Risikoanalysen bei geotechnischen Aufgabenstellungen an Praxisbeispielen im Europaviertel in Frankfurt a. M.

Maximilian Kies, M. Eng., Dr.-Ing. Simon Meißner und Dr. rer. nat. Joachim Michael, Prof. Quick und Kollegen, Darmstadt, Deutschland
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, University of Applied Sciences of Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

Beginnend von der Projektierung über die Planungsphase bis hin zur Ausführungsphase und dem anschließenden Gewährleistungszeitraum sind bei Bauprojekten Risiken vorhanden. An ausgewählten Beispielen aus dem Projektgebiet Europaviertel in Frankfurt am Main werden geotechnische Risikoanalysen erläutert.

Geotechnik • Risikoanalysen • Praxisbeispiele

1 Geotechnische Risikoanalyse

Im Bauingenieurwesen ist der Begriff Risiko durch die multiplikative Verknüpfung von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos mit dessen Schadensgröße definiert. Demnach besteht ein geringes Risiko dann, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses oder die hieraus resultierende Schadensgröße gering sind. Je größer der Schaden und je höher die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses sind, desto größer ist auch das damit verbundene Risiko [1].

Im geotechnischen Bereich hängt das Risiko von einer großen Anzahl von Parametern und Bedingungen ab. Die Aufgabenstellung besteht darin, die Folgen eines eintretenden Schadens zuverlässig abzuschätzen oder zu belegen und festzulegen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein ungünstiges Ereignis oder ein Schaden eintritt. Dazu bedarf es eines hohen Maßes an Berufserfahrung und einer repräsentativen Datenbank, auf die zurückgegriffen werden kann [1].

Der Prozess der Risikoanalyse besteht gemäß NUSSBAUMER et al. [1] im Wesentlichen aus den vier Aufbaupunkten Risikoidentifikation, Risikobewertung, Risikosteuerung und Risikoüberwachung. Diese werden exemplarisch im **Bild 1** dargestellt. Risiken können in nahezu allen Projektphasen von der Akquise bis zur Gewährleistungsphase auftreten und sich unterschiedlich auf die Projektentwicklung auswirken. Aus diesem Grund sollte im Fokus einer jeden Risikoanalyse stehen, dass Risiken, die bereits vor Beginn der Bauausführung bekannt sind, weitestgehend zu minimieren sind und die erkannten Risiken mit allen Projektbeteiligten und Vertragspartnern besprochen werden müssen. Dieses Besprechen muss als ein Prozess mit dem Ziel verstanden werden, die identifizierten Risiken für alle Beteiligten transparenter zu machen und gleichzeitig die Verantwortungsbereiche beim Eintreten der Risiken klar festzulegen [1].

Als abschließender Punkt für die Minimierung von Risiken kann noch die Beobachtungsmethode aufgeführt werden. Diese steht im unmittelbaren Zusammenhang mit der in der Risikoanalyse aufgestellten Prognose und dient deren Verifizierung und Validierung. Durch die Anwendung numerischer Verfahren können vor Baubeginn schon Prognosen zum Verhalten von Böden, wie beispielsweise deren Verformungs- und Spannungsänderungen, getroffen werden. Im Zuge der Bauausführung gilt es, diese Prognosen mit der Beobachtungsmethode messtechnisch zu überwachen und das Verhalten des Systems zu beurteilen. Ein solcher detaillierter Überwachungsprozess kann maßgebend zur Erkennung von Risiken beitragen und das Eintreten von Risiken frühzeitig verhindern.

2 Beschreibung des Projektgebiets Europaviertel in Frankfurt am Main

2.1 Lage und Topografie

Das Europaviertel in Frankfurt befindet sich zwischen Messegelände und Hauptbahnhof. Hier wird das Projektgebiet auf dem ehemaligen Gelände des Güterbahnhof als Entwicklungsgebiet realisiert. Als ein neues Stadtviertel mit Wohnungen, Büros, Hotels und sozialer Infrastruktur, Parks sowie Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten wurde im Jahr 2005 mit den Erschließungsarbeiten begonnen.

Das **Bild 2** gibt einen ersten Überblick über das Ausmaß des rund 900.000 m² [2] großen Projektge-

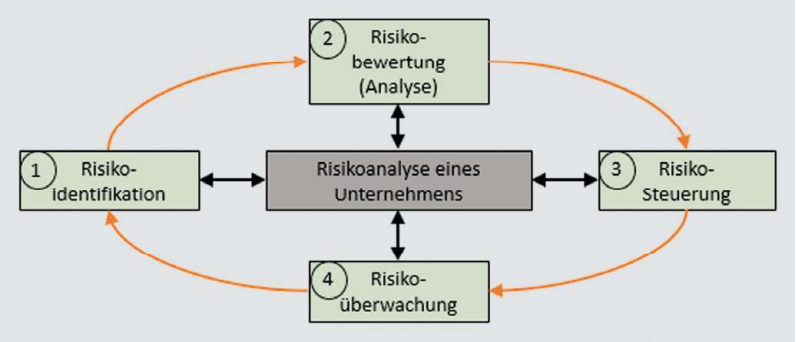


Bild 1: Schematischer Aufbau einer Risikoanalyse [1]



Bild 2: Luftbildaufnahme des Projektgebiets Europaviertel [3]



Bild 3: Luftbildaufnahme des Hauptgüterbahnhofs Frankfurt am Main im Jahr 1997 [4]

biets. Das Projektgebiet wird in Europaviertel West und Ost aufgeteilt. Die Grenze zwischen beiden Grundstücken bildet die im **Bild 2** rot markierte Emser Brücke.

2.2 Historie und Altbebauung

Im Jahr 1996 wurde entschieden, dass der Güterbahnhof stillgelegt werden soll. Die Einstellung des Betriebs erfolgte 1998, woraufhin 1999 das Frankfurter Planungsbüro Albert Speer & Partner (AS&P) beauftragt wurde, einen Rahmenplan für die zukünftige Entwicklung des Projektgebiets zu erstellen [4]. **Bild 3** zeigt eine Luftbildaufnahme des ehemaligen Güterbahnhofs mitten im Projektgebiet. Im Zweiten Weltkrieg war der Güterbahnhof immer wieder Ziel von Luftangriffen, was die Thematik der Kampfmittelfreiheit im Projektgebiet zu einem Thema mit großer Bedeutung bei der Erstellung einer Risikoanalyse macht.

2.3 Baugrund und Grundwasserverhältnisse

Das Projektgebiet Europaviertel liegt aus geologischer Sicht innerhalb des Mainzer Beckens am Nordrand der großtektonischen Grabenstruktur des Rheintalgraben [5]. Unter künstlichen Auffüllungen folgen die Schichten des Quartärs mit unterschiedlichen Dicken. Die Schichten des Quartärs bestehen aus fluviatilen Terrassensedimenten des Mains (Sanden, Kiesen und Schluffen) sowie aus Lössablagerungen und dessen Umlagerungs- und Verwitterungsprodukten. Sie werden von

