

Baugrube VHV Hannover

- Alternative Verbausysteme-

Dipl.-Ing. Thomas Garbers

Ingenieurservice Grundbau GmbH

Dipl.-Ing. Karsten Kegelbein

Franki Grundbau GmbH & Co. KG

Bereich Nord

Zusammenfassung

Durch die Preisentwicklung auf dem Stahlmarkt wird das in der Vergangenheit entwickelte Verbausystem Dichtwand mit eingestellter Spundwand zunehmend unwirtschaftlicher. Auch die mit dieser Entwicklung verbundene langen Lieferzeiten führen zu unerwünschten Verlängerungen der Bauzeiten. In dem folgenden Beitrag werden verschiedene Verbausysteme untersucht die auf alternative Baustoffe wie Betonfertigteile und Dichtwandmassen als Tragsysteme zurückgreifen. An dem Beispiel der Baugrube für das neuen Verwaltungsgebäudes der VHV Versicherungen werden Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme sowie Erfahrungen bei der Ausführung des Systems Dichtwand mit eingestellten Fertigteilelementen geschildert.

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die VHV-Versicherungsgruppe plante auf dem Gelände eines alten Sportplatzes den Neubau eines Verwaltungsgebäudes mit einer zweigeschossigen Tiefgarage. Auf einer annähernd trapezförmigen Fläche von runde 9.500 m² sollte das Gebäude mit einer durchgehend angeordneten Tiefgarage errichtet werden (Bild 1). Die Geländehöhe lag bei ca. NN 52,0 m, somit war, mit der geplanten Gründungsebenen zwischen NN 45,15 m und NN 43,30 m, eine 8 bis 9 m tiefe Baugrube herzustellen. Das Grundwasser wurde bei ca. NN 50,50 m nur ein bis eineinhalb Meter unter der anstehenden Geländeoberkante angetroffen.

1.2 Vorstellung der Bauaufgabe

Für die Erstellung der Baugrube (Bild 1 bis 3) waren

- 1) 8000 m² Dichtwand mit einer Dicke von $d = 60$ cm und einer Tiefe bis 20 m
- 2) 435 t Spundwand Larssen 604 mit einer Länge von 9 – 12 m
- 3) 240 temporäre Litzenanker mit einer Länge von 15 m und einer max. Last von $Z = 450$ kN

geplant. Die Baugrube sollte in der Zeit vom Dezember 2006 bis Mai 2007 einschließlich Aushub, Herstellung von Auftriebspfählen und Geothermiebohrungen sowie Unterbeton hergestellt werden. Aufgrund der geringen Ausführungszeit war die Herstellung der Baugrubenwände mit zwei Schlitzeinheiten geplant. Da die Arbeiten bereits zwei Wochen nach Auftragserteilung beginnen sollten, wurde aufgrund der gestiegenen Stahlpreise und der Lieferfristen nach alternativen Verbausystemen gesucht.



Bild 3: Baugrube nach Fertigstellung

2 Alternative Verbausysteme

Tabelle 1: Alternative Verbausysteme

System	Vorteile	Nachteile
Ortbetonschlitzwand	Bewährtes System	Aufgrund der 2 Phasenherstellung geringe Leistung, Hohe Stoffkosten da Beton bis Uk-Schlitz, Beton muss abgestemmt werden
Dichtwand mit HEB-Profilen	In den letzten Jahren häufiger eingesetzt, Hohe Leistung, Dichtwandmasse übernimmt horizontale Lastübertragung über Gewölbewirkung, Außenwände können ohne weitere Maßnahmen gegen Dichtwand betoniert werden	Aufgrund der Entwicklung auf dem Stahlmarkt zunehmend hohe Stoffkosten und lange Lieferzeiten, höhere Anforderungen an die Dichtwandmasse
Dichtwand mit flächigen Fertigteilenelementen	Hohe Leistung, Fertigteilenelement übernimmt horizontale und vertikale Lastübertragung, geringe Anforderungen an die Dichtwandmasse	Ausführungen mit flächigen Fertigteilenelemente liegen weit zurück, höheres Gewicht als HEB-Profile und einzelnen Elementen
Dichtwand mit einzelnen Fertigteilenelementen	Hohe Leistung, Dichtwandmasse übernimmt horizontale Lastübertragung über Gewölbewirkung, Tragelement günstiger als HEB-Profile, Außenwände können ohne weitere Maßnahmen gegen Dichtwand betoniert werden	Bisher keine Erfahrungen, Höheres Gewicht als HEB-Profile, aber geringer als flächige Elemente, Höhere Anforderungen an die Druckfestigkeit der Dichtwandmasse

