

Die längste Stützwand an der NBS Erfurt – Halle/Leipzig

Neue Erkenntnisse bei der Bemessung, dem Bau und der messtechnischen Überwachung einer Raumgitterwand (RGW) mit außergewöhnlicher Geometrie



Abb. 1: Fertiggestellter Wandabschnitt bei NBS-km 268,200 im April 2012

Foto: Autoren

**CHRISTIAN ERNST | RENÉ KIPPER |
ROBERT-BALTHASAR WUDTKE**

Beim Bau der NBS Erfurt – Halle/Leipzig wurde eine insgesamt 2,6 km lange und bis zu ca. 9 m hohe, vergleichsweise flach geneigte Raumgitterwand zur Sicherung einer Einschnittsböschung errichtet. Das Trag- und Verformungsverhalten der Konstruktion im Nutzungs- und im Sonderlastfall, für das bei der zur Ausführung gekommenen Geometrie noch keine Erfahrungen vorlagen, wurde mittels eines Monitoringprogramms überprüft. Die Ergebnisse von Untersuchungen der äußeren Tragfähigkeit gemäß dem konventionellen Sicherheitskonzept wurden mit den Ergebnissen numerischer Analysen zum Tragverhalten verglichen. Im Ergebnis wird für flach geneigte Raumgitterwände festgestellt, dass die Berücksichtigung eines teilweise mobilisierten passiven Erddruckes eine zutreffende und wirtschaftliche Bemessung ermöglicht.

Raumgitterwände (RGW) sind Stützkonstruktionen, deren Fertigteilelemente nach einem Baukastenprinzip in Längs- und Querrichtung aufeinander gelagert werden, so dass ein räumliches Gitter entsteht. Die Zellen dieses Gitters werden mit Erdstoff verfüllt, wodurch ein tragender Verbundkörper gebildet wird. Das aus geschlossenen Zellen bestehende Standardsystem wird einerseits als fiktive Gewichtsmauer aufgefasst (Monoliththeorie), andererseits als eine Reihe von Silozellen (Silotheorie), auf deren Rückwand jeweils der Erddruck einwirkt [1].

Für die im Merkblatt für Raumgitterkonstruktionen [2] angegebene Regelneigung von 4:1 bis 5:1 (ca. 75...80°) liegen zahlreiche theoretische und praktische Erfahrungswerte vor. Abweichend davon wurde an der Neubaustrecke Erfurt – Leipzig/Halle bei Bad Lauchstädt eine mit 2:1 ungewöhnlich flach geneigte Raumgitterkonstruktion errichtet. Diese wurde auf einer mehrlagigen Geogitter-Bewehrte-Erde-Konstruktion (GBE-Konstruktion) gegründet. Als standsicherheitsrelevante Besonderheit

ist aufzuführen, dass unmittelbar vor dem Wandfuß die Tiefenentwässerung der Strecke verläuft, wobei davon auszugehen ist, dass der Kanalgraben im Lebenszyklus der Wand zu Reparaturzwecken geöffnet werden muss. Mit einer Gesamtlänge von 2,6 km handelt es sich zudem um die Raumgitterwand mit der größten Baulänge in Deutschland (Abb. 1).

Die Ausführungsplanung für die Raumgitterwand wurde vom Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Peter Fuchs (Wals, Österreich) erstellt. Die Bauausführung hatte eine aus der Bickhardt Bau AG und Bickhardt Bau Thüringen GmbH bestehende Arbeitsgemeinschaft übernommen.

Projektvorstellung Übersicht

Das Verkehrsprojekt Deutsche Einheit (VDE) Nr. 8.2 umfasst die Neubaustrecke (NBS) zwischen Erfurt und Halle/Leipzig als Teil der geplanten Hochgeschwindigkeitsstrecke Nürnberg – Berlin (VDE 8) im Transeuropäischen Netz (TEN). Im Zuge der Bauausführung des Streckenloses 4 (SL 4) zwischen km 251,510

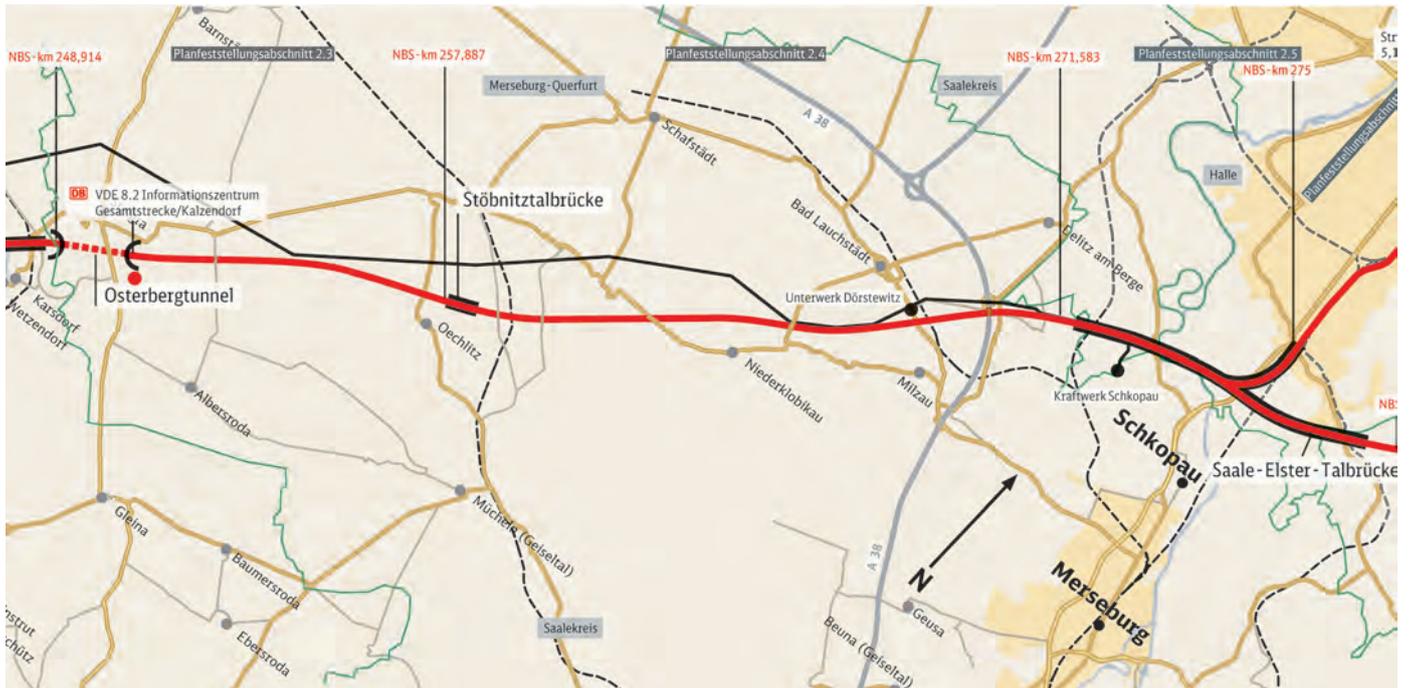


Abb. 2: Lageplanausschnitt mit Streckenlos 4 (PFA 2.3/2.4) zwischen Osterbergtunnel und Saale-Elster-Talbrücke

