

17. Erdbaufachtagung

„Erd- und Grundbau bei Infrastrukturmaßnahmen“



Ertüchtigung von Gleisunruhestellen mit „Qualifizierter Bodenverbesserung“ und Rüttelstopfsäulen - Erfahrungen aus der Planung und Bauausführung

| | |
|------------|--|
| Referent | Dipl.-Ing. (FH) Clemens Haase GEPRO Ingenieurgesellschaft mbH |
| Tagungsort | H4 Hotel Leipzig Schongauer Straße 39 04329 Leipzig Tel.: +49 341-2540 |
| Termin | 12./13. Mai 2022 |

1 Veranlassung und Projektübersicht

Der von der DB Netz AG beauftragte Vorhabenabschnitt befindet sich westlich von Cottbus auf der Strecke 6345 Halle Hbf - Guben. In dem zweigleisigen und elektrifizierten sowie planmäßig mit einer Geschwindigkeit von $v = 120 \text{ km/h}$ befahrenen Streckenabschnitt Calau - Eichow bestanden auf einer Strecke von insgesamt knapp 3 km Länge erhebliche Gleislageprobleme (siehe Bild 1). Durch die wiederholt und in kurzer Folge auftretenden Gleislagefehler mit Grenzwertüberschreitungen SR_A und SR_{lim} der Längshöhe musste seit ca. 2004 eine Langsamfahrstelle VzG-La 50 km/h eingerichtet werden. Zeitgleich war ein sehr hoher Instandhaltungsaufwand mit häufigen Stopf- und Richtarbeiten zur Gewährleistung der Sicherheit und zur Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes erforderlich. Hierbei war zu berücksichtigen, dass im überwiegenden Teil des betrachteten Streckenabschnittes bereits Mitte der 1990er Jahre eine Schutzschicht eingebaut worden war. Diese ist abschnittsweise 50 cm mächtig und mit einer Geogitterlage bewehrt.



Bild 1 Lage im Streckennetz der DB Netz AG, Auszug aus Streckenkarte DB AG, 2006, nicht maßstäblich.

Die Gleislagefehler konzentrierten sich vorrangig auf insgesamt 5 nicht zusammenhängende Einzelabschnitte, welche sich über beide Gleise wie folgt verteilen:

- Abschnitt 1 km 150,950 - km 151,770 bahnlinkes Gleis (820 m),
- Abschnitt 2 km 152,100 - km 152,200 bahnrechtes Gleis (100 m),
- Abschnitt 3 km 152,700 - km 153,000 bahnrechtes Gleis (300 m),
- Abschnitt 4 km 153,200 - km 153,275 beide Gleise (75 m) und
- Abschnitt 5 km 153,600 - km 153,830 bahnlinkes Gleis (230 m).



Bild 2 Deutliche zu erkennende Gleislagefehler im Abschnitt 5.

Ziel der geplanten und im Jahr 2019 realisierten Maßnahme war es, die Streckenverfügbarkeit zu sichern, die ursprüngliche Betriebsqualität mit $v = 120 \text{ km/h}$ wiederherzustellen und den Instandhaltungsaufwand dauerhaft zu reduzieren.

2 Systematik und Arbeitsschritte

Neben der Grundlagenermittlung und der Vorplanung wurden von der GEPRO Ingenieurgesellschaft auch die Fachplanungsteile des Erd- und Spezialtiefbaus sowie des Kabeltiefbaus für die Entwurfsplanung, die Genehmigungsplanung und die Ausführungsplanung bearbeitet sowie die Ausschreibungsunterlagen erstellt und Teile der geotechnischen Baubetreuung übernommen. Zur Vorbereitung der Baumaßnahme wurde im ersten Schritt eine 2-stufige Baugrunduntersuchung durchgeführt. Dabei wurde die 1. Erkundungskampagne (EKP) vorrangig zur Ursachenfindung für die bestehenden Gleislage- und Instandhaltungsprobleme und für eine Vorauswahl geeigneter Ertüchtigungsverfahren durchgeführt. Die nachfolgende 2. EKP diente der räumlichen Abgrenzung der Maßnahmenabschnitte und zur Verifizierung der Ertüchtigungsverfahren.

Als Grundlage für die Baugrunduntersuchungen wurden u. a.

