

Einflüsse von Grundwasserhaltungen auf Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP) an einem Beispiel in Frankfurt a. M.

Frederic Manche, B. Eng., Maximilian Kies, M. Eng. und Prof. Dr.-Ing. Simon Meißner, Prof. Quick und Kollegen – Ingenieure & Geologen GmbH, Darmstadt, Deutschland
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

Grundwasserhaltungen für Baugruben können die Gebrauchstauglichkeit angrenzender baulicher Anlagen beeinflussen. Die Bewertung der Einflüsse von Grundwasserhaltungen auf bestehende Gründungen benachbarter Bauwerke ist eine anspruchsvolle ingenieurtechnische Aufgabe. Für die aktuelle Grundwasserhaltung einer tiefen, teilwasserundurchlässigen Baugrube für die neue U-Bahnstation Güterplatz im Europaviertel in Frankfurt a. M. wird die Beeinflussung Kombierter Pfahl-Plattengründungen der benachbarten Hochhäuser Eden Tower und The Spin numerisch untersucht. Die Ergebnisse werden erläutert und mit ersten In-situ-Messungen verglichen. Der Artikel soll dazu beitragen, die Auswirkungen auf Kombinierte Pfahl-Plattengründungen von Bestandsbauwerken infolge von Grundwasserhaltungen im Frankfurter Baugrund besser einschätzen zu können.

Geotechnik • Tunnelbau • Baugruben • Modellierung • Interaktion • Grundwasserhaltung • Kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP) • Setzungen • Monitoring • Frankfurter Baugrund • Urbanisierung

1 Einleitung

Im Stadtbereich von Frankfurt am Main erfordern Bauprojekte häufig tiefe Baugruben mit Grundwasserhaltungen bei hohen projektspezifischen Anforderungen und komplexen hydrogeologischen Bedingungen. Solche Grundwasserhaltungen können die Gebrauchstaug-

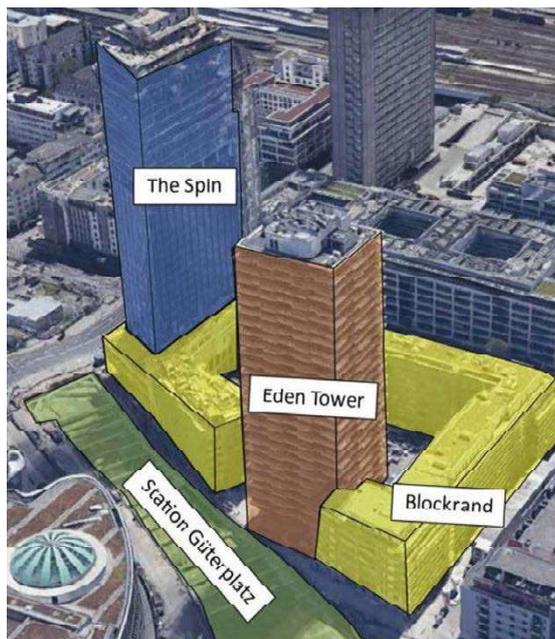


Bild 1: 3D-Darstellung des Gebäudekomplexes Güterplatz und der Station Güterplatz

lichkeit benachbarter Bauwerke mit ihren Gründungen – in Frankfurt in vielen Fällen kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) [1] – beeinflussen. Die Bewertung der Beeinflussungen ist ingenieurtechnisch anspruchsvoll. Wenn möglich werden tiefe Baugruben im Schutz grundwasserschonender Trogbaugruben mit möglichst undurchlässigen Baugrubenwänden und nahezu undurchlässigen Baugrubensohlen hergestellt, in denen Grundwasser nur im Trog abgepumpt wird. Aus statischen Gründen können jedoch nicht immer wasserundurchlässige Trogbaugruben hergestellt werden. Wenn dies der Fall ist, kann ein teilwasserundurchlässiger Baugrubenverbau hergestellt werden. Bei teilwasserundurchlässigen Baugrubenverbauten kommt es infolge von Grundwasserentspannungen außerhalb der Baugrube zu Spannungsänderungen im Boden. Diese Spannungsänderungen können Gründungssysteme benachbarter Bauwerke beeinflussen.

