

Untergrundertüchtigung für die Nutzung einer Bergbaukippe als Eisenbahnfahrweg

Dipl.-Ing. (FH) Christian Hering,
DB Netz AG

M.Sc. Rene Kipper / Dr.-Ing. Dirk Wegener,
beide Autoren

Gepro Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

1 ABS Knappenrode – Horka, Funktion und Lage im Netz

Die Verkehrswege nach Osten und im Besonderen zur Republik Polen gewinnen im Hinblick auf den Warenaustausch mit unseren osteuropäischen Nachbarländern bis hin zu einem dauerhaften Landweg nach China an Bedeutung. Um den Anforderungen des wachsenden Schienengüterverkehrs gerecht zu werden, wird eine leistungsfähige Eisenbahninfrastruktur benötigt. Die Erhöhung der Streckenkapazität und die Verkürzung der Transportzeiten sind wesentliche Grundlagen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Verkehrsträgers Schiene.

Die Bundesregierung hat am 2. Juli 2003 den Bundesverkehrswegeplan 2003 beschlossen, die ABS Hoyerswerda – Horka – Grenze D/PL ist mit dem zweigleisigen Ausbau, der Elektrifizierung und einer Ausbaugeschwindigkeit $v_{\max} = 120$ km/h ein Bestandteil des Bundesverkehrswegeplanes.

Auf der Grundlage des Landesentwicklungsplans finanziert der Freistaat Sachsen

im Teilabschnitt Knappenrode – Niesky – Abzw. Särichen die Sprungkosten für eine Geschwindigkeit von $v_{\max} = 160$ km/h, vorrangig für die Verbesserung des Angebotes des Schienenpersonenverkehrs.

Der Streckenabschnitt Knappenrode – Horka – Grenze D/PL ist als Folge von Reparationsleistungen nach dem zweiten Weltkrieg an die damalige Sowjetunion bis heute eingleisig verblieben (Abb. 1).

2 Vorgesehene Ausbaumaßnahmen

Mit der Herstellung der Zweigleisigkeit sind folgende Maßnahmen verbunden:

- Vergrößerung der Planumbreite des Bahnkörpers mit Einschnittserweiterung und Dammverbreiterung gemäß Ril 800 und Ril 836,
- Untergrund- und Unterbauverbesserung sowie Einbau von Tragschichten zur Erhöhung und zur Gewährleistung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit der Erdbauwerke gemäß Ril 836 sowie
- Herstellung von Entwässerungsanlagen.

Der Trassierung liegt zwischen Knappenrode und dem Abzw. Särichen eine Geschwindigkeit von 160 km/h zugrunde. Im Abschnitt Horka Gbf und Grenze D/PL erfolgt die Trassierung für eine Geschwindigkeit von 120 km/h. Der Ausbau wird entsprechend den Parametern der Streckenklasse D4 der DB Netz AG durch-

geführt. Als Teil des TEN-konventionellen Netzes ist die Einordnung in die TSI-Strecken-kategorie V-F vorgesehen.

Die Streckengleise, Überholungsgleise und Anschlüsse werden unter Berücksichtigung der jeweiligen Streckenbelastung mit Güterverkehr gemäß Ril 820 ausgerüstet.

Die bisherigen Bahnhöfe Mücka, Klitten, Uhyst und Lohsa werden in Haltepunkte umgewandelt. Die Spurpläne der Bahnhöfe Horka Gbf, Niesky und Knappenrode werden entsprechend der neuen Anforderungen gestaltet. Die Nutzlänge der Haupt- und Überholungsgleise in den Bahnhöfen wird 750 m betragen.

Mit der Ausrüstung des Ausbauabschnittes mit ESTW-Technik, mit modernen Bahnübergangsanlagen sowie mit dem Mobilfunksystem GSM-R werden Anforderungen für einen modernen und wirtschaftlichen Eisenbahnbetrieb sichergestellt. Dazu zählt auch die Erstausrüstung der Strecke mit einer Oberleitungsanlage zwischen Knappenrode und Grenze D/PL. Mit der Errichtung einer Systemtrennstelle zwischen dem auf deutscher Seite mit 15 kV, 16,7 Hz Wechselstrom zu

elektrifizierenden Netz und dem auf polnischer Seite mit 3 kV Gleichstrom elektrifizierten Abschnitt wird der durchgängige elektrische Zugbetrieb gewährleistet. Im Endzustand erfolgt eine Streckenausrüstung mit dem Zugsicherungssystem ETCS [9].

3 Bahnanlage auf Altbergbaukippe im Bereich Lohsa

Der ehemals zweigleisige Abschnitt zwischen km 52,920 und km 61,700 der Strecke 6207 im Bereich des Bf Lohsa wurde zwischen 1959 und 1962 für den Aufschluss von Braunkohlevorkommen aus seiner ursprünglichen Lage verlegt und als eingleisiger Abschnitt südlich zwischen km 59,700 und 61,6+700 auf einer ehemaligen Abraumkippe neu aufgebaut.

Zwischen km 59,700 und 61,200 befindet sich östlich der Strecke das Speicherbecken Lohsa I als Teil eines ehemaligen Tagebaus. Ab km 61,200 bis 61,6+700 führt die Eisenbahnstrecke weiter über Kippengelände, an das beidseitig forst- und landwirtschaftliche Flächen angrenzen.

