

Bauvorhaben FOUR

Deckelbauweise mit einer Kombinierten Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung

Dr.-Ing. S. Meißner, Prof. Quick und Kollegen - Ingenieure und Geologen GmbH
Dipl.-Ing. Th. Wunsch, Groß & Partner Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH
Dipl.-Ing. R. Schmitt, GPCon GmbH
Prof. Dr.-Ing. R. Katzenbach, Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH

Im Zentrum von Frankfurt wird aktuell an der Wiederbelebung des Deutsche Bank Areals gearbeitet. Auf dem Areal werden vier Hochhäuser realisiert. Diese vier Hochhäuser stehen auf einer gemeinsamen Bodenplatte. Die Baugrube weist eine Fläche von ca. 16.000 m² und eine Tiefe von 20 m auf und wird umringt von bestehenden Hochhäusern. Zur Herstellung der vier Untergeschosse wurde eine Deckelbauweise geplant, diese wurde bereits erfolgreich ausgeführt, sodass zum aktuellen Zeitpunkt die Herstellung der Bodenplatten erfolgt und im Anschluss der Rohbau der Hochhäuser beginnen kann. Zur Optimierung der geplanten Kombinierten Pfahl-Plattengründung (KPP) wird zusätzlich die Schlitzwand zum Lastabtrag herangezogen. Insgesamt werden 372 Gründungspfähle hergestellt. Die Verbauwand wurde in der Innenstadt von Frankfurt zum ersten Mal im Schlitzwandverfahren ausgeführt. Für die komplexe Bemessung der Verbauwand in Verbindung mit der großmaßstäblichen Deckelbauweise und der KPP-Gründung wurden detaillierte Nachweisstrategien entwickelt und erfolgreich umgesetzt.

1 Einleitung

Das Bauvorhaben FOUR zählt zu einem der größten innerstädtischen Bauvorhaben in Europa. Auf einer Fläche von 16.000 m² werden durch die Groß & Partner Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH vier Hochhäuser mit Höhen von 100 m bis zu 233 m realisiert. Die wesentlichen Projektdaten, der von UNStudio entworfenen und mit HPP Architekten geplanten Hochhäuser, sind nachfolgend zusammengestellt.

Untergeschosse	4 über das Projektgebiet
Tower 1: Höhe / Obergeschosse	233 m / 57
Tower 2: Höhe / Obergeschosse	173 m / 48
Tower 3: Höhe / Obergeschosse	120 m / 32
Tower 4: Höhe / Obergeschosse	100 m / 25

Direkt angrenzend an das Bauvorhaben befinden sich einige der bekanntesten Hochhäuser der Skyline Frankfurts. Unter anderem zählen der MainTower, der Commerzbank Tower und der Omniturm zu den unmittelbaren Nachbarn des Bauvorhaben FOUR. Es gilt jedoch nicht nur die umliegenden Hochhäuser bei der Planung zu berücksichtigen, auch denkmalgeschützte Gebäude mussten mit in die Planung einbezogen werden. Mit der Integration der denkmalgeschützten Fassade des ehemaligen Areals gibt es eine weitere Aufgabe, die dieses Bauvorhaben zu einem Besonderen macht.

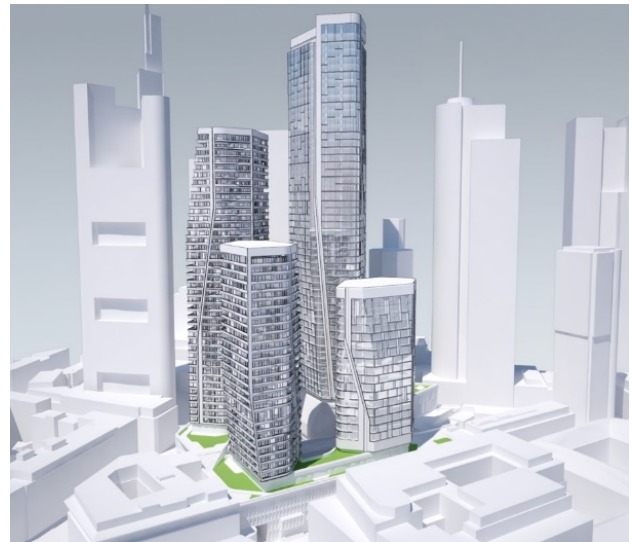


Abbildung 1-1: Visualisierung. Quelle: WernerSobek

Die Herausforderungen bei der Verwirklichung des Bauvorhabens FOUR liegen in der Komplexität der Ausführung und Bemessung der 20 m tiefen Baugrube und der Kombinierten Schlitzwand-Pfahl-Plattengründungen der vier Hochhäuser mit bis zu 28 m langen Gründungspfählen und bis zu 40 m langen Schlitzwänden sowie in der erforderlichen Nachweisführung hinsichtlich möglicher Verschiebungen des Baugrubenverbau und benachbarter baulicher Anlagen.

