

Flughafen BBI westliche Schienenanbindung: Baugrubenplanung mit statisch-konstruktiver und logistischer Optimierung

Vortrag zum Spundwandseminar am
26.03.2009

Technischen Universität Berlin



GuD CONSULT GmbH

- Gutachten
- Beratung
- Planung
- Bauüberwachung



GuD CONSULT GmbH, Ihr Partner im Bauingenieurwesen und in den Geowissenschaften
Berlin ■ Potsdam ■ Leipzig ■ Stuttgart ■ Hamburg ■ Athen ■ Wien



GuD Geotechnik und
Dynamik GmbH



GuD Ingenieurbüro
für Spezialtiefbau GmbH



GuD Planungsgesellschaft
für Ingenieurbau mbH

www.gudconsult.de

Flughafen BBI westliche Schienenanbindung: Baugrubenplanung mit statisch-konstruktiver und logistischer Optimierung

Dipl.-Ing. Oskar Henri Pekoll

GuD Planungsgesellschaft für Ingenieurbau GmbH

Dipl.-Ing. Hilmar Leonhardt

GuD Planungsgesellschaft für Ingenieurbau GmbH

Zusammenfassung

Mit dem Ausbau des Flughafens Berlin Brandenburg International (BBI) ist eine neue Verkehrsanbindung an das bestehende Schienennetz der DB AG vorgesehen. Es soll eine zweigleisige Neubaustrecke zwischen dem Berliner Außenring im Westen und der Görlitzer Bahn im Osten sowie eine S-Bahnstrecke bis zum Terminal errichtet werden. Für die Erstellung der Gleiströge mit Straßen- und Eisenbahnüberführungen waren die notwendigen Baugrubenkonstruktionen in offener Bauweise auf einer Gesamtlänge von ca. 2700 m zu planen. Auf Grund der Größe des Projektes wurde in Abstimmung mit der ausführenden Baufirma eine statisch-konstruktive und logistische Optimierung vorgenommen. Hierbei mussten die Randbedingungen aus der Bauwerksplanung mit unterschiedlichen Baugrubentiefen, wechselnden Baugrund- und Grundwasserverhältnissen, vorgesehenen Bauabläufen und weitere planerische Vorgaben berücksichtigt werden.



Bild 1: Luftbild des Baufeldes südöstlich von Berlin

1 Projektüberblick

Das Baufeld der westlichen Schienenanbindung ist in der folgenden Abbildung als Übersicht mit den jeweiligen Bauwerksabschnitten dargestellt.

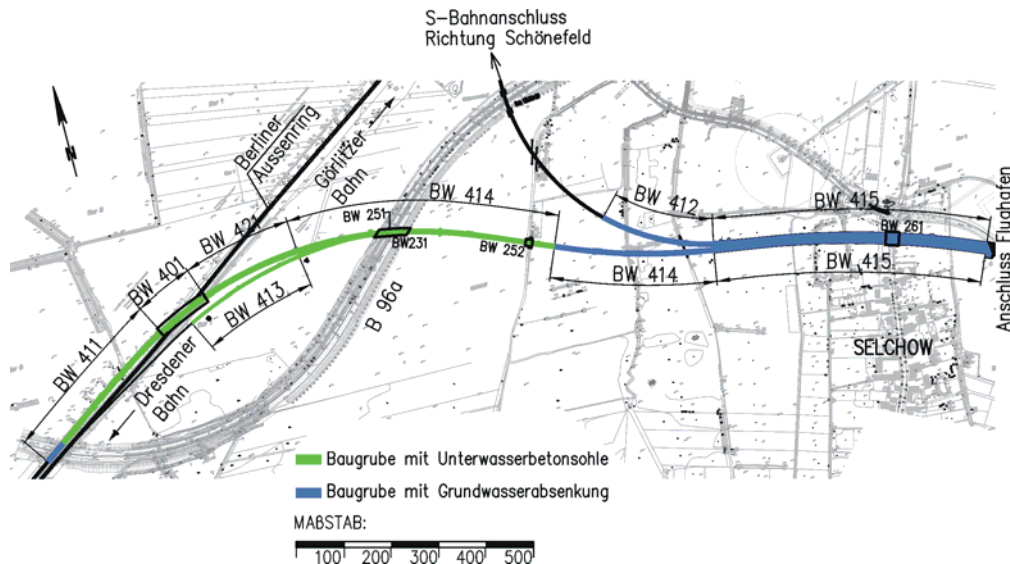


Bild 2: Baufeld für die westliche Schienenanbindung des Flughafens BBI

Auf der Ostseite befindet sich das Areal des neuen Flughafens BBI. Der Berliner Außenring der DB AG liegt auf der Nordwestseite. Die neu zu errichtenden Bauwerke der westlichen Schienenanbindung sind auf der Abbildung 2 farblich dargestellt. Es wurden die Bauwerke der Strecke und eine Unterteilung für die Bauweisen der Baugrubenkonstruktionen angegeben.

Vom Berliner Außenring kommend wird zunächst die bestehende Brücke der Bundesstraße B 96a mit einem Stahlbetontrog unterquert. Die Trogstrecke führt weiter bis zum Bauwerk 401. Hier wird eine Eisenbahnüberführung für den Berliner Außenring hergestellt. Bauzeitlich erfolgt eine temporäre Gleisumverlegung zur Ausführung der Baugrube und des Bauwerks. Die Strecke verläuft weiter in einem Trogbauwerk in Richtung Flughafen, wobei die B 96a abermals gequert wird. Für die Herstellung der Baugruben und Bauwerke wird die Bundesstraße temporär umverlegt. Die Trasse führt im Trog weiter in östlicher Richtung, unterquert einen Wirtschaftsweg und die Selchower Dorfstraße und schließt an das bereits hergestellte Bauwerk 262 im Flughafenbereich an. Von der beschriebenen Strecke zweigt nördlich der S-Bahnanschluss Richtung Schönefeld und südlich ein weiterer Gleisanschluss BW 413 in Richtung Berliner Außenring ab.