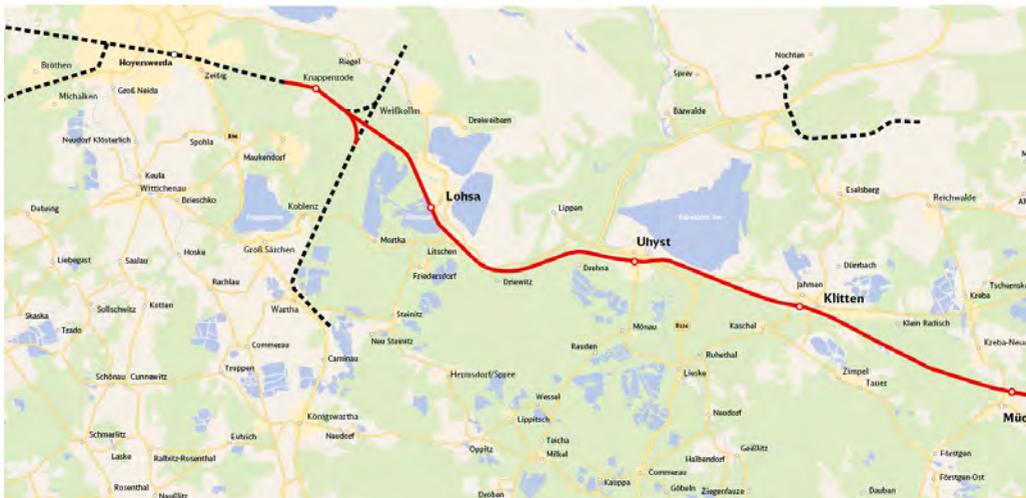


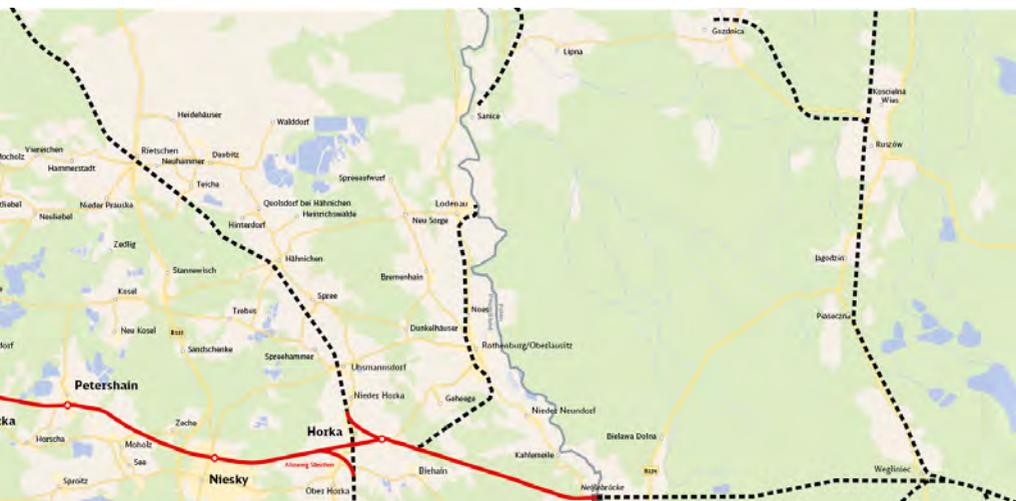
Abb. 1: Streckenübersicht ABS Hoyerswerda – Horka – Grenze D/PL

Das zwischen km 59,700 und 61,200 östlich angrenzende Speicherbecken Lohsa I (Restflöcher Silbersee und Mortka) entstand durch zunächst unkontrollierte Flutung des ehemaligen Tagebaues ab Mitte der 1950er Jahre. Nach Übergabe der bereits gefluteten Fläche 1961 an die Wasserwirtschaft erfolgte 1971 der planmäßige Probeeinstau im Speicherbecken Lohsa I und damit dessen dauerhafte Bewirtschaftung.

Durch die Einstellung des Braunkohlentagebaus in der Lausitzer Region ab 1990 und den damit verbundenen großräumigen Grundwasserwiederanstieg veränderte sich die hydrologische Situation grundlegend. Die Reduzierung der Höhe der erdfeuchten Überdeckung infolge des Grundwasserwiederanstieges führte in Verbindung mit der sehr lockeren Lagerung der Kippenböden zu einer Standsicherheitsgefährdung für das Kippengelände und die darauf befindlichen Bahnanlagen. Diese Gefahr infolge der Verflüssigung der Kippensande, ein in der Geotechnik auch als Setzungsfließen bezeichneter Vorgang, machte eine permanente geotechni-

sche Überwachung der Eisenbahnstrecke sowie die Herabsetzung der zulässigen Geschwindigkeit auf 30 km/h erforderlich. Für die Messung von unzulässigen Gleisverformungen wurde längs auf den Schwellen des durchgehenden Gleises im Bf Lohsa eine optische Saite installiert. Bei Überschreitung von Verformungsgrenzwerten erfolgte unverzüglich eine automatisierte Information an die Fahrdienstleitung, welche eine Streckensperrung zur Überprüfung zu veranlassen hatte.