Im Zuge der Neuerschließung des Europaviertels wird aktuell das U-Bahnnetz erweitert. Infolgedessen entsteht dort eine der tiefsten Baugruben Frankfurts. Diese Baugrube befindet sich im direkten Nahbereich des bereits fertiggestellten Gebäudekomplexes Güterplatz mit den Hochhäusern Eden Tower und The Spin. Die Baugrube wird teilwasserundurchlässig hergestellt. Dieser Artikel zeigt exemplarisch die Ergebnisse einer numerischen Untersuchung zu den Auswirkungen der laufenden Grundwasserhaltung der tiefen Baugrube Station Güterplatz auf die KPP-Gründungen des benachbarten Gebäudekomplexes Güterplatz. Untersucht wurden die resultierenden Setzungen, die Gesamtpfahlwiderstände und das Tragverhalten der KPP-Gründungen. Die Ergebnisse werden mit in-situ Messungen verglichen und die Einflüsse der Grundwasserhaltung auf die angrenzenden KPP-Gründungen bewertet.

2 Projekt

In Frankfurt a. M. wird das Europaviertel im Bereich des ehemaligen Hauptgüterbahnhofs zu einem modernen gemischten Wohn- und Gewerbegebiet neu erschlossen. Dazu wird auch das städtische U-Bahnnetz erweitert. Mit dem Projekt Station Güterplatz entsteht neben dem bereits fertiggestellten Gebäudekomplex Güterplatz mit seinen Hochhäusern Eden Tower (98 m, Wohnturm) und The Spin (128 m, Hotelurm) mit angrenzender Blockrandbebauung mit ca. 24 m Tiefe eine der tiefsten Baugruben Frankfurts (**Bilder 1 und 2**). Sie wird

als teilwasserundurchlässige Baugrube in offener Bauweise mit einer durch drei Aussteifungslagen gestützten Schlitzwand mit hydraulischen Fenstern hergestellt. Das gespannte Grundwasser unterhalb der Baugrube wird durch Tiefenbrunnen entspannt.

Die Baugrubensohle der Baugrube Station Güterplatz liegt bei ca. 73,20 mNHN. Die lichte Baugrubenbreite beträgt bis zu 30 m. Der Abstand der Baugrube zum Gebäudekomplex Güterplatz beträgt im Bereich der Blockrandbebauung minimal 2 m. Die hydrostatischen Einwirkungen auf den Baugrubenverbau werden durch Entspannungslagen und hydraulische Fenster reduziert. Die im **Bild 2** skizzierte Schnittachse ist im **Bild 3** dargestellt. Darin werden schematisch die KPP-Gründung des Hochhauses The Spin im Frankfurter Baugrund sowie die Station Güterplatz mit den Steifenlagen, der teilwasserundurchlässigen Verbauwand (Schlitzwand mit hydraulischen Fenstern) sowie den U-Bahn-Zugängen veranschaulicht.

3 Baugrund- und Grundwasserhältnisse

Im betrachteten Projektgebiet folgen unter quartären Auffüllungen weitere Schichten des Quartär (fluviale Sande, Kiese und Schluffe) mit unterschiedlichen Mächtigkeiten [2]. Diese werden von den ca. 100 m mächtigen tertiären Schichten der Frankfurt- und der Wiesbaden-Formation unterlagert. Die tertiären Schichten bestehen aus einer unregelmäßigen Abfolge von Tonen, Kalksteinbänken, Algenriffen und Hydrobiensandlagen. Innerhalb der pliozänen Schichten des Tertiär kommt es in Teilbereichen des Projektgebiets zu geologischen Anomalien. Bei der bis zu 8 m mächtigen pliozänen Rinne handelt es sich um eine grabenartige Struktur des Tertiär, die mit limnisch-fluviatilen Sedimenten, wie Sanden, Kiesen und Schluffen sowie stark feinsandigen Tonen, gefüllt ist.

Der mittlere freie Grundwasserspiegel liegt im Projektgebiet bei ca. 91,50 mNHN. Das freie Grundwasser fließt innerhalb der Schichten der quartären bzw. pliozänen Sande und Kiese. Die tertiären Grundwasserleiter führen zudem gespanntes Grundwasser, welches in den Klüften der Kalksteinbänke sowie in den Kalk- und Hydrobiensanden zirkuliert. Sie stehen mit den quartären Grundwasserleitern meist unmittelbar in Verbindung, sodass die Druckhöhe der tertiären Grundwasserleiter häufig dem freien quartären Grundwasserspiegel entspricht. Die Besonderheit des Frankfurter Baugrunds liegt in den Schichten des Tertiär. Hier wechseln sich sehr gering durchlässige Tone mit stark durchlässigen, gespannten Grundwasserleitern, wie Kalksand und Kalksteinbänken, kleinräumig ab.

4 Wasserhaltung für tiefe Baugruben in Frankfurt

Tiefe Baugruben in Frankfurt erfordern aufgrund des heterogenen Baugrunds (Frankfurt-Formation &



Bild 2: Lageplan des Gebäudekomplexes Güterplatz mit Kennzeichnung des Schnitts A-A

Wiesbaden-Formation) zusätzlich zur Absenkung des freien quartären Grundwassers eine Grundwasserentspannung. Bei Ausführung einer wasserundurchlässigen Trograugrube erfolgt die Entspannung ausschließlich innerhalb der Baugrubenumschließung (**Bild 4**).