2 Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

Zur Ermittlung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurden neben der Auswertung vieler Archivbohrungen weitere 10 Erkundungsbohrungen mit Tiefen von bis zu 150 m größtenteils durch die eingeschossige Bestandstiefgarage durchgeführt. Der im Projektgebiet erkundete Baugrund besteht aus Auffüllungen, quartären Sanden / Kiesen, gefolgt von der Wiesbaden Formation (Untere Hydrobien), auch bekannt unter der Bezeichnung Frankfurter Ton. Die Wiesbaden-Formation ist von Kalksteinbänken und Kalksandschichten durchsetzt und durch ältere, bereits erodierte Sedimente geologisch überkonsolidiert (Martini, 2011). Unterhalb der Wiesbaden-Formation befinden sich felsige Inflaten- und Cerithienschichten (Rüssingen Formation). Die Inflaten bestehen aus massiven Kalkstein- und Dolomitschichten, Algenriffen, Sand, Schluff und Mergelton (Abbildung 2-1).

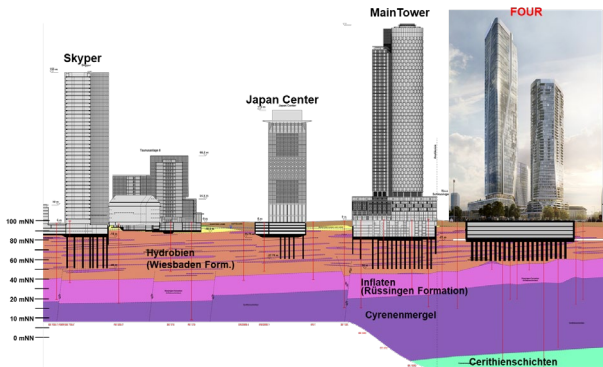


Abbildung 2-1: Schematischer Baugrundaufbau

Der Grundwasserleiter in den quartären Sanden befindet sich etwa 3 m bis 5 m unter der Geländeoberfläche. Der tertiäre Grundwasserleiter zirkuliert in den zerklüfteten Kalksteinbänken und Sandlinsen des Tertiärs.

3 Baugrube

Die Herstellung der Untergeschosse erfolgt im Schutze einer quasi-wasserundurchlässigen Trogbaugrube. Die Grundfläche der Baugrube beträgt ca. 16.000 m², der Umfang ca. 550 m. Die Baugrubensohle liegt bei ca. 79,20 mNHN, d.h. 20 m unter der Geländeoberfläche und ca. 14 m unter dem Grundwasserspiegel. Die Ausführung der Baugrubenumschließung im Schlitzwandverfahren in der Innenstadt von Frankfurt stellt aufgrund der Baugrundverhältnisse mit den mächtigen Kalksteinbänken innerhalb der Wiesbaden Formation eine Innovation dar, die erfolgreich ausgeführt werden konnte. Anfang 2019 wurde mit den Schlitzwandarbeiten begonnen.

Die kürzeren Lamellen der Schlitzwand reichen bis zu einer maximalen Tiefe von 72 mNHN, während die längeren Lamellen unter Berücksichtigung der Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit bis zu 60 mNHN geführt wurden. Mit dieser Höhenstaffelung kann der Porenwasserdruck auf die Verbauwand optimiert werden. Die Tiefe der kürzeren Lamellen wurde unter Berücksichtigung der Genehmigungsfähigkeit der Wasserhaltung sowie der statischen Bemessung gewählt. Die kurze Schlitzwandlamelle weist somit keine ausreichende Standsicherheit auf. Daher wurden die erforderlichen Defizitkräfte auf die langen Lamellen für die Nachweisführung übertragen und eine entsprechende Konstruktion zur Übertragung dieser Kräfte in allen Fugen ausgebildet.

Verbauwandart:	Schlitzwand (Gründungssystem)
Dicke Schlitzwand:	1,20 m
Tiefe der Schlitzwand:	ca. 28 m / ca. 40 m
Umlauf der Schlitzwand:	550 m
Baugrubentiefe:	ca. 20 m
Wandhalterung:	ausgesteift mit 2 Deckeln (Deckelbauweise)

Die Trogbaugrube wurde im Schutze einer Deckelbauweise mit zwei aussteifenden Deckeln und bereichsweiser Rückverankerung und Erdvernagelung ausgehoben. Da bereits der obere Deckel unterhalb des Grundwasserspiegels liegt und eine Grundwasserabsenkung für die Herstellung des Deckels nicht genehmigt wurde, musste zunächst die wasserundurchlässige Schlitzwand fertiggestellt werden.

