

# Herausforderungen beim Ersatzneubau einer bis 12m hohen bewehrte Erde Konstruktion in drückendem Hangwasser

Dr.-Ing. P. Becker, Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg  
Dipl.-Ing. H. Vierck, Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg  
Dipl.-Ing. S. Finke, Fleggaard GmbH, Harrislee  
T. Hoy, Gesellschaft für Geotechnische Systeme GmbH, Moritzburg

*Für den Neubau eines Grenzhandelsmarktes in Harrislee an der Deutsch-Dänischen Grenze wurde ein Ersatzneubau einer Geokunststoffbewehrte-Erde Konstruktion zur Sicherung eines bis zu 12 m hohen Geländesprunges und Errichtung von Parkflächen erforderlich.*

*Die Baugrundverhältnisse im Bereich der Stützkonstruktion sind eiszeitlich geprägt und werden im Wesentlichen durch Geschiebemergel und unterlagernde Wechsellagen aus Sand und Schluff bestimmt. Während der Herstellung des Grenzhandelsmarktes wurde darüber hinaus im Bereich des Hangfußes oberflächennah ein gering tragfähiger Torfhorizont erkundet. Die besonderen Anforderungen für die Planung des Ersatzneubaus der Stützkonstruktion ergaben sich insbesondere durch das drückende Hangwasser aus den wasserführenden Sandlagen sowie durch gespannte Grundwasserleiter im Hangfußbereich.*

*In diesem Beitrag werden die planerischen und erdbaulichen Herausforderungen sowie die im gesamten Projektverlauf gewonnenen unterschiedlichen Erfahrungen im Umgang mit drückendem Hangwasser sowie der komplexen Baugrundverhältnisse bei Stützkonstruktionen dargestellt. Die Stützkonstruktion, die im Grundriss vier Richtungsänderungen und eine abgewinkelte Länge von etwa 80 m aufweist, wurde 2015 erfolgreich mit einer geokunststoffbewehrten Erde Konstruktion mit der sog. Umschlagmethode fertiggestellt. Als Fassade wurde der Polsterwand eine Gabionenwand mit einer Breite von 50 cm vorgestellt.*

*Die aus den komplexen Randbedingungen resultierenden Anforderungen für das Dränagesystem und das Hinterfüllungsmaterial führten zu erhöhten Einbauanforderungen für die beteiligten ausführenden Firmen. Insbesondere musste das Hinterfüllungsmaterial mit weniger als 5% Feinanteil und optimalen Wassergehalt lagenweise verdichtet werden. Zur Qualitätskontrolle wurde u.a. ein Monitoring-Programm zur geodätischen Einmessung der Gabionenwand installiert, dessen Messergebnisse deutlich die einbaubedingten Verformungen zur Mobilisierung der Widerstände der Bewehrung infolge der Verdichtungsarbeit aufzeigen. Das Monitoring der Verformungen belegte mit Fertigstellung der Parkfläche das planmäßige Abklingen der Verformungen und bietet mit der weiterführenden Langzeiterfassung auch die erfolgreiche Kontrolle für die Gebrauchstauglichkeit.*

## 1. Einleitung

Die Parkfläche des Grenzhandelsmarktes Fleggaard in Harrislee befindet sich auf einem Richtung Osten ehemals stark geneigten Gelände. Die Sicherung des Geländesprunges erfolgte durch eine geokunststoffbewehrte Erde Konstruktion im Sommer 2014. In Verbindung mit starken Regener-

eignissen nach Eröffnung des Marktes waren deutliche außerplanmäßige Verformungen aufgetreten, so dass die Konstruktion als nicht dauerhaft standsicher und gebrauchstauglich einzustufen war.

Als mögliche Ursachen wurden hangseitig zutretendes artesisch gespanntes Grundwasser in Verbindung mit einer unzureichenden Entwässerungsmöglichkeit des Hinter-

füllbodens mit geringer Durchlässigkeit und fehlender hangseitiger Drainage identifiziert.

Zur Sanierung nach dem Schadensereignis wurde vom Bauherrn (Fleggaard GmbH, Harrilee) entschieden ein Ersatzneubau der Stützkonstruktion einschließlich Parkfläche mit einem kontrollierten Rückbau bei laufendem Betrieb des Marktes durchzuführen.