Durch die Herstellung der Baugrube kann der natürliche Potenzialabbau des Porenwasserüberdrucks in den ausgehobenen bindigen Bodenschichten nicht mehr stattfinden. Dadurch entsteht die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs. Außerdem wird die stabilisierende Gewichtskraft des Bodenkörpers infolge des Aushubs verringert. Somit besteht die Gefahr des Aufschwimmens der Baugrubensohle. Durch die Grundwasserentspannung werden die Potenzialhöhe des gespannten Grundwassers verringert und die Auftriebssicherheit gewährleistet.

Bis in die 1990er-Jahre des letzten Jahrhunderts wurde der überwiegende Teil der in Frankfurt hergestellten Baugruben im Schutze einer Grundwasserab-

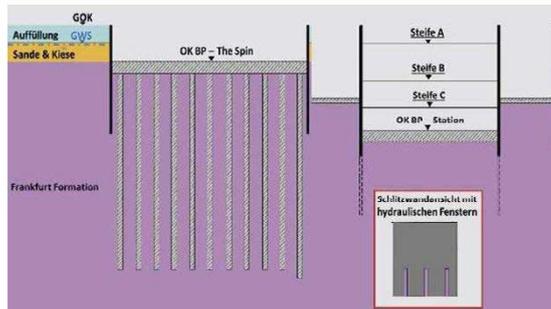


Bild 3: Schnitt A-A: Hochhaus The Spin und Station Güterplatz

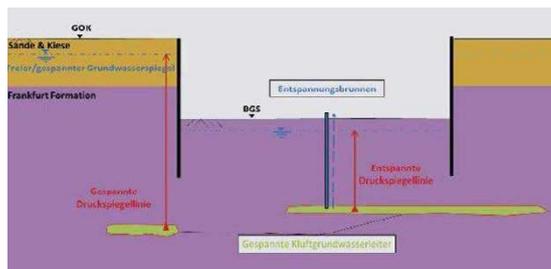


Bild 4: Darstellung einer Grundwasserentspannung innerhalb einer wasserundurchlässigen Baugrubenumschließung

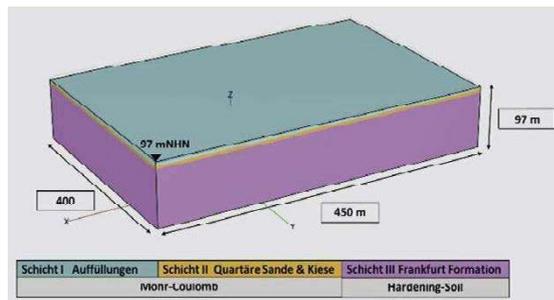


Bild 5: Numerisches Baugrundmodell

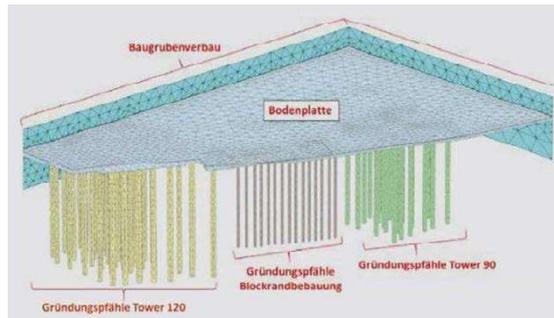


Bild 6: Gebäudekomplex Güterplatz – Modellierung der konstruktiven Elemente

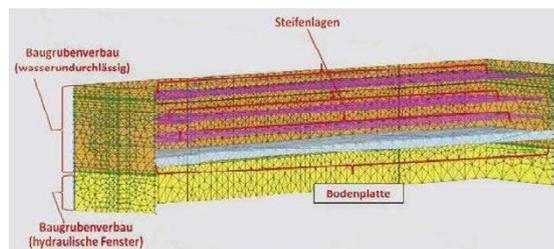


Bild 7: Station Güterplatz – Modellierung der konstruktiven Elemente

senkung des freien quartären Grundwassers und einer Entspannung des gespannten tertiären Grundwassers realisiert. Dies erfolgte vornehmlich mit wasserdurchlässigen Verbauarten (Trägerbohlverbau) [1]. Als Auswirkungen von Grundwasserhaltungen an tiefen Baugruben wurden an der Geländeoberfläche Setzungen mit einem Setzungsmaß von 2,0 bis 4,0 mm pro Meter Grundwasserabsenkung angegeben [4, 5]. Bei der Wiederholung einer Grundwasserabsenkung konnte von einem Setzungsmaß von 1,0 bis 2,0 mm ausgegangen werden [6].