2.1 Flächige Fertigteilelemente

Bild 4 zeigt das Fertigteilelement, dass in dieser Form auch zum Patent angemeldet worden ist. Das Fertigteilelement ist als Plattenbalken konstruiert. Die Platte übernimmt die Aufgabe der horizontalen Lastübertragung des Erd- und Wasserdruckes auf die vertikal angeordneten Betonbalken. Diese leiten die Lasten auf die Verankerung und das Erdauflager weiter. Die Platte endet in bzw. kurz unterhalb der Aushubebene. Die Berechnung erfolgt als Trägerbohlwand. Die Balken werden nur in der statisch erforderlichen Länge ausgeführt. Wie bei der bewährten Ausführung mit Spundbohlen erfolgt die Abdichtung der Baugrube gegen den Wasserdruck ober- als auch unterhalb der Aushubsohle über die Dichtwandmasse. Im Gegensatz zu der Ausführung mit Spundwänden kann auf ein Verblechen der Bohlen verzichtet werden, da gegen die glatte Betonoberfläche der Fertigteile betoniert werden kann.

Da die Elemente relativ groß sind, sind die zu transportierenden und einzubauenden Massen sehr schwer. Hierfür ist entsprechendes Hebegerät auf der Baustelle vorzuhalten.

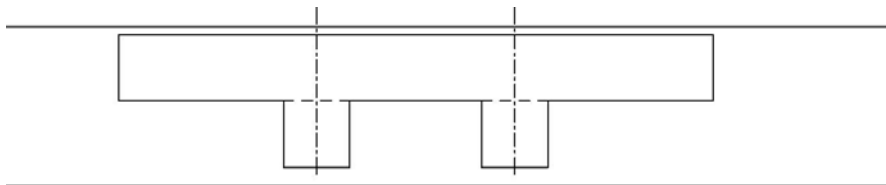


Bild 4: Flächiges Betonfertigteillement

2.2 Einzelne Fertigteilelemente

Bild 5 zeigt die Lösung mit trapezförmigen Fertigteillementen. Auch diese Variante ist zum Patent angemeldet worden. Diese Verbauforn übernimmt konsequent den Ansatz der Dichtwand mit eingestellten HEB-Profilen. Auch hier wird die Lastabtragung zwischen den Profilen von der Dichtwandmasse und die vertikale Übertragung von den Trägern übernommen. Im Gegensatz zu den HEB-Profilen besitzen die Betonfertigteile aber eine größere Breite und somit eine größere Fläche zu Lasteinleitung in den Baugrund. Für die Aufnahme der Anker können entsprechende Aussparungen vorgesehen werden, sodass die Ankerköpfe nicht über das Fertigteil in Baugrube hineinragen. Im Gegensatz zu der Ausführung mit Spundwänden kann auf ein Verblechen verzichtet werden, da die erhärtete Dichtwandmasse gut mit den Aushubmaschinen begradigt werden kann. Und somit direkt gegen die Wand betoniert werden kann. Die horizontale Lastübertragung des Erd- und Wasserdruckes erfolgt über die Ausbildung eines Druckgewölbes in der Dichtwandmasse. Aus diesem Grund sind die Anforderungen an die Druckfestigkeit der Dichtwandmasse größer als bei der Dichtwand/Spundwand

Lösung. Dies erfordert im Allgemeinen einen höheren Feststoffgehalt und einen größeren Aufwand bei der Überwachung der Dichtwandherstellung.