- die Gleismessschriebe (GMS) der zurückliegenden Jahre ausgewertet,
- die bei einer Streckenbegehung festgestellten Auffälligkeiten berücksichtigt,
- der Instandhaltungsaufwand recherchiert und
- die geotechnischen Gutachten des ursprünglichen Umbaus Mitte der 1990er berücksichtigt.

Aus diesen Erkenntnissen wurden als wesentlicher und effektive Planungsteil Streckenbewertungsbänder (siehe Bild 3) erarbeitet, in denen u. a. die aus den Ergebnissen der Baugrunderkundungen erarbeiteten Baugrundlängsschnitte dargestellt sind.

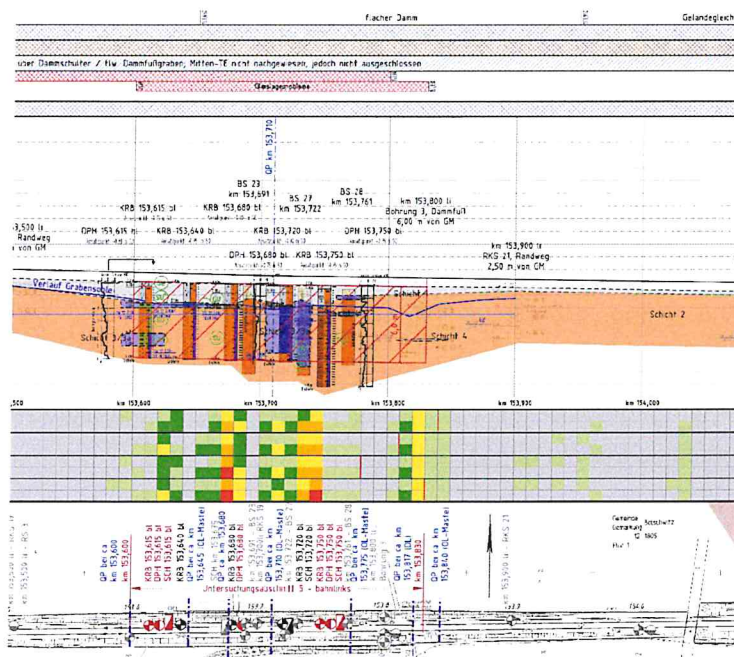


Bild 3 Auszug eines Streckenbewertungsbandes u. a. mit Darstellung der örtlichen Verhältnisse (Bauwerke, Geländesituation, Entwässerung, Oberbauart, Auffälligkeiten etc.), der Baugrundlängsschnitte, der Auswertung der Gleismessschriebe und des Lageplans (v. o. n. u.).

Die zusammenfassende Darstellung der Bewertungsbänder diente dann als Grundlage für das Erarbeiten von abschnittsbezogenen Ertüchtigungsvarianten für die 5 zu ertüchtigenden Abschnitte.

In enger Abstimmung mit der Projektleitung wurden folgende Ertüchtigungsverfahren ausgewählt:

- 1 - Qualifizierte Bodenverbesserung - QBV
- 2 - (Teil-)Bodenaustausch - BA
- 3 - Rüttelstopfverdichtung - RSV
- 4 - Fräs-Misch-Injektions-Verfahren - FMI
- 5 - Mixed-In-Place-Verfahren - MIP
- 6 - Tiefgründung mit Beton-Fertigteil-Rammpfählen

Im Zuge der Vorplanung wurde für jeden der 5 Abschnitte eine Variantenuntersuchung mit vergleichender Bewertung der Ertüchtigungsvarianten im Hinblick u. a. auf die bautechnische Eignung, die bauzeitlichen betrieblichen Auswirkungen, die Bauzeit, die Baukosten, Umweltauswirkungen sowie den späteren Unterhaltungsaufwand durchgeführt. Neben den skizzenhaften Querprofildarstellungen der Ertüchtigungsvarianten dienten insbesondere Nutzwertanalysen der Ermittlung der jeweiligen Vorzugsvariante. Die jeweiligen Vorzugsvarianten wurden hinsichtlich ihrer jeweiligen Vor- und Nachteile insbesondere im Hinblick auf eine wirtschaftliche Lösung und unter Berücksichtigung der eisenbahnbetrieblichen Randbedingungen mit der Projektleitung diskutiert. Im Zuge der sich anschließenden Entwurfsplanung wurden die jeweils herausgearbeiteten und von der Projektleitung bestätigten Vorzugsvarianten bearbeitet und dabei u. a. detaillierte zeichnerische Darstellungen der Ertüchtigungslösung im Lageplan, im Längsschnitt und in Querprofilen erstellt. Ebenso wurde in dieser Phase das Sperrzeitenkonzept für die Gleissperrungen erstellt.