Seit den 1990er-Jahren mussten die Auswirkungen auf angrenzende Nachbarbebauungen und der Eingriff in die natürlichen hydrogeologischen Verhältnisse nach behördlicher Vorgabe reduziert werden. Somit wurden insbesondere für tiefe Baugruben wasserundurchlässige bzw. teilwasserundurchlässige Verbauwände in Kombination mit einer tertiären Grundwasserentspannung gewählt (Bild 4). Sofern es aus geotechnischer Sicht möglich ist, eine wasserundurchlässige Baugrube herzustellen, wird dies mit langen, wasserundurchlässigen

Verbauwänden umgesetzt. So werden der Einfluss auf Dritte geringgehalten sowie die Kosten der Grundwasserhaltung und der Beweissicherung reduziert. Sofern dies bei sehr tiefen Baugruben technisch nicht umsetzbar ist, wie zum Beispiel bei den Baugruben Four, Central Business Tower und Station Güterplatz, wird der Porenwasserdruck auf den Verbau mittels hydraulischer Fenster unterhalb der Baugrubensohle verringert (Bild 3) [7], und der Baugrubenverbau somit teilwasserundurchlässig ausgeführt. Bei dieser Art der Ausführung ist die Bestimmung der Wassermenge infolge der Grundwasserentspannung komplex und hängt besonders von der heterogenen Anordnung der wasserführenden Schichten ab, wie sie im tertiären Frankfurter Baugrund zu finden ist. Die bei der Grundwasserhaltung anfallenden Grundwassermengen und die daraus resultierenden Auswirkungen auf Dritte sind schwer zu prognostizieren [1].

5 Numerische Untersuchung

Die numerische Modellierung der Grundwasserentspannung der Baugrube Station Güterplatz beinhaltet die Abbildung der im Nahbereich stehenden Hochhäuser Eden Tower und The Spin. Die numerischen Berechnungen wurden mittels dreidimensionaler Finite-Elemente-Berechnungen (3D-FEM) mit dem Programmsystem Plaxis® 3D durchgeführt. Die geometrischen Randbedingungen zur Modellierung des Baugrunds wurden gemäß den Empfehlungen des DGGT-Arbeitskreises „Numerik in der Geotechnik“ so gewählt, dass die Auswirkungen auf die KPP-Gründungen und den Baugrund vollständig erfasst werden (Bild 5) [3].

Zur Modellierung der nichtbindigen Bodenschichten wurde das linearelastische-idealplastische MOHR-COULOMB-Modell berücksichtigt. Zur realitätsnahen Erfassung der Verformungen und Spannungen des Tons (Frankfurt Formation) wurde das elastoplastische Stoffgesetz HARDENING SOIL mit dem Bruchkriterium nach MOHR-COULOMB gewählt. Für die konstruktiven Bauteile wurde ein linearelastisches Spannungs-Dehnungs-Verhalten zugrunde gelegt.

Die Gründungen der Hochhäuser The Spin und Eden Tower wurden als KPP mit insgesamt 69 Gründungspfählen und Pfahllängen von bis zu 42 m abgebildet. Die an die Hochhäuser angrenzende Blockrandbebauung wurde flachgegründet und im Nahbereich zur U-Bahn-Station teilweise durch Gründungspfähle verstärkt. Für den Gebäudekomplex Güterplatz wurden im dreidimensionalen Berechnungsmodell die folgenden konstruktiven Elemente abgebildet (Bild 6):

- ▶ Bodenplatte der Hochhäuser und der Blockrandbebauung (Volume-Element)
- ▶ Gründungspfähle der Hochhäuser sowie der Blockrandbebauung (Kontinuumselemente)
- ▶ Baugrubenverbau des Gebäudekomplexes (Plate-Elemente)

Für die Baugrube der Station Güterplatz wurden im dreidimensionalen Berechnungsmodell die folgenden konstruktiven Elemente abgebildet (Bild 7):

- ▶ Bodenplatte der Station Güterplatz (Volume-Element)
- ▶ Steifenlagen der Baugrube (Beam-Element)
- ▶ Baugrubenverbau (Plate-Element)

Die ständigen und veränderlichen Lasteinwirkungen des Gebäudekomplexes Güterplatz wurden entsprechend der Tragwerksplanung als Punkt-, Linien- oder Flächenlasten modelliert (Bild 8).