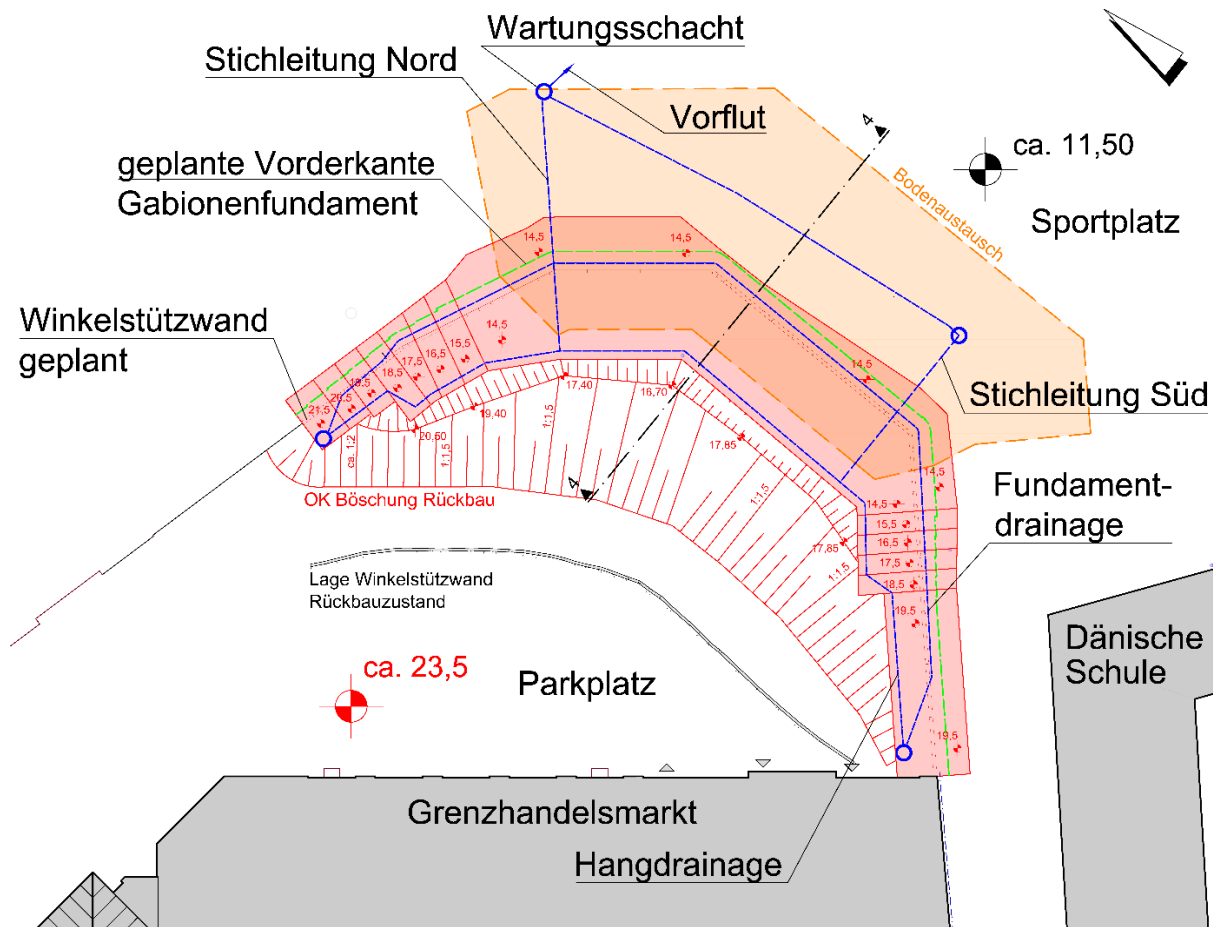
## 2. Baugrundverhältnisse

Im Wesentlichen steht Geschiebemergel mit steifer Konsistenz an, der von Wechsellagen aus Sand und Schluff unterlagert wird. Im Baufeld standen weiterhin oberflächennah gering tragfähige Schichten aus Torf bzw. Torfmudde an. Im Bereich der rückzubauenden Stützkonstruktion war bereits ein Bodenaustausch dieser organischen Weichschichten mit schluffigen Sanden als Austauschboden im Rahmen eines vorherigen Ersatzneubaus vorgenommen worden.

Das Urgelände weist im Hang wasserführende Sandlagen und Quellbereiche auf, die im Rahmen des derzeitigen Rückbaus in einer Höhe von 19 mNN bis 20 mNN erkundet worden sind. Durch die Wechsellagerung und den geneigten Schichtenverlauf in Richtung Flensburger Förde steht im Bereich des Sportplatzes gespanntes Grundwasser bis etwa in Geländehöhe von 11,5 mNN an.

## 3. Bauvorhaben

Der Ersatzneubau der Stützkonstruktion wurde als geokunststoffbewehrte Erde Konstruktion vorgesehen. Die abgewinkelte Front der Stützkonstruktion weist dabei eine Länge von etwa 80 m, s. a. Abb. 1 und Abb. 3, und der nach Fertigstellung zu sichernde Geländesprung eine Höhe von  $H = 9,0$  m auf.