Grafik: www.vde8.de/mediathek

und 272,093 (Abb. 2) wurden Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt, Bauhaus-Universität Weimar, und Prof. Dr.-Ing Lutz Wichter als anerkannte Gutachter für Geotechnik im Eisenbahnbau mit den Tätigkeitsbereichen Erd-/Grundbau, Felsbau und Geokunststoffe von der DB ProjektBau GmbH mit der geotechnischen Fachprüfung der Standsicherheit und Konstruktion der geplanten Erd- und Tiefbaumaßnahmen beauftragt. Bei der zur statisch-konstruktiven Prüfung vorgelegten Ausführungsplanung handelt es sich um eine vorlagepflichtige Baumaßnahme nach §19 VV BAU, welche einer Inbetriebnahmegenehmigung nach § 6 TEIV durch die nationale Sicherheitsbehörde (EBA) bedurfte.

Planungs- und Genehmigungsprozess der Raumgitterwand

Grundlage des Entwurfs und der geotechnischen Fachprüfung der Erdbaumaßnahme waren die DB-Richtlinie (Ril) 836 in der zum Planungszeitpunkt gültigen Fassung vom 1. August 2008 sowie die mitgeltenden Regelwerke gemäß ELTB 10/2008. Für die Planung und Herstellung der Raumgitterstützwand sind gemäß Ril 836.4303 das FGSV-Merkblatt 540 (2006) „Merkblatt für Raumgitterkonstruktionen“ und die ZTV E-StB 09 maßgebend. Aufgrund der geplanten Wandhöhen von bis zu 9 m sowie der statisch wirksamen Tragwirkung des geogitterbewehrten Gründungkörpers im gesamten Stützwandbereich wurden entsprechend Ril 836.4303 eine unternehmensinterne Genehmigung (UiG) verfasst sowie eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) von der Zentrale des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) erteilt. Als Nebenbestimmungen waren zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes einzuhalten:

- Überwachung der Baumaßnahme durch den bautechnischen Prüfer,
- gutachterliche Bestätigung der angesetzten Bodenkennwerte,
- Vorgaben zur Qualitätssicherung während der Bauausführung,
- Erstellung einer Arbeitsanweisung für den geogitterbewehrten Gründungkörper zur Gewährleistung der Formstabilität im Aufgrabungsfall,
- Erstellen eines Messkonzeptes zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der Wandkonstruktion mit ereignisabhängigen Messintervallen,
- Sicherstellung der Standsicherheit für den Lastfall "Offener Kanalgraben" sowie

- umfassende Dokumentation der Baumaßnahme durch einen vom EBA anerkannten Gutachter für Geotechnik.

Besonderheiten der Raumgitterkonstruktion

Beim regelkonformen Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der mit einer Wandneigung von 2:1 geplanten Raumgitterkonstruktion (Abb. 3) ergibt sich die rechnerische Lage der Stützlinie erdseitig außerhalb des Wandquerschnittes. Dies bedeutet, dass an der luftseitigen Stützwandseite theoretisch Zugspannungen auftreten, welche systembedingt in den Knotenpunkten der Läufer-Binder-Konstruktion

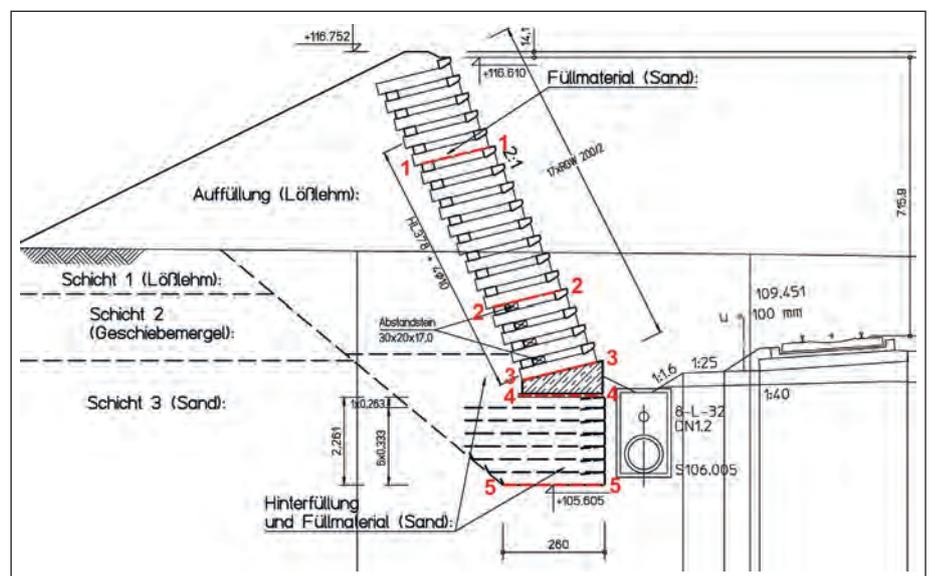


Abb. 3: Querprofil der Raumgitterwand mit einer Wandneigung von 2:1 und geogitterbewehrtem Gründungkörper

Grafik: [9]