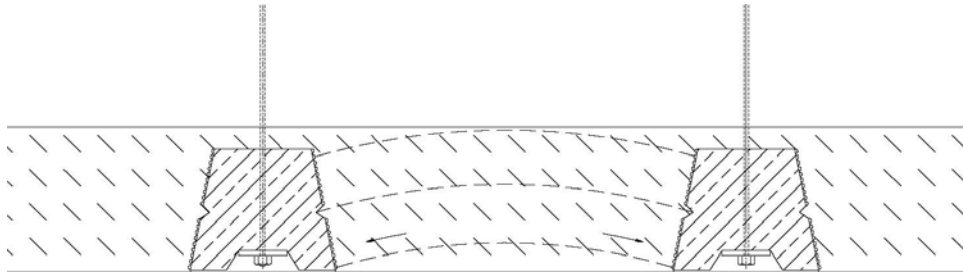


Bild 5: Einzelne Betonfertigteilelemente

3 Gewählte Lösung

Aufgrund der Preissituation auf dem Stahlmarkt und den Lieferfristen für Spundbohlen und HEB-Profilen wurden diese Verbauvarianten ausgeschlossen. Da die Herstellung einer Ortbetonschlitzwand nur wesentlich geringeren Tagesleistungen möglich wäre, wäre der vorgegebene Terminrahmen nur mit weiteren Schlitzeinheiten einzuhalten. Da dies aufgrund der damit verbundenen zusätzlichen Kosten nicht wirtschaftlich war, entschloss man sich das Verbausystem Dichtwand mit eingestellten einzelnen Fertigteilelementen auszuführen.

3.1 Ausgeführte Baugrube

Für die Erstellung der Baugrube wurden

- 1) 8000 m² Dichtwand mit einer Dicke von $d = 60$ cm und einer Tiefe bis 20 m
- 2) 170 Fertigteilelemente mit einer Länge von 9 – 13 m
- 3) 170 temporäre Litzenanker mit einer Länge von 15 m und einer max. Last von $Z = 500$ kN ausgeführt.

3.2 Berechnungsgrundlagen für die Bemessung der Baugrubenumschließung

Der Gedanke das durchgehende Tragelement durch einzelne Tragelemente zu ersetzen ist relativ neu und wurde in Deutschland erstmalig 1994 als Gebrauchsmuster eingetragen. Die bisher verwendeten Nachweisverfahren beruhen auf die Ausfachung von Trägerbohlwänden mit unbewehrten Beton oder verfestigtem Erdreich (Bild 6, Weißenbach 1977) oder Gewölbekonstruktion im Beton bei der Bemessung

von Unterwasserbetonsohlen (Bild 7, Baldauf/Timm 1988). Als jüngste Untersuchung auf diesem Gebiet ist die Arbeit von Dörendahl/Walz/Pulsfort (Bild 8, 2004) bekannt. In dieser Arbeit wurden genauere Aufschlüsse über das Tragverhalten von Dichtwandmassen als Ausfachung erarbeitet. Für größere Schlankheiten ($\lambda = 4,57$) wurden gute Übereinstimmungen mit den Bemessungsregeln von Weißenbach und Baldauf/Timm erzielt, während bei kleinen Schlankheiten ($\lambda = 1,86$) das Versagenskriterium die Scherkräfte und nicht mehr die Gewölbedruckspannungen waren.