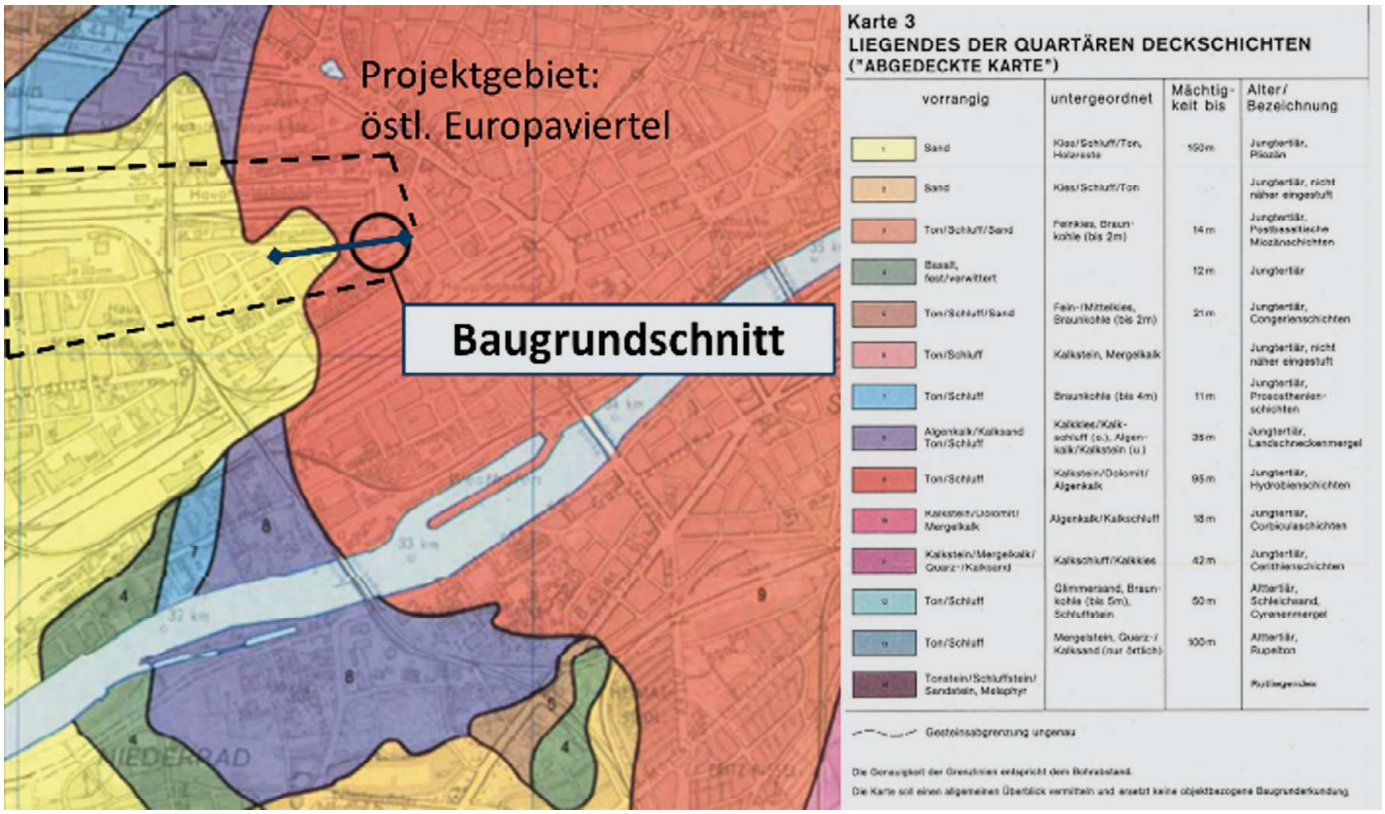


Bild 4: Ausschnitt aus der Geologischen Karte 3 mit Dokumentation der pliozänen Rinne [5]

Sedimenten des Tertiärs unterlagert. Das Tertiär wird im Projektgebiet von den Hydrobienschichten des Miozäns gebildet, die aus einer unregelmäßigen Abfolge von Tonen, Kalksteinbänken, Algenriffen und Hydrobiensandlagen bestehen und zusammenfassend unter dem Begriff Frankfurt Formation bekannt sind. Sie erreichen eine Dicke von bis zu 100 m. Unter den Hydrobienschichten folgen die sogenannten Inflatenschichten, die im Vergleich zu den Hydrobienschichten felsiger und somit weniger kompressibel ausgebildet sind.

Bei der Erkundung des Gebiets des ehemaligen Hauptgüterbahnhofs im Westen des Projektgebiets wurde u. a. bis in eine Tiefe von ca. 16 bis 20 m unter der Geländeoberfläche eine dem Pliozän (Tertiär) zuzuordnende Rinne erkundet. Im südöstlichen Bereich des Projektgebiets ergab sich die Oberkante der pliozänen Rinne bei Erkundungsbohrungen bis in eine Tiefe zwischen ca. 6 bis 12 m unter der GOF bis ca. 12 bis 20 m unter GOF. Die Lage dieser mit Sanden, Kiesen, Schluffen und zum Teil mit stark schluffigen, feinsandigen Tonen verfüllten Rinne ist auch im Ausschnitt der geologischen Karte im **Bild 4** dokumentiert. Die pliozäne Rinne trennt bereichsweise das Quartär von den tertiären Schichten des Miozäns. Der Grenzbereich zwischen Quartär und Tertiär verläuft erfahrungsgemäß sehr wellig und kann exemplarisch **Bild 5** entnommen werden, das einen Baugrundschnitt im Projektgebiet darstellt.

Im Projektgebiet sind sowohl die quartären Sande und Kiese als auch die tertiären Sande, Kiese sowie die Klüfte der Kalksteinbänke grundwasserführend. Die Bereiche der tertiären Tone und Schluffe führen selbst kein Grundwasser und besitzen daher eine absperrende Wirkung. Im Bereich der pliozänen Rinne bilden die quartären und tertiären Sande und Kiese einen Grundwasserleiter. Nach heutigem Kenntnisstand kann für die Bauzeit der Grundwasserstand GWBau zu 93,00 mNN angenommen werden.

3 Risikokatalog für das Projektgebiet Europaviertel in Frankfurt am Main

Die Erstellung eines Risikokatalogs für das Projektgebiet Europaviertel in Frankfurt am Main ist ein zentraler Punkt bei der Durchführung einer geotechnischen Risikoanalyse für ein solches Projektgebiet. Da dieser Risikokatalog nach Fertigstellung zahlreicher Bauprojekte im Europaviertel sowie während der Bauausführung aktueller und in Planung befindlicher weiterer Projekte erstellt wurde, können Erkenntnisse und Risiken, die vorab erkannt wurden bzw. sich in den fertiggestellten Projekten bereits verwirklicht haben, hinzugezogen und so eine Vielzahl möglicher Risikoereignisse aufgelistet werden, die mit einer Gefährdung des Projekterfolgs in Verbindung stehen. Die Liste von Risiken des Risikokatalogs bezieht sich hierbei nur auf jene Risiken, die aus dem System- bzw. dem Baugrundrisiko im Projektgebiet resultieren, und soll als eine Checkliste für die Risikoanalyse von Projekten fungieren, als Speicher für Informationen dienen und einen Überblick über mögliche Risiken und deren Einstufung geben.

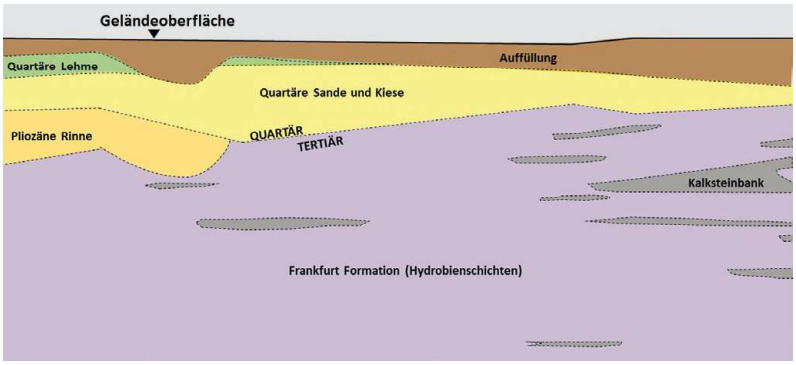


Bild 5: Schnitt durch den südöstlichen Bereich des Projektgebiets

3.1 Aufbau des Risikokatalogs

Für die Erstellung des Risikokatalogs wurden in einem ersten Schritt die Inhaltspunkte festgelegt und die jeweiligen Kategorien (RK) des Risikokatalogs definiert. Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile des Katalogs sowie deren Einteilungen aufgeführt:

- **RK 1** Projektrisiken und Risikokategorien
- **RK 2** Definition und Auswirkung des Risikos
  - **RK 2.1** Risikoarten, Teilrisiken und Folgerungen und Maßnahmen
  - **RK 2.2** Auswirkungen des Risikos
- **RK 3** Zugehörigkeit des Risikos
  - **RK 3.1** Baugrundrisiko
  - **RK 3.2** Systemrisiko
- **RK 4** Risikobewertung
  - **RK 4.1** Schadensausmaß des Risikos
  - **RK 4.2** Eintrittswahrscheinlichkeit
- **RK 5** Scoring Ergebnis und Risikowert

Der Inhaltspunkt Projektrisiko des Risikokatalogs bezieht sich auf die verschiedenen Kategorien, die mit unmittelbaren Risiken für ein geotechnisches Projekt zusammenhängen. Unter dem Begriff Kategorie werden hierbei die drei maßgebenden geotechnischen Disziplinen des Tunnelbaus, der Gründung von Bauwerken sowie des Herstellens von Baugruben verstanden.