Abb. 4: Links: Herstellung des geogitterbewehrten Gründungskörpers mit Stützschalung; rechts: Kontrolle der Formstabilität Fotos: Autoren

nicht aufgenommen werden können. Eine weitere Konsequenz der flachen Wandneigung sind die hohen rechnerischen Kantenpressungen in der Gründungssohle und die damit verbundenen Setzungsdifferenzen zwischen Wandhinter- und Wandvorderseite. Da ein temporäres Freischachten des Stützwandfußes der Raumgitterwand (RGW) bis zur Gründungssohle nicht ausgeschlossen werden konnte (z.B. Erneuerung der Streckenentwässerung) und um eine wirksame Abschirmung des Erddruckes bzw. der Sohlspannungen von der Tiefenentwässerung (TE) unterhalb der Aufstandsfläche der Raumgitterwand zu gewährleisten, war eine mehrlagige Geogitterbewehrung als Gründungselement unterhalb der Stahlbetonfundamente vorgesehen. Da dieser Bewehrte-Erde-Gründungskörper im Lastfall „Offener Kanalgraben“ standsicherheitsrelevant ist, benötigten auch die Wandabschnitte mit Höhen $H < 6,0$ m eine Einzelzulassung durch das Eisenbahn-Bundesamt. Die Formstabilität der Ansichtsfläche während der Herstellung des Gründungspolsters wur-

de durch Baubehelfe (Stützschalung) erreicht, welche im Voraus über die gesamte Einbauhöhe montiert wurden (Abb. 4). Im Zuge des Rückbaus der Stützschalung wurde die Grabenverfüllung nachverdichtet. Zur Sicherstellung einer frostfreien Gründungstiefe musste das Füllmaterial des geogitterbewehrten Gründungspolsters aus einem verdichtungsfähigen frostunempfindlichen Mineralkorngemisch (F1) bestehen, dessen Feinkornanteil $\leq 0,063$ mm nach dem Einbau $< 7\%$ beträgt. Rechtzeitig vor Inbetriebnahme wurde eine Handlungsanweisung mit sämtlichen erdbauppezifischen Sachverhalten aufgestellt, die der Betreiber während Instandhaltungs- und Baumaßnahmen zu beachten hat. Hierzu zählen auch Überwachungsmaßnahmen, wie z.B. das Monitoring der RGW-Messquerschnitte gemäß UiG und ZiE vor und während der Inbetriebnahme. Die bauzeitlichen Messungen an der RGW hatten u.a. zum Ziel, das Trag- und Verformungsverhalten der Konstruktion, für welche bei der zur Ausführung gekommenen Geometrie noch keine Erfahrungen vorlagen, zu überprüfen.

**Messtechnische Überwachung
Planung Messquerschnitte**

Die Abb. 5 verdeutlicht die Stationierungen und Hauptabmessungen der beiden Raumgitterstützwände (RGW) km 265,660 – km 267,830 und km 268,210 – km 268,660 von insgesamt $2170 \text{ m} + 450 \text{ m} = 2620 \text{ m}$ Länge und maximal 8,9 m Bauhöhe. Die Raumgitterwände sind durch Straßenüberführungen bei km 266,910 bzw. km 268,454 unterbrochen. Um möglichst frühzeitig Erkenntnisse über das Verhalten der Raumgitterkonstruktion zu erlangen und um gegebenenfalls noch in der Anfangsphase bauliche Anpassungen vornehmen zu können, wurde bereits zu Baubeginn der Messquerschnitt MQ 1 bei km 268,400 festgelegt. Ergänzend zu diesem nur 3,0 m hohen MQ 1 wurde mit dem Messquerschnitt MQ 2 ein zweiter Messquerschnitt innerhalb des mit 9,0 m höchsten Wandstückes km 267,610 – km 267,810 angeordnet. An jedem der beiden Messquerschnitte sollten die während der Bauzeit und während des Beginns der statischen Nutzungszeit ent-

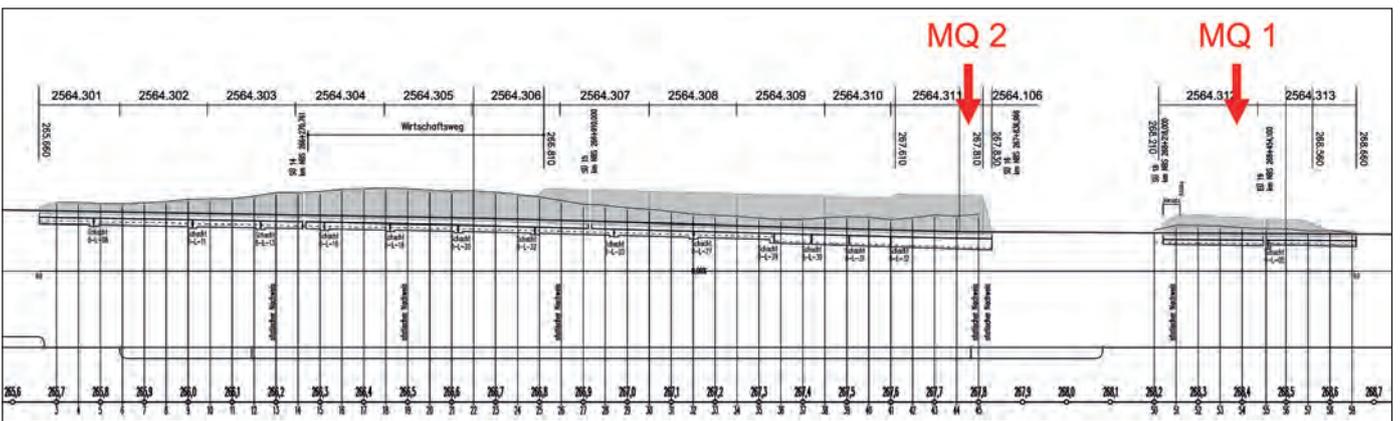


Abb. 5: Ansichten der Raumgitterwand mit Kennzeichnung der Messquerschnitte Grafik: [8], Plangrundlage: [9]