3 Schadensursache, bautechnische Empfehlungen und Planung

3.1 (Planungs-)Grundsätze

Bei der Planung der Untergrundertüchtigung wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Vollsperrung beider Streckengleise im Gesamtabschnitt für einen Zeitraum von 8 Wochen,
- Ertüchtigung der bestehenden Streckengleise in der bestehenden Trasse ohne Veränderungen der Lage und der Gradienten,
- möglichst keine bzw. geringe Eingriffe in Natur und Umwelt,
- Vermeidung Planrechtsverfahren,
- Sicherung langfristig hochwertige Gleislage und geringer Instandhaltungsaufwand sowie
- möglichst kostengünstige Ertüchtigungsvariante.

3.2 Abschnitte 1 bis 3 (Herstellung qualifizierten Bodenverbesserung)

3.2.1 Schadensursache

Für die Abschnitte 1 bis 3 ergab sich folgende Ausgangslage:

- auffällig unruhige Gleislage,
- Dammlage mit mittleren bis geringen Höhen bis ca. 4 m,
- unter dem Gleisschotter unregelmäßige anthropogene Schüttlagen unterschiedlicher Dicke und Qualität,
- abschnittsweise Schutzschicht mit Dicken zwischen 15 cm und 50 cm,
- Dammböschungen entsprechen geometrischen Vorgaben des Regelwerkes, zeigen keinen auffälligen Bewuchs (Säbelwuchs oder Schilf) und weisen keine Schäden auf,
- punktuell unter dem Gleisschotter gemessene Verformungsmoduln ausreichend,
- großer Grundwasserabstand,
- häufig wechselnde Baugrundverhältnisse und
- überwiegend fein- und gemischtkörnige (wasserempfindliche) Böden der Bodengruppe TA, SU* (SU) mit stellenweise weicher Konsistenz.

Es wurde daher gutachterlich bewertet, dass die Gebrauchstauglichkeit eingeschränkt ist, eine unzureichende Standsicherheit der Dämme jedoch nicht als Schadensursache in Betracht kommt. Weiterhin wurde eingeschätzt, dass die unruhige Gleislage auf die häufig wechselnden Baugrundverhältnisse und dabei insbesondere auf die z. T. weichen bindigen Böden und die dadurch bedingten unzureichenden und schwankenden Gleisauflagerbedingungen und einen schlechten Zustand des gleisnahen Tragsystems in Verbindung mit dem alten Oberbau zurückzuführen ist.

3.2.2 Vorzugsvariante und bautechnische Empfehlungen

Im Ergebnis der Variantenuntersuchung wurde als Vorzugsvariante die Herstellung einer **qualifizierten Bodenverbesserung** mit dem Einbau einer abdeckenden Schutzschicht empfohlen. Diese stellt bei den vorherrschenden Baugrundverhältnissen ein bautechnisch geeignetes und zugleich kostengünstiges Verfahren dar. Es wurde eingeschätzt, dass damit der angestrebte Ertüchtigungserfolg mit dauerhaft guter Gleislage und geringem Instandhaltungsaufwand sichergestellt werden kann. Ein oberflächennaher Bodenaustausch wurde ebenfalls in Betracht gezogen, jedoch im Hinblick auf die aufwändigere bauzeitliche Sicherung des Geländesprungs zum Nachbargleis, die längere Bauzeit und die höheren Baukosten nicht weiterverfolgt. Die ebenfalls als bautechnisch geeigneten Verfahren RSV, FMI, MIP und Tiefgründung mit Fertigteil-Rammpfählen weisen gegenüber der Vorzugsvariante jedoch längere Bauzeiten, höhere bis deutlich höhere Baukosten auf und wurden daher nicht weiterverfolgt. Bei einer Tiefgründung mit Fertigteil-Rammpfählen hätte sich zudem das Erfordernis von UiG und ZiE und damit ein unnötiges Planungszeit-Risiko ergeben.

