältnisse in den Mooren werden neben den hohen Grundwasserständen, von den unter den aus Sanden aufgebauten Bahndämmen anstehenden Weichschichten in Form von unterschiedlich zersetzten Torfen sowie Mudden geprägt.

Diese Weichschichten besitzen eine geringe Steifigkeit sowie eine sehr geringe Scherfestigkeit. Unterlagert werden die Weichschichten in der Regel von gut tragfähigen pleistozänen Sanden.

Das Erkundungskonzept für die Baugrunduntersuchungen ab 2008 zur Erarbeitung der Geotechnischen Berichte gemäß Ril 836 [1] wurden unter Berücksichtigung folgender Sachverhalte aufgestellt:

- vorhandene Baugrunduntersuchungen
 - Recherchen bei der DB Netz AG zum derzeitigen Streckenzustand (Auswertung Gleismessschriebe, Aussagen zum Unterhaltungsaufwand und zu bekannten Schwachstellen)
 - Durchführung von Streckenbegehungen gemeinsam mit der DB Netz AG
- Alle so gesammelten Informationen wurden in einem geotechnischen Streckenband gebündelt. Im Ergebnis wurden daraus folgende Baugrunduntersuchungen konzipiert und umgesetzt:
- Gezielte Nacherkundungen mittels Kleintrammbohrungen und Schwere Rammsondierungen in den Randbereichen zur Abgrenzung der Moorbereiche
 - Dynamische Messungen zur Ermittlung der Schwinggeschwindigkeiten und zur Kalibrierung der dynamischen Berechnungen
 - Geophysikalische Untersuchungen in Form von Downhole-Messungen und Tauchwellentomografie zur Ableitung der dynamischen E- und G-Module der einzelnen Bodenschichten als Eingangswerte für die dynamischen Berechnungen
 - Ergänzende Laboruntersuchungen am Torf und an den Muddeschichten
 - Drucksondierungen in den Gleisachsen zur Ermittlung der Lagerungsdichte und Schichteigenschaften im Einflussbereich der Verkehrslasten

Im weiteren Verlauf wurden die gemäß Ril 836 [1] erforderlichen Standsicherheitsnachweise und dynamischen Berechnungen vorgenommen.

Einzelheiten zu den durchgeführten Untersuchungen und Bewertungen können [2] entnommen werden.

Zudem war festzustellen, dass die sich über Jahrzehnte ausgebildete Gleislage nicht mehr grundlegend durch Instandhaltungsmaßnahmen verbessert werden konnte.

Im Ergebnis der vorgenommenen Untersuchungen ergab sich letztlich, dass die Standicherheit bzw. die dynamische Stabilität der Erdbauwerke in den Moorbereichen für die geplante Streckennutzung nicht gegeben war. Somit mussten die Moorbereiche ertüchtigt werden.

3. Ausbildung, Bemessung und Genehmigung des Tragsystems

Aufgrund der vorherrschenden Baugrundverhältnisse und der sich anschließenden Variantenuntersuchungen war es weder mit den herkömmlichen Methoden des Erdbaus noch mittels Sonderverfahren wie zum Beispiel dem Fräs-Misch-Injektionsverfahren (FMI) oder Rüttelstopfsäulen möglich, die notwendige Stabilität des Erdkörpers für die geplante Streckenbelastung sicherzustellen. Deshalb wurde im Rahmen der Entwurfsplanung eine Ertüchtigung mittels sogenannter SGP (Säulen-Geogitter-Polster)-Bauweise entwickelt (siehe Bild 3).