Der übergeordnete Inhaltspunkt Definition und Auswirkung des Risikos beschreibt die Hauptteile des Risikokatalogs. Hier werden neben den verschiedenen Risikoarten, wie beispielsweise der Inhomogenität des Baugrunds oder dem Grundwasser, auch die Teilrisiken der einzelnen Risikoarten behandelt sowie Folgerungen und Maßnahmen gegen diese Risiken entwickelt. Abschließend werden die Auswirkungen der Risiken auf den Projektablauf bzw. deren Einfluss auf das Projektgeschehen thematisiert.

3.2 Risikoarten und zugehörige Teilrisiken mit Folgen

Insgesamt wurden im Risikokatalog neun Risikoarten (RA) definiert, die entweder dem Baugrundrisiko, dem Systemrisiko oder beiden zugeordnet werden können.

Tabelle 1: Teilrisiken von Risikoart RA 1 Inhomogenität Baugrund

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 1.1	Natürliche Streuung der boden- und felsmechanischen Kennwerte φ/c	▸ Beeinflussung Standsicherheit ▸ Erkundungsdichte erhöhen ▸ rechnerische Nachweise mit Variation der Parameter ▸ bedingte oder nicht mögliche Optimierungsmaßnahmen
RA 1.2	Große Bandbreite des Durchlässigkeitsbeiwerts (horizontal und vertikal)	▸ Über-/Unterschätzung der Wassermenge ▸ Anpassung Wasserhaltung Baugrube ▸ zusätzl. Entkopplung/ Ableitung in Kanal/ Versickerungsbecken ▸ Pumpversuche/ Backanalysis GW
RA 1.3	Unterschiedliche Steifigkeiten innerhalb einer Bodenschicht	▸ Setzungsmaß ▸ Setzungsdifferenzen/ ▸ Verkantung/Winkelverdrehung ▸ rechnerische Nachweise mit Variation der Steifigkeit
RA 1.4	Unterschiedliche Schichthöhen des Baugrunds	▸ Über-/Unterschätzung ▸ Tragfähigkeit/Standsicherheit ▸ Erkundungsdichte erhöhen ▸ rechnerische Nachweise mit Variation der Schichthöhen
RA 1.5	Kalksteinbänke/Algenkalkriffe (Wasserdurchlässigkeit/Steifigkeit)	▸ Über-/Unterschätzung der Wassermenge ▸ Anpassung Wasserhaltung Baugrube ▸ Dichtigkeit der Baugrube ▸ Setzungsdifferenzen/Verkantungen ▸ Abrasivität ▸ Bohrbarkeit/Herstellbarkeit
RA 1.6	Qualität (Einbaudichte/ Material) rückverfüllter Bereiche am Güterbahnhof	▸ Baugrundaustausch/Bodenverbesserung ▸ Deponierung/Entsorgung erforderlich ▸ Erkundungsdichte erhöhen
RA 1.7	Pliozäne Rinne	▸ Über-/Unterschätzung der Wassermenge ▸ Über-/Unterschätzung der Tragfähigkeit ▸ Dichtigkeit der Baugrube ▸ Erkundungsdichte erhöhen
RA 1.8	Kontamination des Bodens/ geogene Belastung	▸ Baugrundaustausch/Bodenverbesserung ▸ Deponierung/Entsorgung erforderlich ▸ Erkundungsdichte erhöhen ▸ detaillierte Beprobung /Analytik ▸ Prüfung Wiederverwertbarkeit oder Deponierung

Tabelle 2: Teilrisiken von Risikoart RA 2 Grundwasser

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 2.1	Bauzeitlicher Grundwasserstand	Falls < GWBau: ▸ Überschätzung Entnahmemenge Falls > GWBau: ▸ Unterschätzung Entnahmemenge/ Auftrieb der Sohle / Auswirkung auf Verbau ▸ Grundwassermonitoring ▸ Sofortmaßnahmen entwickeln (Alarm und Handlungsplan)
RA 2.2	Herstellung eines hydraulischen Kurzschlusses zwischen den Grundwasserstockwerken	▸ Dichtigkeit der Baugrube ▸ Bohrpfahlherstellung mit Wasserauflast ▸ ggf. Verpressung der Bohrpfähle ▸ Anpassung der Planung (Baugrubensohle/Gründungsdesign)
RA 2.3	Grundwasseraufstau durch Baugrubenumschließung/Gründung	▸ ggf. ergänzende hydromechanische Berechnungen ▸ Maßnahmen gegen GW-Aufstau (z. B Düker, GW-Fenster) und gegen Verockerung/Versinterung
RA 2.4	Nicht ordnungsgemäß verfüllte Erkundungsbohrungen	▸ mögliche Beeinträchtigung Tunnelvortriebskonzept ▸ Wassereintritt in Baugrube ▸ Maßnahmen zur Verfüllung/Verpressung ▸ zusätzliche Wasserhaltungen
RA 2.5	Anthropogene/geogene Belastung des Grundwassers	▸ Auflagen aus wasserrechtlicher Genehmigung umsetzen ▸ Grundwassersanierungsmaßnahmen

Die neun Risikoarten, auf deren Teilrisiken nachfolgend eingegangen wird, sind:

- **RA 1** Inhomogenität des Baugrunds
- **RA 2** Grundwasser
- **RA 3** geogene/anthropogene Hindernisse im Baugrund
- **RA 4** Anthropogene (herstellungsbedingte) Belastung des Bodens
- **RA 5** Erdbeben
- **RA 6** Erschütterungen
- **RA 7** Gründung
- **RA 8** Planfeststellungsverfahren
- **RA 9** Allgemeine Risiken

3.2.1 RA 1 – Inhomogenität des Baugrunds

Der Baugrund ist durch eine große Inhomogenität der anstehenden Schichten im Projektgebiet aus vorwiegend Tonen, Schluffen, Sanden und Kiesen (Quartär und Tertiär) gekennzeichnet.

Aus der Inhomogenität des Baugrunds und dessen Bestandteilen resultiert eine Vielzahl von Risiken, die eindeutig dem Baugrund bzw. dem Systemrisiko zugeordnet werden und die einen großen Einfluss auf die Bauwerke nehmen können, die auf ihm gegründet werden.

In **Tabelle 1** sind die ermittelten Teilrisiken, die der Risikoart der Inhomogenität des Baugrundrisikos entstammen, aufgeführt sowie deren Folgerungen und Maßnahmen erläutert.

3.2.2 RA 2 – Grundwasser

Im Projektgebiet des Europaviertels gibt es mehrere Baugrundschichten, die grundwasserführend sind. Hierzu zählen mitunter die quartären Sande und Kiese, die tertiären Sande, Kiese, die Porengrundwasserleiter sind, sowie die Kalksteinbänke, die als Kluft- bzw. Karstgrundwasserleiter einzustufen sind.