3.2.3 Planerische Umsetzung

Den bautechnischen Empfehlungen entsprechend wurde folgender Schichtenaufbau mit einer Gesamtdicke von 1 m (ab Unterkante Gleisschotter) geplant (siehe nachfolgendes Bild 4):

- 25 cm Schutzschichtmaterial KG 1,
- 25 cm Schutzschichtmaterial KG 2 und
- 50 cm Qualifizierte Bodenverbesserung.

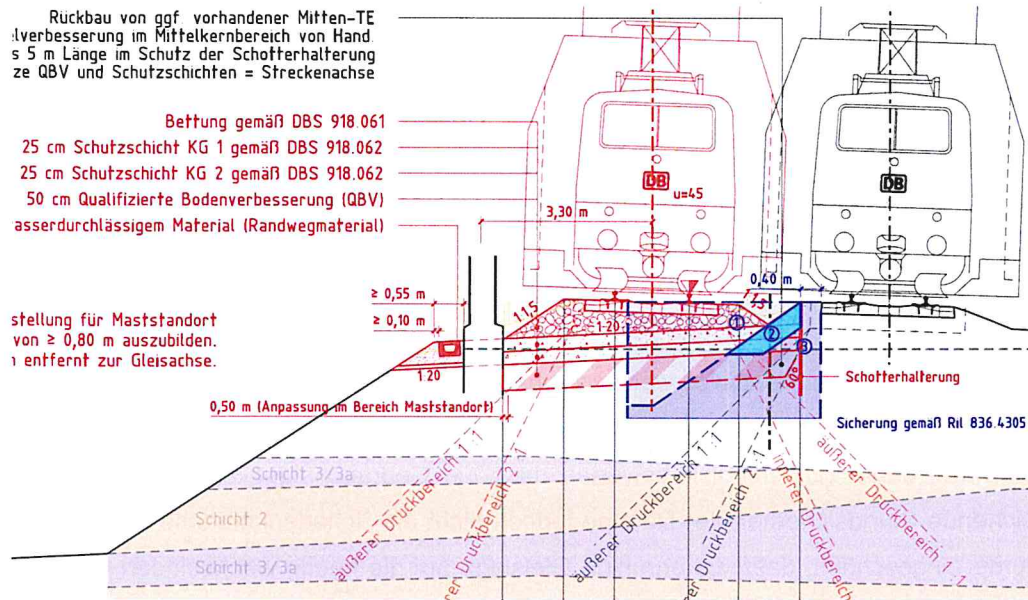


Bild 4 Auszug aus einem repräsentativen Querprofil der Ausführungsplanung mit qualifizierter Bodenverbesserung.

Bei der Planung wurde insbesondere auch auf die Herstellung eines durchgehenden Quergefälles mit Anschluss an die Dammschulter geachtet, um zukünftig eine dauerhaft gute Entwässerung der Gleise zu gewährleisten und um den Eintrag von Niederschlagswasser in den Dammkörper zu vermeiden.

Weiterhin wurde der Rückbau der abschnittsweise vorhandenen, mittig liegenden (und möglicherweise auch teilweise schadensursächlichen) Tiefenentwässerung bei gleichzeitiger Verfüllung des Mittelkerns mit Schutzschichtmaterial aus KG 1 geplant.

3.3 Abschnitte 4 und 5 (Herstellung Rüttelstopfsäulen)

3.3.1 Schadensursache

Die Abschnitte 4 und 5 waren wie folgt zu charakterisieren:

- sehr unruhige Gleislage mit mehrfachen deutlichen Senken im Abschnitt 4 in beiden Gleisen und im Abschnitt 5 nur im bahnlinken Gleis,
- leichte Dammlage bzw. Geländegleichlage mit ausreichend tiefen Bahngräben,
- Schutzschicht 50 cm KG 1 über KG 2 mit Geogitter vorhanden und in gutem Zustand,
- Verformungsmoduln E_{vd} auf OFTS und PL ausreichend,
- darunter feinkörnige (wasserempfindliche) Böden der Bodengruppe TA, weich bis steif,
- im Abschnitt 4 auffällige Baugrundsichtung - tiefe Rinne aus feinkörnigen (wasserempfindlichen) Böden TA und organischen Böden unter dem bahnlinkem Gleis,
- im Abschnitt 5 oberflächennah geringmächtige Schicht aus organischem Boden (Torf),
- unmittelbar unterlagert von gut tragfähigen Sanden SU / SU*,
- vor allem im Abschnitt 5 starker Bewuchs unmittelbar am Gleis, z. T. Schilfbewuchs und
- vergleichsweise geringer Grundwasserabstand ca. 3,5 m u. SO.