Zur Abbildung der Auswirkungen der Grundwassererhaltung auf die KPP-Gründungen der Hochhäuser Eden Tower und The Spin wurden die Druckpotenziale der Grundwassererhaltung der jeweiligen Bauzustände schichtbezogen mit der Bedingung „phreatic“ vorgegeben. Somit bleibt das Druckpotenzial in der Berechnungsphase zeitlich konstant. Es erfolgte keine zeitabhängige Strömungsberechnung.

Der Bau des Gebäudekomplexes sowie der Station Güterplatz wurde in insgesamt 24 Berechnungsphasen modelliert (Tabelle 1). Im Berechnungsmodell wurde das gespannte, tertiäre Grundwasser innerhalb der Baugrube sowie außerhalb im Höhenbereich der Entspannungsbrunnen ab Unterkante des wasserundurchlässigen Baugrubenverbaus im gesamten Baugrundmodell entspannt (Bild 9). Somit resultieren Spannungsänderungen des Baugrunds innerhalb des Schichtpakets ab Unterkante des wasserundurchlässigen Baugrubenverbaus bis zur Unterkante der Tiefenbrunnen. Hierbei werden sowohl der Pfahlmantel als auch der Pfahlfuß der KPP-Gründungen beeinflusst. Systembedingt ändert sich der Porenwasserdruck nicht direkt unterhalb der Bodenplatte.

6 Auswertung der numerischen Untersuchung

Bei der Auswertung wurden für den Gebäudekomplex Güterplatz u. a. die vertikalen Verschiebungen der Bodenplatte u_z , die resultierenden Gesamtpfahlwiderstände R_{pile} sowie die Änderungen der Pfahl-Platten-Koeffizienten α_{KPP} infolge der Grundwassererhaltung betrachtet. Der Pfahl-Platten-Koeffizient α_{KPP} ist ein Verhältniswert zwischen dem Gesamtwiderstand der Pfahlkräfte und den auf die KPP-Gründung einwirkenden Gesamtlasten. Er beschreibt somit den Lastanteil, der über die Gründungspfähle abgetragen wird.

Die Beeinflussungen der KPP-Gründungen von The Spin und Eden Tower werden in den Bildern 10 bis 12 dargestellt. Die maßgeblichen bauphasenspezifischen Grundwasserstände der Grundwassererhaltung der Baugrube Station Güterplatz werden in den Bildern ergänzend angegeben.

In der Auswertung wurden ausschließlich die Änderungen der zu untersuchenden Kenngrößen seit Beginn der Grundwassererhaltung betrachtet. Die zu erwarten-

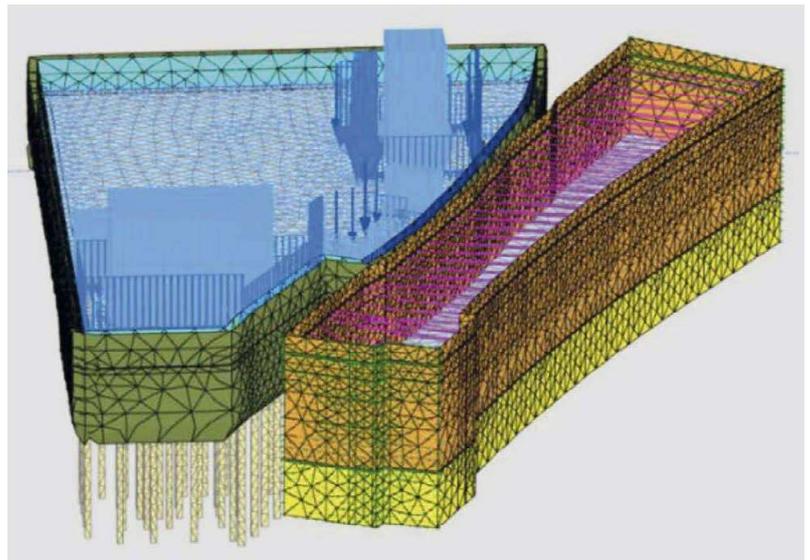


Bild 8: Gebäudekomplex Güterplatz – Lasteinwirkungen

Tabelle 1: Numerische Berechnungsphase

(GWH = Grundwassererhaltung, G = ständige Einwirkungen, Q = veränderliche Einwirkungen, A = Auftriebskraft)

Bezeichnung		Berechnungsphasen Güterplatz
	0	Initialphase
Gebäudekomplex	1	Herstellung, Verbau, Gründungspfähle
	2	Beginn GWH Baugrube
	3	Aushub Baugrube
	4	Herstellung Bodenplatte
	5	Belastung (G)
	7	Ende GWH Baugrube
	8	Belastung (G+Q/3 – A)
Baugrube Station	9	Herstellung Bodenplatte
	10	Beginn GWH Baugrube
	11 bis 22	Sukzessive Herstellung der Baugrube (Aushub, Grundwassererhaltung, Einbau der Steifen)
	23	Herstellung Bodenplatte
	24	Belastung (G)
	25	Ende GWH Baugrube