Die nicht wasserführenden Schichten der tertiären Tone und Schluffe haben eine absperrende Wirkung, die oftmals für die Grundwasserentspannung von Baugruben genutzt wird.

Im Bereich der pliozänen Rinne bilden die quartären und tertiären Sande und Kiese einen gemeinsamen Grundwasserleiter.

Das Grundwasser bildet neben der Inhomogenität des Baugrunds die zweite Risikoart und beinhaltet die in **Tabelle 2** angegebenen Teilrisiken.

3.2.3 RA 3 – Geogene/anthropogene Hindernisse im Baugrund

Hinter dieser Risikoart sind geogene Hindernisse, wie Findlinge größeren Durchmessers und anthropogene Hindernisse, wie Altfundamte, Ankerlitzen oder Leitungskabel zu verstehen, die einen Einfluss auf die Herstellung oder Durchführung von Baumaßnahmen im Baugrund hervorrufen können. Sie sind in **Tabelle 3** zusammengestellt.

3.2.4 RA 4 – Anthropogene (herstellungsbedingte) Belastung des Baugrunds

Eine Kontamination des Baugrunds kann auf Baustellen erfolgen, die mit verschiedenen Suspensionen, Injektionen oder generell dem Einsatz verschiedener Baumaschinen arbeiten. Aus diesem Grund sind ein sorgsamer Umgang und der korrekte Verfahrensablauf bei solchen Maßnahmen von großer Bedeutung. In **Tabelle 4** wird diese Risikoart entsprechend der Position im Risikokatalog aufgeführt.

3.2.5 RA 5 – Erdbeben

Das Projektgebiet Europaviertel Frankfurt am Main liegt gemäß EC 8 – DIN EN 1998-1/NA in der Erdbebenzone 0. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Erdbebenzone größer als Zone 0 ist, ist zwar schwindend gering, muss aber trotzdem als ein Punkt des Risikokatalogs aufgeführt werden, da das Bauwerk auch auf dieses Risiko bemessen werden kann. **Tabelle 5** zeigt, wie dieses Risiko in den Risikokatalog eingearbeitet wurde. Als Folgerung und Maßnahmen gegen dieses Risiko kann nur die Bemessung gemäß EC 8 – DIN EN 1998-1/NA auf eine höhere Erdbebenzone aufgeführt werden. Die weitere Bemessung würde sich durch höhere Baukosten, einen zusätzlichen Forschungsbedarf sowie weitere Planungsmaßnahmen bemerkbar machen.

3.2.6 RA 6 – Erschütterungen

Unter der Risikoart der Erschütterungen werden alle Risiken zusammengefasst, die durch Erschütterungseinwirkungen von Baugeräten oder beispielsweise den laufenden U-Bahnbetrieb und die hieraus resultierende Geräuscheinwirkung des Schalls entstehen. Aus der Risikoart der Erschütterungen resultieren drei Teilrisiken, die in **Tabelle 6** aufgeführt werden.

3.2.7 RA 7 – Gründungen

Die Teilrisiken, die mit der Risikoart der Gründungen und Baugruben aufgeführt werden, überschneiden sich teilweise mit Teilrisiken der Risikoart RA 1 Inhomogenität des Baugrunds, können aber dennoch als eigenständige Risiken angesehen werden. Unter diesen Risiken sind jene Risiken zu verstehen, die durch die Gründung von Bauwerken und die Herstellung von Baugruben zum einen das Bauwerk selbst und zum anderen benachbarte Bauwerke beeinträchtigen können. Diese Beeinträchtigungen können aus der Gründung selbst oder aus Mitnahmeverschiebungen bzw. dem Baugrund resultieren. Die **Tabelle 7** stellt die Teilrisiken dieser Risikoart dar.

3.2.8 RA 8 – Planfeststellungsverfahren

Die Risikoart des Planfeststellungsverfahrens ist nicht zwingend ein Risiko, das direkt dem System- oder Baugrundrisiko zugeordnet werden kann, dennoch sollte es in diesem Risikokatalog erwähnt werden, da es gerade im Projektgebiet zwei Teilrisiken mit großer Bedeutung gibt. Die **Tabelle 8** stellt die Teilrisiken dieser Risikoart dar.

Tabelle 3: Teilrisiken von Risikoart RA 3 geogene/anthropogene Hindernisse im Baugrund

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 3.1	Herstellbarkeit des Baugrubenverbaus (Schlitzwand, Bohrpfahlwände)	▸ Änderung des Baugrubensicherungskonzepts ▸ Maßnahmen zur Dichtigkeit der Baugrube ▸ Abrasivität
RA 3.2	Herstellbarkeit des Gründungsdesigns (Gründungspfähle, Einzelfundament)	▸ Setzungsmaß ▸ Setzungsdifferenzen/Verkantung ▸ Änderung des Gründungsdesigns ▸ Abrasivität
RA 3.3	Einfluss auf Tunnelvortieb	▸ Beschädigung der TVM (Verschleiß Disken, Diskenwechsel, Schildblockade) ▸ Anpassung des Vortriebskonzepts ▸ Vortriebsstillstand ▸ Abrasivität
RA 3.4	Kampfmittel	▸ Gefahr Baustelle und Umfeld ▸ Stillstand und Baustopp ▸ Fokus und Erhöhung der Art der Genauigkeit der Kampfmittelfreimessung
RA 3.5	Antreffen künstlicher Hindernisse (Baugrubenumschließung, Fundamente, Dichtsohlen, Leitungen)	▸ Setzungsdifferenzen/ Verkantung ▸ Abrasivität ▸ historische Erkundung ▸ geophysikalische Erkundung

Tabelle 4: Teilrisiken von Risikoart RA 4 anthropogene (herstellungsbedingte) Belastung des Baugrunds

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 4.0	**Kontamination des Baugrunds** durch Baumaßnahmen	▸ Auflagen aus wasserrechtlicher Genehmigung umsetzen ▸ eingeschränkte Wiederverwertbarkeit ▸ ggf. Deponierung/Zwischenlagerung ▸ Sanierungsmaßnahmen

Tabelle 5: Teilrisiken von Risikoart RA 5 Erdbeben

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 5.0	Erdbebenzone > Zone 0	▸ gemäß DIN 4149 Projektgebiet in Erdbebenzone 0 ▸ Bemessung nach DIN 4149 für Erdbeben > Erdbebenzone 0

Tabelle 6: Teilrisiken von Risikoart RA 6 Erschütterungen

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 6.1	Erschütterungseinwirkungen auf benachbarte bauliche Anlagen (Wohngebäude / industrielle Anlagen)	▸ Sanierungsmaßnahmen ▸ Stillstand der Baustelle bei benachbarten sensiblen Rechenzentren ▸ Anpassung Bauablauf/Verbaukonzept ▸ architektonisches und geotechnisches Beweissicherungsverfahren ▸ Abschirmungskonzepte
RA 6.2	Verformungen und Setzungen durch Fahrbetrieb	▸ Sanierungsmaßnahmen ▸ architektonisches und geotechnisches Beweissicherungsverfahren ▸ Konzeptentwicklung gegen Erschütterungen
RA 6.3	Schall durch Erschütterungseinwirkungen	▸ ggf. ergänzende hydromechanische Berechnungen ▸ Maßnahmen gegen GW-Aufstau (z. B Düker, GW-Fenster) und gegen Verockerung/Versinterung