Die unruhige Gleislage ist auf die unter der Schutzschicht anstehenden z. T. aufgeweichten fein- und gemischtkörnigen sowie z. T. organischen Böden und die dadurch bedingten schlechten Auflagerbedingungen des Gleises in Verbindung mit den ungünstigen hydrologischen Bedingungen zurückzuführen.

3.3.2 Vorzugsvariante und bautechnische Empfehlungen

Im Ergebnis der Variantenuntersuchung wurden für die beiden Abschnitte 4 und 5 eine **tiefreichende Baugrundverbesserung mittels Rüttelstopfverdichtung** empfohlen. Es wurde eingeschätzt, dass damit der angestrebte Ertüchtigungserfolg mit dauerhaft guter Gleislage und geringem Instandhaltungsaufwand sichergestellt werden kann. Die Rüttelstopfverdichtung stellt bei den vorherrschenden Baugrundverhältnissen mit tiefreichender Weichschicht ein bautechnisch geeignetes und kostengünstiges Verfahren ohne Beeinflussung der Grundwasserströmung und ohne Bindemiteleinsatz dar. Als Herausforderung wurden das in diesem Abschnitt unverändert verbleibende Nachbargleis und der angrenzende gemauerte Gewölbedurchlass km 153,817 angesehen. Es bestanden Bedenken, dass infolge der Vibrationen, der seitlichen Verdrückungen und der Mitnahmesetzungen das verbleibende Gleis für den Bauzugverkehr nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen könnte und dass vor Wiederinbetriebnahme umfangreiche Maßnahmen zur Gleislagekorrektur erforderlich werden könnten. Auch für den vorhandenen Durchlass wurde eingeschätzt, dass Schäden hätten eintreten können. Die ebenfalls als geeignet eingeschätzten Verfahren FMI, MIP und die Tiefgründung mit Fertigteil-Rammpfählen wurden vor allem aufgrund der zu erwartenden höheren Herstellungskosten nicht weiterverfolgt. Der oberflächennahe Bodenaustausch und die qualifizierte Bodenverbesserung wurden hingegen aufgrund ihrer geringen Tiefenwirkung als nicht ausreichend angesehen.

3.3.3 Planerische Umsetzung

In den Abschnitten 4 und 5 wurde der folgende Schichtenaufbau geplant (siehe Bild 5):

- 25 cm Schutzschichtmaterial KG 1
- Geogitter entsprechend Anwendungsfall 3.6 gemäß DBS 918 039
- 25 cm Schutzschichtmaterial KG 2
- Geogitter entsprechend Anwendungsfall 3.6 gemäß DBS 918 039
- 15 cm Ausgleichsschicht GW / GI
- Rüttelstopfsäulen im Dreiecksraster (Achsabstand) 1,25 m x 1,25 m (siehe Bild 6),
Tiefe (ab UK Schotter) entsprechend der Unterkante der Weichschicht zwischen 6,0 m und 12 m