2 Randbedingungen und Planungsvorgaben

2.1 Aufgabenstellung

In enger Abstimmung mit der ausführenden Baufirma, der GSB Grund- und Sonderbau GmbH waren folgende Leistungen zu erbringen:

- Genehmigungs- und Ausführungsplanung für die Baugrubenkonstruktionen und die Auftriebssicherungen der Stahlbetontrogbauwerke
- Beantragung einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) für die dauerhafte Auftriebssicherung der Stahlbetonbauwerke über Kleinbohrverpresspfähle, da hierfür keine eisenbahnspezifische Regelung oder Zulassung vorlag.
- Planung einer Leitungsbrücke als Behelfsbauwerk

2.2 Randbedingungen aus der Ausschreibung

Aus der Ausschreibung ergaben sich Randbedingungen, die im Zuge der weiteren Planung Berücksichtigung zu finden hatten. Wesentliche Punkte waren hierbei:

- Vorgegebene Einteilung der Streckenabschnitte, für Baugruben in Wand-Sohle-Bauweise (Trogbaugruben mit Unterwasserbetonsohle) und für Baugruben mit Grundwasserabsenkung
- Weitgehender Rückbau des temporären Baubehelfs der Baugrubenkonstruktionen nach Funktionslosigkeit (Ausnahmen: z.B. Verpressanker, Unterwasserbetonsohlen und alle Auftriebsverankerungen)
- Neben der temporären Auftriebssicherung der Unterwasserbetonsohlen für die Baugrubenkonstruktionen war eine dauerhafte Auftriebssicherung für die Stahlbetonbauwerke der Gleiströge zu planen und hierfür eine Zustimmung im Einzelfall zu erwirken.
- Aufstellen der Planung in einem vertraglich vorgegebenen Zeitraum von ca. 4 Monaten

2.3 Planungsvorgaben der ausführenden Baufirma

Nach Abschluss des Bauvertrages wurde an unser Büro der Planungsauftrag erteilt, mit der Maßgabe für die einzelnen Streckenabschnitte in Zusammenarbeit mit der ausführenden Spezialtiefbaufirma eine möglichst wirtschaftliche Konstruktionen zu entwickeln. Es wurden verschiedene Baugrubenvarianten untersucht, wobei folgende Randbedingungen nach einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in der Planung Berücksichtigung fanden:

- Nutzung eines „Wiederholungseffektes“ für die Ausführung mit mehrfachem Einsatz der Elemente der Baugrubenwandkonstruktionen
- Möglichst geringe und statisch-konstruktiv optimierte Stahltonnage
- Robuste Konstruktion und einfache Rückbaubarkeit
- Anordnung der Rückverankerungen für die Totmannkonstruktionen maximal 3,0 m unter Gelände, jedoch mindestens 0,5 m oberhalb des Bemessungswasserstandes
- Wasserstands Differenz für den Unterwasseraushub zwischen Außenpegel und Innenwasserstand von 0,2 m
- Vorgaben und Abstimmungen zu Toleranzen an den Baugrubenwänden, an der Unterwasserbetonsohle und den Auftriebsverankerungen

3 Modellbildung

3.1 Einteilung in Homogenbereiche

Im Zuge der Planung waren in einem ersten Schritt aus den vorhandenen Baugrundgutachten für die einzelnen Streckenabschnitte Homogenbereiche festzulegen. Die Homogenbereiche sind entsprechend der DIN 4020 begrenzte Abschnitte, in denen die Bodeneigenschaften eine definierte Streuung aufweisen und sich von den Eigenschaften der abgrenzenden Bereiche abheben. Berücksichtigt wurden bei der Festlegung der Homogenbereiche:

- die Baugrundsichtung
- die Grundwasserstände
- der Geländeverlauf

3.2 Einteilung der Berechnungsabschnitte

Auf der Grundlage der Homogenbereiche wurden nachfolgend die Berechnungsabschnitte festgelegt. Die Festlegung der Homogenbereiche und Berechnungsabschnitte erfolgte in einer Interaktion zwischen den Baugrubenrandbedingungen und den Einflüssen des anstehenden Baugrundes. Jeweils an der statisch maßgebenden Kilometrierung der Strecke wurde ein Berechnungsschnitt angeordnet. Bei der Einteilung wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Unterscheidung für die jeweiligen Bauweisen der Baugruben mit Grundwasserabsenkung oder eines Baugrubentroges mit Unterwasserbetonsohle (Wand-Sohle-Bauweise)
- signifikante Änderung der Aushubtiefe
- Relevante Veränderung der Baugrundsichtung, insbesondere im Bereich des passiven Erdaufagers
- Einbindetiefen der Baugruben in das Grundwasser
- Mögliche Höhenlagen der Wandrückverankerungen aus den Planungsvorgaben
- Voraussetzungen für Erddruckumlagerungen entsprechend den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB (EB 70)

Erfahrungsgemäß sind in der Regel Baugrubenbereiche mit großer Einbindung in das Grundwasser und insbesondere im Bereich des passiven Erdaufagers die weniger günstigen Bodenkenngrößen maßgebend. Im Zweifelsfall sind zusätzliche Berechnungsschnitte zu untersuchen. Eine exemplarische Darstellung der Baugrundsichtung für einen Teilabschnitt ist Bild 3 zu entnehmen. Die zugehörigen Bodenkenngrößen für die erdstatischen Berechnungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

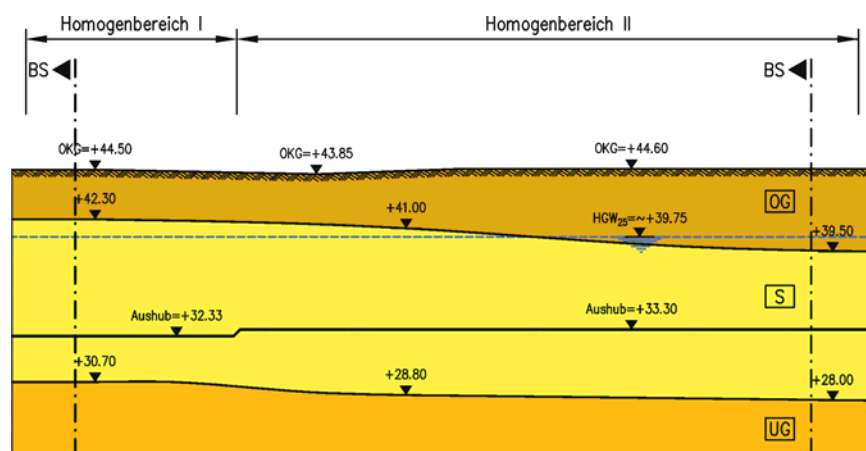


Bild 3: Baugrundsichtung für einen Teilabschnitt mit Darstellung der geplanten Aushubordinaten und der Festlegung der Homogenbereiche, sowie der Berechnungsschnitte BS

Tabelle 1: Bodenkenngrößen für einen Teilbereich zugehörig zu Bild 3

Bodenschichten	Wichten		Kohäsion c' kN/m ²	Reibungs- Winkel φ' Grad	Steife- modul E_s MN/m ²
	feucht γ kN/m ³	Auftrieb γ' kN/m ³			
[OG] Obere Grundmoräne $q_c < 7 \text{ MN/m}^2$	19	10	2	27,5	8
[S] Sand $q_c \geq 10 \text{ MN/m}^2$	19	11	0	37,5	80
[UG] Untere Grundmoräne $q_c > 15 \text{ MN/m}^2$	21	11	8	30	21