**Abb. 1:** Lageplan bewehrte Erde Konstruktion zur Herstellung der Parkfläche des Grenzhandelsmarktes

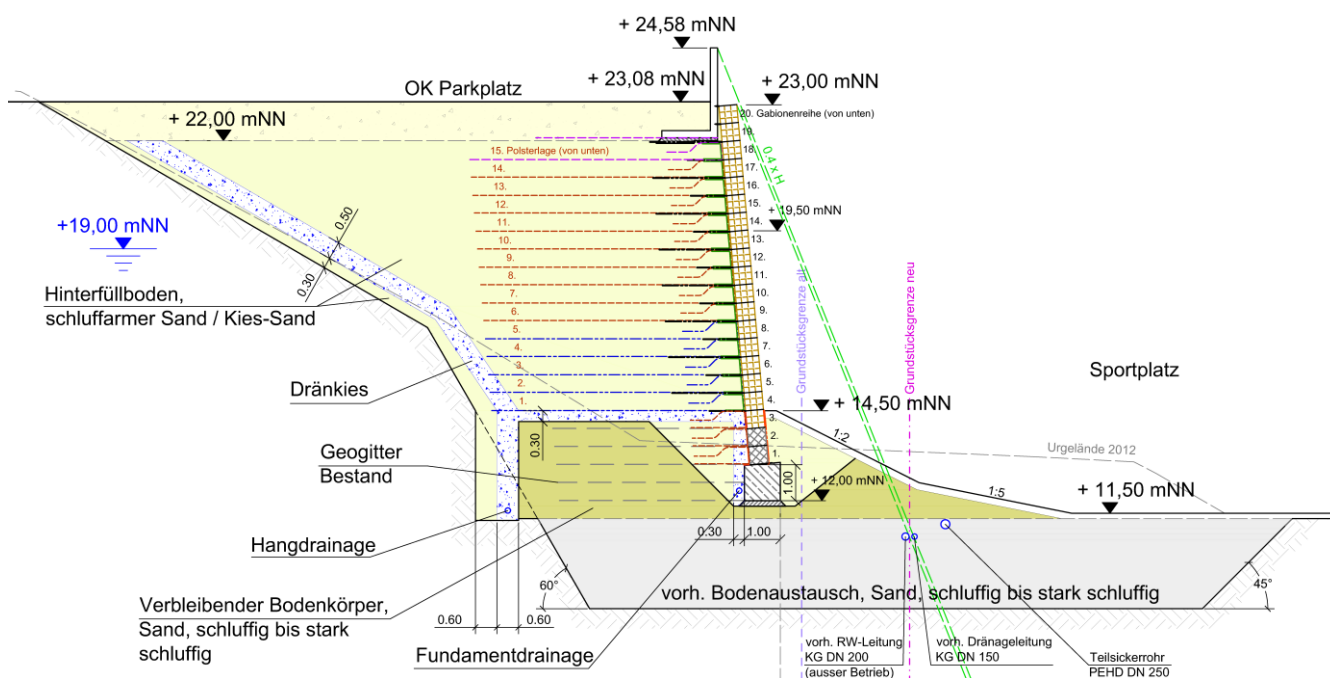
Der Ersatzneubau musste bei beengten Platzverhältnissen und laufendem Betrieb mit einem Rückbau vom Parkplatzniveau von 23,5 mNN bis auf ein Niveau von 14,5 mNN begonnen werden. Die neue Ausführungsplanung sollte die bereits genehmigte Feldsteinoptik einer Gabionenwand aufweisen. Als Ergebnis wurde die Stützkonstruktion mit der Umschlagmethode als Polsterwand geplant und zur Erfüllung der optischen Erfordernisse mit einer Gabionenfassade eingeleidet, siehe auch Glück et al. (2013).

Die Polsterwand wurde in Lagen von 50 cm vom Rückbauniveau bei 14,5 mNN mit einer Neigung von 85° aufgebaut. Als Füllboden wurde Sand mit weniger als 5% Feinanteil vorgesehen, der lagenweise in maximalen Höhen von 30 cm und mit einem Verdichtungsgrad  $D_{pr} \geq 100\%$  einzubauen war.

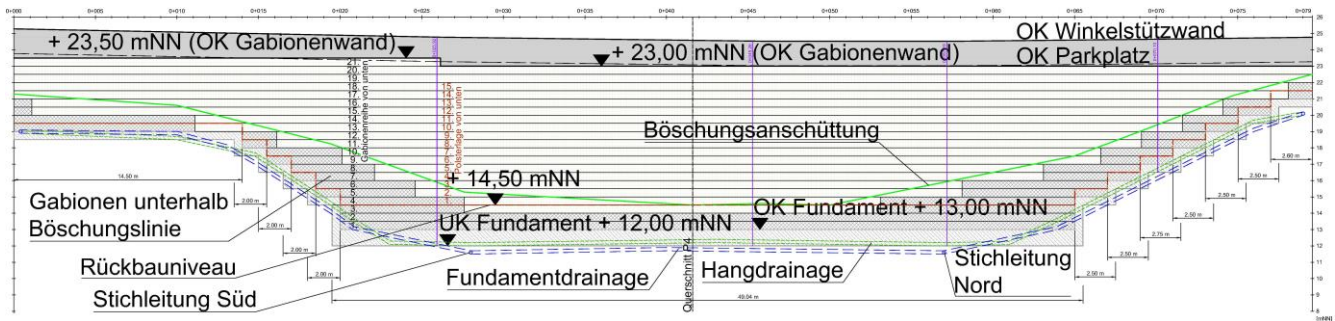
Die vorgestellte Gabionenwand wurde als monolithisches Bauwerk auf einem Streifenfundament gegründet und für den Aufbau der Polsterwand als konstruktive Stützung, d.h. Schalung, für die Frontausbildung mit der Umschlagmethode verwendet. Die Anbindung der Gabionenfassade erfolgte mit einer konstruktiven Rückverankerung der Gabionenkörbe mit Bodengittern an der jeweiligen Gabionenunterseite, siehe hierzu auch Abb. 2.