Tabelle 7: Teilrisiken von Risikoart RA 7 Gründungen

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 7.1	Gründung: Gebrauchstauglichkeit Verkantung/Winkelverdrehung Baugrube: Verformbarkeit	▸ Sanierungsmaßnahmen ▸ Stillstand der Baustelle bei benachbarten sensiblen Rechenzentren ▸ Anpassung Bauablauf/Verbaukonzept ▸ architektonisches und geotechnisches Beweissicherungsverfahren ▸ Abschirmungskonzepte
RA 7.2	Mitnahmeverschiebungen	▸ Sanierungsmaßnahmen ▸ architektonisches und geotechnisches Beweissicherungsverfahren ▸ Konzeptentwicklung gegen Erschütterungen
RA 7.3	Gründungsart	▸ ggf. ergänzende hydromechanische Berechnungen ▸ Maßnahmen gegen GW-Aufstau (z. B Düker, GW-Fenster) und gegen Verockerung/Versinterung

Tabelle 8: Teilrisiken von Risikoart RA 8 Planfeststellungsverfahren

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 8.1	Freihalten von Bauflächen	▸ Einhaltung vorgegebener Abstände für Erschließungsflächen
RA 8.2	Bemessung auf spätere Bauvorhaben	▸ zusätzliche Gründungsmaßnahmen für geplante/bestehende Tunnel ▸ Einhaltung vorgegebener Abstände für Erschließungsfläche ▸ rechnerische Nachweise für Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit ▸ Mess- und Beweissicherungskonzept ▸ Alarm- und Handlungsplan

Tabelle 9: Teilrisiken von Risikoart RA 9 Allgemeine Risiken

Teilrisiko		Folgen und Maßnahmen
RA 9.1	Eintreten nicht absehbarer Risiken (Naturkatastrophe, Brandfall)	▸ Baustop ▸ Störfallkonzept mit Maßnahmenplan
RA 9.2	Antreffen von Kulturüberresten	▸ Baustop ▸ archäologische Vorerkundung ▸ geophysikalische Vorauserkundung

Tabelle 10: Betrachtete Parameter mit Auswirkungen durch die Risiken

Parameter	Abkürzung
Bauzeit	BZ
Baukosten	BK
Schadenshöhe	SH
Standsicherheit	SI
Gebrauchstauglichkeit	GT
Zusätzlicher Erkundungsbedarf	EK
Forschungsbedarf (beispielsweise numerische Berechnungen)	FB
Zusätzliche planerische und bautechnische Maßnahmen	MS

3.2.9 RA 9 – Allgemeine Risiken

Diese abschließende Risikoart befasst sich mit allgemeinen Risiken, die ein Projekt beeinflussen können. Hierzu zählt neben starken Witterungseinflüssen auch das Antreffen von Kulturüberresten im Baugrund. Die Teilrisiken sowie deren Folgerungen und Maßnahmen sind in **Tabelle 9** aufgeführt.

3.3 Auswirkungen der Risiken

Ein wesentlicher Inhaltspunkt des Risikokatalogs sind die Auswirkungen der einzelnen Teilrisiken. Beispielhaft wurde in den vorhergehenden Kapiteln auf einige Auswirkungen und Folgen der verschiedenen Risiken eingegangen. Weiter soll es durch den Risikokatalog möglich sein, die Auswirkungen eines Risikos auf einen bestimmten Aspekt (Bauzeit, Baukosten Schadenshöhe etc.) direkt zu erkennen. Deshalb werden in **Tabelle 10** die Parameter mit Auswirkungen der identifizierten Risiken und ihre Abkürzungen entsprechend ihrer Bezeichnung im Risikokatalog angegeben.

3.4 Bewertung der Risiken nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung

Die Grundstruktur des Risikokatalogs ist so aufgebaut, dass in einem ersten Schritt die zu untersuchenden Risikokategorien erfasst sowie Risiken und Teilrisiken zusammengestellt werden und anschließend eine Gewichtung der unterschiedlichen Einflussgrößen erfolgt.

Die Bewertung erfolgt zum einen durch die Eintrittswahrscheinlichkeit und zum anderen nach der Auswirkung für das Projekt. Die **Tabelle 11** beschreibt die Eintrittswahrscheinlichkeiten und Gewichtungen zur Bewertung der einzelnen Teilrisiken und **Tabelle 12** die Bedeutungen und Auswirkungen. Für die Festlegung der Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie der Bedeutung und Auswirkungen wurde bewusst ein einfaches Bewertungssystem mit einer Einteilung von 1 bis 5 gewählt, da eine detailliertere Einteilung aufgrund fehlender Daten und repräsentativer Ergebnisse für das Projektgebiet noch nicht möglich ist.

Das Scoring-Ergebnis bzw. der Risikowert ergibt sich aus dem Produkt der Werte für Eintrittswahrscheinlichkeit und Bedeutung. Aus den Risikowerten kann eine Einteilung über die Relevanz der Risiken getroffen werden. Diese Einteilung in fünf Risikograde resultiert aus den Scoring-Ergebnissen. Diese sind in **Tabelle 13** dargestellt. Risiken, die einen Scoring-Wert von < 5 aufweisen, können als eher unbedeutende Risiken mit sehr kleinem Risikograd angesehen werden. Die Bedeutung von Risiken mit Scoring-Werten zwischen 6 und 10 ist für das Projektgeschehen nur als gering einzustufen, ihr Risikograd ist klein. Ab einem Scoring-Wert von 11 erlangen die Risiken schon einen größeren Einfluss, der das Projektgeschehen negativ beeinflussen kann. Risiken, die einen Scoring-Wert zwischen 21 und 25 erzielen, haben einen sehr hohen Risikograd, sind als äußerst bedeutend einzustufen und bedürfen der genaueren Betrachtung, der Festlegung von Maßnahmen und einer Überwachung.

3.5 Scoring-Ergebnisse

Die aus dem Risikokatalog hervorgehenden Scoring-Ergebnisse und die hieraus resultierende Verteilung in die Risikograde gemäß **Tabelle 13** für die in den **Tabellen 1 bis 9** genannten Teilrisiken kann den Diagrammen im **Bild 6** entnommen werden.

Aus der Verteilung der Scoring-Ergebnisse geht hervor, dass es insgesamt vier Teilrisiken, nämlich 1.3, 5.0, 6.2 und 8.1, gibt, die mit sehr kleinem Risikograd als eher unbedeutend eingestuft werden und mit sehr geringer Schadensauswirkung auftreten. Diese vier Teilrisiken mit einem Scoring-Ergebnis von < 5 machen rund 13,3 % aller identifizierten Risiken aus. Der zweiten Kategorie der Scoring-Ergebnisse von 6 bis 10 können insgesamt zehn Teilrisiken, nämlich 1.5, 1.6, 2.1, 2.2, 2.3, 2.5, 3.2, 3.3, 4.0 und 9.2, zugeordnet werden, was einen Anteil von 33,3 % aller identifizierten Risiken ausmacht. Weiter geht aus der Verteilung hervor, dass sechs Teilrisiken, nämlich 1.1, 1.2, 2.4, 3.1, 7.3 und 9.1, dem Scoring-Ergebnis mit einer mittleren Einstufung von 11 bis 15 entsprechen. Ihr Anteil an den Gesamtrisiken macht rund 20 % aller Risiken aus. Den Risikograd mit einer großen Bedeutung, also einem Scoring-Ergebnis zwischen 16 und 20, erreichen insgesamt neun Teilrisiken, nämlich 1.4, 1.7, 1.8, 3.4, 3.5, 6.1, 6.3, 7.2 und 8.2. Das entspricht insgesamt rund 30 % der identifizierten Risiken. Der höchste Risikograd wird vom Teilrisiko 7.1 erreicht. Diesem Risiko, das 3,3 % aller Risiken ausmacht, kommt eine sehr große Bedeutung zu.

4 Risikosimulationsrechnungen für ausgewählte Projekte im Europaviertel

Einige der Teilrisiken aus dem Risikokatalog werden nun mit Risikosimulationsrechnungen bzw. Beispielen weiter erläutert und ihre Auswirkungen bezüglich der Schadenshöhe oder anderen Kostenfaktoren untersucht. Dabei wird insbesondere auf die Risiken Grundwasserentspannung, Gebrauchstauglichkeit, pliozäne Rinne und das Risiko eines planfestgestellten Bereichs eingegangen.