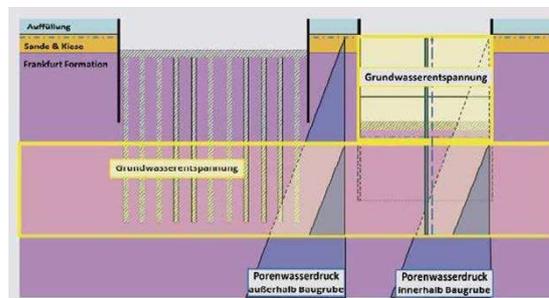


Bild 9: Porenwasserdruckverteilung infolge Grundwassererhaltung

den maximalen Auswirkungen der Grundwassererhaltung stellen sich beim Erreichen des Absenkeziels knapp unterhalb der Baugrubensohle für eine Grundwassererhaltung von ca. $\Delta h = 19$ m ein.

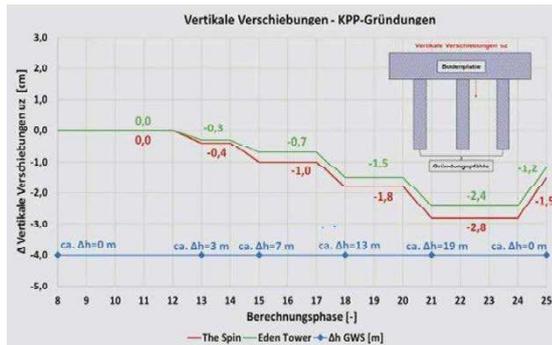


Bild 10: Veränderungen der vertikalen Verschiebungen u_z der Hochhäuser infolge der Grundwasserentspannung

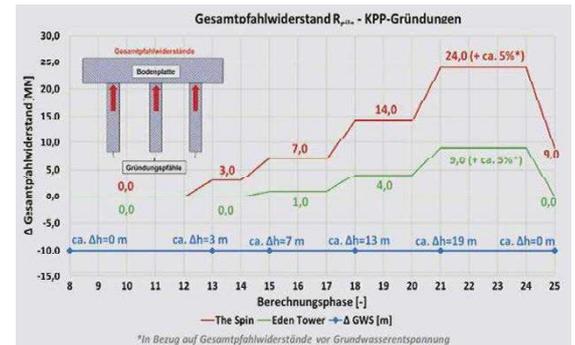


Bild 11: Veränderungen der Gesamtpfahlwiderstände R_{pile} der Hochhäuser infolge der Grundwasserentspannung

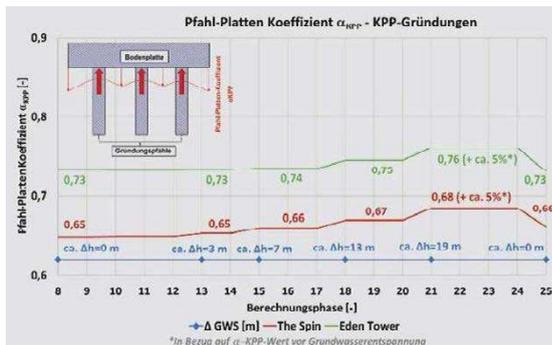


Bild 12: Veränderungen Pfahl-Platten-Koeffizient α_{KPP} infolge der Grundwasserentspannung

Zum Zeitpunkt der maximalen Grundwasserentspannung von ca. $\Delta h = 19$ m beträgt der Zuwachs der Setzungen u_z der Hochhäuser Eden Tower und The Spin ca. 2,5 cm (**Bild 10**). Dies entspricht einem Setzungsmaß von etwa 1,3 mm pro Meter Grundwasserentspannung. Im Vergleich zu den Gesamtpfahlwiderständen der Hochhäuser vor Beginn der Grundwasserhaltung steigen die Gesamtpfahlwiderstände R_{pile} um ungefähr 5 % an (**Bild 11**). Der Pfahl-Platten-Koeffizient α_{KPP} erhöht sich demnach ebenfalls um etwa 5 % (**Bild 12**).

Mit Beendigung der Grundwasserhaltung liegen die vertikalen Verschiebungen der beiden Hochhäuser u_z infolge der Grundwasserentspannung der Baugrube Station Güterplatz bei ca. 1,4 cm (**Bild 10**). Die Gesamtpfahlwiderstände R_{pile} und die α_{KPP} -Werte zeigen nach der Grundwasserhaltung Werte in der Größenordnung vor der Grundwasserhaltung.