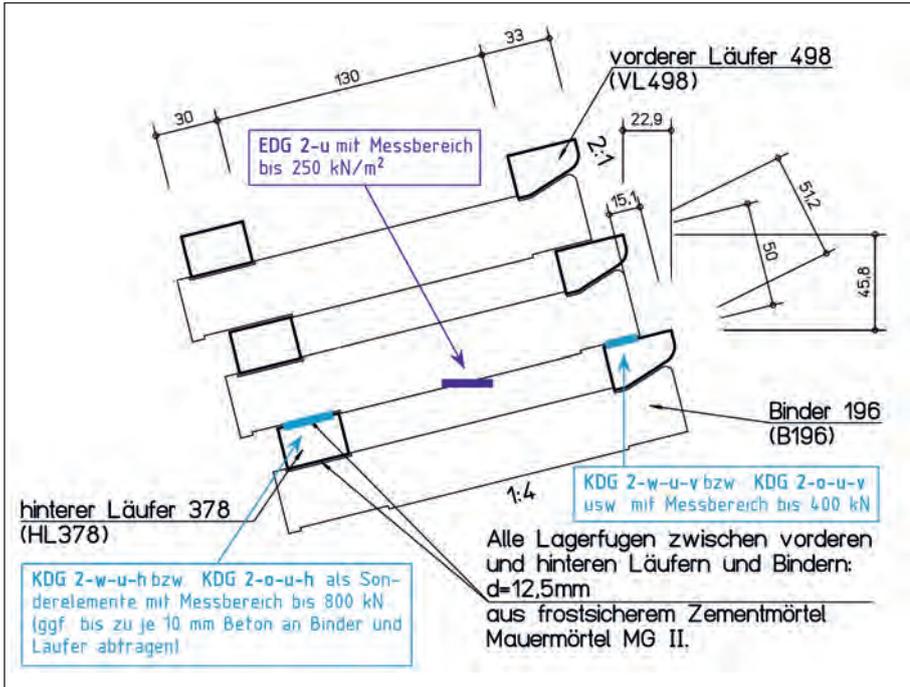


Abb. 6: Positionierung von KDG und EDG im Querschnitt Grafik: [8], Plangrundlage: [9]

stehenden Verformungen und Druckspannungsverläufe beobachtet werden. Innerhalb des Überwachungszeitraumes wurde zudem ein Teil der Grabenverfüllung der Huckepackleitung bzw. der Tiefenentwässerungsleitung am Stützwandfuß zeitweilig entfernt, um die dabei entstehenden Verformungen und Druckspannungen zu messen. Hierbei wurde zur Vermeidung von Schäden an der Sammelleitung des MQ 2 bzw. der TE-Leitung des MQ 1 nur bis zur Sohle der Sammelleitung bzw. bis zur Sohle der TE-Leitung freigegeben. Jeder der beiden Messquerschnitte wurde wie folgt mit den fünf Messverfahren A, B, C, D und E instrumentiert:

- A. Horizontalexstensometer (HEM) auf einer Geogitterlage. Die in den beiden MQ insgesamt acht installierten horizontalen Extensometer dienen zur Ermittlung der in den Geogitter-Gründungskörpern mobilisierten Verformungen.
- B. Knotendruckgeber (KDG) an den vier Auflagern der beiden untersten Binderelemente in beiden MQ und bei MQ 2 vier zusätzliche KDG an den vier Auflagern derjenigen beiden Binderelemente, welche nicht mehr durch zusätzliche Abstandssteine gestützt sind.
- C. Erddruckgeber (EDG) in der Mitte des Raumgitters zwischen den KDG und in etwaiger Höhe der KDG. Mit den insgesamt drei EDG

wurden die vertikalen Erddrücke der Raumgitterfüllung ermittelt. Sie dienen zur Plausibilitätskontrolle der Messergebnisse an den KDG.

D. Vertikalinklinometer (VIM) im Rückraum hinter der Wand. Mit den insgesamt vier VIM wurden im Inneren des Baukörpers und in der Hinterfüllung mögliche Horizontalabhebungen überwacht.

E. Geodätische Messpunktketten (GMK) an Oberflächenfestpunkten der Querschnitte zur Verformungskontrolle.

In Abb. 6 bzw. Abb. 7 sind beispielhaft die Anordnung von Knoten- und Erddruckgebern in den beiden Messquerschnitten im Querschnitt und im Grundriss dargestellt.

Eine kritische Phase der messtechnischen Überwachung stellte die Zeitspanne der temporären Freigrabens der Polstergründung unterhalb der Stützwandsohle zur Simulation des Belastungsfalls „Instandsetzung Streckenentwässerung“ dar. Abb. 8 enthält Fotoaufnahmen des freigegebenen Stützwandfußes am Messquerschnitt 2.

Messergebnisse

Die Messungen erfolgten in mehreren Kampagnen über einen Zeitraum von ca. zehn Monaten (Anfang Bau der RGW bis zwei Monate nach Fertigstellung). Die geotechnischen Messungen wurden von der Firma Viatic GmbH, die geodätischen Messungen wurden von der bauausführenden ARGE selbst ausgeführt. Das Aufstellen des Messprogramms und die Auswertung der Messungen hatte die von der DB ProjektBau GmbH für die geotechnische Beratung beim VDE 8.2 gebundene Arbeitsgemeinschaft Sachverständige Geotechnik (ARGE SVG), bestehend aus der Gepro Ingenieurgesellschaft mbH und Baugrund Dresden Ingenieurgesellschaft mbH, übernommen. Eine Kurzauswertung