4.1 Grand Tower – Grundwasserentspannung

4.1.1 Hinweise zum Projekt

Nachfolgend wird eine Risikoberechnung für die Grundwasserentspannung des Grand Towers im östlichen Bereich des Europaviertels durchgeführt. Anhand dieser Risikoberechnung wurden zum einen der Einfluss unterschiedlicher Schichtdicken der durchlässigen Schichten und zum anderen der Einfluss der Restwasserrate der Trogbaugrube auf die Gesamtkosten der Grundwasserentspannung untersucht.

Das Bauvorhaben Grand Tower (**Bild 7**) weist eine Fläche von rund 2.700 m² auf. Die Gründung des rund 172 m hohen Towers erfolgt anhand einer Kombinierten Pfahl-Plattengründung. Die Herstellung der

Tabelle 11: Risikokatalog – Eintrittswahrscheinlichkeit von Risiken und ihre Gewichtung

Eintrittswahrscheinlichkeit	Wert [-]	Beschreibung
Sehr klein	1	mögliches, aber unwahrscheinliches Risiko
Klein	2	vermutetes Risiko
Mittel	3	
Groß	4	erwartetes Risiko
Sehr groß	5	

Tabelle 12: Risikokatalog – Bedeutung und Auswirkung von Risiken und ihre Gewichtung

Bedeutung	Wert [-]	Auswirkung
Unbedeutend	1	BZ, BK, SH, SI, GT, EK, FB, MS
Gering	2	
Mittel	3	
Bedeutend	4	
Sehr groß	5	

Tabelle 13: Risikograde abhängig vom Scoring-Ergebnis als Produkt der Werte für die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Bedeutung

Risikograd	Scoring-Ergebnis
Sehr klein	< 5
Klein	6 - 10
Mittel	11 - 15
Groß	16 -20
Sehr groß	21 - 25

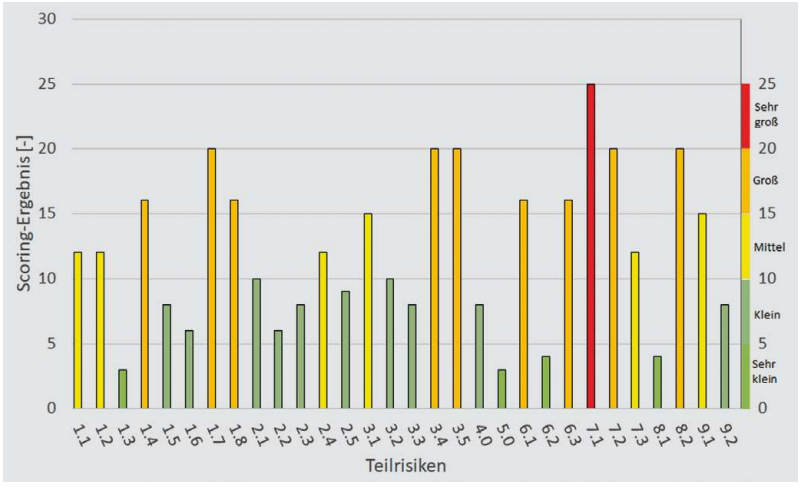


Bild 6: Verteilung der Risikograde

Untergeschosse erfolgte im Schutze einer wasserundurchlässigen Trogbaugrube. Die Baugrube wies Abmessungen von rund 40 m x 70 m auf. Die geplante Baugrubensohle lag bei 8 bis 11 m unter Geländeoberkante. Der bauzeitliche Grundwasserstand wurde mit GWBau = 93,00 mNN angesetzt. Im Zuge der Grund-

wasserhaltung wird der Grundwasserspiegel innerhalb der wasserundurchlässigen Trogbaugrube im Endaushubzustand auf 85,40 mNN abgesenkt. **Bild 8** gibt einen anschaulichen Überblick der Randbedingungen



Bild 7: Grand Tower – Foto vom 05.12.2018

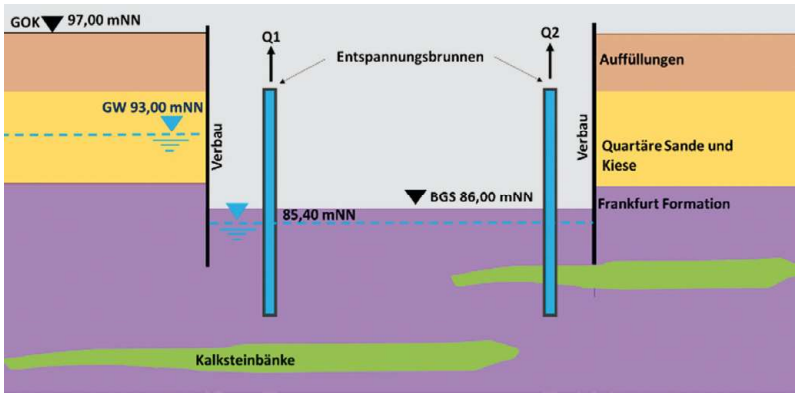


Bild 8: Grand Tower – Systemskizze von Baugrube und Wasserhaltung

Tabelle 14: Risiko A – Restwasserrate

Risiko [-]	Eintrittswahrscheinlichkeit [%]	Risikogröße Restwasserrate RW [l/s/1.000 m²]
RA1	5	1
RA2	70	1,5
RA3	15	2
RA4	10	3

Tabelle 15: Risiko B – freier Porenraum

Risiko [-]	Eintrittswahrscheinlichkeit [%]	Risikogröße Restwasserrate RW [l/s/1.000 m²]
RB1	30	0,4
RB2	70	0,3

der Baugrube. Die Grundwasserentspannung bzw. Restwasserhaltung der Baugrube beinhaltet hierbei drei unterschiedliche Phasen der Entwässerung:

- Entwässerung der Baugrube im Zuge des Erdaushubs
- Kontrollierte Grundwasserentspannung der tertiären Grundwasserleiter unterhalb der Baugrubensohle (Kalksteinbänke und Hydrobiensande) zur Sicherung der Baugrubensohle
- Fassung und Förderung von Tagwasser (Niederschlag)

Die Entwässerung der Baugrube und die kontrollierte Grundwasserentspannung der Kalksteinbänke und Hydrobiensande unterhalb der Baugrubensohle erfolgten mittels Entspannungsbohrungen und Förderbrunnen oberhalb des bauzeitlichen Grundwasserstands.

Die Grundwasserhaltung muss bis zum Erreichen der Auftriebssicherheit des Bauwerks betrieben werden. Hierfür wurde eine Bauzeit von acht Monaten erwartet.

Die Berechnung der Gesamtmenge basiert auf Grundlage der Erfahrungen mit Grundwasserhaltungen/-entspannungen im Europaviertel. Bei einem bauzeitlichen Grundwasserstand und einer Einbindetiefe der Verbauwand von bis zu 20 m ergibt sich eine Entnahmemenge von ca. 60.000 m³.

4.1.2 Risikosimulationsrechnung

Die Risikosimulationsrechnung der Grundwasserentspannung basiert auf der Variation zweier Parameter und deren Auswirkungen auf die Gesamtentnahmemenge. Als Variationsparameter wurden hier die Restwasserrate RW (Risiko A) und der freie Porenraum (Risiko B) angesetzt. Beide Parameter wurden hinsichtlich ihrer Größe und einer zugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeit untersucht. Für die Restwasserrate ergaben sich insgesamt vier Risikogrößen (RA1 bis RA4) mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten, die in der nachfolgenden **Tabelle 14** dargestellt werden.

Für das Risiko B des freien Porenraums ergaben sich zwei Größen (RB1, RB2), die mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten ausgewählt wurden (**Tabelle 15**).