Im Rahmen der Planung wurden im wesentlichen 3 Typen von Baugrubenwandkonstruktionen dimensioniert:

- Typ 1 - Einfach rückverankerte Spundwände mit Unterwasserbetonsohle; Rückverankerung über Totmannkonstruktionen oder teilweise über Verpressanker
- Typ 2 - Einfach rückverankerte Spundwände mit Grundwasserabsenkung; Rückverankerung über Totmannkonstruktionen oder teilweise über Verpressanker
- Typ 3 - Freistehende und im Baugrund eingespannte Spundwände mit Grundwasserabsenkung

Zusätzlich wurde die Berechnung von folgenden Sonderkonstruktionen notwendig.

- Typ 1a - Innenausgesteifte Spundwände mit Unterwasserbetonsohle
- Typ 3a - Freistehende und im Baugrund eingespannte Trägerbohlwände
- Typ 3b - Spundwände im Bereich organischer Böden, wo Baugrundverbesserungen mittels Fertigmörtelstopfsäulen für die Auflagerung der Stahlbetontrogbauwerke ausgeführt wurden
- Typ 4 - Ausbildung geböschter Baugruben

Für das Projekt wurden insgesamt ca. 30 Berechnungsschnitte notwendig. Im Mittel wurde etwa alle 100 m ein neuer Berechnungsschnitt angeordnet.

4 Statische Modelle und durchgeführte Optimierungen

4.1 Allgemeine Vorgehensweise für die Optimierung

Auf der Grundlage der festgelegten Berechnungsschnitte erfolgte zunächst eine Vordimensionierung aller Bereiche. Zur Minimierung der Stahltonnage wurde für alle Spundwände die Stahlgüte S 355 GP gewählt, um höhere Stahlspannungen ausnutzen zu können.

Die Prinzipschnitte aus der Vordimensionierung mit den ermittelten Mindestabmessungen der Baugrubenkonstruktionen wurden zusammengestellt und dem ausführenden Unternehmen mitgeteilt. Auf dieser Grundlage wurden in enger Abstimmung und Diskussion bereichsweise zusätzliche Variantenuntersuchungen durchgeführt und hierfür Detailpunkte entwickelt.

Unter Berücksichtigung des vorgesehenen Bauablaufes, des mehrfachen Einsatzes wesentlicher Baugrubenelemente, einer Vereinheitlichung der Spundwand- sowie Stahlprofile und Randbedingungen aus den Bauverfahren wurden aus den ermittelten Mindestabmessungen seitens der Baufirma logistische Optimierungen vorgenommen und zu berücksichtigende Profilgrößen und Bauteilabmessungen für die weitere Planung festgelegt.

4.2 Typ 1 Einfach rückverankerte Spundwände mit Unterwasserbetonsohle

Auf dem folgenden Bild 4 ist die optimierte Konstruktion dargestellt. Es wurden folgende wesentliche konstruktive Elemente gewählt:

1. Baugrubenwand als Spundwand mit U-Bohlen in der Stahlgüte S 355 GP
2. Unterwasserbetonsohle mit einer Mindestdicke von 1,0 m, entsprechend dem DBV-Merkblatt „Unterwasserbeton“
3. Auftriebsverankerungen als GEWI-Pfähle für die temporäre Auftriebssicherung der Unterwasserbetonsohle und teilweise als permanente Auftriebssicherung der Stahlbetonbauwerke
4. Aufgelöste Ankerwand aus 2 vertikalen Walzprofilen HEB-300 bzw. HEB-400 in der Stahlgüte S 235 JR

5. Rückverankerung über horizontale Litzenspannglieder in der Stahlgüte St 1570/1770, mindestens 4 Litzen
6. Gurtung aus 2 U-Profilen in der Stahlgüte S 235 JR mittig an jedem Anker, keine durchlaufende Gurtung
7. Stahlbetonfertigteile zur Lasteinleitung aus der Rückverankerung in die vertikalen Walzprofile der aufgelösten Ankerwand

Für die einzelnen Tragelemente wurde eine statisch-konstruktive Optimierung durchgeführt und nachfolgend für einzelne Bauteile erläutert.

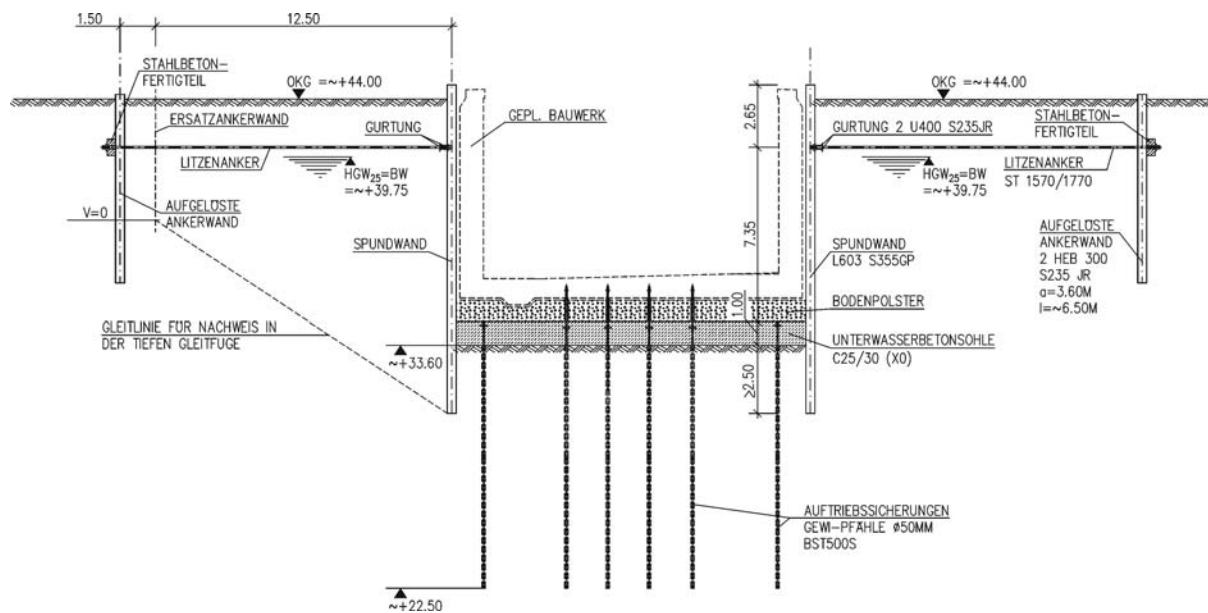


Bild 4: Baugrubenkonstruktion Typ 1 in Wand-Sohle-Bauweise (Trogbaugrube mit Unterwasserbetonsohle)