Zur Stabilisierung des setzungsfließgefährdeten Bodens der ehemaligen Abraumkippe führt die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) im Auftrag des Sächsischen Oberbergamtes auf Grundlage der Sächsischen Hohlraumverordnung Sanierungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr durch. Das Ziel der Untergrundverdichtung ist die dauerhafte Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit. Das Projekt der DB Netz AG für den zweigleisigen Ausbau und die Elektrifizierung wird im Anschluss an die Arbeiten zur Gefahrenabwehr umgesetzt [1].



In Vorbereitung der Sanierungsmaßnahmen der Streckenabschnitt Knappenrode (a) – Uhyst (a) ab Dezember 2010 betrieblich gesperrt und die Bahnanlagen wurden auf einer Länge von 2,5 km zurückgebaut.

Seit März 2011 führt die LMBV im Bereich der zurückgebauten Bahntrasse eine Sanierung des Kippenkörpers unterhalb der Bahnanlage zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr in folge des Grundwasserwiederanstiegs am Speicherbecken Lohsa I, der sogenannten Ostböschung Silbersee (Länge ca. 1,5 km) und der sich anschließenden Innenkippe (Länge ca. 1,0 km), durch. Eine Übersicht über das Baufeld gibt die Abb. 2.

Die Kippensanierung ist die Voraussetzung für den Ausbau des zweigleisigen Bahnkörpers in diesem Bereich. Bei der Planung des zweigleisigen Ausbaus der Gesamtstrecke wurde der notwendige Vorlauf und zeitliche Umfang der Sanierungsmaßnahmen der LMBV daher berücksichtigt. Dazu wurde eine Bau- und

Finanzierungsvereinbarung zwischen DB Netz AG und LMBV geschlossen, in der die Schnittstellen und Leistungsinhalte geregelt werden.

Die LMBV verfügt über die notwendigen Erfahrungen bei der Planung und Ausführung von Maßnahmen zur Baugrundverbesserung auf Abraumkippen. Um eine homogene und wirtschaftliche Umsetzung der Sanierungs- und Verbesserungsmaßnahmen zu gewährleisten, werden alle Baumaßnahmen zur bergbaulichen Untergrundsanierung und -verbesserung durch die LMBV geplant und ausgeführt. Die LMBV tritt dabei als öffentlicher Auftraggeber in Erscheinung und sichert die Einhaltung des öffentlichen Vergaberechtes.

4 Untergrundsanierung durch die LMBV

4.1 Verfahren der Kippenstabilisierung zur Untergrundsanierung

Zur Beseitigung der Setzungsfließ- und Grundbruchgefahr und somit zur Gewährleistung eines sicheren Eisenbahnbetriebes

4



Abb. 2: Luftaufnahme des Baubereiches im April 2011 vor Beginn der Arbeiten zur Kippenstabilisierung [8]

Foto: DB ProjektBau GmbH

wurde durch die LMBV in den gekippten Bereichen des ehemaligen Tagebaus Werminghoff II eine Kippenstabilisierung mittels Tiefenverdichtung geplant. Im südlichen Teilabschnitt (Bereich Ostböschung am Silbersee) wurde die Tiefenverdichtung überwiegend mittels Rüttelstopfverdichtung (RSV) und im nördlichen Teilabschnitt (Bereich Innenkippe) mittels Rütteldruckverdichtung (RDV) ausgeführt. Der so entstandene verdichtete Bodenkörper weist gemäß den Planungen [2] bzw. [3] im südlichen Teilabschnitt eine Breite von 65 m und im nördlichen Teilabschnitt eine Breite von 50 m sowie eine bis zum Liegenden reichende Tiefe im Mittel von 34 m auf.

Bei der Rüttelstopfverdichtung und der Rütteldruckverdichtung wird von einem Trägergerät aus eine Rüttellanze in den Untergrund mittels Eigengewicht und Unterstützung durch Druckluft abgesenkt (Abb. 3). Dabei steht das Trägergerät auf einem bereits gesicherten Kippenkörper (Abb. 4). Durch die dynamische Anregung



Abb. 3: Trägergerät mit Rüttellanze der Rüttelstopfverdichtung Foto: DB ProjektBau GmbH



Abb. 4: Luftaufnahme des Baubereiches im Juli 2013 während der Ausführung der Tiefenverdichtung

Foto: LMBV/Peter Radke

einer rotierenden Unwucht am Rüttellanzenkopf mit einer Anregungsfrequenz von ca. 60 Hz wird der enggestufte Kippenmischboden zur Kornumlagerung und zur Verdichtung angeregt. Unterstützend wirkt die Druckluft bei der Verdrängung von Wasser im Boden. Bei der Rüttelstopfverdichtung wird beim Ziehen der Rüttellanze zusätzlich ein Mineralstoffgemisch eingebracht, so dass abhängig von der Lagerungsdichte des Kippenmischbodens Rüttelstopfsäulen mit ca. 0,6–1,0 m, im Mittel 0,8 m Durchmesser aus dem Mineralstoffgemisch entstehen. Die Abb. 4 und 5 zeigen das Baufeld bei der Ausführung der Arbeiten zur Tiefenverdichtung.