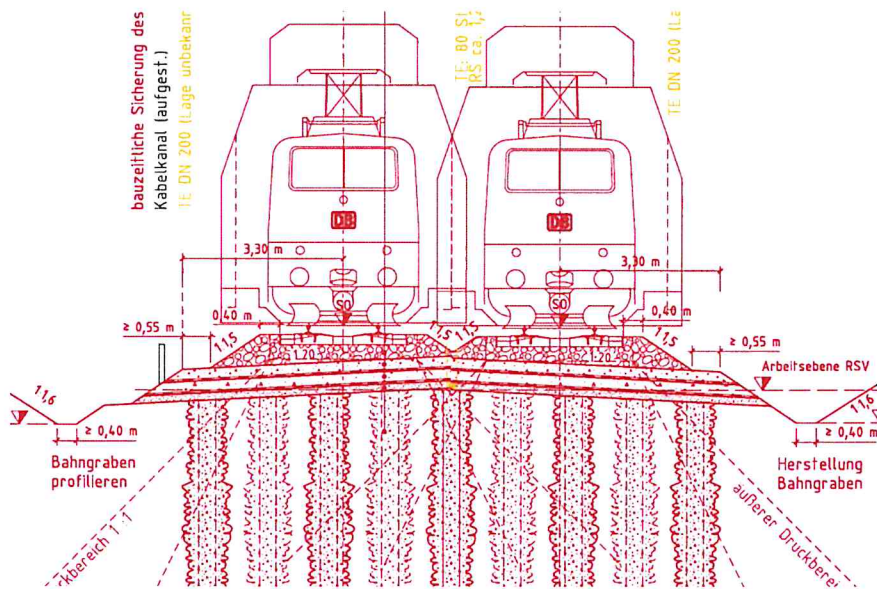


Bild 5 Auszug aus dem Regelquerprofil des Abschnittes 4 der Ausführungsplanung mit Darstellung der Rüttelstopfsäulen und des darüberliegenden geogitterbewehrten Schutzschichtsystems.

Bei der Planung wurde zusätzlich Folgendes berücksichtigt:

- Herstellung eines durchgehenden Quergefalles der OFTS und des Planums mit Anschluss an die Dammschulter bzw. Planumskante zur Gewährleistung einer optimalen Entwässerung der Gleise,
- Rückbau der vermutlich mittig liegenden Tiefenentwässerung bei gleichzeitiger Verfüllung des Mittelkerns mit Schutzschichtmaterial aus KG 1 und
- Reprofilierung des Bahn- bzw. Dammfußgrabens und dessen Anschluss an eine geeignete Vorflut.

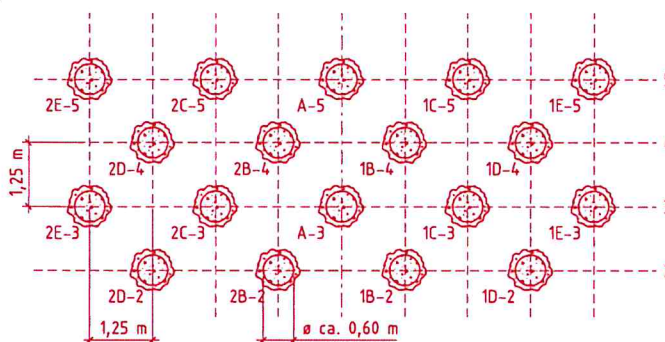


Bild 6 Planauszug aus der AP mit Darstellung der Draufsicht auf das Säulen-Dreiecksraster.

4 Bauausführung

Die Bauausführung erfolgte in einer 8-wöchigen Sperrung beider Streckengleise im Zeitraum September / Oktober 2019. Dabei wurden neben der vollständigen Realisierung der geplanten Tiefbaumaßnahmen abschnittsweise Oberbauerneuerungen und Kabeltiefbau einschließlich LST-Arbeiten durchgeführt sowie der im Gesamtabschnitt gelegene Bahnübergang umgebaut. Um die Bauzeit einzuhalten, mussten die Arbeiten mit mehreren Bauspitzen zeitgleich in allen Abschnitten ausgeführt werden. Die Sperrzeit wurde trotz der bestehenden zeitlichen Herausforderung nicht überschritten und die Wiederinbetriebnahme konnte termingerecht erfolgen.

4.1 Abschnitte 1 bis 3 (Herstellung qualifizierte Bodenverbesserung)

Beim Freilegen des Arbeitsplanums (Planum) wurden abschnittsweise aufgeweichte feinkörnige Böden (siehe Bild 7) im häufigen Wechsel mit vorwiegend gemischt- und grobkörnigen Böden festgestellt. Dies bestätigte einerseits die vermutete Ursache der Gleislagefehler und andererseits die richtige Auswahl der qualifizierten Bodenverbesserung (QBV) zur dauerhaften Beseitigung der Gleislagefehler.



Bild 7 Blick auf das Planum vor dem Aufstreuen des Bindemittels. Das anhand der Fahrspuren zu erkennende abschnittsweise starke Einsinken der Baufahrzeuge zeigt die unterschiedlichen Auflageverhältnisse der Gleise. Dies war Grund für die Gleislagefehler.