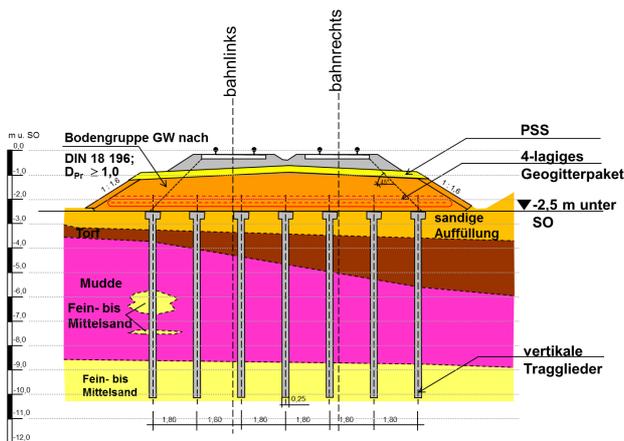


Bild 3: Regelquerschnitt der SGP-Bauweise aus der Entwurfsplanung

Aufgrund der damit verbundenen Abgrabungen war eine eingleisige Betriebsführung weder wirtschaftlich noch technisch vertretbar bzw. möglich. Deshalb wurde der Streckenumbau im Rahmen einer Totalsperrung konzipiert.

Gemäß Ril 836 [1] ist für diese im Bahnbau nicht geregelte Bauweise eine Unternehmensinterne Genehmigung (UiG) der DB Netz AG und eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) notwendig. Diese Genehmigungen wurden auch vor der Ausschreibung der Baumaß-

nahmen beantragt und eingeholt, so dass deren Auflagen in Entwurfsplanung und Ausschreibung einfließen konnten und zu keinen zeitlichen Verzögerungen führten.

Die Bemessung der Säulen-Geogitter-Polster-Konstruktion erfolgte gemäß Abschnitt 9 der EBGeo [3] und zusätzlichen Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen mittels FE-Berechnungen (Bild 4).

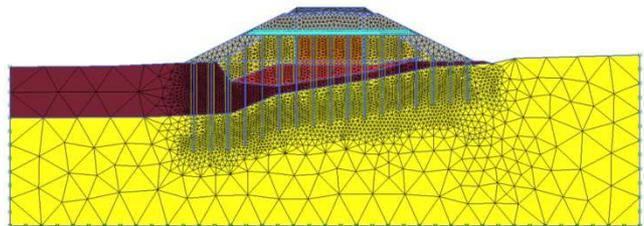


Bild 4: Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen der SGP-Bauweise mittels FE-Berechnungen

Da es sich hierbei um eine Anwendung von Geokunststoffen gemäß Abschnitt 4.7 der „Prüfungsbedingungen für Geokunststoffe des EBA“ [4] – mit rechnerischem Ansatz – handelt, wurden von vornherein Geogitter mit einer „allgemeinen“ Zulassung zur Anwendung vorgesehen [5].

Für die Ertüchtigung des Untergrundes wurden als vertikale Tragglieder genormte Fertigbetonrammpfähle (Pfähle) mit einem quadratischen Querschnitt mit einer Seitenlänge von 0,25 m geplant. Die Anordnung der Pfähle erfolgte in einem quadratischen Pfahlraster mit einem Abstand der Pfähle von 1,8 m (Moor 1) bzw. 2,0 m (Moor 2 und 3). Alle Pfähle wurden mit einer zusätzlichen, kreisrunden Kopfaufweitung mit einem Durchmesser von 0,6 m zur Vergrößerung der Auflagerfläche für die darüber angeordnete geogitterbewehrte Tragschicht konzipiert. Pfähle, Geogitter und einzubauende Erdstoffe wurden in der Ausschreibung vorgegeben.

Der Vorteil der Fertigbetonrammpfähle war einerseits durch die normative Abdeckung des Pfahlsystems und andererseits durch die Unempfindlichkeit des Einbaus unter winterlichen Bedingungen gegeben. Gleichzeitig waren Bebauungen oder ähnliche schutzwürdige Objekte erst in größeren Abständen zum Einbauort vorhanden, so dass schädliche Auswirkungen der Rammarbeiten als untergeordnet angesehen werden mussten. Unabhängig davon wurden ausgewählte Ob-

jekte am Beginn der Rammarbeiten durch Erschütterungsmessungen überwacht.