4.2 Schadensereignisse bei Ausführung der Verdichtungsarbeiten

Geländebrüche im Zuge von Tiefenverdichtungsmaßnahmen stellen ein nicht auszuschließendes Risiko dar. Mittels

Standsicherheitseinschätzungen [2] wurde jedoch im Zuge der Genehmigungsplanung nachgewiesen, dass das auf dem bereits verdichteten Damm in ausreichendem Abstand zum unverdichteten Kippenbereich befindliche Trägergerät mit einem entsprechend langem Ausleger ausreichend standsicher ist.

Für die einzelnen Bauleistungen wurden objektbezogene Verhaltensanforderungen und geotechnische Vorgaben definiert, so dass sich nur Personen nach vorheriger Belehrung innerhalb des Bearbeitungsgebietes zum Zweck der Sanierungsdurchführung und Kontrolle aufhalten konnten. Wegen der akuten Rutschungsgefährdung bei Ausführung der Tiefenverdichtungsmaßnahmen aufgrund der Einbringung starker Initiale in den verflüssigungsempfindlichen Kippenboden wurde das Vorfeld der einzelnen Trägergeräte innerhalb des Baustellenbereiches gegen Betreten

4



Abb. 5: Befüllen des Schüttkübels der Rüttellanze bei der Rüttelstopfverdichtung

Foto: DB ProjektBau GmbH

und Befahren durch temporäre Sperrlinien abgegrenzt. Diese Sperrlinien verliefen in einem Umkreis von mindestens 250 m um das Gerät (mit seitlicher Begrenzung an der ehemaligen Oberkante Abraum = äußere Sperrbereichsgrenze). Weiterhin durften sich die Geräte gegenseitig nicht auf weniger als 300 m annähern.

Aufgrund der Gefährdungssituation durch Wellen infolge von möglichen Setzungsfließrutschungen an der Ostböschung des Silbersees wurden außerdem die gewachsenen Böschungen am Südufer des Silbersees sowie die Wasserfläche des Silbersees während der Tiefenverdichtungsarbeiten gesperrt.

Trotz Einhaltung der geotechnischen und technologischen Vorgaben entsprechend der Ausführungsplanung [3] kam es am 24. Juni 2011 zu einem durch die Tiefenverdichtungsarbeiten ausgelösten Setzungsfließen an der Ostböschung des Sil-

bersees. In Auswertung dieses Schadensereignisses wurden für die weitere Bauausführung sicherheitsverbessernde Maßnahmen vorgesehen [4] und entsprechend umgesetzt. Das beinhaltete zum einen die Herstellung des versteckten Dammes im südlichen Teilabschnitt in drei Phasen:

- einem 39 m breiten, mittels RSV herzustellenden Hauptdamm mit entsprechend breitem Vorland zur Uferböschung,
- einem nachlaufenden 11 m breiten, ebenfalls mittels RSV herzustellenden Streifen und
- einem 15 m breiten, nur noch mittels RDV herzustellenden uferseitigen Restbereich.

Zum anderen wurde die sogenannte Sicherheitsfahrweise eingeführt, bei der die Rüttelstopfsäulen in einer versetzten Abfolge hergestellt und nach Säulenherstellung Ruhepausen mit einer tiefenabhän-



Abb. 6: Luftaufnahme des beim Setzungsfließereignis am 8. März 2012 entstandenen Ausflusskörpers

Foto: LMBV/Peter Radke

gigen Dauer von 20 bis 40 Minuten zur Vermeidung konzentrierter Anstiege des Porenwasserdruckes im Untergrund eingehalten wurden. Außerdem erfolgte eine PWD-gesteuerte Verdichtung, bei der bei Erreichen festgelegter Grenzwerte des Porenwasserdruckes im Untergrund für den Gerätefahrer eine Signalisierung mittels Ampelschaltung erfolgte.

Am 8. März 2012 war noch ein weiteres Setzungsfließen an der Ostböschung des Silbersees infolge der Tiefenverdichtungsarbeiten eingetreten (Abb. 6). Daneben gab es mehrere, in ihrem Umfang kleinere lokale Geländeabsenkungen im unverdichteten Bereich der Kippe. Bei allen eingetretenen Schadensereignissen kamen jedoch keine Personen zu Schaden und es bestand keine Gefahr für die Standsicherheit im Bereich der bereits verdichteten Kippe mit dem darauf befindlichem Trägergerät.

Die Abb. 7 zeigt links einen Lageplanausschnitt mit Eintragung der PWD-Geber. Weiterhin sind in Abb. 7 die Standorte von Geophonen ersichtlich, die für Schwingungsmessungen installiert wurden. Mit

den Schwingungsmessungen wurde die Abnahme der Schwingungsgeschwindigkeit im Untergrund mit zunehmendem Abstand von der Erschütterungsanregung untersucht [8].