4.2.1 Statische Berechnung und Optimierung der Spundwand

Nach der Vordimensionierung der Berechnungsabschnitte wurden seitens der Baufirma die einzusetzenden Spundwandprofile festgelegt. Hierfür wurden nach einer Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung LARSSSEN-Profile mit der Stahlgüte S 355 GP ausgewählt. Die Oberkante der Spundwand orientierte sich an der Oberkante des herzustellenden Stahlbetonbauwerkes. Hintergrund war hierbei, dass nach Funktionslosigkeit der Baugrubenkonstruktion ein Rückbau der Spundwände gemäß Planfeststellung erforderlich ist.

Die Unterkante der Spundwand wurde entsprechend der statischen Nachweise festgelegt. Neben dem Nachweis des Erdaufagers wurde auch stets der Nachweis der äußeren Tragfähigkeit entsprechend den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB (EB 86) geführt. In der EAB Anhang A10 sind die verwendeten Erfahrungswerte für Mantelreibung und Spitzenwiderstand angegeben. Zu beachten ist hierbei, dass die Erfahrungswerte auch vom Einbringverfahren abhängig sind. Soweit sich

aus der statischen Berechnung keine größere Einbindetiefe ergab, wurde jeweils eine Mindesteinbindetiefe von 2,5 m gewählt.

Unter Berücksichtigung der Planungsvorgaben konnte die Höhenlage der Rückverankerung optimiert werden, um eine hohe Profilausnutzung zu erreichen. Neben der Verschiebung des Auflagerpunktes waren hier auch die Lastfiguren aus der Erddruckumlagerung gemäß den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB (EB 70) zu berücksichtigen. Für höherliegende Rückverankerungen der Totmannkonstruktionen ergaben sich Vorteile für die Bauausführung, da hier ein geringerer temporärer Aushub und Wiederverfüllung zum Einbau der Litzenspannglieder notwendig war. Mit tiefer angeordneten Rückverankerungen kann das „Stützmoment“ in Höhe des Ankers vergrößert werden, so dass das in der Regel maßgebende „Feldmoment“ kleiner wird. Die Auswirkungen sind exemplarisch für einen betrachteten Geländesprung von 10,9 m und zwei unterschiedlichen statischen Systemen in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Der wesentliche Unterschied ist hierbei die Höhenlage der Rückverankerung. Bei dem System I liegt die Rückverankerung 1,0 m unter der Geländeoberkante. Der aktive Erddruck wird hier bis zur Aushubsohle in ein Rechteck umgewandelt. Im Gegensatz hierzu liegt die Rückverankerung bei dem System II 2,5 m unter Gelände. Entsprechend den Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben wird der aktive Erddruck hier stufenförmig umgelagert. Die statische Berechnung der Spundwände erfolgte in der Regel für 3 Bauzustände:

- Aushub A – Für die Herstellung der Rückverankerung als freistehende und im Baugrund eingespannte Spundwand nach dem Verfahren von Blum
- Aushub B – Unterwasseraushub bis zur Endtiefe nach Ausführung der Rückverankerung
- Aushub C – Lenzen der Baugrube nach Herstellung der Auftriebsverankerungen und der Unterwasserbetonsohle

In den Abbildungen 5 und 6 sind nur die Aushubphasen B und C dargestellt. Wie den dargestellten Grafiken zu entnehmen ist, ergeben sich aus der veränderten Ankerhöhe deutliche Unterschiede in den Schnittgrößenverteilungen. Eine Gegenüberstellung wurde in der folgenden Tabelle vorgenommen.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der ermittelten Schnittgrößen und Ankerkräfte für die statischen Systeme I und II

Bemessungsschnittgrößen	System I	System II	Abweichung
max. Bemessungsmoment M_d in [kNm/m]	588	370	ca. 59 %
max. Bemessungswert der Querkraft V_d in [kN/m]	280	238	ca. 18 %
max. Bemessungswert der Ankerkraft A_d in [kN/m]	209	256	ca. -18%

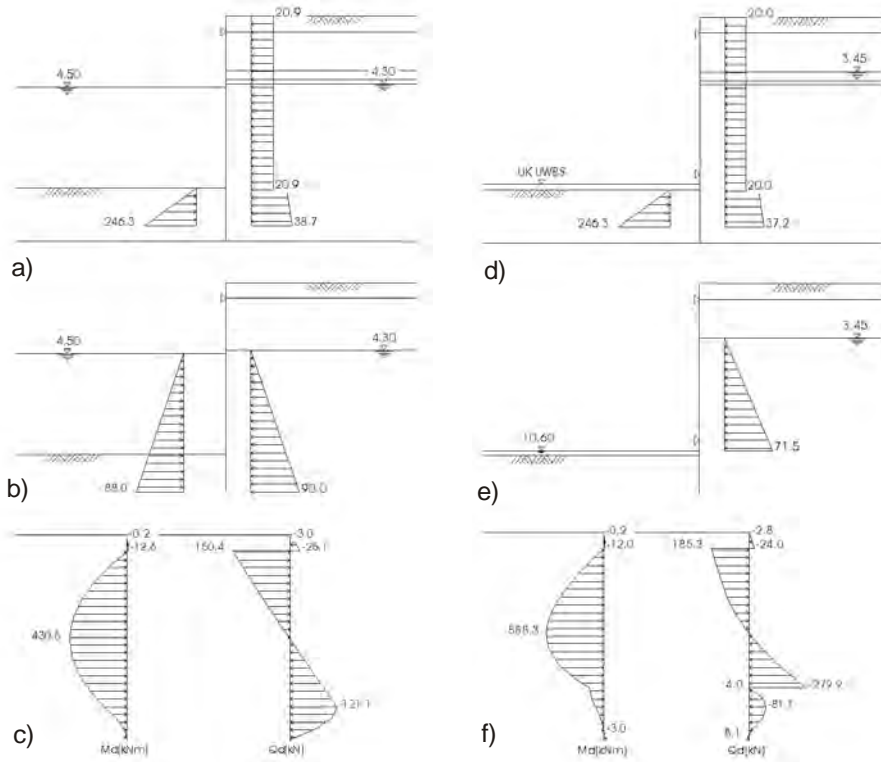


Bild 5: System I; Bild 5a) Aushub B - Erddruckbelastung; Bild 5b) Aushub B – Wasserdruckbelastung; Bild 5c) Aushub B - Bemessungsschnittgrößen; Bild 5d) Aushub C – Erddruckbelastung; Bild 5e) Aushub C - Wasserdruckbelastung; Bild 5f) Aushub C – Bemessungsschnittgrößen