Für die Ausführung der SGP-Bauweise waren strenge Qualitätsanforderungen umzusetzen. Dazu wurde in der Entwurfsplanung ein Qualitätssicherungsplan (QSP) für das Einbringen der Rammpfähle sowie ein QSP für den Erdbau aufgestellt und in der Ausschreibung verankert. Der Umgang und der Einbau der vom EBA zugelassenen Geokunststoffe wurde zusätzlich anhand eines gesonderten QSP sowie mittels Verlegeplänen in der Ausschreibung festgelegt. Zur Beobachtung des Setzungs- und Verformungsverhaltens des ertüchtigten Erdkörpers und zur Überprüfung bzw. Bestätigung der Berechnungsergebnisse wurde gemäß Forderung der ZiE in der Ausschreibung ein Messprogramm integriert.

Gemäß Auflagen der ZiE waren weiterhin zur Ermittlung der Tragfähigkeit der Rammpfähle statische und dynamische Pfahlprobelastungen durchzuführen und zu bewerten. Diese wurden als bauvorgezogene Maßnahmen in den Seitenbereichen von Moor 2 und 3 realisiert (Bild 5).



Bild 5: vorgezogene Pfahlprobelastungen im Moor 3

4. Bauausführung

Die Rammarbeiten begannen im Oktober 2012 im Moor 1. Fast zeitgleich erfolgte der Beginn der Pfahleinbringung in den Mooren 2 und 3. Insgesamt wurden ca. 7.000 Pfähle mit Pfahllängen bis zu 21 m und somit insgesamt über ca. 76.300 Pfahlmeter in einem Zeitfenster von nur drei Monaten eingebracht (Bild 6).



Bild 6: Rammarbeiten im Moor 3

Um diesen Umfang in dem vorgegebenen Zeitraum bewältigen zu können, kamen zeitweise bis zu sechs Rammen gleichzeitig zum Einsatz – damit verbunden ein entsprechend hohes Maß an Logistik und Koordination. Einen Systemvorteil bildet die Vorfertigung der Pfähle und die äußerst geringe Inanspruchnahme tangierender Ressourcen auf dem Baufeld. Auch blieben vorangehende und nachlaufende Gewerke weitgehend unbeeinträchtigt. Einen weiteren Vorteil des gewählten Pfahlsystems bildet die nahezu witterungsunabhängige Ausführbarkeit der Gründungsarbeiten – ein besonders bei diesem Projekt erheblicher Risikofaktor im Hinblick auf das zur Verfügung stehende enge Zeitfenster auch in den Wintermonaten. Die Einbringung der Pfähle bei starken Minusgraden und gefrorenem Boden wurde problemlos bewältigt.

Die Andienung der Baustelle erfolgte über im Vorfeld hergestellte Baustraßen und Arbeitsebenen. Die Pfähle wurden über Sattelfahrzeuge zur Baustelle gebracht, direkt im jeweiligen Einbringungsbereich entladen und den Rammgeräten kontinuierlich zugeführt. Unter Berücksichtigung der möglichen Transportlängen der Pfähle wurden Pfähle ab 15 Meter Länge beim Einbringvorgang mit einem bauaufsichtlich zugelassenem Kuppelungssystem aus zwei Teilen zusammengefügt.

Die linienhafte Abarbeitung der einzelnen Moorbereiche – verbunden mit der hohen Einbauleistung von 300 Pfahlmetern und mehr je Gerät und Tag – ermöglichte die zügige Übergabe vollständiger Abschnitte für Folgegewerke.

Das knappe Zeitfenster in Verbindung mit den jahreszeitlich bedingt ungünstigen Wet-

terbedingungen erforderte zudem ein Höchstmaß an Qualitätsüberwachung und Einbaukontrolle.