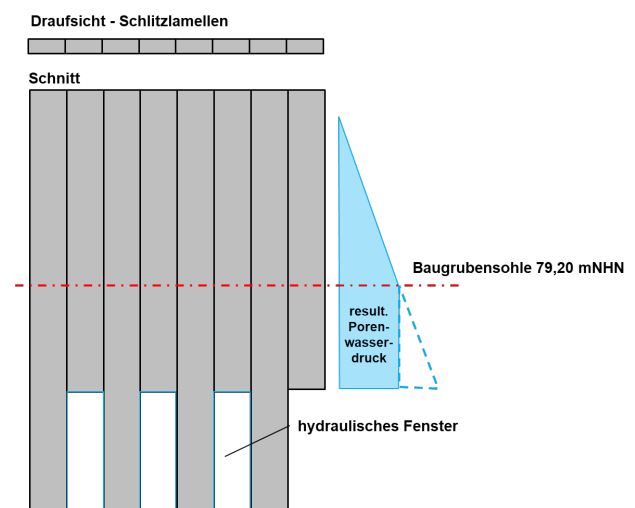


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung des Porenwasserdrucks

Im Juli 2020 konnte der obere Deckel hergestellt und mit dem Aushub unter diesem Deckel begonnen werden (Abbildung 3-1). Der Aushub musste sorgsam erfolgen, um die Brunnen sowie die Primärstützen nicht zu beschädigen. Der Erdaushub konnte im April 2021 erfolgreich beendet werden. Eine große Herausforderung war das Herausbrechen der zum Teil bis zu 2 mächtigen, harten Kalksteinbänke. Im Juni 2021 ist vorgesehen den letzten Bodenplattenabschnitt zu betonieren.



Abbildung 3-2: Aushub unter Deckel 02



Abbildung 3-3: Aushub unter Deckel 02



Abbildung 3-4: Aushubdokumentation (Soll/Ist)

3.1 Gebrauchstauglichkeitsberechnungen zur Schlitzwand

Im Rahmen der statischen Bemessung und Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der Schlitzwand wurden 2D-FE-Berechnungen durchgeführt. Anhand dieser numerischen Berechnungen konnten u.a. die Verschiebungen der Schlitzwand in den entsprechenden Aushubzuständen ermittelt und für die innere Bemessung der Schlitzwand zugrunde gelegt werden. Zusätzlich konnten anhand dieser Gebrauchstauglichkeitsberechnungen auch die Mitnahmeverschiebungen der benachbarten baulichen Anlagen, die aus der Herstellung der Baugrube resultieren, untersucht und deren Verträglichkeit überprüft werden. Diese Berechnungen wurden für jeden statischen Bemessungsschnitt der Baugrube durchgeführt. Beispielhaft findet sich in Abbildung 3-3 das numerische Modell für einen solchen statischen Bemessungsschnitt.

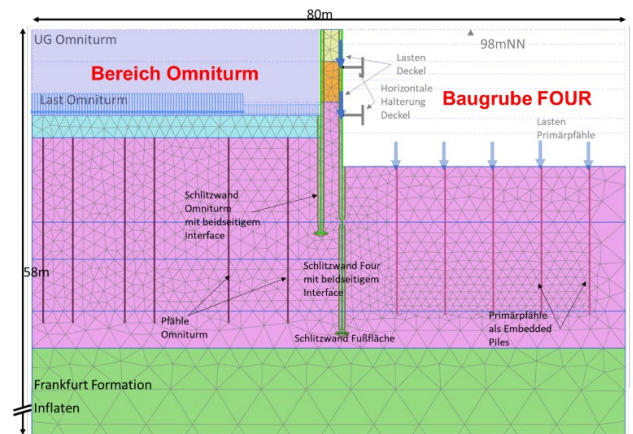


Abbildung 3-5: Numerisches 2D Modell für den Bereich Omniturm

Neben den horizontalen Verschiebungen wurden auch vertikale Verschiebungen in den einzelnen Bemessungsschnitten ausgewertet und deren Auswirkungen auf die Bestandsbauwerke überprüft. Abbildung 3-4 zeigt die horizontalen Verschiebungen der Schlitzwand.

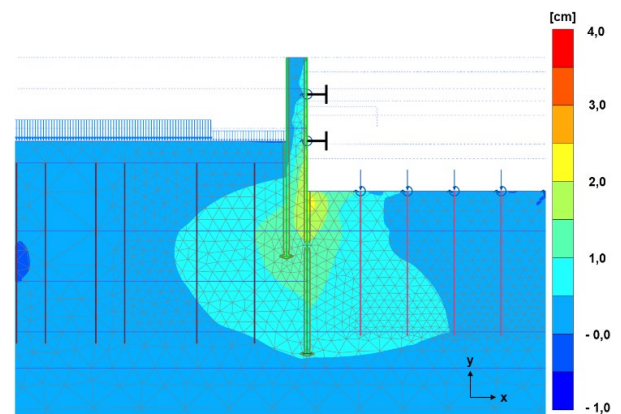


Abbildung 3-6: Horizontale Verschiebung (2D)

3.2 Optimierung des Bauablaufs

Im Zuge der Realisierung des Bauvorhabens wurden weitere Gebrauchstauglichkeitsberechnungen für die Schlitzwand zur Optimierung des Bauablaufes durchgeführt. Es wurden verschiedene 3D-FE Berechnungen durchgeführt, die einen vorzeitigen Aushub unter den nur teilweise hergestellten und somit statisch nicht voll wirksamen Deckeln untersuchen. Diese dreidimensionalen Berechnungen greifen die Randbedingungen hinsichtlich des Baugrund- und Grundwassermodells sowie den geometrischen Abmessungen aus den 2D-FE-Berechnungen auf und bieten durch die Berücksichtigung der räumlichen Effekte eine detailliertere Sichtweise auf die Verschiebungen.