Zur Berücksichtigung der hydraulischen und geologischen Randbedingungen wurde für die Stützkonstruktion eine Entwässerung mit zwei Dränageleitungen unterhalb der Aufstandsfläche geplant. Eine Dränageleitung wurde direkt am Hangfuß und eine weitere am vorderen Fundamentbalken angeordnet und mit zwei Stichleitungen der Vorflut zugeführt. Das anströmende Hangwasser wird bei dieser Konstruktion mit einem Zweistufenfilter an der Hangfläche gefasst und der Dränage zugeführt, s. a. Abb. 2. Da der Rückbau der schadhafte Stützkonstruktion zur Gewährleistung der Standsicherheit im Bauzustand lediglich bis zu einem Niveau von 14,5 mNN ausführbar war, musste der unterhalb dieser Tiefe verbleibende Boden mit geringer Durchlässigkeit mit dem Dränagesystem eingefasst werden. Hierzu wurde ein abschnittsweiser Aushub mit Verbaukästen erforderlich, um die Hangdränage bis auf das Niveau von 11,5 mNN des angrenzenden Sportplatzes herabführen zu können.

Der oberhalb der Stützkonstruktion wiederherzustellende Parkplatz musste innerhalb kürzester Zeit die vorgesehenen Kundenparkplätze wieder bereitstellen. Die Parkfläche wird dabei mit einer Winkelstützwand eingefasst.



**Abb. 2:** Querschnitt P4 der bewehrten Erde Konstruktion mit vorgesetzter Gabionenwand



**Abb. 3:** Abwicklung der bewehrten Erde Konstruktion mit vorgesetzter Gabionenwand

#### 4. Bemessung

##### 4.1 Polsterwand

Die Bemessung der Polsterwand erfolgte nach den Vorgaben der EBGEO (2010) für einen mit Geokunststoffen bewehrten Erdkörper zur dauerhaften Sicherung eines Geländesprungs. Insgesamt wurden 7 Querprofile zur Berücksichtigung der zunehmenden Geländesprunghöhe und der zur Verfügung stehenden Verankerungsfläche bis zur verbleibenden Rückbauböschung untersucht.

Aufgrund der bauzeitlichen sowie räumlichen Restriktionen beim Rückbau der schadhaften Stützkonstruktion konnte nur bis zu einem Niveau von +14,5 mNN eine ausreichende Standsicherheit des Rückbauzustandes nachgewiesen werden. Die unterhalb dieser Ebene bis in eine Tiefe von +12 mNN verbleibende Geogitterbewehrung wurde daher für den Ersatzneubau mit einem Sicherheitsabschlag von 50 % in der Bemessung berücksichtigt.

Für das Querprofil P4, vgl. Abb. 2, mit dem maximal abzusichernden Geländesprung ist der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit gegen Geländebruch bemessungsrelevant. Als Ergebnis wurde eine Geogitterlänge von 7,0 m mit einer Rückumschlagslänge von 1,5 m erforderlich. Ab der 6. Polsterlage konnte eine wirtschaftliche Optimierung der Kurzzeitzugfestigkeit des Geogitters vorgenommen werden.

##### 4.2 Innere Standsicherheit der Gabionen

Die Gabionenfassade wurde gegen eine für sich alleine standsichere Polsterwand mit einer Neigung von 85° gelehnt und auf einem Streifenfundament gegründet, siehe auch Abb. 3 und Abb. 2. Durch das umgeschlagene Geogitter mit rückverankertem Umschlag der jeweiligen Polsterlage wird der Erddruck aus der Stützkonstruktion zu 100% durch die Geogitter aufgenommen, so dass keine Erddruckbelastung auf die Gabionen wirkt und die Gabionenfassade somit keine stützende Wirkung für die Stützkonstruktion übernimmt.

Konstruktiv erfolgte eine Rückverankerung jedes Gabionenkorbs mit Bodengittern, da diese als Schalelemente für den Rückumschlag der Polsterwand genutzt wurden.