Im Anschluss werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten E aller Kombinationsmöglichkeiten des Risikos A mit Risiko B gebildet und die Entnahmemengen ermittelt (**Tabelle 16**). Es ergeben sich insgesamt acht unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten. Insgesamt streut die Entnahmemenge der Grundwasserentspannung zwischen 42.361 m³ (Risiko RA1 und Risiko RB2) und 113.380 m³ (Risiko RA4 und Risiko RB1).

Bild 9 zeigt die Eintrittswahrscheinlichkeiten und die Entnahmemengen der acht Kombinationsmöglichkeiten. Die Primärachse gibt die Eintrittswahrscheinlichkeit in Prozent und die Sekundärachse die Entnahmemenge in Kubikmetern an. Anhand der Entnahmemengen und Eintrittswahrscheinlichkeiten ist es

Tabelle 16: Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten E und Entnahmemengen für unterschiedliche Kombinationen aus Risiko A zur Restwasserrate zu Risiko B zum freien Porenraum

Risiko	R A1		R A2		R A3		R A4	
	E [%]	Entnahme [m³]	E [%]	Entnahme [m³]	E [%]	Entnahme [m³]	E [%]	Entnahme [m³]
R B1	1,5	44.489	21	61.825	4,5	79.160	3	113.830
R B2	3,5	42.361	49	59.697	10,5	77.032	7	111.702

möglich, ein Risikoprofil für die Simulationsrechnung zu erstellen (**Bild 10**). Aus dem Risikoprofil lassen sich Rückschlüsse bezüglich der Güte der Eingangsparameter ziehen. Verläuft beispielsweise das Risikoprofil flach, so erreicht eine kleine Änderung der Überschreitungswahrscheinlichkeit eine größere nennenswerte Änderung der Risikogröße. Dies deutet auf eine starke Streuung der Eingangsparameter hin. Im vorliegenden Fall ist das Risikoprofil steil geneigt. Dies hat zur Folge, dass eine größere Änderung der Überschreitungswahrscheinlichkeit nötig ist, um die Risikogröße der Entnahmemenge zu erhöhen [6].

4.1.3 Bewertung

Die Risikosimulationsrechnung der Grundwasserentspannung hat gezeigt, dass die mit Erfahrungswerten berechneten Ergebnisse der Entnahmemenge von 60.000 m³ in 50 % aller Fälle der eigenständig gewählten und angesetzten Parameter noch überschritten wird. Im schlechtesten Fall wäre sogar mit einer Entnahmemenge von rund 114.000 m³ zu rechnen gewesen, also einer Verdopplung der Entnahmemenge. Zusätzlich besteht hierbei die Gefahr, dass das gesamte Grundwasserhaltungskonzept unterdimensioniert ist, die anfallenden Wassermengen nicht gefasst werden können und für eine Umplanung noch weitere Kosten entstehen. Aus dem Risikokatalog geht noch eine Vielzahl weiterer Risiken hervor, die in der Summe erhebliche Kosten für den Bauherrn verursachen können. Das Risiko der Grundwasserentspannung ist jedenfalls ein Risiko, das mit einer einfachen Simulationsrechnung erkannt werden kann und für das man sich bei dessen Eintritt mit einfachen Mitteln, wie einer zusätzlichen Kapazität beim Grundwasserhaltungskonzept, schützen kann.

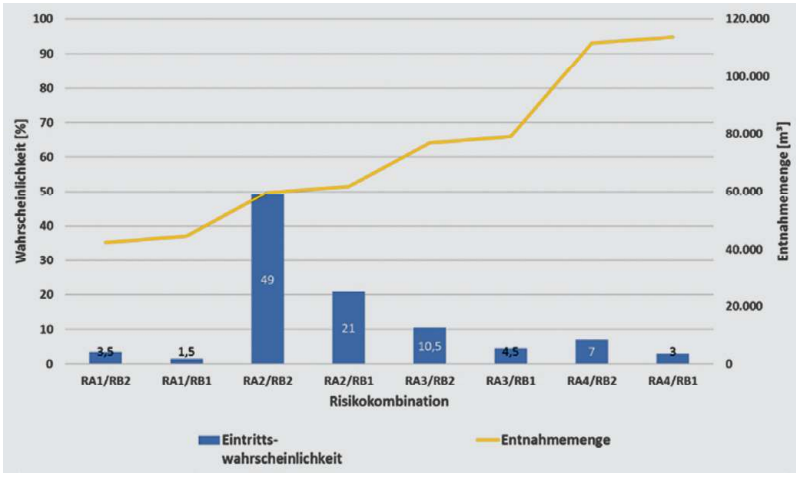


Bild 9: Grand Tower Grundwasserentspannung – Risikokombinationen und ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie Entnahmemengen

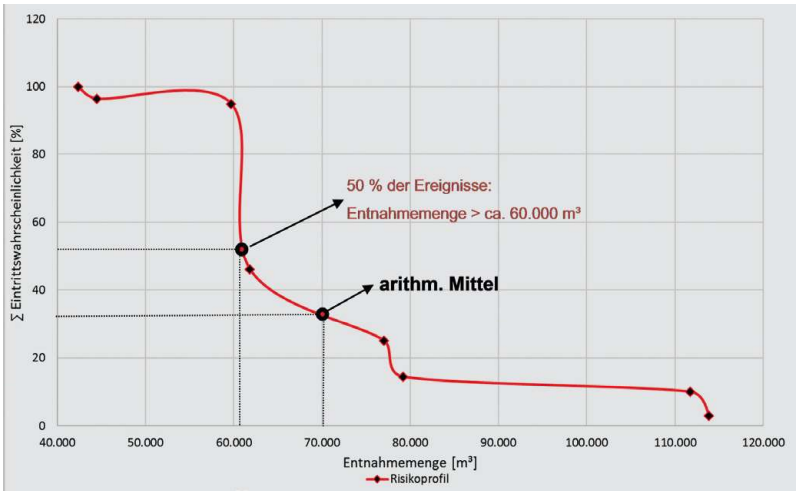


Bild 10: Grand Tower – Risikoprofil der Grundwasserentspannung

4.2 DB Tower – Bodenschicht Pliozäne Rinne

4.2.1 Hinweise zum Projekt

Die pliozäne Rinne ist eine mit 20 von 25 Punkten belegtes Scoring-Ergebnis aus dem Risikokatalog, die in diesem Kapitel noch einmal thematisiert werden soll. Ziel soll es sein, die Auswirkungen auf das Wasserhaltungskonzept bei Eintritt des Risikos zu untersuchen und die hieraus resultierenden Maßnahmen zu erläutern.

Die Thematik der pliozänen Rinne wird anhand des Bauvorhabens DB-Tower behandelt. Das Projekt besteht aus einem 66 m hohen Hochhaus mit angrenzender Sockelbebauung auf einer durchgehenden 3-geschossigen Unterkellerung. Die Hochhauslasten werden über eine Kombinierte Pfahl-Plattengründung in den Baugrund eingeleitet. Der Baugrund im Projektgebiet besteht aus quartären Schichten, welche von pliozänen Sanden/Schluffen unterlagert werden. Unterhalb der pliozänen Schichten folgen die Schichten des gering durchlässigen Landschneckenmergels sowie der Frankfurt Formation. Das Grundwasser steht ca. 4 m unter Gelände an.