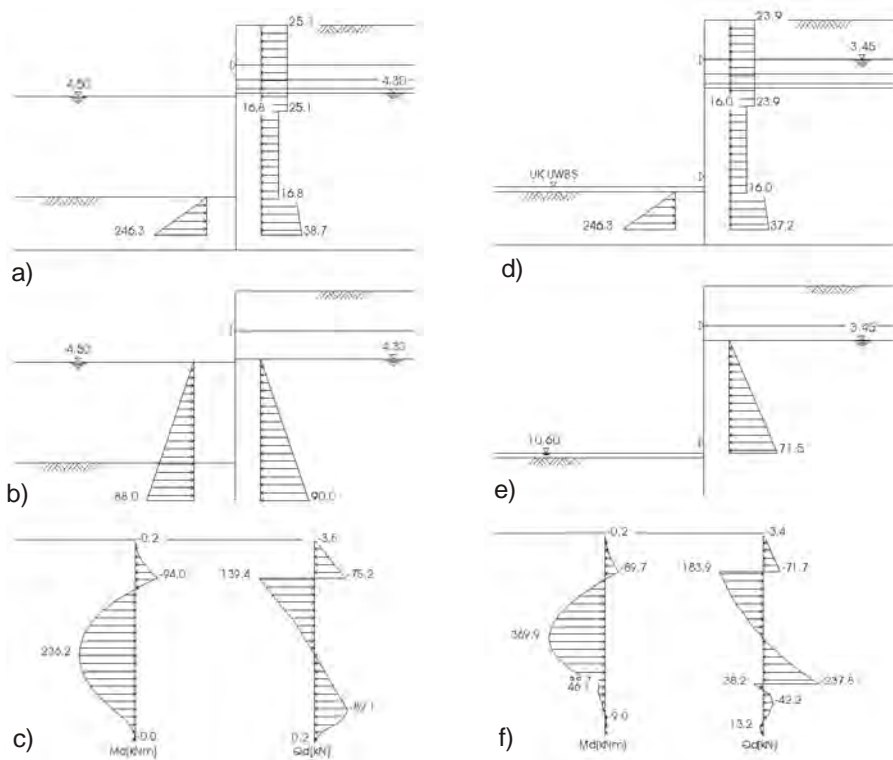


Bild 6: System II; Bild 6a) Aushub B - Erddruckbelastung; Bild 6b) Aushub B – Wasserdruckbelastung; Bild 6c) Aushub B - Bemessungsschnittgrößen; Bild 6d) Aushub C – Erddruckbelastung; Bild 6e) Aushub C - Wasserdruckbelastung; Bild 6f) Aushub C – Bemessungsschnittgrößen

Für die betrachtete Situation kann durch die Höhenlage der Rückverankerung eine starke Veränderung der Schnittgrößen, insbesondere für das maximale Biegemoment erreicht werden. Für das System I wäre ein LARSEN-Profil 605 in der Stahlgüte S 355 GP einzuplanen. Demgegenüber wäre für das System II nur ein LARSEN-Profil 603 in gleicher Stahlgüte notwendig. Die Stahlersparnis liegt dann bei ca. 29 %.

Durch die Verwendung der U-förmigen Bohlen die über Pressstellen zu Doppelbohlen verbunden wurden, ergab sich die Notwendigkeit des Nachweises der Schubübertragung in der Nulllinie des Querschnittes. Teilweise erwiesen sich die standardmäßigen Doppelpressstellen als nicht ausreichend, so dass eine Verringerung des werkseitigen Pressstellenabstandes erforderlich wurde.

Für Baugruben im Grundwasser waren hierbei insbesondere die Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB Standsicherheitsnachweise für Baugrubenwände im Wasser (EB 63) zu berücksichtigen. Als wesentlicher Punkt ist hierbei anzumerken, dass abweichend zur Ermittlung der Schnittgrößen nach EB 11 Abschnitt 2, wonach jeder Bauzustand für sich gerechnet werden darf, für Baugrubenwände im Wasser bei Veränderungen der Belastung und des statischen Systems Einflüsse und Schnittgrößen aus dem vorherigen Bauzustand zu berücksichtigen sind. Dies gilt besonders für die Situation Lenzen der Baugrube nach Herstellung einer Unterwasserbetonsohle.

Für die Situation des Unterwasseraushubes wurde ein Differenzwasserstand von 0,2 m in Ansatz gebracht. Folglich wirkt nur ein geringer resultierender Wasserdruck von 2 kN/m² als Belastung auf die Baugrubenwand. Für die Ermittlung des aktiven Erddruckes war hierbei ein niedriger Grundwasserstand außerhalb der Baugrube maßgebend.

Bei der Berechnung für die gelenzte Baugrube ist dagegen wieder der höchste bauzeitliche Bemessungswasserstand außerhalb der Baugrube in Ansatz zu bringen. Beachtet werden muss hierbei der Ansatz des korrekten Wasserdruckes, da unterhalb der Unterwasserbetonsohle kein resultierender Wasserdruck auf das System wirkt (siehe Bild 5e) und Bild 6e)) und dieser Sachverhalt in den EDV-Programmen in der Regel zunächst nicht berücksichtigt wird. Der Anteil des Wasserdruckes an der Gesamtbelastung des Systems ist teilweise relativ hoch. Beim vorliegenden Bauvorhaben abschnittsweise in der Größenordnung von ca. 60% der Gesamtbelastung aus Erd- und Wasserdruck.

4.2.2 Statische Berechnung und Optimierung der aufgelösten Ankerwand

Für die Ausbildung der Totmannkonstruktion hat sich in Abstimmung mit der ausführenden Baufirma eine aufgelöste Ankerwand, bestehend aus 2 vertikalen Walzprofilen je Rückverankerung als wirtschaftlichste Lösung erwiesen. Die Rückverankerungen wurden in der Regel mit einem Abstand von 3,6 m vorgesehen. Die Ankerwand wurde als im Baugrund eingespannte Trägerbohlwand mit einer Horizontallast aus der Rückverankerung berechnet, wobei auch die 1,5fache Prüflast der

Rückverankerung berücksichtigt wurde. Für die Bilanz der Vertikalkräfte wurde der Erddruckneigungswinkel des Erdwiderstandes auf der sicheren Seite zu $\delta_p \approx 0^\circ$ angenommen.