Bei der Herstellung der QBV stellten die wechselnden Bodenverhältnisse insbesondere auch mit den unterschiedlichen Wassergehalten eine Herausforderung dar. Ein Wechsel der Bindemittelmenge und -art war weder praktikabel noch umsetzbar. Es wurde daher folgendes einheitliches Einbaukonzept festgelegt:

- 5 M.-% Mischbinder B 30 mit 30 % Kalk- und 70 % Zementanteil gemäß Eignungsuntersuchung
- Ausstreuen des Bindemittels zu 100 %
- Einfräsen des Bindemittels mit mind. 3 Fräsübergängen (siehe Bild 8)
- zusätzliche Fräsübergänge bei feinkörnigen Böden mit augenscheinlicher Knollenbildung
- Verdichten mit mind. 4 Verdichtungsübergängen durch Glattmantelwalze mit Anbauverdichtern
- Profilieren der Oberfläche QBV mit Raupe
- Verdichten der Oberfläche mit kleiner Glattmantelwalze



Bild 8 Blick auf den Abschnitt 1 während des Einfräsens des Bindemittels. Links im Bild zu erkennen ist das Ausstreufahrzeug, welches das Bindemittel zuvor gleichmäßig ausbringt.

Ungünstig war, dass aufgrund der eingesetzten Frästechnologie keine direkte Wasserzugabe und keine Kontrolle des Wassergehaltes erfolgen konnte. In Abschnitten mit anstehenden grobkörnigen Böden mit geringen Wassergehalten war der Wassergehalt des Boden-Bindemittel-Gemisches augenscheinlich deutlich zu gering. Dem Zement fehlte damit tendenziell Wasser zur Reaktion, jedoch waren die erreichten Festigkeiten ausreichend hoch. Bei zukünftigen Baumaßnahmen sollte besonderes Augenmerk auf die Einstellung Wassergehalt gelegt werden. Die erreichte Qualität der Herstellung der qualifizierten Bodenverbesserung ist insgesamt als gut zu bewerten.

4.2 Abschnitte 4 und 5 (Herstellung Rüttelstopfsäulen)

Die Herstellung der Rüttelstopfsäulen (RSS) erfolgte wie geplant im Dreiecksraster mit den vorgesehenen Abständen und den Säulentiefen mit 2 parallel arbeitenden Rüttelstopfgeräten. Bei der Bauausführung traten folgende Herausforderungen auf:

- Insbesondere im Abschnitt 4 zeigte sich, dass die zu durchfahrenden feinkörnigen Böden (Beckentone- und schluffe) sehr schnell wechselnde Konsistenzen zwischen breiig/weich bis halbfest/fest aufwies. Dabei wurden innerhalb des Beckentons/-schluffs lokal Wasseransammlungen und organische Einschlüsse festgestellt. Aufgrund der im halbfesten und festen Ton/Schluff für den Schleusenrüttler auftretenden hohen Eindringwiderstände wurde entschieden die Säulen grundsätzlich vorzubohren.
- Der unterlagernde und gut tragfähige Feinsand wies im Grundwasser kaum Eindringwiderstände beim Einfahren des Schleusenrüttlers auf. Um eine tragfähige Basis innerhalb des zur Lastabtragung geeigneten Sandes zu schaffen, wurden die RSS mind. 2 m in den Sand eingebunden und durch ein mehrfaches Wiederanstopfen des untersten Säulenmeters eine tragfähige Säulenbasis geschaffen. Eine grundsätzliche Anpassung der geplanten Säulentiefen war jedoch nicht erforderlich.

- In der Aushubsohle zeigten sich abschnittsweise kleinräumig stark wechselnde Baugrundverhältnisse mit den unzureichend tragfähigen, aufgeweichten, feinkörnigen und organischen Böden und den vergleichsweise gut tragfähigen feinsandigen Böden (siehe Bild 9). Zur Vergleichsmäßigung und Verbesserung der oberflächennahen Lastabtragung und der Kräfteinleitung in die Säulen sowie zur Verringerung von oberflächennahen Setzungsunterschieden wurde entschieden, dass die Dicke der Ausgleichsschicht in den betroffenen Bereichen kleinräumig von 15 cm auf 30 cm vergrößert wurde.