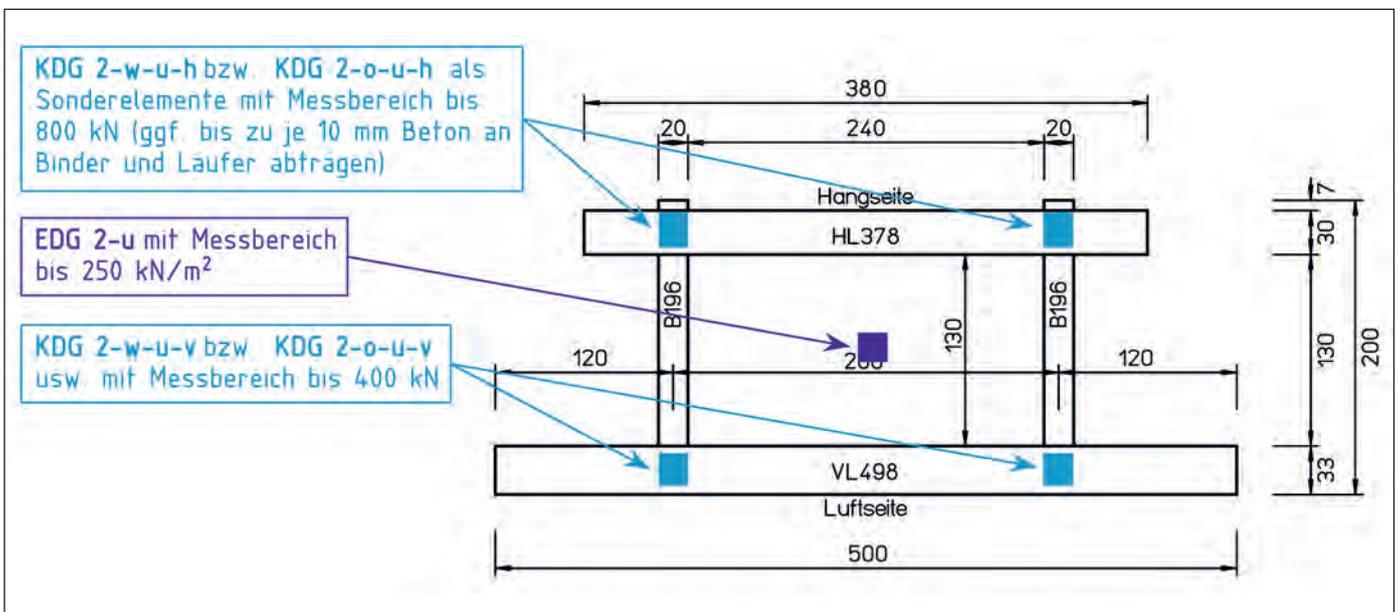


Abb. 7: Positionierung von KDG und EDG im Grundriss Grafik: [8], Plangrundlage: [9]

Messverfahren	Beobachtung	Auswertung
A) Horizontal- extensometer lang	Dehnung um 36 mm bzw. 33 mm	mittelgroße Verschiebung des Geogitterblockes +
A) Horizontal- extensometer kurz	Dehnung um 11 mm bzw. 7 mm	kleine Geogitterdehnung
B) Knotendruckgeber oben vorn	vor Freigraben im Ø 120 kN, bei Freigraben und unmittelbar nach Verfüllen unklarer Verlauf mit Ansteigen, ab 1 Monat nach Verfüllen Absinken auf im Ø 100 kN	tendenzielles Ansteigen während Freigraben (= Belastung der Frontknoten) +
B) Knotendruckgeber unten vorn	vor Freigraben im Ø 130 kN, bei Freigraben und unmittelbar nach Verfüllen unklarer Verlauf mit Ansteigen, ab 1 Monat nach Verfüllen Absinken auf im Ø 87 kN	nach Verfüllen geringere Kraft als vor Freigraben
B) Knotendruckgeber oben hinten	vor Freigraben im Ø 210 kN, bei Freigraben und unmittelbar nach Verfüllen unklarer Verlauf mit Absinken, ab 1 Monat nach Verfüllen Ansteigen auf im Ø 190 kN	tendenzielles Absinken während Freigraben (= Entlastung der Rückwandknoten) +
B) Knotendruckgeber unten hinten	vor Freigraben im Ø 325 kN, bei Freigraben und unmittelbar nach Verfüllen unklarer Verlauf mit Absinken, ab 1 Monat nach Verfüllen Ansteigen auf im Ø 320 kN	nach Verfüllen gleiche Kraft wie vor Freigraben
C) Erddruckgeber	vor Freigraben 52 kN/m ² oben und 87 kN/m ² unten, Absinken nach Freigraben auf 35 kN/m ² oben und 53 kN/m ² , danach Wiederanstieg auf Werte vor Abgrabung	zwischenzeitliches Absinken beim Freigraben und Wiederanstieg auf Ursprungswert nach Verfüllen
D) Vertikalinklinometer	Verformung um maximal 1,5 mm	praktisch keine Verformung
E) Oberflächen- messpunkte	Höhe: Setzung um bis 13 mm Lage: Verschiebung um bis 10 mm	geringe Horizontalverschiebungen und Setzungen

Tab. 1: Kurzauswertung der Messverfahren im MQ 2

der Messungen ist beispielhaft für den MQ 2 in Tab. 1 enthalten.

Alle Messverfahren zeigten, dass sich bei beiden Messquerschnitten sowohl die RGW als auch ihre Gründung unauffällig verhalten und dass die während und nach den großvolumigen Fußaufgrabungen entstehenden Verformungen, Knotenkräfte und Erddrücke weit von für die Bauwerksstabilität problematischen Werten entfernt sind.

Konventionelles Nachweiskonzept

Gemäß der vom Eisenbahn-Bundesamt veröffentlichten Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB) gel-

ten für die Planung und für den Bau von RGW die Vorgaben der Ril 836.4303 [3] und mitgeltend die Regelungen des in Kürze in einer überarbeiteten Fassung erscheinenden FGSV-Merkblattes 540 [2] sowie der DIN EN 1997-1:2009. Die erforderlichen Standsicherheitsnachweise sind hierbei, sowohl für das Gesamtbauwerk als auch für Teilbauwerke wie bei Gewichtsmauern zu führen. Bei den Berechnungen wird die RGW als quasimonolithische Konstruktion angenommen, für die ein fiktives mittleres Raumgewicht, ermittelt anhand der Volumenanteile von Fertigteilenelementen und Befüllung, berücksichtigt wird.

Die Standsicherheit der RGW wurde für zwei unterschiedliche Bausituationen untersucht. Zustand I kennzeichnet den Aufbau der Konstruktion nach Fertigstellung und damit die ständige Bemessungssituation (BS-P). Als weiteres Szenario wurde ein temporärer Aushub vor der geogitterbewehrten Gründung (Zustand II) als vorübergehende Bemessungssituation (BS-T) untersucht. Zum Nachweis einer ausreichenden Tragfähigkeit der Konstruktion sind für die äußere Standsicherheit die Kippsicherheit (EQU), die Gleitsicherheit (GEO-2), die Grundbruchsicherheit (GEO-2) und die Böschungsbruchsicherheit (GEO-3) nachzuweisen. Bei der hier vorge-

MOBILITÄT BEGRÜNDEN!

- EBA-Gutachterleistungen (Erd-, Grund-, Felsbau und Geokunststoffe)
- Planung, Prüfung und Zustandsbewertung von Felssicherungen
- Beurteilung von Erdfall- und Subrosionsrisiken
- Numerische Modellierungen und analytische Berechnungen
- Baugrunderkundung und Gründungsberatung im Strecken- und Ingenieurbau

Beratung | Planung | Prüfung
www.wittundpartner.com

witt & partner
▼ geoprojekt

Nachweis	Fuge	Tiefe [m]	Ausnutzungsgrad μ	
			Zustand I	Zustand II
Kippsicherheit	1-1	2,07	0,75	0,75
	2-2	6,28	1,94	1,94
	3-3	9,02	2,45	2,45
	4-4	9,60	1,69	1,69
	5-5	12,09	0,94	0,66
Gleitsicherheit	1-1	2,07	0,12	0,14
	2-2	6,28	0,32	0,32
	3-3	9,02	0,44	0,42
	4-4	9,60	0,46	0,45
	5-5	12,09	0,31	0,64
Grundbruchsicherheit	5-5	12,09	0,22	0,82
Böschungsbruchsicherheit			-	0,99
Zugkraft im Geogitter			-	0,85

Tab. 2: Ergebnisse der Untersuchungen zur äußeren Standsicherheit

stellten RGW werden die Bauwerkslasten mit einem geogitterbewehrten Gründungskörper auf den Baugrund übertragen. Im Zusammenhang der Standsicherheitsberechnungen wurde für den Gründungskörper der

Tragfähigkeitsnachweis der verwendeten Geogitter (Fortrac 150/30-30 T) im Zustand II vorgenommen.