Das Maß zwischen der Baugrubenwand und der Ankerwand wird im wesentlichen durch den Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge bestimmt. Durch die Wahl der aufgelösten Ankerwand war eine entsprechende Ersatzankerwand um das Maß $\frac{1}{2} \cdot a_1$ vor der aufgelösten Ankerwand anzunehmen, wobei für a_1 der lichte Abstand zwischen den benachbarten Trägerpaaren angesetzt wurde. Die Höhe der rückwärtigen Begrenzung des abrutschenden Erdkörpers wurde durch die Lage des Querkraftnullpunktes an der im Baugrund eingespannten Ankerwand bestimmt.

4.2.3 Ausbildung der Rückverankerung

Für die Rückverankerung zur aufgelösten Ankerwand wurden horizontale Litzenspannglieder mit mindestens 4 Litzen eingesetzt. Der Korrosionsschutz für die Kurzzeitanke mit einer zulässigen Einsatzdauer von maximal 2 Jahren wurde gemäß DIN 4125 durch PE-Hüllrohre sichergestellt.

Bereichsweise wurden geeignete Verpressanker nach DIN 4125 ausgebildet, wo dies aus geometrischen Randbedingungen für das Verbleiben der Anker möglich war.

4.2.4 Statische Berechnung und Optimierung der Gurtung

Für eine Vereinfachung des Bauablaufes hinsichtlich Einbau und Rückbau einer Gurtung war zu untersuchen, ob auf eine durchlaufende Gurtung verzichtet werden kann. Ein Ankerausfall kann dann in der Regel nicht nachgewiesen werden. In den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB (EB 86) werden jedoch Bedingungen vorgegeben, dass auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden darf:

- a. Jeder Anker wird bei der Abnahmeprüfung mit 1,5- statt 1,25-facher charakteristischer Ankerkraft geprüft. Es ist hierfür der Nachweis der inneren Tragfähigkeit des Zuggliedes für den Spannvorgang zu führen.
- b. Als Zugglied kommen Litzenganke mit mindestens 4 Litzen zum Einsatz.
- c. Die tragenden Teile des Ankerkopfes sind hinter der Vorderkante der Spundwand möglichst weitgehend zu versenken.
- d. Die Ankerkräfte werden mindestens auf 100% aktiven Erddruck und bauzeitlichen Wasserdruck festgelegt.

Diese Bedingungen wurden eingehalten, so dass auf eine durchlaufende Gurtung verzichtet werden konnte.

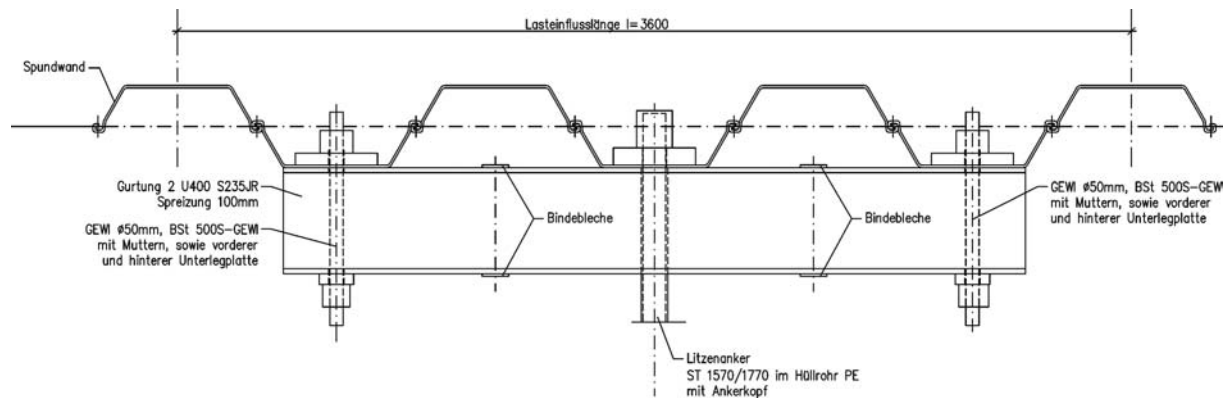


Bild 7: Darstellung der Detailausbildung zur Rückverankerung der Baugrubenwand mit erdseitiger Gurtung

Als Gurtkonstruktion wurden 2 U-Profile in der Stahlgüte S 235 JR mit einer Spreizung von 100 mm gewählt, welche jeweils über 3 Spundwandtäler geführt wurden. Mittig wurde die Rückverankerung angeordnet. Die Lastübertragung der benachbarten Spundwandtäler erfolgte über GEWI-Stäbe, sowie vorderen und hinteren Gurtplatten.

4.2.5 Statische Berechnung des Stahlbetonfertigteiles

Zur Lasteinleitung aus der Rückverankerung in die vertikalen Walzprofile der Widerlagerwand wurde ein Stahlbetonfertigteile vorgesehen und entsprechend dimensioniert. Hierbei war planerisch sicherzustellen, dass dieses Bauteil universell in allen Bereichen der Baugrube einsetzbar war.

4.3 Typ 2 - Einfach rückverankerte Spundwände mit Grundwasserabsenkung

Die wesentlichen Tragelemente sind analog auch bei den rückverankerten Baugrubenwänden mit Grundwasserabsenkung vorhanden, wobei hier die Unterwasserbetonsohle entsprechend den Randbedingungen aus der Ausschreibung nicht notwendig war. Daher wurden hier die Auftriebsverankerungen nur für das endgültige Stahlbetonbauwerk erforderlich. Die Konstruktion ist im Bild 8 dargestellt.

Die Herstellung der Spundwände und Rückverankerungen erfolgte weitgehend analog zum Bereich der Baugruben mit Unterwasserbetonsohlen. Mit dem weiteren Aushub im Schutze der Grundwasserabsenkung waren jedoch andere Überlegungen zu treffen. Auf der Grundlage eines prognostizierten Absenktrichters waren mögliche Auswirkungen auf die Verbaukonstruktion abzuschätzen. Die Spiegellinie des abgesenkten Grundwassers verläuft nach der Prognose jedoch so flach, dass kein nennenswerter Einfluss auf den aktiven Gleitkörper und den Verankerungsbereich erwartet werden konnte.