7 In-situ-Messergebnisse

Im Rahmen der Mess- und Beweissicherung des Gebäudekomplexes Güterplatz wurde bei den geodätischen Messungen bislang eine maximale Setzungszunahme von ca. 1,5 cm beobachtet (**Bild 13**). Innerhalb der Baugrube Station Güterplatz wurde das Grundwasser zu diesem Zeitpunkt um $\Delta h =$ ca. 11 m entspannt. Dies entspricht einem In-situ-Setzungsmaß von etwa 1,4 mm pro Meter Grundwasserentspannung.

8 Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wurden die Auswirkungen von Grundwasserhaltungen auf Kombinierte Pfahl-Plattengründungen anhand einer numerischen Untersuchung des Projektgebiets Güterplatz in Frankfurt a. M. betrachtet. Die rechnerische Erfassung der Auswirkungen erfordert eine umfassende Berücksichtigung aller Randbedingungen, wie z. B. der maßgebenden Grenztiefe. Dabei kann es sein, dass die Empfehlungen zur Modellgröße [3] nicht ausreichend sind, um alle setzungsrelevanten Bodenschichten abzubilden.

Im numerischen Berechnungsmodell kann infolge der Grundwasserhaltung ein verändertes Tragverhalten der KPP-Gründungen beobachtet werden. Bei beiden KPP-Gründungen werden zum Zeitpunkt der maximalen Grundwasserentspannung von ca. $\Delta h = 19$ m der Gesamtpfahlwiderstand R_{pile} und somit auch der Pfahl-Platten-Koeffizient α_{KPP} erhöht. Ebenfalls erfahren die Hochhäuser The Spin und Eden Tower zusätzliche vertikale Verschiebungen u_z . Auch nach Beendigung der Grundwasserhaltung sind in den numerischen Ergebnissen die Auswirkungen durch ein verändertes Tragverhalten der KPP-Gründungen zu erkennen. Auffallend ist der Anstieg der Setzungen der KPP-Gründungen, welche auch nach Abschluss der Grundwasserhaltung fortbestehen.

Das numerisch ermittelte Setzungsmaß stimmt mit dem bisher in situ beobachteten Setzungsmaß überein. Diese beiden Werte zeigen erwartungsgemäß einen kleineren Wert als die in der Literatur angegebenen. Anhand von Erfahrungswerten (**Tabelle 2**) zeigt sich, dass mit dem Einsatz von teilwasserundurchlässigen Verbauarten tatsächlich das Setzungsmaß infolge einer Grundwasserhaltung reduziert werden kann.

9 Ausblick

Es gilt projektspezifisch einzuschätzen, inwieweit der Umfang einer Grundwasserentspannung in Bezug auf benachbarte bauliche Anlagen möglich ist. Mit Beendigung der Baumaßnahme der Station Güterplatz und der Erfassung der endgültigen Mitnahmesetzungen des Gebäudekomplexes Güterplatz empfiehlt es sich, das

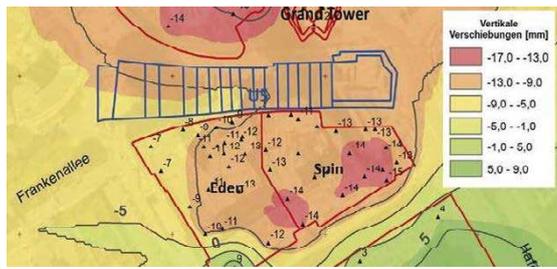


Bild 13: In-situ-Messergebnisse infolge tertiärer Grundwasserentspannung für Entspannung von $\Delta h = \text{ca. } 11 \text{ m}$ (Bauzwischenstand)

Tabelle 2: Setzungsmaß Grundwasserhaltung

Quelle/ Beobachtung	GW-Haltung/Verbaut	Setzungsmaß pro m GW-Haltung
[3, 4]	Absenkung + Entspannung / wasserdurchlässiger Verbau	2 bis 4 mm (erstmalig)
[5]	Absenkung + Entspannung / wasserdurchlässiger Verbau	1 bis 2 mm (wiederholt)
In-situ-Messungen Güterplatz	Entspannung / teilwasserundurchlässiger Verbau	ca. 1,5 mm (erstmalig)
Numerische Berechnungen Güterplatz	Entspannung / teilwasserundurchlässiger Verbau	ca. 1,5 mm (erstmalig)

Berechnungsmodell weiter fortzuschreiben und zu kalibrieren. Somit können zukünftig die Auswirkungen auf Bestandsbauwerke infolge von Grundwasserhaltungen im Frankfurter Baugrund besser eingeschätzt werden.