4.3 Geotechnische Nachweise der Tragfähigkeit des Bahnkörpers

Für die Dimensionierung des Stützkörpers im Zuge der Genehmigungsplanung [2] erfolgten die bodenmechanischen Berechnungen auf der Basis der „Richtlinie über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage“ des Sächsischen Oberbergamtes. Als kritischer Lastfall wurde ein auf der sicheren Seite liegender Ansatz der Restscherfestigkeit für eine angenommene Verflüssigung sowohl vor dem Stützkörper als auch im Hinterland des Stützkörpers angesetzt. Die Bewertung des erreichten Endzustandes und damit der Nachweis der Tragfähigkeit für den verdichteten Untergrundkörper im zu erstellenden Abschlussgutachten wird auf der Grundlage der Sächsischen Bergverordnung (Sächs-BergVO) [5] vorgenommen.

4

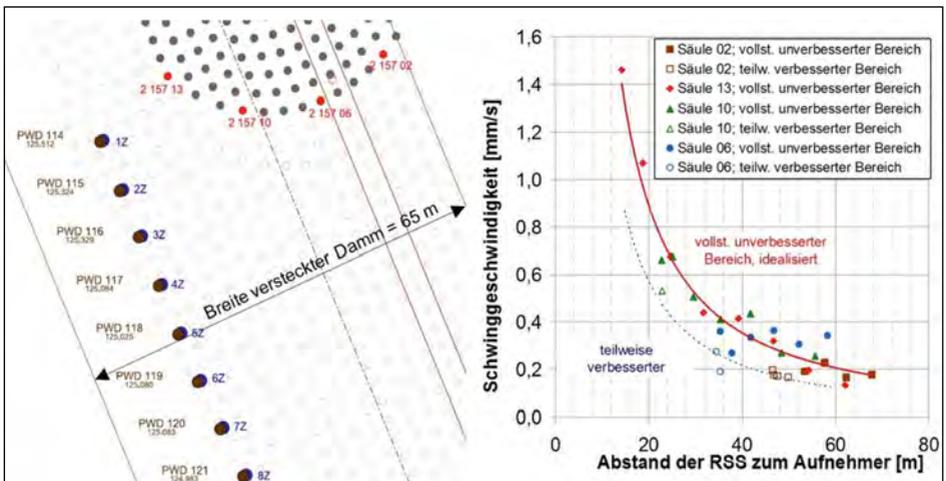


Abb. 7: links: Lageplan mit Eintragung der PWD-Geber, Geophone und bereits hergestellten Rüttelstopfsäulen zum Zeitpunkt der Schwingungsmessung; rechts: Abnahme der Schwingungsgeschwindigkeit mit zunehmendem Abstand von der Erschütterungsanregung [8]

Die bei geotechnischen Nachweisen für den Nutzungszustand Eisenbahnbetrieb anzuwendenden Normen für den Bahnverkehr sind in der Eisenbahnspezifischen Liste technischer Baubestimmungen (ELTB) [6] geregelt. Demnach sind die Nachweise der Gesamtstandsicherheit entsprechend dem Nachweisverfahren GEO-3 der DIN 1054:2010-12 [7] zu führen. Dabei ist zu beachten, dass locker gelagerte, wassergesättigte Kippenböden schon bei geringer Störung flüssig werden können und daher nicht ausreichend duktil sind. Einen Überblick über die zu erbringenden geotechnischen Nachweise für den Bau- und Endzustand sowie für den Nutzungszustand zeigt Abb. 8.

Durch die dynamische Anregung aus dem späteren Zugverkehr kommt es zu einem Anstieg des Porenwasserdruckes, der sich infolge mehrerer Achsübergänge entsprechend akkumulieren kann. In

der Folge dieses Anstieges nehmen die effektiven Spannungen im Boden ab und die Scherfestigkeit wird reduziert. Durch entsprechende Infrastrukturbetreiber beauftragte und getragene Untersuchungen ist nachzuweisen, dass eine die Gesamtstandsicherheit gefährdende Reduzierung der effektiven Spannungen bzw. der Scherfestigkeit im Nutzungszustand sicher ausgeschlossen werden kann und die durch das Bodeneigengewicht und die Verkehrslast verursachten Verformungen hinreichend klein zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit (serviceability limit state - SLS) sind.

4.4 Bisherige Ergebnisse der Nachweise und Auswirkungen auf die Verdichtungsarbeiten

Für den mittels Rütteldruckverdichtung ertüchtigten Untergrund im Bereich der Innenkippe liegen derzeit schon die Nachweise zur Kontrolle der Verdichtungsqua-



Abb. 8: Geotechnische Nachweise gemäß SächsBergVO (Bau- und Endzustand) und gemäß ELTB (Nutzungszustand)

lität vor [11]. Der Nachweis einer anforderungsgerechten Ausführung der Verdichtungsarbeiten in Bezug auf die Einhaltung der Maschinen- und geometrischen Parameter (z. B. Verdichtungsenergie, -zeit, -tiefe) wurde durch eine statistische Auswertung der Leistungsparameter der Rütteldruckverdichtung erbracht. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für das Erreichen des Verdichtungserfolges gegeben. Zum Nachweis der erreichten Verdichtung wurden Drucksondierungen, Kombinationsdrucksondierungen und direkte Dichtebestimmungen an Bodenproben aus Liner-Kernbohrungen ausgewertet sowie geodätisch die Geländeabsenkungen bestimmt.