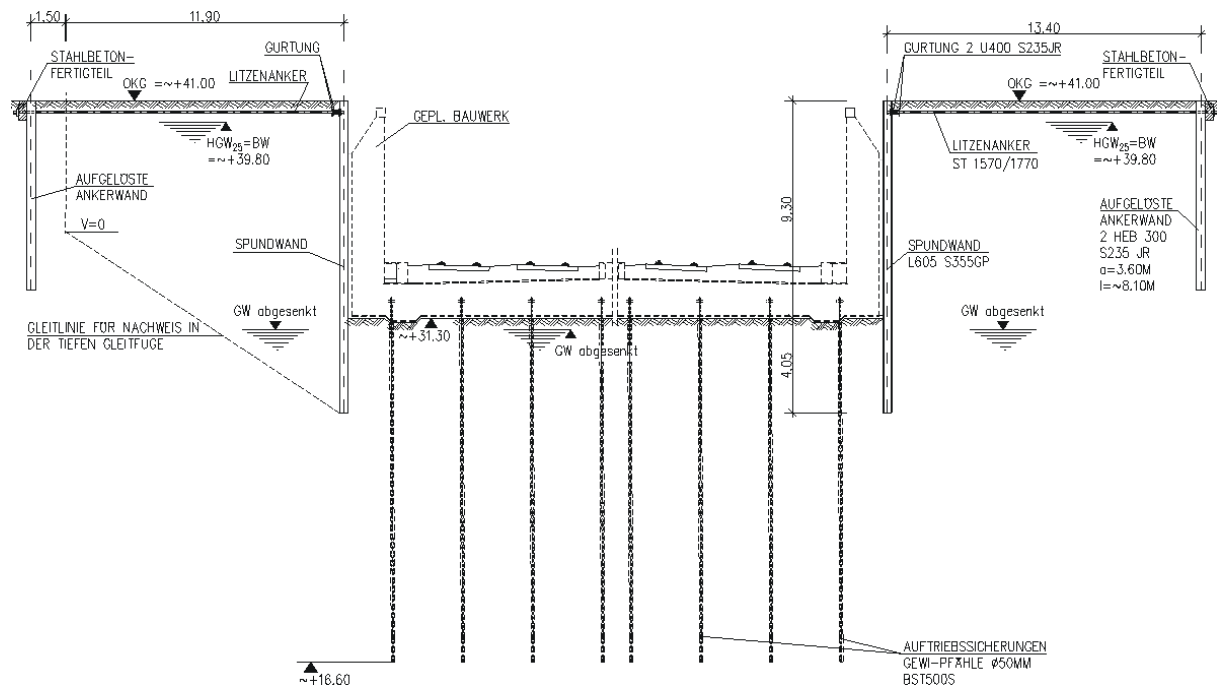


Bild 8: Baugrubenkonstruktion Typ 2 mit Grundwasserabsenkung

Die Berechnung der Spundwände erfolgte hier in der Regel für 2 Aushubzustände:

- Aushub A – Für die Herstellung der Rückverankerung als freistehende und im Baugrund eingespannte Spundwand nach dem Verfahren von Blum
- Aushub B – Aushub und Grundwasserabsenkung beidseitig der Verbauwand nach Ausführung der Rückverankerung

Für den Vollaushubzustand der Baugrube wurde beidseitig der Verbauwand der abgesenkte Grundwasserstand in Höhe der Aushubsohle angenommen. In diesem Fall wurde der geringste Erdwiderstand durch Berücksichtigung des unter Auftrieb stehenden Bodens ermittelt (vgl. auch (EB 60)). Tatsächlich wird das Grundwasser jedoch mindestens bis ca. 0,5 m unterhalb der Aushubsohle abgesenkt und liegt damit für die Berechnungen auf der sicheren Seite.

4.4 Typ 3 - Eingespannte Spundwände mit Grundwasserabsenkung

Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich auf eine besondere Konstruktion einer freistehenden und im Baugrund eingespannten Spundwand.

In einem Teilbereich war mit einer Baugrubenkonstruktion ein Geländesprung von ca. 11 m zu sichern. Entsprechend den Planungsvorgaben stand hier als möglicher Platzbedarf nur eine Grundfläche mit einer Breite von ca. 6,5 m zur Verfügung. Für die Ausbildung einer Rückverankerung bzw. Totmannkonstruktion oder eines Fangedammes erwies sich der vorhandene Platz als nicht

ausreichend. Auf eine innenliegende Aussteifung sollte auf Grund baubetrieblicher Zwänge für die Herstellung der Stahlbetontröge ebenfalls verzichtet werden. Es wurde daher eine Lösung entwickelt, welche in Bild 9 dargestellt ist.

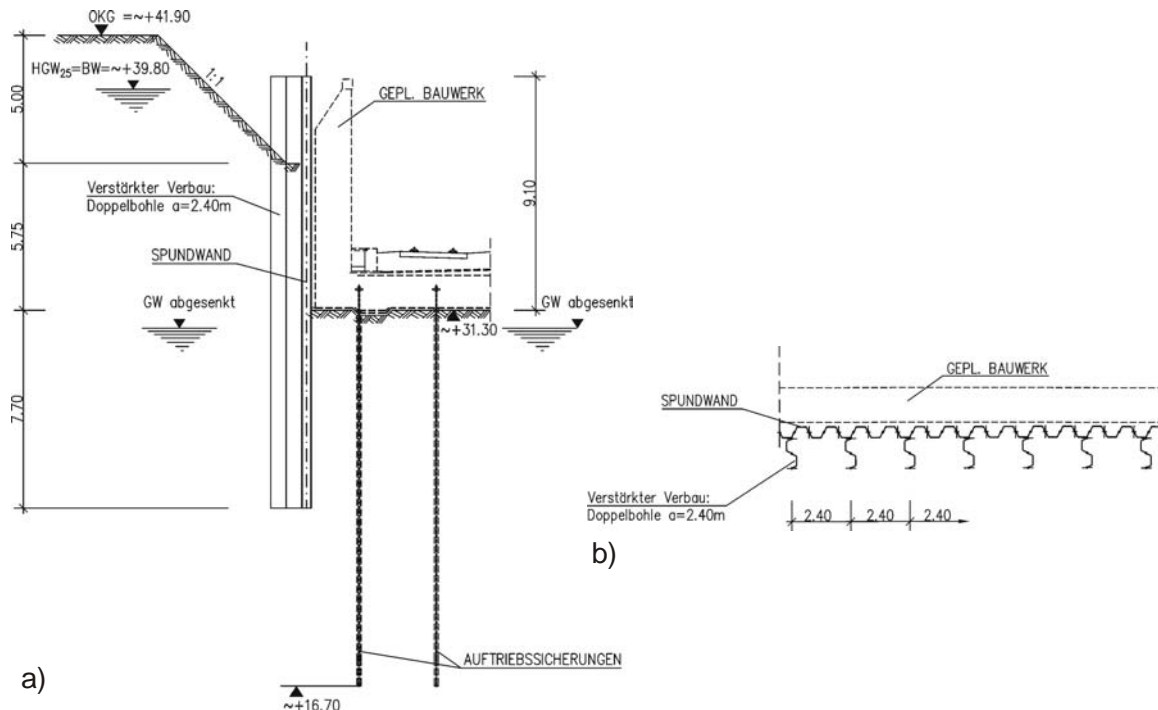


Bild 9: Baugrubenkonstruktion Typ 3 - verstärkter Verbau als freistehende und im Baugrund eingespannte Spundwand; Bild 9a) Schnittdarstellung; Bild 9b) Grundrissausschnitt