10 Quellenverzeichnis

Präsentation und Erstveröffentlichung des Artikels beim 14. Kolloquium Bauen in Boden und Fels der TAE am 30. +31. Januar 2024 in Esslingen: Manche, F.; Kies, M., Meißner, S.: Auswirkungen von Grundwasserhaltungen auf bestehende Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP) in Frankfurt a. M.

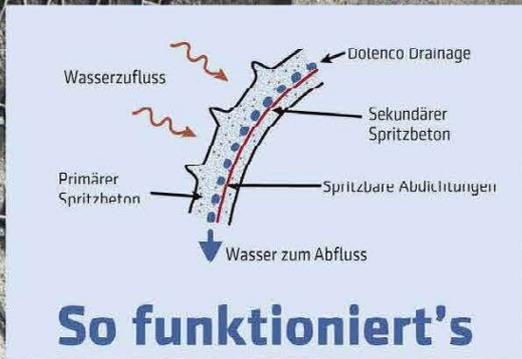
[1] Moormann, C.: Trag und Verformungsverhalten tiefer Baugruben in bindigen Böden unter besonderer Berücksichtigung der Baugrund-Tragwerk- und der Baugrund-Grundwasser-Interaktion. Mitteilung des Instituts u. der

- Versuchsanstalt für Geotechnik, Technische Universität Darmstadt, Heft 59, 2002
- [2] Kies, M.; Meißner, S.; Michael, J.; Schmitt, J. (2020): Risikoanalysen bei geotechnischen Aufgabenstellungen an Praxisbeispielen im Europaviertel in Frankfurt a. M. GeoResources Zeitschrift (2-2020), S. 9–21. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-2-2020.pdf>
- [3] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Empfehlungen des Arbeitskreises Numerik in der Geotechnik – EANG. Ernst und Sohn Verlag, 2014
- [4] Chambosse, G.: Das Verformungsverhalten des Frankfurter Tons beim Tunnelvortrieb. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Hochschule Darmstadt, Heft 10, 1972
- [5] Sommer, H.; Hoffmann, H.: Beherrschung des Grundwassers im innerstädtischen Tiefbau. Beiträge zum 9. Christian Veder Kolloquium „Bauen im Grundwasser -

DOLENCO DRAINAGE

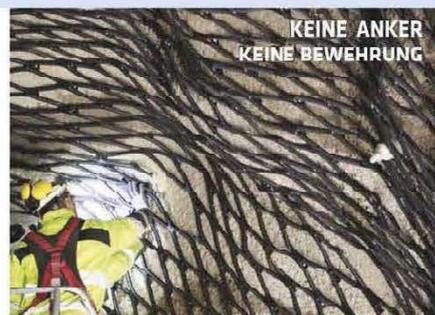
Wasserdruck ständig verhindern

GEOTECHNIK / TUNNELBAU



Eine sichere Lösung für Spritzbeton im Tunnel und Untertagbau

- Für neue und vorhandene Bauten geeignet
- Das schlanke und schnelle System benötigt nur wenig Platz
- Keine Anker, keine Bewehrung
- Bauzeit reduzieren
- Sehr kostengünstig dank niedriger Lebenszykluskosten (LCC)
- Wiederverwertung möglich



DOLENCO
Tunnel Systems

+45 4752 4752
info@dolencodrain.com

Geotechnische Probleme im innerstädtischen Bereich*, Mitteilungen des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau, TU Graz, Heft 11, 1994

- [6] Katzenbach, R.; Quick, H.: Grundwassermanagement bei temporären Baumaßnahmen. Bauingenieur 71, S.297-304, 1994
- [7] Meißner, S.; Quick, H.; Katzenbach, R.; Werner, A.: An innovative dewatering system to reduce the environmental impact. Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Geotechnical Engineering foundation on the future, 2019

Frederic Manche, B. Eng.

ist bei der Prof. Quick und Kollegen – Ingenieure und Geologen GmbH tätig.



Kontakt: frederic.manche@quick-ig.de

Maximilian Kies, M. Eng.

ist Projektingenieur bei der Prof. Quick und Kollegen – Ingenieure und Geologen GmbH



Kontakt: maximilian.kies@quick-ig.de

Prof. Dr.-Ing. Simon Meißner

ist Geschäftsführender Gesellschafter der Prof. Quick und Kollegen – Ingenieure und Geologen GmbH.



Kontakt: simon.meissner@quick-ig.de

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt

vertritt im Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt die Forschungs- und Lehrgebiete Geotechnik, Tunnelbau, CAD und Umweltgeotechnik.



Kontakt: juergen.schmitt@h-da.de