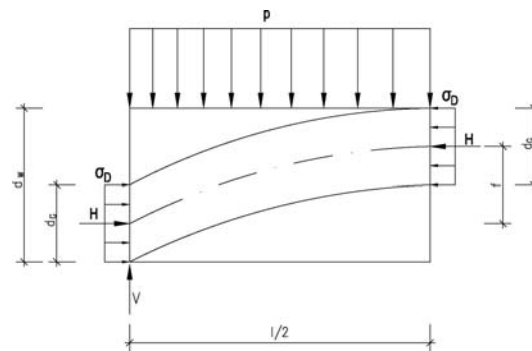


Bild 6: Nachweisverfahren nach Weißenbach

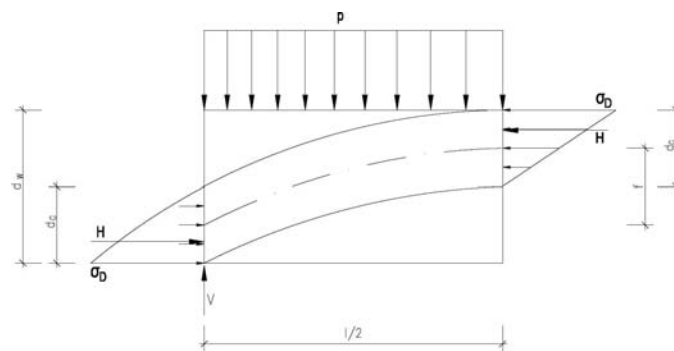


Bild 7: Nachweisverfahren nach Baldauf/Timm

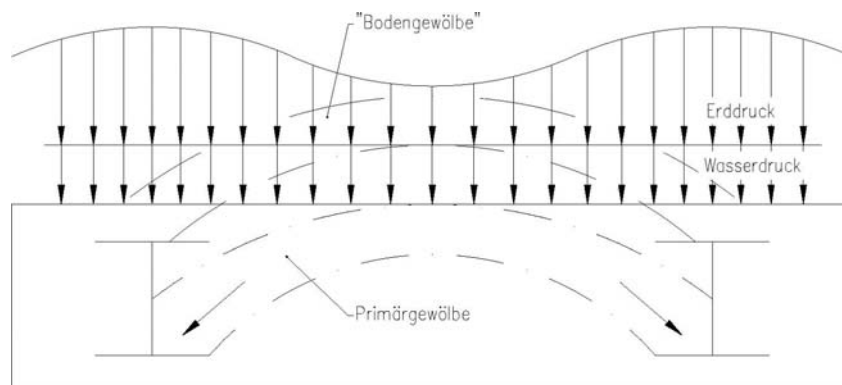


Bild 8: Modellvorstellung der Druckgewölbe nach Dörendahl/Walz/Pulsfort

Die Ermittlung der Schnittgrößen und der Wandlänge erfolgte als Trägerbohlwand nach den Vorgaben der EAB.

3.3 Berechnungsergebnisse

Zur Berücksichtigung einer eventuellen Austrocknung der Dichtwandmasse wurde die rechnerische Dicke des Gewölbes von 0,6 auf 0,5 m reduziert. Für die geplante Verbauwand ergaben sich mit den vorgesehenen Trägerabständen Schlankheiten von $\approx \lambda = 4,0$, so dass die Bemessung der Dichtwände nach dem Bemessungsansatz von Weißenbach erfolgte. Aufgrund Erd- und Wasserdruckspannungen ergab sich eine erforderliche Druckfestigkeit der Dichtwandmasse von erf. $\sigma = 0,3 \text{ MN/m}^2$. Da bei dem geplanten Bauverfahren die mechanischen Eigenschaften bzw. die Festigkeitsentwicklung der Dichtwandmasse eine zentrale Rolle spielen, wurde die Sicherheit gegen das Versagen der Dichtwandmasse mit $\eta \geq 3,0$ gewählt.

$$\sigma_D = \frac{1}{2} * P * (l / d_w)^2 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

$$\sigma_D \leq f_{ck} / 3,0 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2)$$

Die Betonfertigteile wurden mit einer Betongüte C 45/55 ausgeführt und schlaff mit Betonstabstahl bewehrt. Der Bewehrungsgehalt lag im Mittel bei 300 kg/m^3 .