Für die Gabionenfassade wurden die Nachweise zur äußeren Tragfähigkeit, wie z.B. Grundbruch, Gleiten, Kippen, etc., sowie der Nachweis der inneren Standsicherheit erbracht.

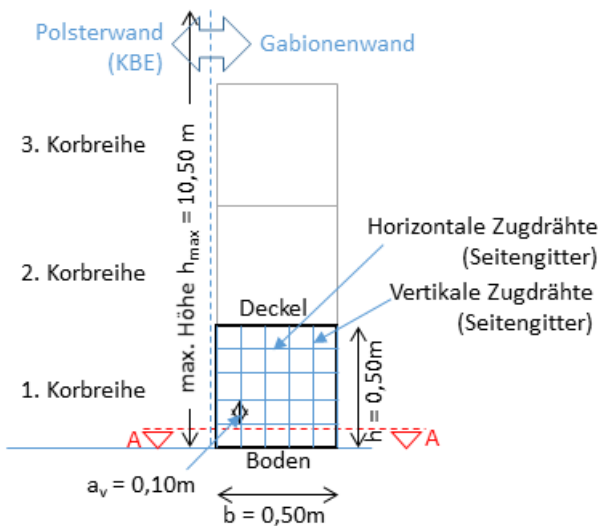
Nach dem Merkblatt über Stützkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen der FGSV ist eine zuverlässige Bestimmung der inneren Standsicherheit der Drahtgeflechtbehälter für Gabionen, d.h. Gabionenkörbe, wegen des komplexen Zusammenwirkens von Verfüllmaterial und Drahtgitter bisher kaum möglich.

Es wurde daher der Nachweis der inneren Standsicherheit mit einer Grenzbetrachtung in Anlehnung an die Technische Mitteilung SG 11/02 Sonderbauteile Gabionen (VPI) vorgenommen. Darin heißt es:

„Ermittlung der Zugkraft im Gitterkorb für einen Reibungswinkel von 30 Grad, aktiven Erddruck und Verteilung nach Lastezugsfläche auf die horizontalen Stahldrähte.“

Maßgebend für die Bemessung ist die unterste Gabione wegen der hier gegebenen maximalen vertikalen Auflast. Die maximale Beanspruchung der untersten Gabione besteht aus 20 oberhalb liegenden Gabionen.

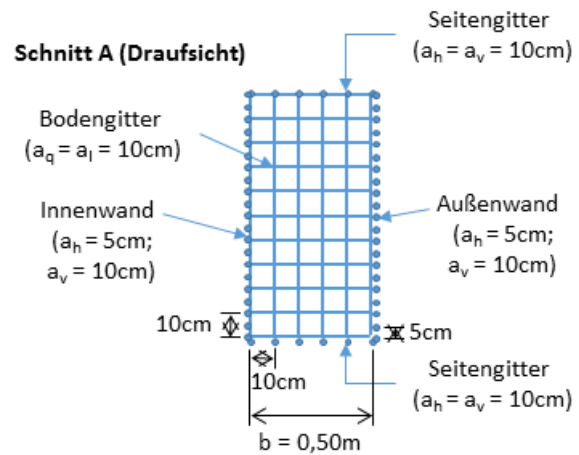
Der Nachweis der inneren Standsicherheit wird für einen Regelkorb mit den Abmessungen  $h = 50 \text{ cm}$ ,  $b = 50 \text{ cm}$ ,  $L = 200 \text{ cm}$  geführt. Die Maschenweite von Außen- und Innenwand beträgt  $a_h / a_v = 50 / 100 \text{ mm}$  und die vom Bodengitter bzw. Seitenwand  $a_q / a_l$  bzw.  $a_h / a_v = 100 / 100 \text{ mm}$ , siehe auch Abb. 4 und Abb. 5.



**Abb. 4:** Querschnitt durch untere Gabionenwand

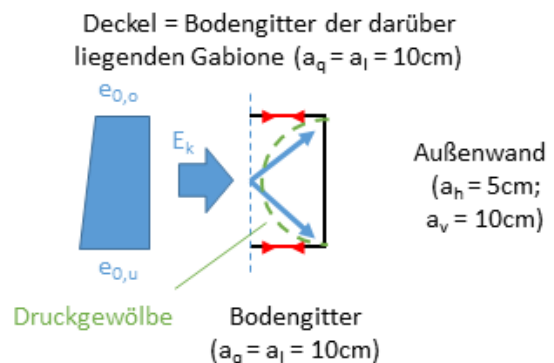
Das Nachweiskonzept beansprucht zur Abtragung der horizontalen Lasten infolge Eigengewicht der Steinfüllung das jeweilige Bodengitter und Deckelgitter eines Korbes. Da die Gabionen nur mit einem Bodengitter ausgeführt werden und der Deckel das Bodengitter der darüber liegenden Gabione ist, wird hier nur 50 % des vorhandenen Stahlquerschnitts berücksichtigt. Auf der sicheren Seite liegend werden sowohl das Frontgitter als auch die durch die benachbarten Gabionen abgedeckten Seitengitter in der Nachweisführung nicht berücksichtigt. Die horizontale Beanspruchung wird nach der Erddrucktheorie ermittelt und zu 100% über die Bodengitter aufgenommen. Auf der si-

cheren Seite liegend wurde hier der Erdrudruckansatz gewählt. Die Stahlgitter an der Rückseite der Gabione, d.h. die Seite an der Polsterwand, sowie an den Seitenflächen werden nicht durch den Erddruck beansprucht, da hier keine Verformungen zu erwarten sind.