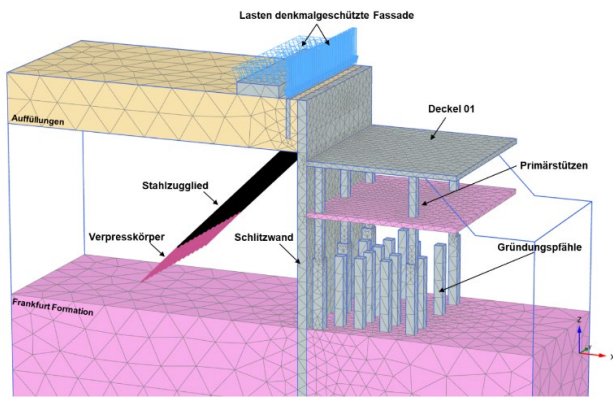


Abbildung 3-7: Numerisches 3D Modell für den Bereich der denkmalgeschützten Fassade

Die mittels 3D-FE-Berechnungen ermittelten horizontalen Verschiebungen der Schlitzwand mit Berücksichtigung eines vorzeitigen Aushubs sind vergleichbar mit den horizontalen Verschiebungen der Schlitzwand in den 2D-Berechnungen. Die geringfügigen Abweichungen resultieren mitunter aus der unterschiedlichen Modellierung des Modells (2D / 3D) und der detaillierten Abbildung der konstruktiven Elemente (Pfähle und Primärstützen). Die horizontalen Verschiebungen der Schlitzwand durch einen vorzeitigen Aushub unter dem Deckel 02 können Abbildung 3-6 entnommen werden.

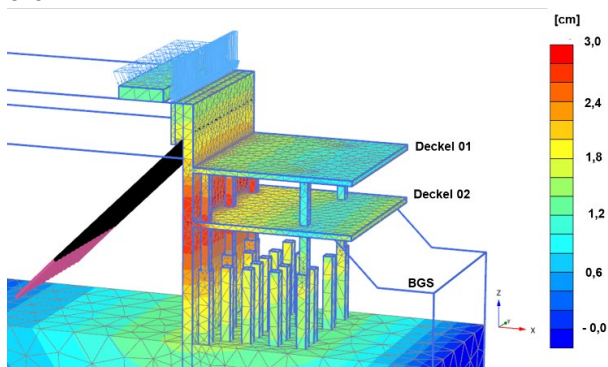


Abbildung 3-8: Horizontale Verschiebung (3D)

4 Grundwasserhaltung

Die Grundwasserhaltung / -entspannung wird zurzeit innerhalb der wasserundurchlässigen Baugrubenumschließung betrieben. Die Entwässerung der Baugrube und die Entspannung des tertiären Grundwasserleiters zur Gewährleistung der Auftriebssicherheit der Baugrubensohle erfolgen über unterschiedlich tiefe Förderbrunnen und Entspannungsbohrungen in mehreren Entspannungsphasen. Das über die Förderbrunnen und Entspannungsbohrungen gefasste Grundwasser wird über Ring- und Stichleitungen einem Absetzbecken zugeführt. Alle geplanten Förderbrunnen und Entspannungsbohrungen wurden von oberhalb des Grundwasserspiegels hergestellt.

Die Förderbrunnen und Entspannungsbohrungen der einzelnen Phasen werden in unterschiedlichen Höhenknoten mit einem vertikalen Abstand der Filterstrecken zueinander verfiltert, so dass eine Umläufigkeit zwischen den Förderbrunnen und Entspannungsbohrungen der einzelnen Phasen in vertikaler Richtung vermieden wurde. Durch die Ausführung dieser innovativen Grundwasserhaltung, bestehend aus mehreren Absenk- / Entspannungsphasen, konnte die Fördermenge um ca. 40 % reduziert werden (Meißner, 2019).

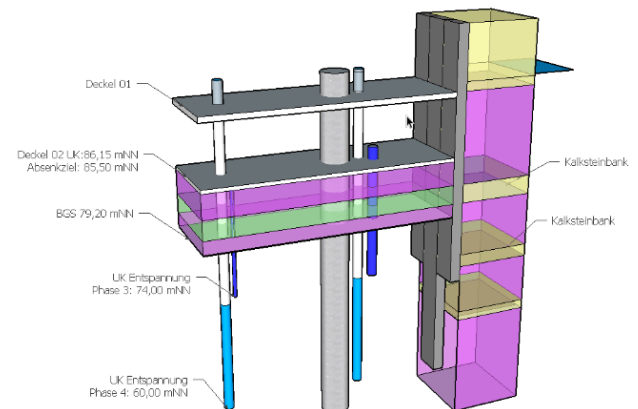


Abbildung 4-1: Exemplarische Darstellung aktiver Brunnen in einer der Entspannungsphasen für einen Aushub bis auf den Deckel 02

Mögliche Auswirkungen der Grundwasserhaltung auf die Umwelt und die Hydrogeologie werden durch ca. 100 Grundwassermessstellen in einem Radius von ca. 1.000 m um die Baugrube überwacht. Bereits sechs Monate vor Baubeginn der Schlitzwandarbeiten wurde mit der Überwachung in monatlichem Rhythmus begonnen und während der Wasserhaltung auf wöchentliche Messungen intensiviert. Die Qualität des geförderten Grundwassers wird durch wöchentliche chemische Analysen vor und nach der Grundwasserabreinigung kontrolliert, so dass eine direkte Einleitung in den Main über einen Regenwasserentlastungskanal möglich wurde.