Die Untersuchungen zu Kippsicherheit, Gleitsicherheit und Grundbruchsicherheit

wurden an insgesamt fünf Bauwerksschnitten durchgeführt (Abb. 3). Die Schnitte 1-1, 2-2 und 3-3 schneiden die RGW und repräsentieren die Grenzen verschiedener Ausführungsarten der erdseitigen Längselemente. Schnitt 4-4 kennzeichnet den Übergang zwischen Stahlbetonfundamentkeil und geogitterbewehrtem Gründungskörper. Schnitt 5-5 liegt in der Bauwerkssohle.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur äußeren Standsicherheit und zur Auslastung der Geogitter im Gründungskörper sind für die betrachteten Zustände I und II in Tab. 2 zusammengestellt. Mit Ausnahme der Untersuchungen zur Kippsicherheit sind alle Nachweise erfüllt. Für die Kippsicherheit wurde eine den Grenzzustand überschreitende Ausmitte der Lastresultierenden ermittelt, welche jedoch aufgrund eines Kippens der RGW zur Böschung unkritisch ist. Insbesondere für Bausituationen an Böschungen und Hängen sind weiterhin die innere Tragfähigkeit (Nachweis der Betonfertigteile und Knotenbruchsicherheit nach DIN EN 1992-1-1:2011) sowie die Gebrauchstauglichkeit (Rissicherheit der Betonelemente nach DIN-Fb102) nachzuweisen. Hierfür wird die RGW als eine Aneinanderreihung von Silozellen betrachtet, welche böschungsseitig durch einen aktiven Erddruck und innerhalb durch einen Silodruck beansprucht werden. Nach [10] ist der Silodruck bei geneigten Konstruktionen luftseitig deutlich geringer als erdseitig.

Zum Nachweis der Betonfertigteile wird die Annahme getroffen, dass alle Einwirkungen (aktiver Erddruck, Silodruck, Betoneigengewicht) vollständig über diese abgetragen werden. Eine ausreichende Tragfähigkeit (ULS) ist nachgewiesen, wenn die Bemessungswerte der Biege- und Stützmomente aus den Einwirkungen die aufnehmbaren Momente der Betonfertigteile nicht erreichen. Die Gebrauchstauglichkeit (SLS) wird anhand der Rissbreitenbegrenzung nach DIN EN 1992-1-1:2011 bewertet.

Der Nachweis der Knotenbruchsicherheit wird für die maximal beanspruchten Knoten zwischen der untersten Binderschicht und der hinteren Läuferlage im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) geführt. Beim Nachweis werden die rechnerisch vorhandenen Knotendruckkräfte der in einem 1:1-Versuch ermittelten Bruchlast gegenübergestellt [10, 11].

**Numerische Analyse
Untersuchung des Tragverhaltens**

Das Tragverhalten von Raumgitterwänden ist durch eine Lastübertragung von inneren und äußeren Einwirkungen auf ein aus Betonfertigteilen bestehendem Grundgerüst gekennzeichnet. Zu den inneren Einwirkungen zählen das Eigengewicht der Konstruktion, der Silodruck des Füllmaterials und der aktive Erddruck (ggf. Ver-



Abb. 8: Aufgrabung am Messquerschnitt MQ 2

Fotos: Autoren, entnommen aus [8]

Den Fortschritt erleben.

InnoTrans



Besuchen Sie uns auf der:

InnoTrans 2016

20. – 23. September
Berlin, Freigelände
Stand: O/237



Der Zweiwegebagger A 922 Rail Litronic von Liebherr

- Höchste Wirtschaftlichkeit durch zukunftsorientierte Technologien
- Durchdachtes Maschinenkonzept für maximale Produktivität
- Qualitätskomponenten aus eigener Fertigung
- Ergonomischer und übersichtlicher Arbeitsplatz für konstant hohe Leistungsfähigkeit

Liebherr-Hydraulikbagger GmbH
88457 Kirchdorf
Tel.: +49 7354 80 0
E-Mail: info.lhb@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.com

LIEBHERR

Bauteil	Einwirkung		Widerstand	Ausnutzungsgrad	
Nachweis der Betonfertigteile					
	Ms,d (Feld)	Ms,d (Auflager)	max. My,d	μ_{Feld}	$\mu_{Auflager}$
	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[-]	[-]
Nachweis der Tragfähigkeit (ULS)					
Läufer (Luftseite)	2,5	3,2	7,3	0,34	0,44
Läufer (Erdseite)	12,3	3,3	14,9	0,83	0,23
Binder	2,3	-	15,5	0,15	-
Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS)					
Läufer (Luftseite)	1,8	2,3	5,7	0,32	0,41
Nachweis Knotenbruchsicherheit					
	vorh. Nd		zul. Nd	m	
	[kN]		[kN]	[-]	
tiefster Knoten	339		480	0,71	

Tab. 3: Nachweise der Betonfertigteile und der Knotenbruchsicherheit

dichtungserddruck) aus der Hinterfüllung. Die äußeren Einwirkungen bestehen allein aus den Verkehrslasten. Die Betonelemente werden nach DIN EN 1992-1-1:2011 und DIN EN 1992-1-1/NA:2011 bemessen und zum Schutz vor Frost- und Tausalzangriff in einer Betongüte von C30/37 bei Berücksichtigung der Expositionsklassen XC2, XD1 sowie XF4 hergestellt. Weitere Regelungen zur Betondeckung, Fugenausbildung und Verlegung der Betonfertigteile sind in [2] enthalten.

Zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Einwirkungen und Lastübertragungsfunktionen der RGW wurden die folgenden Ansätze im Rahmen von numerischen Untersuchungen betrachtet:

1. Referenzmodell; Einwirkungen aus Eigengewicht, Silodruck und aktivem Erddruck,
2. Verkehrslast auf dem Damm als zusätzliche Einwirkung,
3. Vernachlässigung des Silodruckes (Lastableitung allein über das Stahlbetontragskegell),
4. Verdrehung um böschungsseitigen Fuß (Kopferschiebung 5 cm),
5. Knotenkopplung mit Dreh- und Wegfedern,
6. böschungsseitige elastische Bettung und
7. elastische Bettung am Fundament.

Die Berechnungen wurden für einfache Modellansätze (1 bis 4, 6 und 7) mit einem Stabwerkprogramm durchgeführt. Zur Berücksichtigung von Weg- und Drehfedern in den

Knoten des Modells wurden die Berechnungen mit der Software „Sofistik“ ausgeführt. Mit den ausgeführten Berechnungen wurde die Empfindlichkeit der Konstruktion gegenüber allen relevanten Einwirkungen und Lagerungsbedingungen ermittelt und hinsichtlich einer Beeinflussung des Tragverhaltens der Konstruktion ausgewertet. Grundlage waren die für die Tragelemente berechneten Normalkräfte, die zugehörigen maximalen Biegemomente sowie die horizontalen und vertikalen Relativverschiebungen in den Knoten.

Ausgehend von den Ergebnissen des Referenzmodells 1 wurde die Variation der Zielgrößen infolge der den Ansätzen 2 bis 7 vorgenommenen Änderungen als Maß für die Beeinflussung des Tragsystems untersucht. Anhand der Ergebnisse kann die folgende Kategorisierung vorgenommen werden:

- keine Beeinflussung:
 - böschungsseitige elastische Bettung (6) und elastische Bettung am Fundament (7)
 - geringe Beeinflussung:
 - Verkehrslast auf dem Damm als zusätzliche Einwirkung (2), Vernachlässigung Silodruck (3) und Knotenkopplung mit Dreh- und Wegfedern (5)
 - starke Beeinflussung:
 - Verdrehung um böschungsseitigen Fuß (4)
- Die numerische Modellierung des Tragverhaltens zeigt, dass die Verformung der böschungsseitigen Hinterfüllung infolge einer seitlich aufliegenden RGW maßgeblich für die Änderung der Lastabtragung in der RGW ist. Dieser Einfluss ist direkt mit dem Ansatz des Erddruckes als Einwirkung auf die Wand verknüpft. Das Tragverhalten der RGW wird weiterhin durch die Art der Knotenkopplung des Systems sowie Einwirkungen aus Verkehrslasten und den Silodruck beeinflusst.

Einfluss des Erddruckes

Die Erkenntnisse zum Tragverhalten und zur Kippsicherheit der RGW berücksichtigend wurden weitere numerische Berechnungen mit dem Programm „Sofistik“ durchge-

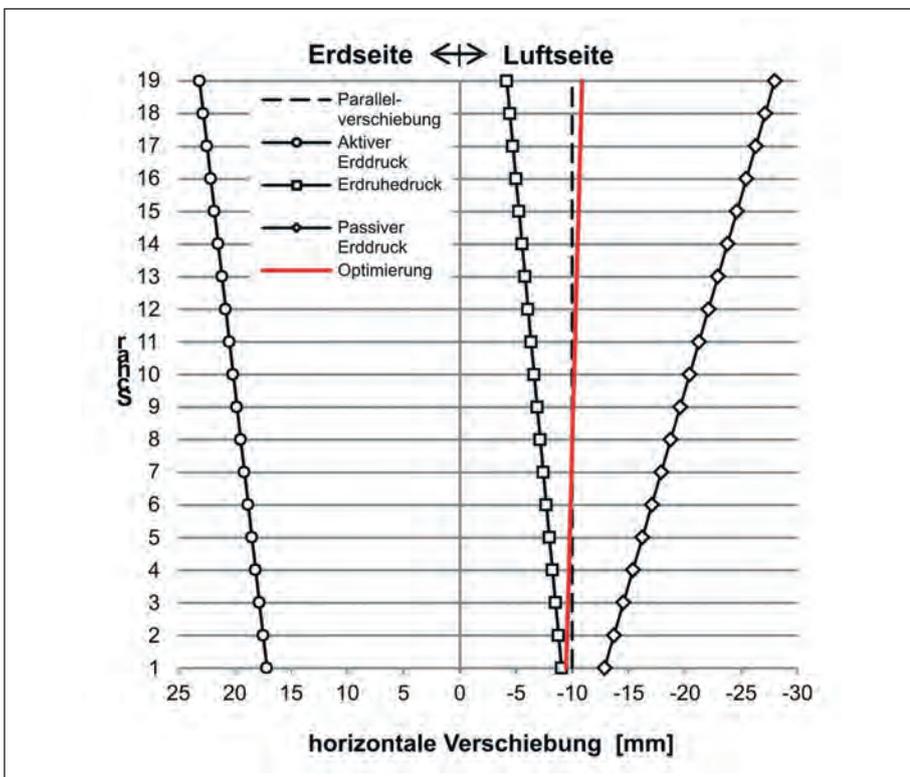


Abb. 9: Gegenüberstellung der horizontalen Verschiebungen

führt, um den Einfluss des Erddruckes auf die Tragkonstruktion näher zu untersuchen. Die Berechnungen berücksichtigen weiterhin Einwirkungen aus der Verkehrslast, dem Silodruck und eine Knotenkopplung mit Dreh- und Wegfedern.

Ziel der Berechnungen war es, die gemessenen Verformungen und Knotenkräfte in Bezug auf die Tragfunktion der Wand zu analysieren. Hierzu sind in Abb. 9 die Ergebnisse der Verformungsmessungen den Berechnungsergebnissen bei Annahme von aktivem Erddruck, Erdruhedruck und passivem Erddruck gegenübergestellt. Der aktive und der passive Erddruckansatz berücksichtigen hierbei jeweils die zur vollständigen Aktivierung erforderlichen Verformungen. Weiterhin wurde eine Optimierung vorgenommen, um die tatsächliche horizontale Verschiebung der Konstruktion zu ermitteln. Die Berechnung wurde iterativ durchgeführt. Startpunkt zur Ermittlung der auf die Scharen wirkenden Erddruckresultierenden war der in Abb. 9 gezeigte Abstand zwischen der Systemverformung bei Erdruhedruck und der gemessenen Verformung (10 mm). Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass zum Erreichen der eingetretenen Systemverformung ein Erddruck berücksichtigt werden muss, welcher größer als der Erdruhedruck und kleiner als der vollständig mobilisierte passive Erddruck ist ($E_0 < E_{p,Opt} < E_{p,max}$). Im Ergebnis der vorgestellten Optimierung wurde keine ausreichende Übereinstimmung von gemessenen und berechneten Knotenkräften erreicht. Die Qualität der Berechnungsergebnisse ist neben dem tatsächlich wirkenden Erddruck durch die Festlegungen zur Lastübertragung in den Knoten bestimmt. Diese kontrollieren die Lastverteilung zwischen Luft- und Erdseite und den Kraftfluss im System.