**Abb. 5:** Schnitt A (Draufsicht) auf einzelnen Gabionenkorb

Als Ergebnis der Berechnung zur Ermittlung der Drahtgitterstärke wurde eine ausreichende Sicherheit für alle Gabionenkörbe mit einem Durchmesser  $d_s = 4,5 \text{ mm}$  ( $\mu_{\max} \leq 0,89$ ) nachgewiesen. Unter Berücksichtigung der Komplexität des oben beschriebenen Nachweiskonzeptes wurde in Abstimmung mit dem Prüfenieur eine Erhöhung des Sicherheitsniveaus gewählt, so dass Stahlgitter mit einer Drahtstärke  $d_s = 6,0 \text{ mm}$  ( $\mu_{\max} \leq 0,50$ ) bzw., ab Korbreihe 8 mit  $d_s = 5,0 \text{ mm}$  ( $\mu_{\max} \leq 0,50$ ) zur Ausführung gewählt wurden.



**Abb. 6:** Schematisches Nachweismodell

In Placzek & Pohl (2015) werden unterschiedliche Modellvorstellungen verschiedener Autoren zur Berechnung der inneren Standsicherheit von Gabionen vorgestellt. Dort wird ein bislang unveröffentlichtes Be-

rechnungsmodell nach Weber als physikalisch plausibelster Ansatz zur Berücksichtigung von Spaltzug in den Bodengittern bewertet. Dieses Modell beschreibt gegenüber dem zuvor dargestellten Berechnungsansatz eine Weiterentwicklung mit Berücksichtigung der Neigung der Druckstäbe im Stabwerksmodell zur Aufnahme des Spaltzugs über die Bodengitter. Es wird von den Autoren allerdings eine weiterführende Kalibrierung an Belastungsversuchen empfohlen. Eigene Nachrechnungen mit dem Modell Spaltzug nach Weber ergeben für die unterste Gabione einen sehr geringen Ausnutzungsgrad von  $\mu_{\max} = 0,10$ . Weitere Untersuchungen zur Validierung sind daher auch aus Sicht der Autoren erforderlich.

## 5. Bauausführung

### 5.1 Allgemeines

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse wurde eine Neigung der Polsterwand sowie der vorgesetzten Gabionenfassade von  $85^\circ$  zur Ausführung vorgesehen. Der Aufbau der Gabionenkörbe sowie das händische Befüllen mit einem Kiesgeröll 60/80 erfolgte Gabione für Gabione im Vorlauf zur Herstellung der Polsterwand. Durch den im Grundriss vierfachen Richtungswechsel der Gabionenfassade war eine erhöhte Sorgfalt bei der Bauausführung erforderlich.

### 5.2 Verdichtung der Hinterfüllung

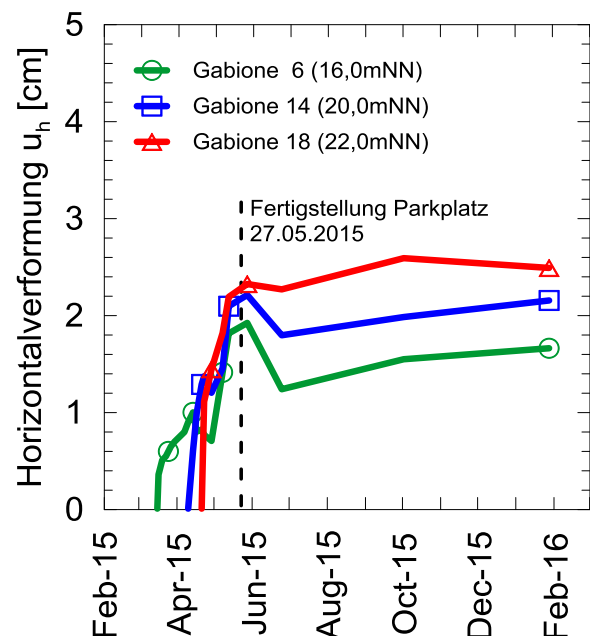
Die Polsterwand wurde mit einem enggestuften Sand, der im Hinblick auf die erforderliche Durchlässigkeit des Bodenkörpers einen Feinkornanteil kleiner 5 Gew.-% aufweisen musste, hergestellt. Der Einbau des Füllbodens erforderte eine gezielte Einstellung des optimalen Wassergehalts zur lagenweisen Verdichtung mit Rüttelplatten. Die Verdichtungsanforderung mit einem Verdichtungsgrad von  $D_{pr} \geq 1,0$  wurde kontinuierlich mit direkten Dichtebestimmungen sowie statischen und dynamischen Plattendruckversuchen kontrolliert.