5 Gründung

Das gewählte Gründungssystem besteht aus einer Kombinierten Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung sowie der umlaufenden Schlitzwand. Die Lastabtragung aller Bauwerkslasten erfolgt sowohl über die Gründungspfähle, die Schlitzwände und über die Bodenplatte in Anlehnung an die KPP-Richtlinie (Hansch et al., 2001).

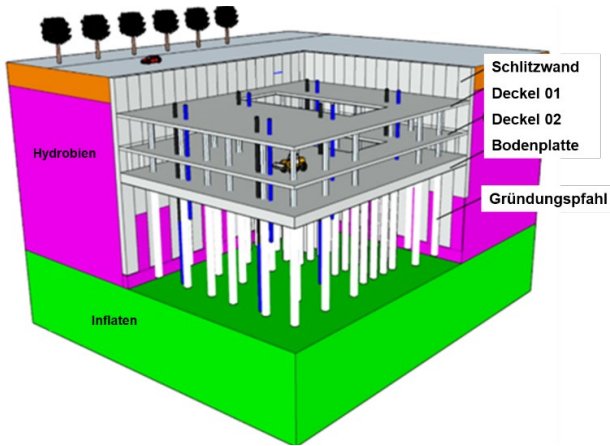


Abbildung 5-1: Deckelbauweise im Bereich Tower 3

Ergänzend zu den erforderlichen Gründungselementen wurden zur Auflagerung der Deckel insgesamt 240 Primärstützen hergestellt. Dabei wurden Fertigteilstützen mit hohen Anforderungen an die Einbautoleranzen in die vorab hergestellten Gründungspfähle eingestellt.



Abbildung 5-2: Herstellung von Gründungspfählen vor der denkmalgeschützten Fassade

Gründungssystem:	Kombinierte Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung
Plattendicke:	2,0 m – 4,0 m
Pfahllängen:	18 m - 28 m
Umlauf der Schlitzwand:	550 m
Fläche Schlitzwand:	17.500 m ²
Anzahl Pfähle Ø 1,86 m:	33 Stk.
Anzahl Pfähle Ø 1,68 m:	45 Stk.
Anzahl Pfähle Ø 1,38 m:	294 Stk.
Gesamtanzahl Pfähle:	372 Stk.
Gesamtpfahllänge:	ca. 8.200 m



Abbildung 5-3: Einbau einer Primärstütze

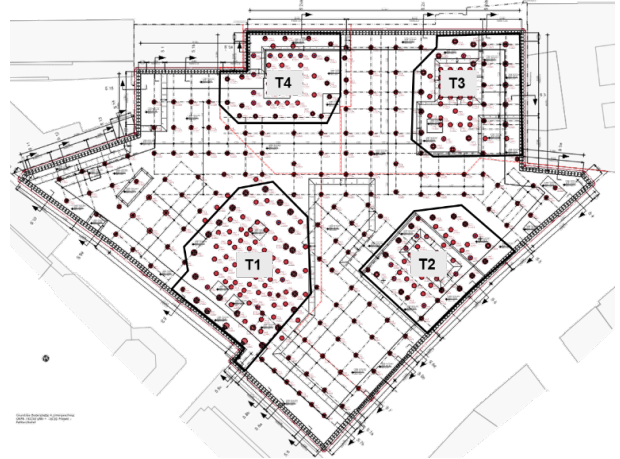


Abbildung 5-4: Lageplan der Gründungselemente
Die Nachweisführungen zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Gründung der vier Hochhäuser erfolgten anhand von analytischen und numerischen Berechnungen. In diesem Kontext wurden die folgenden numerischen 3D-Berechnungen durchgeführt:

- Bemessung der Kombinierten Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung
- Untersuchungen zu Verdrehungen und Verschiebungen der Schlitzwandlamellen parallel zur Schlitzwandachse
- Grenzwertbetrachtungen zur Steifigkeit der Schlitzwand
- Untersuchungen zum Anschluss Bodenplatte / Schlitzwand

Die numerischen Simulationen wurden mittels zwei- und dreidimensionaler Finite-Elemente Berechnungen mit dem Programmsystem Plaxis 3D® durchgeführt. Das entwickelte dreidimensionale Berechnungsmodell bildet u. a. die folgenden Randbedingungen ab:

- Verbauwände als Volumen-Elemente
- Gründungspfähle im Bereich der Hochhäuser als Volumen-Elemente (Meißner, 2018)
- Kontaktzonen um die Gründungspfähle (Reul, 2000)