Bauvorbereitend wurden bereits Schwingungsprognosen und dann baubegleitend Schwingungsmessungen nach DIN 4150 durchgeführt, um die Auswirkungen der gewählten Gründungslösung auf angrenzende Gebäude zu kontrollieren und zu überwachen. Die dabei festgestellten Werte lagen weit unter den zulässigen Anhaltswerten. Schäden an Gebäuden infolge der Rammarbeiten konnten somit vollständig ausgeschlossen werden.

Die Kontrolle der hohen Anforderungen des Qualitätssicherungsplanes erfolgte ebenfalls bauvorbereitend und baubegleitend. Dabei wurde eine lückenlose Dokumentation der verwendeten Liefermaterialien von der Herstellung bis zum Einbau vorgenommen. Die Transparenz des gewählten Pfahlsystems ermöglichte durch die werksmäßige Vorproduktion der Pfähle und die standardisierten Einbauprozesse ein hohes Maß an Qualität und Sicherheit. Von jedem Pfahl wurde ein kleiner Rammerbericht bzw. von jedem 10. Pfahl ein großer Rammerbericht nach DIN 4026 bzw. DIN EN 12699 erstellt. Zudem wurden baubegleitend 27 dynamische Pfahlprobelastungen und Integritätsmessungen mindestens an jedem 100. Pfahl durchgeführt. Die Rammarbeiten wurden ständig durch die Bauüberwachung und die geotechnische Fachbaubegleitung kontrolliert.

Eine weitere Etappe im Bauprozess stellte das Aufsetzen von vorgefertigten Pfahlköpfen bzw. das Herstellen von Ortbetonpfahlköpfen auf die gerammten Pfähle dar. Besonderes Augenmerk wurde auf die kraftschlüssige Verbindung zwischen Pfahl und Pfahlkopf gelegt. Bei den benannten Stückzahlen und im Hinblick auf die zur Verfügung stehende Bauzeit stellte dies eine enorme logistische Anforderung dar. Die Herstellung der Pfahlköpfe und des Geogitter-Polsters im Rahmen der Totalsperrung fiel ebenfalls in die Wintermonate, wobei der eingetretene sehr kalte und lang andauernde Winter 2012/2013 den Anspruch an die stets sicherzustellende Qualität noch erhöhte (Bild 7).



Bild 7: Herstellen der Pfahlköpfe aus Fertigteilen

Um den Einbau der Pfahlköpfe und des Geogitter-Polsters auch bei Frost und Schnee zu realisieren, wurden über den gesamten Bereich der Moorstellen in technologisch unterteilten Abschnitten beheizte Großzelte aufgestellt, unter denen die Pfahlköpfe aufgesetzt und das Geogitter-Polster hergestellt wurde.

Die Errichtung des geogitterbewehrten Erdkörpers einschließlich der Verlegung der Geogitter wurde bei entsprechender Vorbereitung und Einstellung der Bautechnik bei hohem Bautempo vorgenommen. Die verwendeten Geogitter konnten auch mit kleinen Radien mit $r = 15 \text{ cm}$ problemlos umgeschlagen und ausreichend faltenfrei und straff verlegt werden (Bild 8).



Bild 8: Einbau der Geogitter

Die Fertigung der Pfahlköpfe aus Fertigteilen wurde beim Hersteller durch Werkskontrollen durch den Güteprüfdienst der DB AG überwacht sowie durch Kontrolle der Lieferscheine und der Fertigteile selbst sichergestellt. Die Herstellung der Ortbetonpfahlköpfe wurde bei ständiger Präsenz der Bauüberwachung vor Ort überwacht.

Die Eingangskontrolle der Geogitter erfolgte durch Überprüfung der Lieferscheine und gemäß visuellem Befund durch die Bauüberwachung bzw. die geotechnische Fachbaubegleitung. Schwerpunkte der Überwachung waren Lagerung, Transport sowie die Verlegung und hier insbesondere die Herstellung der Umschläge der Querbewehrungslagen der Geogitter.