## 5.3 Gabionenaufbau

Die Gabionenfassade wurde als monolithisches Bauwerk mit einer Steinfüllung vor Ort hergestellt. Die einzelnen Stahlgitter wurden mittels Steckschließen zu einem Korb verbunden. Die Steinfüllung erfolgte händisch mit Sicherstellung einer sorgfältigen Füllung mit minimaler Hohlräumbildung und satter Anlehnung der Steine in den Eck- und Kantenbereichen der Körbe.

Zur Überwachung und Qualitätssicherung wurde die Gabionenfassade geodätisch eingemessen. Hierzu wurden Messmarken dauerhaft am Anfang, Ende sowie in der Mitte jedes Feldabschnittes an jede zweite Gabione montiert.

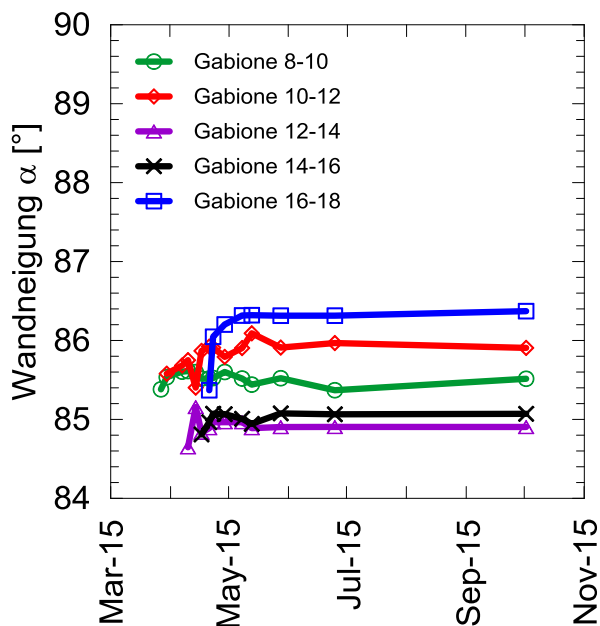
In Abb. 7 sind für ausgewählte Gabionenreihen die mittleren Horizontalverschiebungen in Abhängigkeit der Bauzeit aufgetragen. Die Auswirkungen von Einbau und Verdichten der Hinterfüllung zeichnen sich deutlich ab. Mit der Fertigstellung der Parkfläche Ende Mai 2015 ist keine weitere Zunahme der Horizontalverschiebung festzustellen. Im Mittel wurden während der Bauausführung Verschiebungen von etwa 2,0 cm beobachtet.



**Abb. 7:** Mittlerer Horizontalverformung der Gabionenkörbe

Mit einer zusammenhängenden Auswertung der einzelnen über die Höhe der Gabionen-

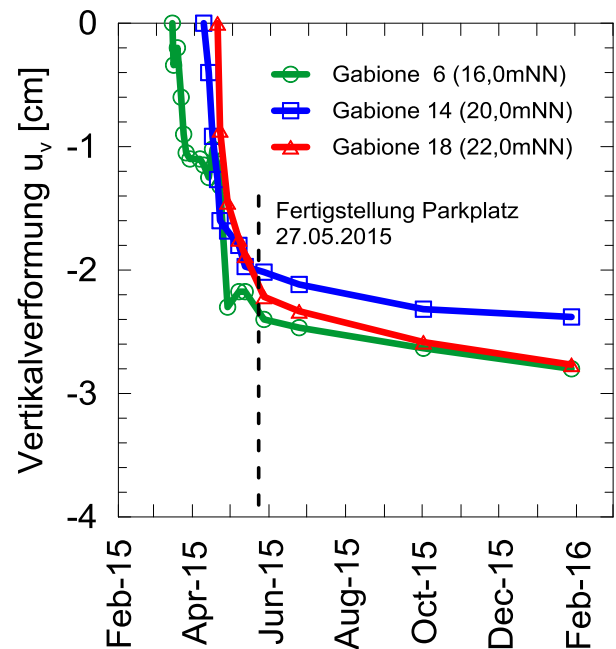
fassade ist in Abb. 8 exemplarisch für die Station 0+45 m die resultierende Wandneigung in Abhängigkeit des Bauablaufs dargestellt. Jede Datenspur beschreibt dabei die Wandneigung in einem Abschnitt von zwei Gabionenreihen, d.h. auf einer Höhe von 1 m. Im Mittel beträgt die resultierende Wandneigung 85,5° nach Abschluss der Bauausführung im Juni 2015. Bei einer dezidierten Betrachtung der einzelnen Höhenlagen ist eine geringfügige Zunahme der Wandneigung von etwa +0,3° bis zum Einbau von jeweils zwei weiteren Gabionenreihen in Folge der Verdichtungsarbeiten zu beobachten. Der nachfolgende Bauablauf hat im folgenden keine weiteren Auswirkungen auf die Wandneigung. Hiervon ausgenommen ist die Befestigung einer angehängten Gerüstkonsole an der 18. Gabionenreihe, die zu einer zusätzlichen Neigung von etwa 0,6° führte.