5 Ausführung

5.1 Produktion der Fertigteile

Vorgabe für die Produktion der Fertigteile im Werk war, bei einem geplanten Einsatz von zwei Dichtwandeinheiten auf der Baustelle, eine benötigte Stückzahl von bis zu 16 Fertigteilelementen je Tag. Da im Werk nur maximal sechs Schalungstische mit der maximal erforderlichen Länge der Fertigteilelemente von bis zu 13 m zur Verfügung standen, erfolgte die Produktion 7 Tage pro Woche. Je Schalungstisch konnte ein Element pro Tag gefertigt werden, daher musste die Produktion mit entsprechendem Vorlauf vor Beginn der Arbeiten starten.

Ein besonderes Augenmerk wurde im Vorfeld auf die Wahl der Oberfläche der Fertigteile gelegt. Ziel war es einen möglichst guten Verbund zwischen Fertigteilelement und Dichtwandmasse zu erreichen, um Undichtigkeiten und somit Wassereintritte zwischen Dichtwand und Fertigteilelement zu vermeiden. Hierfür lagen bisher nur Erfahrungen aus dem Einsatz von HEB-Profilen vor. Weiterhin ist durch die vorgegebene Form des Trägers eine gute Verzahnung gewährleistet. Dies stellte sich bei dem geplanten Einsatz der Fertigteilelemente anders dar. Betonfertigteile haben in der Regel eine glatte Betonoberfläche, somit wurde nach Möglichkeiten der Herstellung einer möglichst rauen Betonoberfläche gesucht, um eine gute Verzahnung mit der Dichtwandmasse zu erzielen. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen der Schalungstechnik wurden verschiedene Alternativen diskutiert (Bild 9).

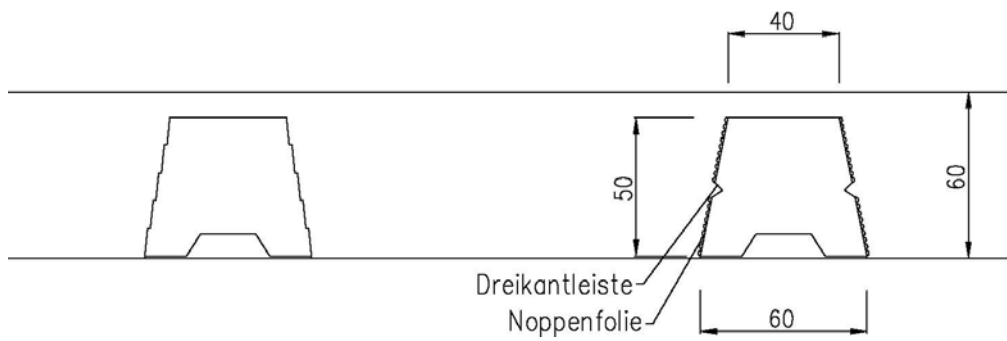


Bild 9: Varianten der Oberflächen der Fertigteilelemente

Man entschied sich schließlich für die Auskleidung der Schalungstische mit einer Noppenbahn, die durch Dreiecksleisten unterbrochen wurde. Somit wurde eine gute Verzahnung zwischen Dichtwand und Tragelement sowie eine Vergrößerung der Oberfläche erzielt (Bild 10).



Bild 10: Oberfläche der eingesetzten Fertigteilelemente

Für die einfache und schnelle Aufnahme sowie das passgenaue und lotrechte Einhängen der Fertigteilelemente auf der Baustelle, wurden im Kopf der Fertigteilelemente durchgehende runde Öffnungen vorgesehen, durch die entsprechende Bolzen zur Lastaufnahme geschoben wurden (Bild 11).



Bild 11: Vorrichtung zur Aufnahme der Fertigteile

Um die Gebäudeaußenwand direkt gegen die Dichtwand betonieren zu können war es erforderlich die Ankerköpfe der temporären Litzenanker in dem Fertigteil zu versenken. Hierfür wurden entsprechende Auflagertaschen berücksichtigt (Bild 12).