- Primärstützen im Bereich der Deckel als Embedded Piles
- Bodenplatten der Hochhäuser und Bestandsbauwerke als Volumen-Elemente
- Lasten aus der aufgehenden Bebauung
- Kernwände im Bereich der Hochhäuser
- Detaillierter Bauablauf

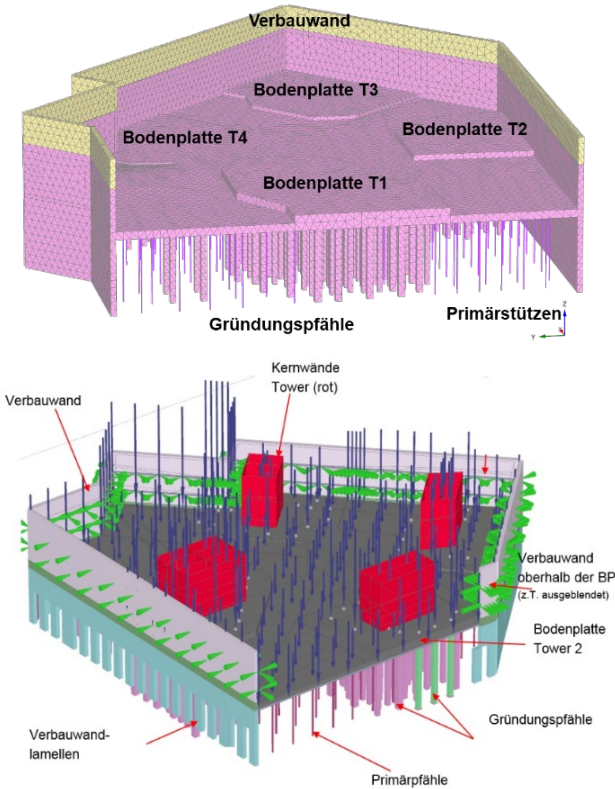


Abbildung 5-5: Numerisches Modell der Gründung

Die numerische Simulation beinhaltet folgende Phasen zur Modellierung des realitätsnahen Bauablaufs:

1. Primärspannungszustand
2. Vorbelastung durch Bestandsgebäude
3. Entlastung durch Abbruch Bestand
- 4.-11. Schrittweise Grundwasserentspannung, Aushub und Einbau der Deckel
12. Laststufe G+Q (ständige und veränderliche Lasten)
Bemessungskombination KPP
13. Laststufe 2,0 (G+Q)
Nachweis der äußeren Tragfähigkeit GZ1
14. Laststufe G+Q/3- Auftrieb (A)
setzungserzeugende Lastkombination

Die Erstellung des numerischen Modells, die Baugrund- und Stoffparameter sowie die Berechnungsphasen wurden in enger Abstimmung mit allen beteiligten Prüfern abgestimmt und gewählt. Die wahrscheinlichen Setzungen der Bodenplatte unter setzungsrelevanten Lasten sind in Abbildung 5-6 dargestellt.

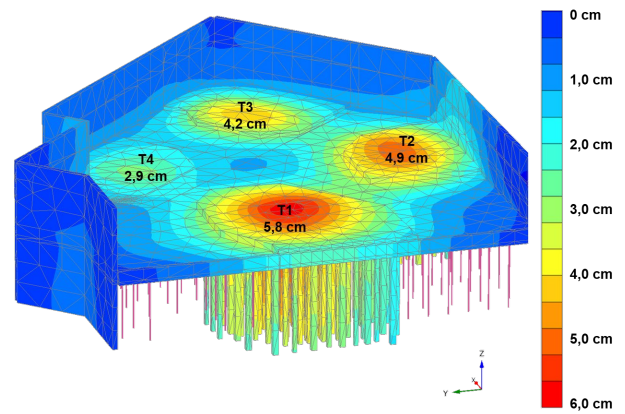


Abbildung 5-6: Setzungsplot FOUR (Schlitzwand teilweise und Baugrund ausgeblendet)

Die Simulationen zur Schlitzwandsteifigkeit parallel zur Wandachse und zur Beurteilung der Auswirkungen der systembedingten Schlitzwandfugen erfolgte durch numerische Berechnungen und einer Variation der kurzen und langen Schlitzwandlamellen. Hierbei wurden jeweils Modelle mit weichem und steifem Verbau entwickelt. Das Prinzip kann Abbildung 5-7 entnommen werden.

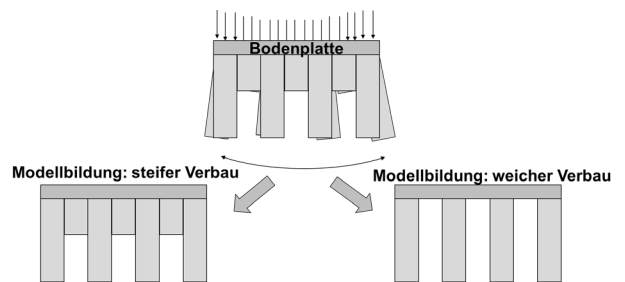


Abbildung 5-7: Modelle zur Untersuchung des Einflusses der Schlitzwandsteifigkeit

Anhand dieser Simulationen konnte festgestellt werden, dass - obwohl die Schubsteifigkeit im Modell mit dem weichen Verbau ausgeschaltet wurde - eine horizontale Verschiebung bzw. Verdrehung der einzelnen Lamellen nicht maßgebend ist. Die horizontale Verschiebung wird zum einen durch den seitlich anstehenden Baugrund und zum anderen durch die Sohlreibung in der Aufstandsfläche verhindert.