**Abb. 8:** Wandneigung in Station 0+45 m

Die Setzungen der Gabionenwand sind in Abb. 9 für ausgewählte Gabionenreihen dargestellt. Mit Fertigstellung der Parkfläche ist eine mittlere Setzung von etwa 2,2 cm aufgetreten. Mit Auswertung der einzelnen Höhenlagen lassen sich unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit keine Unterschiede der vertikalen Absolut- sowie Relativverschiebungen in den unteren Gabionenreihen zu den darüber liegenden feststellen. Im Hinblick auf die Bemessung der inneren Stand-

sicherheit der Gabionen konnten somit keine Auswirkungen infolge der mit der Tiefe zunehmenden Einwirkung aus Eigengewicht beobachtet werden.



**Abb. 9:** Mittlerer Vertikalverformung der Gabionenkörbe

## 6. Zusammenfassung

Der Ersatzneubau der geokunststoffbewehrten Erde Konstruktion zur Sicherung des Geländesprungs erforderte erhöhte Anforderungen zur Berücksichtigung der geologischen Randbedingungen sowie der räumlichen Restriktionen infolge der Bauausführung mit Rückbau der schadhafte Stützkonstruktion bei laufendem Betrieb des Grenzhandelsmarkts.

Die geologischen Herausforderungen ergaben sich aus der eiszeitlich geprägten Hanglage mit wasserführenden Zwischenlagen im Geschiebemergel. Der Ersatzneubau wurde daher mit einem doppelten Entwässerungssystem ausgeführt. Zum einen wurde für den Hinterfüllboden ein durchlässiger enggestufter Sand mit einem Feinkornanteil kleiner 5 Gew.-% gewählt, der erhöhte Anforderungen für den Einbau bei optimalen Wassergehalt und das Verdichten erforderte.



**Abb. 10:** Ansicht der Stützkonstruktion mit Polsterwand und Gabionenfassade

Zum anderen wurde zusätzlich ein Drainagesystem mit einer tief liegenden Entwässerungsleitung am Hangfuß mit einem über die Rückbauböschung angeordneten flächenhaften Zweistufenfilter und einer zusätzlichen Drainageleitung hinter dem Fundamentbalken der Gabionenfassade ausgeführt.

Die Herausforderungen der räumlichen Restriktionen erforderten für die Herstellung der Hangdrainage eine abschnittsweise Herstellung mit Verbauelementen, da für einen vollständigen Rückbau nicht der erforderliche Platz zur Verfügung stand und somit die Standsicherheit für den Bauzustand nicht gegeben war.

Die Stützkonstruktion wurde als Polsterwand mit einer vorgesetzten Gabionenfassade erfolgreich ausgeführt. Zur Bemessung der inneren Standsicherheit der Gabionenkörbe existieren bislang keine abgesicherten Berechnungsverfahren, weswegen ein vereinfachter Bemessungsansatz mit großen Sicherheitsreserven gewählt wurde. Die Verformungsmessungen der Gabionenfassade liefern keine Hinweise für vertikale Stauungen der Gabionen mit einer Ausbauchung der Frontgitter.

Das Monitoring der Verformungen belegt mit Fertigstellung der Parkfläche das planmäßige Abklingen der Verformungen und bietet mit der weiterführenden Langzeiterfassung auch die erfolgreiche Kontrolle für die Gebrauchstauglichkeit.

## 7. Literatur

*EBGEO (2009):* Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen, 2. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin.

*FGSV, AK 5.9.3 (2013):* Merkblatt für den Entwurf und die Bemessung von Stützkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen oder Gabionen, FGSV-Verlag, Köln.

*VPI (2011):* Sonderbauteile Gabionen, Technische Mitteilung SG 11/02 der Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik e.V.

*Glück, S.; Bräu, G. & Straußberger, D. (2013):* Sechsstreifiger Ausbau der A3 im Spessart: Geokunststoffbewehrte Steilkonstruktion mit Gabionenverblendung zur platzsparenden umweltschonenden Verbreiterung. FGSV, Schriftenreihe der Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“, Vorträge der Erd- und Grundbautagung 2013, Bamberg.

*Placzek, D. & Pohl, C. (2015):* Versagen eines Einzelelementes bei Stützkonstruktionen aus Gabionen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 113.