Bild 12: Fertigteil mit Auflagertasche zur Aufnahme des Ankerkopfes

5.2 Anforderungen an die Dichtwandmasse

Die Anforderungen aus der Statik, ergaben eine erforderliche Festigkeit der Dichtwandmasse von $0,7 \text{ N/mm}^2$. Aufgrund der Festigkeitsangaben der Dichtwandmassenlieferanten und der Vermeidung einer zu starken Austrocknung kam eine Fertigmischung mit einem Feststoffgehalt von 230 kg/m^3 zum Einsatz. Die Festigkeitsentwicklung der Dichtwandmasse wurde im Rahmen der Qualitätssicherung anhand von Festigkeitsprüfungen überwacht. Die Proben wurden während der Arbeiten aus den Schlitzen entnommen und nach 7, 28 und 56 Tagen auf ihre Festigkeit geprüft. Bild 12 zeigt die Festigkeitsentwicklung der Proben. Wie das Diagramm zeigt wurden die Anforderungen an die Druckfestigkeit bereits mit der 28-Tagefestigkeit erfüllt.

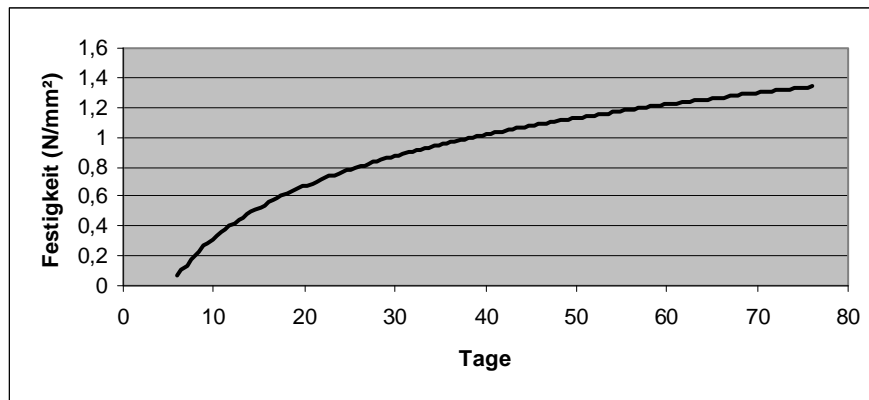


Bild 13: Festigkeitsentwicklung der eingesetzten Dichtwandmasse

5.3 Maßnahmen zur Qualitätssicherung im Bauablauf

Um die erforderlichen Festigkeiten und die Lastübertragung sowie den ausreichenden Verbund zwischen Fertigteil und Dichtwand zu gewährleisten wurden folgende Maßnahmen für die Ausführung festgelegt:

- 1) Fertigteile sind unmittelbar nach Fertigstellung des Schlitzes in die Dichtwandmasse einzustellen.
- 2) Der Aushub im Bereich der Dichtwand ist mit größter Sorgfalt auszuführen, insbesondere Stöße gegen das Fertigteilelement sind zu vermeiden.
- 3) Beim Aushub ist die Dichtwand unverzüglich mit einer Kunststoffolie abzudecken.
- 4) Ständige Befeuchtung der Dichtwand bis zur Herstellung der Kelleraußenwände, um die Erosion des Dichtwandmaterials zu verlangsamen.

6 Erkenntnisse aus der Ausführung

Die Ausführung hat gezeigt, dass die Herstellung von Baugruben mit dem gewählten System Dichtwand mit einzelnen Fertigteilenelementen eine technisch umsetzbare und wirtschaftliche Alternative zu den bisher vorwiegend in diesem Bereich zum Einsatz gekommenen Verbausystemen darstellt.

Es konnten sowohl die hohen Anforderungen an die Systemdichtigkeit wie auch an die Vertikalität der Baugrubenwand durchgehend erfüllt werden.

Literatur

H. Baldauf und U. Timm [1988]. „Betonkonstruktionen im Tiefbau“, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

K. Döhrendahl, B. Walz, M. Pulsfort [2004]. „Das Tragverhalten von Einphasen-Dichtwandmassen als Ausfachung von Baugrubenwänden“, Bericht 27, Bergische Universität Wuppertal

A. Weißenbach [1977]. „Baugruben, Teil III“, Verlag Ernst & Sohn, Berlin