Bild 9 Blick auf den Abschnitt 5 während des Bodenabtrages oberhalb der Rüttelstopfsäulen zum Einbau der Ausgleichsschicht und des lastverteilenden geogitterbewehrten Tragschichtsystems. Die kleinräumig stark wechselnden Baugrundverhältnisse sind gut zu erkennen.



Bild 10 Blick auf die Herstellung der Rüttelstopfsäulen.

Die Herstellung der Rüttelstopfsäulen erfolgte in hoher Qualität. Auch die geplanten Zieltiefen konnten erreicht werden. Dies baubegleitend durchgeführten visuellen Begutachtungen des Durchlasses und die Kontrollmessungen am Nachbargleis zeigten zudem, dass die im Rahmen der Bauvorbereitung nicht auszuschließenden Schäden am Durchlass und am verbliebenen Streckengleis infolge des Einbringens der Rüttelstopfsäulen nicht eingetreten sind.

5 Ertüchtigungserfolg und Fazit

Seit der planmäßigen Wiederinbetriebnahme beider Streckengleise im Oktober 2019 erfolgt in beiden Gleisen uneingeschränkter Regelverkehr mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h. Mit Ausnahme des regelwerkskonform durchgeführten Belastungsstopfganges waren bisher keine Instandhaltungs- und Stopfarbeiten erforderlich. Auch die Auswertungen der aktuellen Gleismessschriebe vom März 2022 (siehe Bild 11) und damit mehr als 2,5 Jahren Betriebsbelastung nach der Baumaßnahme zeigen, dass in den ertüchtigten Abschnitten eine sehr gute Gleislagequalität erreicht werden konnte. Der ebenfalls im Bild 11 enthaltene Vergleich mit den vor der Ertüchtigung bestehenden Gleisunruhen zeigt sehr deutlich den erreichten Ertüchtigungserfolg.

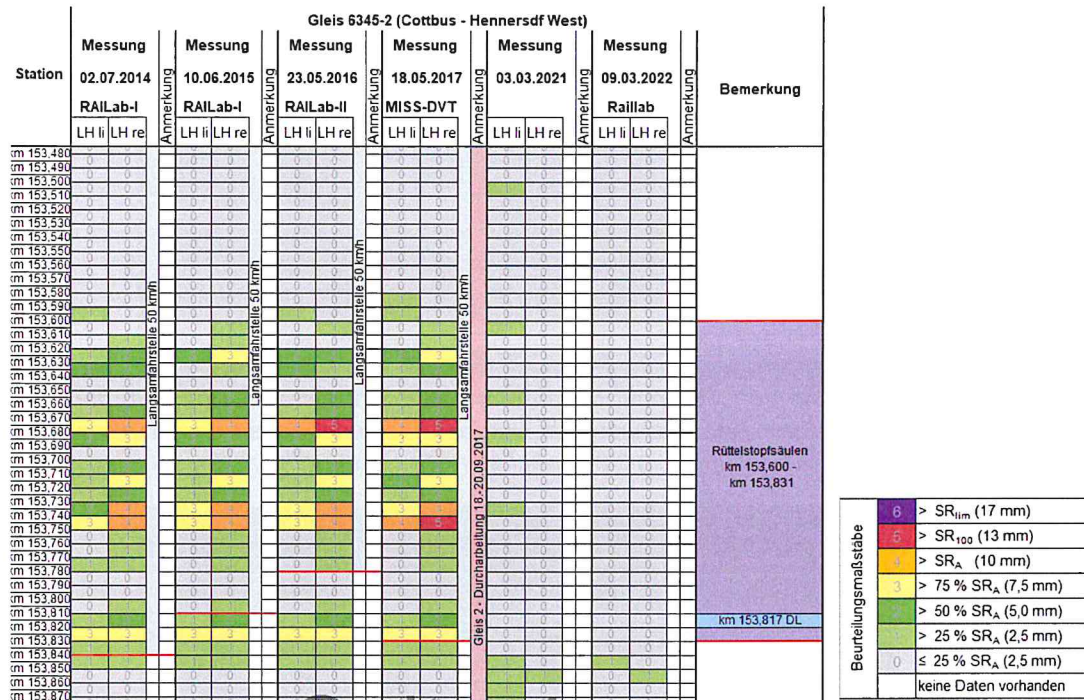


Bild 11 Auswertung der Gleismessschriebe beispielhaft für den Abschnitt 5.