Durch die Rütteldruckverdichtung bis zum Kippenliegenden in einer Tiefe von ca. 30 m unter OK Gelände kam es zu einer Geländeabsenkung von bis zu 3,0 m, im

Mittel um 2,6 m (Abb. 9). Aus der Geländeabsenkung kann eine mittlere Dichtezunahme um $2,6 \text{ m} / 30 \text{ m} = 8,7\%$ bzw. bei einer mittleren Trockendichte vor der Verdichtung von $\rho_d = 1,55 \text{ g/cm}^3$ eine mittlere Dichtezunahme von $\Delta\rho_d = 0,134 \text{ g/cm}^3$ abgeleitet werden.

Das Sanierungsziel ist im Bereich der Innenkippe erreicht und damit die Verflüssigungsfahr grundsätzlich beseitigt. Derzeit sind jedoch noch Zonen mit so genannten „Schwachstellen“ bzw. mit unzureichender Lagerungsdichte, insbesondere oberflächennah, verblieben [11]. Es wurde deshalb ein von der G.U.B. Ingenieur AG, der LMBV, der DB ProjektBau GmbH und der Gepro Ingenieurgesellschaft mbH abgestimmtes Nachuntersuchungsprogramm durchgeführt. Dieses beinhaltete einerseits zusätzliche Drucksondierungen, um einen Festigkeitszuwachs, mit der Zeit resul-

4



Abb. 9: Geländeabsenkung durch die Rütteldruckverdichtung im Bereich der Innenkippe Lohsa

Foto: DB ProjektBau GmbH

BBL LOGISTIK GMBH
EISENBAHNVERKEHRSUNTERNEHMEN



BBL CONSULTING GMBH



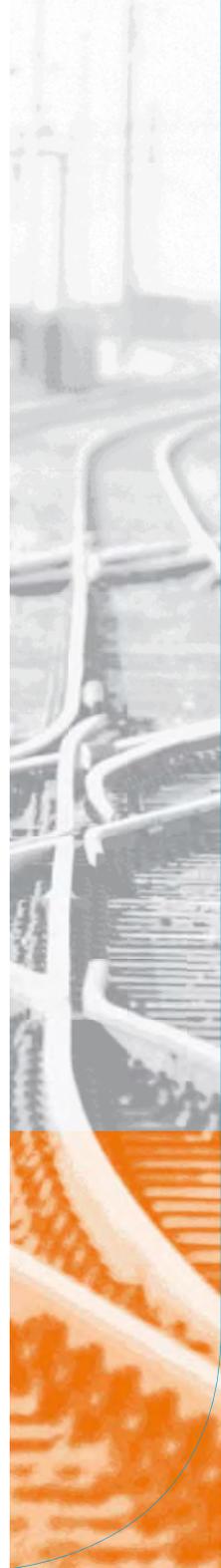
BBL TECHNIK GMBH



Moderne Unternehmen als zuverlässige Partner für Verkehrslogistik, Infrastruktur, Technik und Beratung rund um die Eisenbahn

Unsere Standorte

- Entenfangweg 7-9 | 30419 Hannover
- Geschwister-Scholl-Straße 7 | 39646 Oebisfelde
- Fürther Straße 53a | 90429 Nürnberg
- Weidkamp 180 | 45356 Essen



tierend aus dem Abbau des infolge der Tiefenverdichtung erhöhten Porenwasserdruckes im Untergrund, messen zu können. Andererseits wurden Linerkernbohrungen zur Gewinnung von ungestörten Proben für direkte Dichtebestimmungen und für Triaxialversuche ausgeführt. Diese Nachuntersuchungen werden gegenwärtig ausgewertet.

Unabhängig von den Ergebnissen der Nacherkundung sollen erkannte oberflächennahe Schwachstellen mit einem schweren Verdichtungsgerät nachverdichtet werden. Vorgesehen ist hierfür das HEIC-Verfahren (High Energy Impact Compaction) mittels Einsatz einer schweren Polygonwalze der Firma Landpac [13]. Für den mittels Rüttelstopfverdichtung im Bereich Ostböschung Silbersee ertüchtigten Untergrund mit einer Breite von 50 m im Bereich der Bahntrasse sowie den uferseitig mittels Rütteldruckverdichtung ertüchtigten Untergrund mit einer Breite von 15 m liegen auch für die Ostböschung Silbersee entsprechende Nachweise zur Kontrolle der Verdichtungsqualität vor [12].

Im Bereich Ostböschung Silbersee resultiert aus dem Einbringen des Stopfmaterials Splitt/Schotter mit einer Körnung 5/32 (mittlere Masse 1,1 t/m Rüttelstopfsäule) unter Berücksichtigung eines mittleren Säulenrasters von 3,0 x 3,0 m eine Dichtezunahme von $\Delta\rho_{d, \text{Schottersäule}} = 0,122 \text{ g/cm}^3$. Die Erhöhung der Lagerungsdichte zeigte sich in einer mittleren Geländeabsenkung von 1,2 m. Bei einer mittleren Verdichtungstiefe von ca. 33 m unter OK Gelände bis zum Kippenliegenden resultiert daraus eine mittlere Dichtezunahme um $1,2 \text{ m} / 33 \text{ m} = 3,6\%$ bzw. eine mittlere Dichtezunahme von $\Delta\rho_{d, \text{Geländeabsenkung}} = 0,056 \text{ g/cm}^3$. Dadurch ergibt sich eine gesamte mittlere Dichtezunahme von $\Sigma\Delta\rho_d = 0,179 \text{ g/cm}^3$.