6 Mess- und Beweissicherungsprogramm

Für die Überwachung des Bauvorhabens Four wurde ein detailliertes Mess- und Beweissicherungsprogramm entwickelt. Im Rahmen der geodätischen und geotechnischen Messungen der Verbauwand und der Gründung kommt eine umfangreiche geotechnische Messinstrumentierung bestehend aus Kraftmessdosen an Pfahlfuß und Pfahlkopf, Dehnmessstreifen in verschiedenen Ebenen sowie Sohl- und Porenwasserdruckgebern und Gleitdeformetern zum Einsatz.

Neben der vorgenannten klassischen Instrumentierung zur Beobachtung des Tragverhaltens einer KPP wurden die Messpfähle zusätzlich mit faseroptischen Sensorkabeln (Distributed Strain Sensing) über die Pfahllänge ausgerüstet, welche u.a. eine Dehnungsmessung entlang der Pfähle ermöglichen.

Zur Beobachtung der Setzungen bzw. Hebungen werden insgesamt 35 Messbolzen an Primärstützen über das gesamte Untergeschoss verteilt installiert sowie die Gleitdeformeter ausgewertet. Bis zum Endaushubzustand konnten Hebungen der Primärstützen von mehreren Zentimetern beobachtet werden.

Für die Durchführung der geodätischen und geotechnischen Messungen an der Verbauwand wurden insgesamt 17 Messbolzen am Schlitzwandkopf, 18 Inklinometer in langen und kurzen Lamellen sowie Ankerkraftmessdosen installiert. Die Ergebnisse der Kopfverschiebungen der Verbauwand - getrennt für die Messbolzen und Inklinometer - sind für den Endaushubzustand in Abbildung 6-1 dargestellt. Aufgrund der bauablaufbedingt unterschiedlichen Zeitpunkte der Messungen der Messbolzen und der Inklinometer erfolgte die Darstellung der Schlitzwandkopfverschiebungen immer für beide Messsysteme. Ausgehend von den nahezu gleichen Kopfverschiebungen kann davon ausgegangen werden, dass der Schlitzwandfußpunkt als unverschieblich angenommen werden kann (Abbildung 6-1). Dies wird insbesondere mit der Auswertung der Inklinometer in den kurzen Lamellen, welche noch ca. 12 m tiefer als die Schlitzwandunterkante geführt wurden, bestätigt (Abbildung 6-3).

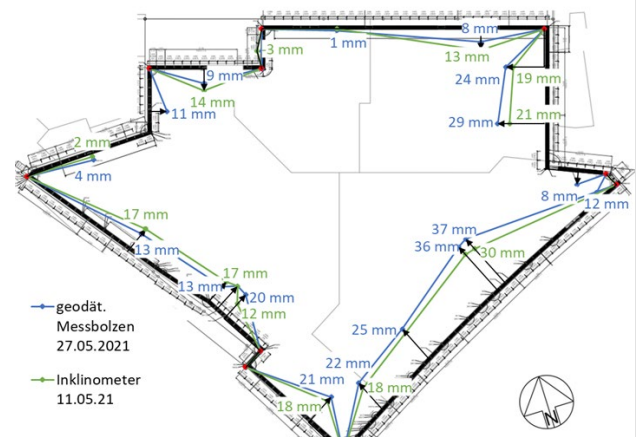


Abbildung 6-1: Ergebnisse zu den Kopfverschiebungen der Verbauwand – Bauzustand: Endaushubzustand

Die Auswertung der Inklinometermessergebnisse zeigt abweichend von den prognostizierten Verschiebungen keine Ausbauchung unterhalb des Deckels 2 sowie keine Rückverschiebung im Kopfbereich. Ursächlich hierfür ist zum einen, dass insbesondere unterhalb des Deckels 2 relativ mächtige, bankige Kalksteinbänke angetroffen wurden, die möglicherweise durch die horizontale Steifigkeit eine Ausbauchung reduzieren. Zum anderen zeigt sich, dass die 60 cm starken Deckel nicht die prognostizierte Auflagersteifigkeit mit sich gebracht haben. Insbesondere die Kriech- und Schwindprozesse müssen im Rahmen von geotechnischen Gebrauchstauglichkeitsbetrachtungen detaillierter betrachtet werden.