Entsprechend der DIN 4124 ist unter Berücksichtigung der Voraussetzungen eine bauzeitliche Böschung mit einer Neigung von 45° bis zu einer Höhe von 5,0 m bei den anstehenden Böden auch ohne rechnerischen Nachweis ausführbar. Eine derartige Vorböschung wurde in diesem Fall vorgesehen und bei der Spundwandberechnung berücksichtigt. Die Berechnung der Spundwand erfolgte als freistehende und im Baugrund eingespannte Wand nach dem Verfahren von Blum.

Beim Ansatz des Erdwiderstandes ist hier der Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstandes nachzuweisen. In der Regel muss bei eingespannten Verbauwänden auf Grund der geringeren von oben nach unten gerichteten Einwirkungen der gewählte Erddruckneigungswinkel für den Erdwiderstand herabgesetzt werden.

Durch die weiterhin große Verbauhöhe für freistehende und im Baugrund eingespannte Wände war hier der Nachweis der Spundwand bezüglich des maximalen Biegemomentes und die Abschätzung zu möglichen Verformungen problematisch. Zulässige Ergebnisse wurden erst mit einer verstärkten Ausbildung der Spundwandkonstruktion erreicht. Es wurde eine zusammengesetzte Spundwand gewählt. Eine baugrubenparallele Spundwand wurde durch LARSEN-607n-Profile gebildet. In Abständen von ca. 2,4 m wurden an der Rückseite jeweils querliegende Doppelbohlen angeordnet.

Eine schubfeste Verbindung zwischen der baugrubenparallelen Spundwand und den Querwänden konnte bedingt durch die Einbringverfahren nicht realisiert werden. An die Längsspundwand wurde in entsprechenden Abständen ein Schloss angeschweißt. In dieses Schloss wurden die Querbohlen eingefädelt und eingerammt. In der Berechnung konnte die Verbauwand nur als Summe der jeweiligen Teilquerschnitte bzw. -steifigkeiten berücksichtigt werden. Eine Vergleichsberechnung zur Abschätzung der Verformungen wurde auch mit dem Bettungsmodulverfahren nach EAB (EB 102) durchgeführt. Die möglichen rechnerischen Verformungen lagen am Kopf der Spundwand bei ca. 13 cm.

Zwischenzeitlich wurde die gewählte Konstruktion ausgeführt. Die mit dem Aushub eingetretenen Verformungen waren gegenüber der Prognose etwas geringer.

5 Ausblick

Unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen wurde eine vollständige Baugrubenplanung in kurzer Bearbeitungszeit aufgestellt. Für eine möglichst wirtschaftliche Lösung wurden verschiedene statisch-konstruktive und logistische Optimierungen in Zusammenarbeit mit der ausführenden Baufirma erreicht.

Die Prüfung der Genehmigungs- und Ausführungsplanung erfolgte für einzelne Streckenabschnitte durch drei verschiedene Prüfingenieure und einen gesonderten Sachverständigen für die Erteilung der Zustimmung im Einzelfall (ZiE). Die getroffenen Annahmen und Berechnungsansätze für die Baugrubenkonstruktionen wurden ohne Einschränkungen akzeptiert.

Etwas unglücklich war jedoch die Situation in Bezug auf die technischen Regelwerke. Zur Aufstellung der statischen Berechnung wurde die DIN 1054:2005-01 mit der Berichtigung 1 bzw. 2 für die Lastfälle und Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt. Im Zeitraum der Prüfung der Antragsunterlagen zur Zustimmung im Einzelfall wurde die Berichtigung 3 veröffentlicht. Daher wurde zur Auflage der ZiE, die nunmehr veränderten Lastfälle und Teilsicherheitsbeiwerte aus der 3. Berichtigung zu berücksichtigen. Kurioserweise wurde mit der neuesten Berichtigung 4 die Erhöhung eines Teilsicherheitsbeiwertes wieder rückgängig gemacht.

Insbesondere durch die Größe des Projektes ergab sich eine anspruchsvolle und interessante Aufgabenstellung. Die erfolgreiche Umsetzung der Baumaßnahme ist in vollem Gange. Alle Beteiligten arbeiten an der Zielstellung, dass mit der Eröffnung des Flughafens Berlin-Brandenburg International (BBI) auch eine Anreise auf dem Schienenweg möglich ist.

Literatur

DIN 4020 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke September 2003

DIN 1054:2005-01 Baugrund – Standsicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau [2005], Beuth Verlag

Berichtigung 1 zu DIN 1054:2005-01 [2005], Beuth Verlag

Berichtigung 2 zu DIN 1054:2005-01 [2007], Beuth Verlag

Berichtigung 3 zu DIN 1054:2005-01 [2008], Beuth Verlag

Berichtigung 4 zu DIN 1054:2005-01 [2008], Beuth Verlag

DIN 4124 Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten [2002], Beuth Verlag

DIN 4125 Verpressanker, Kurzzeitanker und Daueranker, Bemessung, Ausführung und Prüfung [1990], Beuth Verlag

DIN 1045-1:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion [2001], Beuth Verlag

DIN 18800 Stahlbauten Bemessung und Konstruktion [1990], Beuth Verlag

Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB [2006], 4. Auflage, Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., Ernst & Sohn Verlag

Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen EAU 2004 [2005], 10. Auflage, Herausgegeben vom Arbeitsausschuss „Ufereinfassungen“ der Hafentechnischen Gesellschaft e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., Ernst & Sohn Verlag

Spundwandhandbuch [2008], ThyssenKrupp GfT Bautechnik, 2. Auflage

Weißbach, Anton [1975]. „Baugruben Teil I Konstruktion und Bauausführung“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn

Weißbach, Anton [1975]. „Baugruben Teil II Berechnungsgrundlagen“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn

Weißbach, Anton [1977]. „Baugruben Teil III Berechnungsverfahren“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn

DBV-Merkblatt [1999]. „Unterwasserbeton“ Fassung Mai 1999, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Eigenverlag