Die Eignung und die zu erreichende Einbaugüte des Polstermaterials wurden permanent durch Eigen- und Fremdüberwachung kontrolliert. Von jedem Liefermaterial musste vor dem Einbau die Eignung u.a. mittels Scherversuchen nachgewiesen werden. Neben der Kontrolle des Verdichtungsgrades wurden je Einbaulage und je 100 m Einbaulänge pro Gleis die Kornverteilung und der pH-Wert des Einbaumaterials überwacht. Alle Versuche der Eigen- und Fremdüberwachung wurden laufend, lagegenau und ergebnisgetreu in einem Prüfplan durch die geotechnische Fachbaubegleitung erfasst. Damit wurde ein handhabbares und Transparenz schaffendes Instrument auch für die bauaufsichtliche Überwachung der Baumaßnahme durch das Eisenbahn-Bundesamt geschaffen und im laufenden Herstellungsprozess umgesetzt und fortgeschrieben.

Nach Abschluss der Arbeiten zur Herstellung des Geogitter-Polsters wurde das Richtungsgleis Nassenheide – Löwenberg mit üblichen Erdbauverfahren durch Aufbringen der Planumsschutzschicht (PSS), Einschottern und anschließender Herstellung des Gleises für eine Befahrbarkeit mit 90 bzw. 120 km/h aufgebaut. Die Arbeiten am Oberbau wurden im April 2013 abgeschlossen, so dass ab diesem Zeitpunkt die Oberleitungsanlage aufgebaut werden konnte. Im Mai 2013 wurde die Strecke eingleisig für den Verkehr freigegeben und seit November 2013 werden beide Gleise mit max. 120 km/h befahren. Die Inbetriebnahme der Strecke für 160 km/h erfolgte im Juni 2014.

5. Beobachtung des Tragsystems

Das Tragsystem wird derzeit bis mindestens ein Jahr nach Inbetriebnahme an insgesamt 6 hergestellten Messquerschnitten messtechnisch beobachtet. Dabei wurden im Moor 1 ein Messquerschnitt, im Moor 2 zwei Messquerschnitte und im Moor 3 insgesamt

drei Messquerschnitte installiert. Bild 9 zeigt exemplarisch einen Querschnitt mit den eingebauten Messwertaufnehmern in Form von Horizontal- und Vertikalinklinometern, Setzungspegeln sowie Erddruckgebern. Weiterhin erfolgt im Bereich der Messquerschnitte eine messtechnische Überwachung der Schiene durch geodätische Messungen.

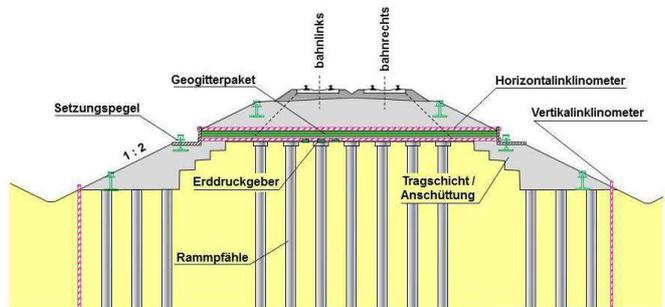


Bild 9: Messquerschnitt

Die aktuell vorliegende Folgemessung wurde im November 2013 vor der Inbetriebnahme des 2. Gleises durchgeführt.

Im Zuge der messtechnischen Beobachtung ist festzustellen, dass die gemessenen Verformungen generell unter den Prognosewerten liegen. In Bild 10 sind exemplarisch die bis 135 Tage nach der Inbetriebnahme gemessenen Verformungen eines Horizontalinklinometers über den Pfählen an einem ausgewählten Querschnitt dargestellt. Deutlich ist in Bild 10 der „gezackte“ Verlauf der gemessenen Verformungen erkennbar, das heißt die einzelnen Pfähle zeichnen sich nachweislich im Verlauf der gemessenen Verformungen ab. Zudem lassen die über den Pfahlköpfen installierten Erddruckgeber die gewollte Lastkonzentration erkennen. An der Schienenoberkante sind bisher keine nennenswerten Verformungen eingetreten. Somit bestätigen die bisherigen Messungen die Wirksamkeit der SGP-Bauweise.