Die Dichtezunahme durch die Rüttelstopfverdichtung bei der Ostböschung Silbersee ist damit um ca. 30% größer gegenüber der Dichtezunahme infolge der Rütteldruckverdichtung in der Innenkippe Lohsa. Für die Ostböschung Silbersee wurde daher das Sanierungsziel ebenfalls grundsätzlich erreicht und die Verflüssigungsgefahr beseitigt.

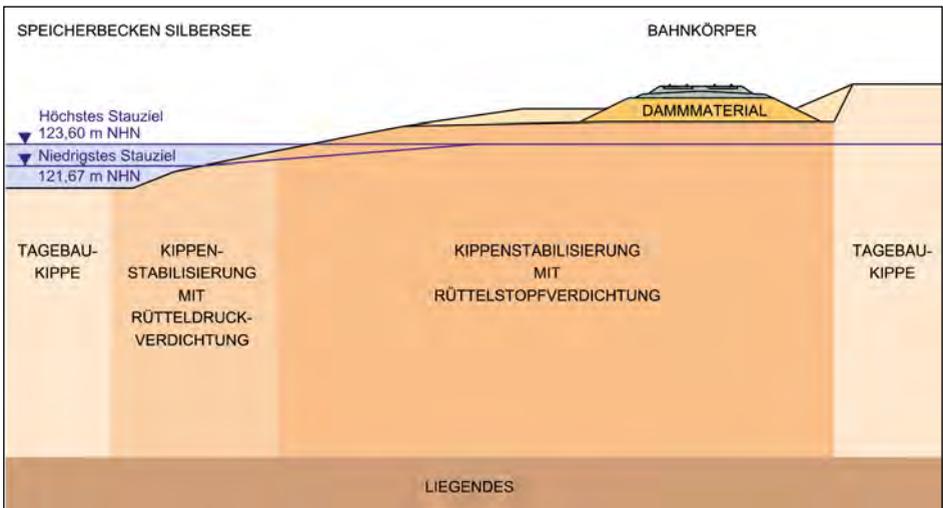


Abb. 10: Schematischer Querschnitt durch den Dammkörper im Bereich der Ostböschung Silbersee

Der Abschluss der Sanierungsarbeiten der LMBV in beiden Sanierungsabschnitten einschließlich der erforderlichen Nachweisführung und der Freigabe durch das Sächsische Oberbergamt auf der Grundlage eines genehmigten Abschlussgutachtens ist im Frühjahr 2016 geplant.

5 Streckenausbau durch die DB Netz AG

Nach dem Abschluss der Arbeiten zur Tiefenverdichtung mittels Rüttelstopfverdichtung (RSV) und Rütteldruckverdichtung (RDV) sowie einer entsprechenden Geländeprofilierung durch die LMBV erfolgt der Streckenausbau durch die DB Netz AG ab 2016. Die Leistungsgrenze liegt im Bereich der Ostböschung in Höhe des Planums, so dass hier die LMBV auch den Dammkörper der Bahnanlage errichtet. Im Bereich der Innenkippe Lohsa ist die Leistungsgrenze zwischen LMBV und DB Netz AG das grob profilierte Arbeitsplanum der Rütteldruckverdichtung. Die Abb. 10 und Abb. 11 zeigen schematische Querschnitte im Bereich der Ostböschung Silbersee bzw. der Innenkippe Lohsa mit Darstel-

lung der Tiefenverdichtungsbereiche und des Bahnkörpers.

6 Messprogramm zur Verformungskontrolle und Verifizierung der Berechnungsannahmen

Zur Kontrolle der Gesamtverformungen des errichteten Erdbauwerkes zur Absicherung der Gebrauchstauglichkeit, zur Kontrolle der Verformung von Bauteilen innerhalb der Leistungsgrenzen von LMBV bzw. DB Netz AG für die Verfolgung von Gewährleistungsansprüchen sowie zur Verifizierung von Annahmen in den geotechnischen Nachweisen wird die DB Netz AG ein Messprogramm umsetzen.

Dieses beinhaltet folgende Messungen bzw. Auswertungen, die voraussichtlich bis 24 Monate nach Inbetriebnahme durchgeführt werden:

- Inklinometermessungen zur Setzungskontrolle in den Übergabeebenen (Leistungsgrenzen LMBV – DB Netz AG),
- geodätische Verformungsmessungen zur Setzungskontrolle an auf dem Dammkörper installierten Setzungsepegeln,