Fazit

Nach den Ergebnissen des konventionellen Nachweiskonzeptes und den Erkenntnissen der numerischen Analysen ist die Tragfunktion der betrachteten geneigten RGW maßgeblich durch die Art des auf die Wand wirkenden Erddruckes bestimmt. Im konventionellen Nachweiskonzept wird ein aktiver Erddruck als Einwirkung berücksichtigt. Tatsächlich lehnt sich die hier behandelte Wand jedoch auf dem erdseitigen Bodenkörper an und erfährt so eine zusätzliche Stützung durch einen teilweise mobilisierten passiven Erddruck.

Die zunächst nicht nachweisbare Kippsicherheit ist auf die Berücksichtigung des aktiven Erddruckes zurückzuführen. Anhand des Berechnungsergebnisses zur numerischen Optimierung der Verformungsfigur durch Anpassung des Erddruckes wird gezeigt, dass in allen Scharen der Konstruktion eine Verformung zum Erdreich hin stattfindet, was dem Ansatz eines einfachen wie auch

erhöhten aktiven Erddruckes widerspricht. Die Größe des wirksamen Erddruckes wird vom Abstand der im Erdruhedruck eingetretenen Systemverformung und der tatsächlich gemessenen Verformung bestimmt und ist grundsätzlich größer als der Erdruhedruck. Die Analyse des Tragverhaltens und des Einflusses des Erddruckes zeigen, dass die Art der Kraftübertragung zwischen Läufern und Bindern den Kraftfluss innerhalb der Konstruktion bestimmen.

In Bezug auf eine Anwendung der vorgestellten Erkenntnisse kann für flach geneigte Raumgitterwände festgestellt werden, dass bei Anwendung eines teilweise mobilisierten passiven Erddruckes in den Nachweisen der globalen Standsicherheit zusätzliche Sicherheitsreserven berücksichtigt werden können. Ein passiver Erddruck kann berücksichtigt werden, wenn beim konventionellen Nachweis der Kippsicherheit, d.h. bei Annahme eines aktiven Erddruckes, eine klaffende Fuge festgestellt wird. Dieser Ansatz erfordert grundlegende Informationen zu den auftretenden Systemverformungen. ■

QUELLEN:

- [1] Brandl, H.: Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen. Grundbau-Taschenbuch Teil 3, Hrsg. K. J. Witt, 7. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2009, S.747–901
- [2] Wichter, L.: Merkblatt für Raumgitterkonstruktionen (540). FGSV-Verlag, Köln, Ausgabe 2006
- [3] Richtlinie (Ril) 836: Erdbauwerke planen, bauen und instand halten. DB Netz AG, München, Fassung vom 20.12.1999a, 1. Aktualisierung vom 01.10.2008
- [4] Brandl, H.: Raumgitterkonstruktionen – Tragverhalten und Dimensionierung. Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik (Heft 108), Bern, 06.05.1983
- [5] Fuchs, P.: Polstergründung einer Raumgitterwand als Steilböschung an der Neubaustrecke Erfurt – Leipzig. 11. Erdbaufachtagung, Leipzig, 26.02.2015
- [6] Johann, S.; Hellmich, M.; Schmidt, Ch.: Einsatz von geogitterbewehrten Stützkörpern im Eisenbahnbau, EI – Der Eisenbahningenieur 5/2012, S. 10–17
- [7] Schach, A.: Vergleichende Analyse zum Tragverhalten von flach geneigten Raumgitterwänden. Masterarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, 24.11.2014
- [8] Arge Sachverständige Geotechnik NBS 8.2: Messprogramm zum Monitoring beim Bau der Raumgitterstützwände; Schlussbericht, 11.01.2013.

[9] Zivilingenieur für Bauwesen Dipl.-Ing. Peter Fuchs, Planunterlagen für Raumgitterwände, NBS Erfurt - Halle/Leipzig, Streckenlos 4, 18.03.2010.

[10] Brandl, H.: Tragverhalten und Dimensionierung von Raumgitterstützmauern (Krainerwänden), Bundesministerium für Bauten und Technik, Bundesstraßenverwaltung, 1980

[11] Thamm, B.: Sicherung übersteiler Böschungen mit Raumgitterwänden. Bautechnik 63, 9/1986, S. 294-304



Dipl.-Ing. Christian Ernst

Geschäftsführender Gesellschafter
witt & partner geoprojekt GmbH,
Weimar
ernst@wittundpartner.de



M.Sc. René Kipper

Geschäftsführer
Gepro Ingenieurgesellschaft mbh,
Dresden
rene.kipper@gepro-dresden.de



Dr.-Ing. Robert-Balthasar Wudtke

Professur Grundbau
Bauhaus-Universität Weimar
robert-balthasar.wudtke
@uni-weimar.de

- Gutachterliche Studien und Zuarbeiten**
 Beurteilung der Standsicherheit und der dynamischen Stabilität im Verkehrswegebau
 FE-Modellierung, Verformungs-, Konsolidierungs- und Setzungsberechnung
 Baugrundbegutachtung und Gründungsberatung
- Objekt- und Tragwerksplanung**
 Verkehrs- und Tiefbau
 Spezialtiefbau, Untergrundertüchtigung im Verkehrswegebau
 Stützbauwerke, Bauweisen mit Geokunststoffen
- Baubetreuung**
 Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen
 Messtechnische Überwachung
 Abfallrechtliche Betreuung
 Bauüberwachung

Ingenieurgesellschaft für Geotechnik
Verkehrs- und Tiefbau und Umweltschutz mbH
Caspar-David-Friedrich-Straße 8
01219 Dresden
Tel. 0351 / 877 75 - 0
Fax 0351 / 877 75 - 55
Internet: www.gepro-dresden.de E-Mail: info@gepro-dresden.de

Sie finden uns auf der INNOTRANS, Halle 7.2b, Stand 200