Die nächste Folgemessung wurde im Mai 2014 durchgeführt, womit in etwa ein Zeitraum von ½ Jahr nach Inbetriebnahme beider Gleise erfasst wurde. Die vorläufig letzte Messung ist für November 2014 vorgesehen, das heißt bis etwa 1 Jahr nach Inbetriebnahme der beiden Gleise.

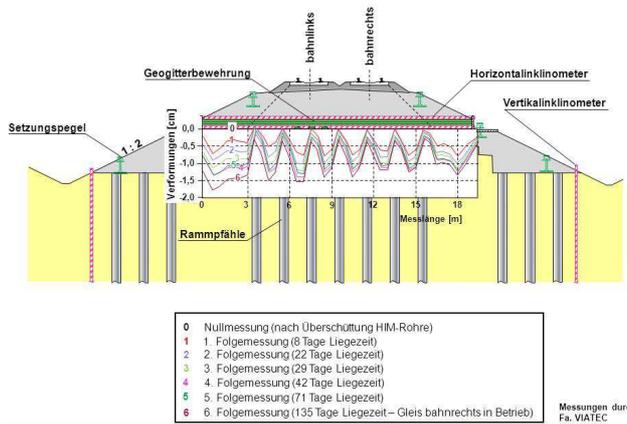


Bild 10: gemessene Verformungen eines Horizontalinklinometers über den Pfählen nach 135 Tagen an einem ausgewählten Querschnitt

6. Schlussbemerkungen

Bedingt durch die schwierigen Untergrundverhältnisse wurde der Eisenbahnfahrweg über eine Gesamtlänge von ca. 1,4 km mittels SGP-Bauweise im Rahmen einer Totalsperrung gegründet. Da die hierfür erforderlichen bahnspezifischen Genehmigungen bis zur Ausschreibung eingeholt wurden, konnten die Auflagen der erteilten Genehmigungen in der Ausschreibung integriert werden. Auch durch die konsequente Anwendung und Durchsetzung der einzelnen, in der Ausschreibung fixierten Qualitätssicherungsmaßnahmen wurde die bautechnisch anspruchsvolle Ertüchtigung in einer hohen Ausführungsqualität unter enormem Zeitdruck hergestellt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass mit dem geogitterbewehrten Bodenkörper auf Säulen eine dauerhaft tragfähige und gebrauchstaugliche Fahrwegkonstruktion entstanden ist. Dies wird auch durch die bisherigen Messungen und das günstige Streckenverhalten nach der Inbetriebnahme bestätigt.

7. Quellennachweis

- [1] Ril 836: Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten, Fassung vom 20.12.1999a mit 1. Aktualisierung gültig ab 01.10.2008, DB Netz AG

- [2] Tost S., Vogt L., Neidhart T., Einnatz G.: ABS Rostock – Berlin: Bandbreite geotechnischer Untersuchungen und Beurteilungen bei schwierigen Untergrundverhältnissen, 8. Tiefbaufachtagung VDEI 2011 in Dresden

- [3] Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen – EB GEO, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT), 2. Ausgabe, 2010

- [4] Prüfungsbedingungen für Geokunststoffe des Eisenbahn-Bundesamtes, Eisenbahnbundesamt, Ausgabe 01.02.2007

- [5] Tost S., Krist, O., Retzlaff, J.: Der Einsatz von Geokunststoffen bei Fahrweggründungen, DER EISENBAHNINGENIEUR 12/13, Dezember 2013, Seite 16 – 20