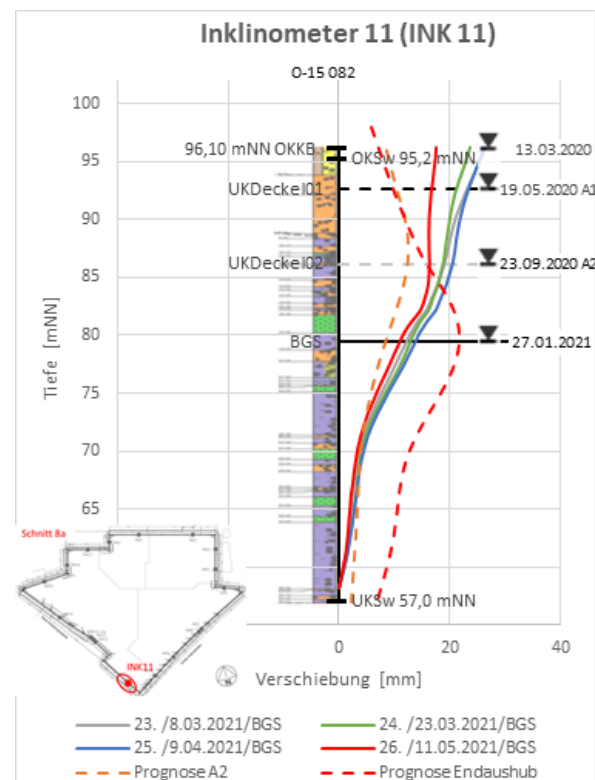


Abbildung 6-2: Messergebnis – Inklinometer 11 in langer Lamelle

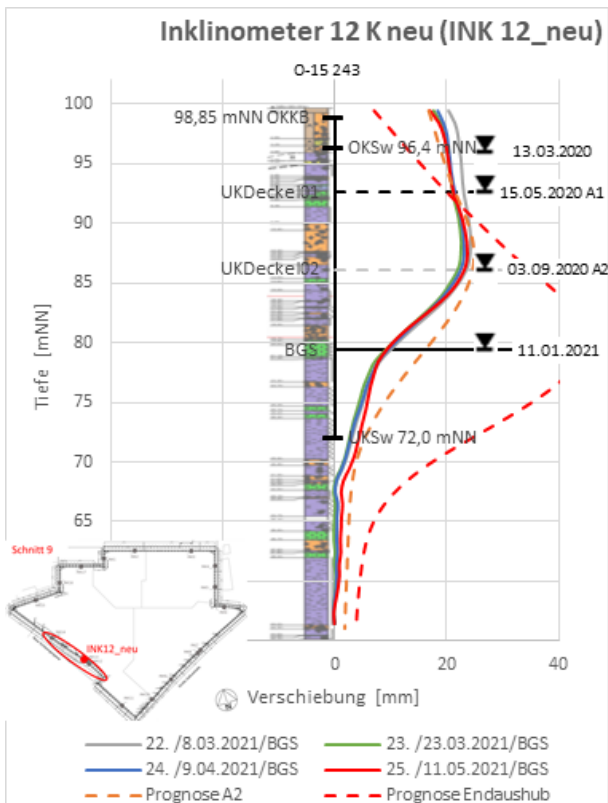


Abbildung 6-3: Messergebnis – Inklinometer 12 in kurzer Lamelle



Abbildung 6-4: Freilegend der Pfählköpfe im Bereich Tower 4

7 Zusammenfassung

Die Realisierung dieses geotechnischen Großprojektes hat gezeigt, dass anspruchsvolle Bauvorhaben im innerstädtischen Bereich, bei denen derart komplexe Bemessungssituationen einer Verbauwand in Verbindung mit einer großmaßstäblichen Deckelbauweise und einer Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung nur möglich sind, wenn die Prüfer und alle Projektbeteiligten zielorientiert zusammenarbeiten. Nur in diesem partnerschaftlichen Sinn konnten detaillierte Nachweisstrategien erfolgreich entwickelt und in diesem einzigartigen Bauvorhaben erfolgreich umgesetzt werden.



Abbildung 7-1: Bodenplattenbewehrung Tower 1

Literaturverzeichnis

Reul, O. (2000): In-situ-Messungen und numerische Studien zum Tragverhalten der Kombinierten Pfahl-Plattengründung. Technische Universität Darmstadt. Mitteilungen des Instituts u. der Versuchsanstalt für Geotechnik, Technische Universität Darmstadt, Heft 53.

Hanisch, J., Katzenbach, R., König, G. (2001) Kombinierte Pfahl-Plattengründungen, Ernst & Sohn, Berlin

Martini, E., Radtke, G. (2011) Stratigraphie von Deutschland IX, Tertiär, Teil 1 - Hanauer Becken, Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften, Hannover

Meißner, S., Kies, M., Schmitt, J. (2018) Beurteilung des Last-Setzungsverhaltens einer Kombinierten Pfahl-Plattengründung unter Berücksichtigung verschiedener numerischer Modellierungsansätze. 11. Kolloquium Bauen in Boden und Fels, Esslingen, S. 97 – 106

Meißner, S., Quick, H., Katzenbach, R., Werner, Anke (2019) An innovative dewatering system to reduce the environmental impact. XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE 2019), Reykjavik, No. 0441

Meißner, S., Michael, J., Kies, M., Cronen, B. (2020): "Bauvorhaben FOUR Deckelbauweise mit einer Kombinierten Schlitzwand-Pfahl-Plattengründung", geotechnik. <https://doi.org/10.1002/gete.202000022>