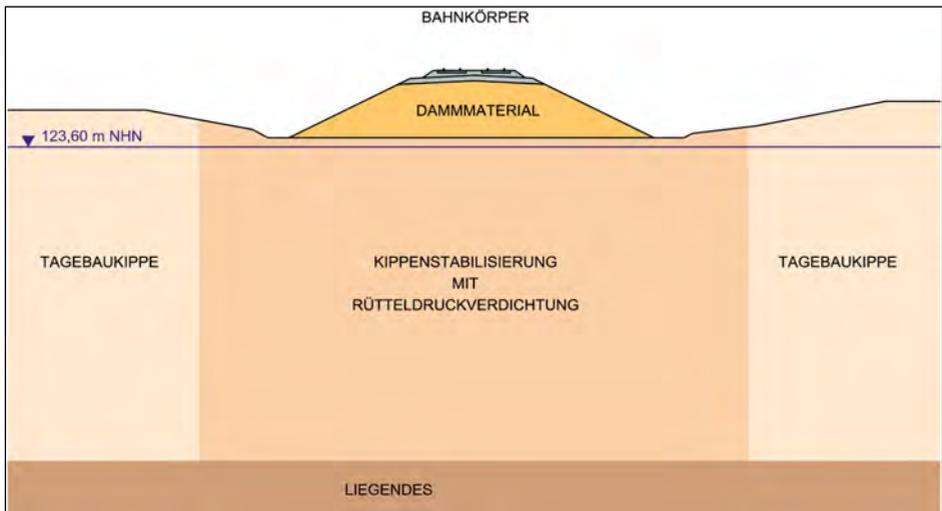


Abb. 11: Schematischer Querschnitt durch den Dammkörper im Bereich der Innenkippe Lohsa

- Auswertung Gleismessdaten der regelmäßigen Gleisgeometrieprüfung gemäß RIL 821.2001 zur Kontrolle langwelliger Gleisverformungen sowie
- Porenwasserdruckmessungen und Schwingungsmessungen unter Zugverkehr zur Kontrolle der PWD-Entwicklung in den verdichteten Kippenmischböden sowie zur Verifizierung der Berechnungsannahmen beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit entsprechend dem Nachweisverfahren GEO-3 der DIN 1054:2010-12 [7].

7 Zusammenfassung

Mit den Sanierungsmaßnahmen der LMBV im Bereich Bahnhof Lohsa wird die Standsicherheit der ehemaligen Abraumkippe zur Gewährleistung der dauerhaften öffentlichen Sicherheit hergestellt. Damit wird die Voraussetzung für den Wiederaufbau des Bahnkörpers geschaffen. Im sanierten Streckenabschnitt kann damit ein sicherer Eisenbahnbetrieb gewährleistet werden.

Quellen

- [1] Einzelvereinbarung zur Finanzierung des Bedarfsplanvorhabens ABS Hoyerswerda – Horka – Grenze D/ PL zwischen BMVBS und EIU vom 12.04.2012, Anlage 1 (Kurzbeschreibung), unveröffentlicht
- [2] G.U.B. Ingenieur AG: Kippenstabilisierung im Bereich des Bahnhofes Lohsa, DB Strecke 6207, km 59,685 bis km 61,5+700, Genehmigungsplanung; Standsicherheitseinschätzung, Zwickau, 26.06.2008, unveröffentlicht
- [3] G.U.B. Ingenieur AG: Kippenstabilisierung im Bereich des Bahnhofes Lohsa, Teil 1 Ostböschung Silbersee, Geotechnische Ausführungsplanung, Zwickau, 31.08.2010, unveröffentlicht
- [4] G.U.B. Ingenieur AG: Geotechnische Stellungnahme zur Weiterführung der Verdichtungsarbeiten an der Ostböschung Silbersee, Zwickau, 21.09.2011, unveröffentlicht
- [5] Sächsisches Oberbergamt: Sächsische Bergbauverordnung, vom 16.07.2009
- [6] Eisenbahn-Bundesamt: Eisenbahnspezifische Liste technischer Baubestimmungen (ELTB) Fassung April 2015, gültig ab 02.04.2015
- [7] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 1054:2010-12; Baugrund – Standsicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010
- [8] Wegener, D.; Kipper, R.; Hering, C.; Scholz, E.: „Messtechnische Begleitung der Kippenstabilisierung für den Ausbau einer Bahnstrecke“, 7. Freiburger Geotechnik-Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg, 06/2013
- [9] Hering, C.; Wackerow, H.-G.: „Ausbaustrasse Knappenrode – Horka: Die Untergrundsanierung auf der Altbergbaukippe im Bereich Lohsa“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 01+02/2014
- [10] Empfehlungen zur Tragschichtgestaltung in Bereichen mit Rüttelstopfsäulen zur Kippenstabilisierung, Ausbau Knappenrode – Horka – Grenze (D/PL), Strecke 6207, km 22,300 – km 66,170, Kippenstabilisierung Silbersee, Gepro Ingenieurgesellschaft mbH, 09.10.2007, unveröffentlicht
- [11] G.U.B. Ingenieur AG: Kippenstabilisierung im Bereich des Bahnhofes Lohsa, Teil 2 Innenkippe Lohsa, Geotechnisches Gutachten zum Verdichtungsnachweis, Zwickau, 19.09.2014, unveröffentlicht
- [12] G.U.B. Ingenieur AG: Kippenstabilisierung im Bereich des Bahnhofes Lohsa, Teil 1 Ostböschung Silbersee, Geotechnisches Gutachten zum Verdichtungsnachweis, Zwickau, 15.01.2015, unveröffentlicht
- [13] Landpac Ground Engineering Ltd, Intelligente Bodenverbesserung, www.landpac.co.uk, http://www.ecosoil-umwelt.de/medien/bg_landpac_deutsch3.pdf, 2015