Die Lage der pliozänen Rinne in der Baugrube (**Bild 11**) geht im vorliegenden Fall aus den Erkun-

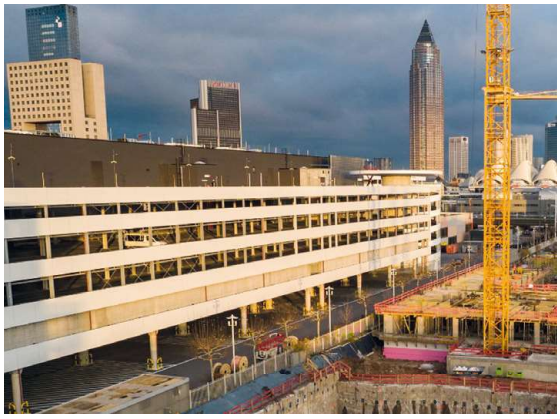


Bild 11: DB Tower – Foto der Baugrube

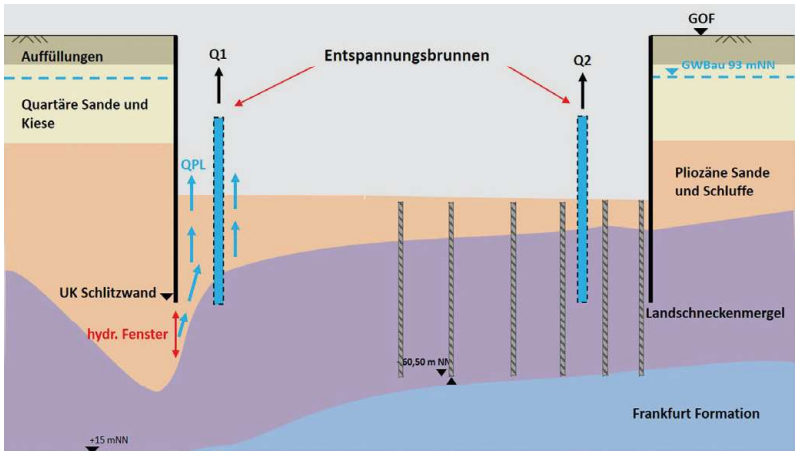


Bild 12: DB Tower – Querschnitt der Baugrube [7]

dungsmaßnahmen hervor, womit sich das Risiko der pliozänen Rinne in diesem Berechnungsbeispiel verwirklicht hat. In der Realität wurde die pliozäne Rinne durch ein detailliertes Erkundungsprogramm lokalisiert und während des Planungsvorgangs auf die vorliegenden Verhältnisse eingegangen.

4.2.2 Risikosimulationsrechnung

Die Risikosimulationsrechnung zur pliozänen Rinne soll unter Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstands zeigen, mit welchen zusätzlichen Entnahmemengen bei Eintritt dieses Risikos zu rechnen ist.

Bild 12 zeigt, dass die Verbauwand des DB Towers nicht wie geplant in den geringdurchlässigen Bodenschichten endet, sondern in einer nicht erkundeten, tieferen Rinne des Pliozäns. Hierdurch entsteht eine gewisse Leckage, durch die Grundwasser ungehindert der Baugrube zufließt. Der ermittelte Zufluss zur Baugrube beträgt rund 32 m^3/h. Bei einer Bauzeit von acht Monaten entsteht so eine zusätzlich zu fassende Gesamtmenge von 181.000 m^3.

4.2.3 Bewertung

Eine zusätzliche Menge von 181.000 m^3 bei der Verwirklichung des Risikos der pliozänen Rinne macht deutlich, welches Ausmaß das Risiko annehmen kann. Hier besteht nicht nur die Gefahr einer stark unterdimensionierten Wasserhaltung, sondern auch einer erheblichen Kostensteigerung zur Ableitung dieser Wassermengen.

Die pliozäne Rinne ist demnach ein Risiko, das weitreichende Folgen haben kann und bei Bauvorhaben im Europaviertel berücksichtigt werden sollte. Einschränken lässt sich dieses Risiko durch zusätzliche Erkundungsmaßnahmen sowie Wasserhaltungskonzepte, die bei Eintritt des Risikos über ein zusätzliches Potenzial an Fassungsvermögen verfügen. Weiter sollte bei der Herstellung des Baugrubenverbaus besonders auf das Antreffens von sandigen Schichten im Bereich der Endtiefe des Verbaus geachtet und gegebenenfalls eine Anpassung der Tiefe der Verbauwand durchgeführt werden.

4.3 Bauvorhaben Güterplatz – Planfeststellung

4.3.1 Hinweise zum Projekt

Das Teilrisiko RA 8.2 der Bemessung auf spätere Bauvorhaben der Risikoart des Planfeststellungsverfahren wurde mit einem Scoring-Ergebnis von 20 ermittelt und soll nun anhand des Bauvorhabens Güterplatz näher erläutert werden. Auf einer Gesamtfläche von rund 13.700 m^2 werden auf dem Projektgebiet Güterplatz der Wohnturm Eden mit einer Höhe von ca. 100 m, der Hotelturm The Spin mit einer Höhe von ca. 128 m sowie angrenzende Sockelbebauung realisiert (**Bild 13**).

Direkt nördlich des Projektgebiets Güterplatz ist die Stadtbahn U5 planfestgestellt. Für diese geplante Maßnahme ist eine ausgesteifte Baugrube der Station Güterplatz der Verkehrsgemeinschaft Frankfurt am Main mbH (VGF) bis in eine Tiefe von 20 m vorgesehen. Das Projektgebiet Güterplatz mit den beiden Hochhäusern liegt innerhalb des Bereichs der Planfeststellung und unterliegt einer Veränderungssperre. Der Planfeststellungsbeschluss für die Stadtbahnstation berücksichtigt die geplante Bebauung mit den beiden Hochhäusern nicht. Somit mussten die beiden Hochhäuser derart geplant werden, dass keine zusätzlichen Einwirkungen infolge Baugrube und Gründung auf die geplante Station Güterplatz erfolgen.

Die Herausforderungen bei der Verwirklichung des Bauvorhabens Güterplatz liegen in der Komplexität der Ausführung der bis zu 10,5 m tiefen Baugrube und der Kombinierten Pfahl-Plattengründungen beider Hochhäuser mit bis zu 42 m langen Gründungspfählen sowie in der erforderlichen Nachweisführung hinsichtlich möglicher Einwirkungen auf die Station Güterplatz in den verschiedenen Projektphasen. Im **Bild 14** sind die Baugrube Güterplatz und die nördlich angrenzende geplante Baugrube Station Güterplatz der VGF dargestellt.

4.3.2 Nachweise zu Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und den Auswirkungen auf die Stadtbahnstation

Die Nachweise zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für den Baugrubenverbau und die Gründung der beiden Hochhäuser sowie für die Auswirkungen auf die benachbarte Station Güterplatz wurden anhand analytischer und numerischer Berechnungen geführt. Die numerischen Simulationen wurden mittels zwei- und dreidimensionaler Finite-Elemente-Berechnungen mit dem Programmsystem Plaxis 2D/3D durchgeführt.

Die Erstellung des numerischen Modells (**Bild 15**), die Baugrundparameter sowie die Berechnungsphasen wurden in enger Abstimmung mit allen beteiligten Prüfern abgestimmt und gewählt. **Bild 16** zeigt ein Setzungsplot der Gebrauchstauglichkeitsberechnung von The Spin.

Die numerischen Untersuchungen der Auswirkungen des Bauvorhabens Güterplatz auf die geplante Station Güterplatz erfolgten mittels Plate-Elementen mit vorgelagerten Interface-Elementen. Anhand dieser Interface-Elemente konnten die Normalspannungen flächig ausgewertet werden. Ausgewertet wurde die effektive Normalspannungsverteilung σ'_N. Es wurde die Lastdifferenz des Einbaus der Verbauwand und der Phase der Gesamtlast G + Q + W – A ermittelt. Diese Auswertung der Differenzspannungen zeigte, dass sich die effektiven Normalspannungen auf die Verbauwand Station Güterplatz für die Berechnungsphasen Primärspannungszustand und Aufbringen der Gesamtlast vernachlässigbar unterscheiden.

4.3.3 Bewertung

Die Realisierung des Bauvorhabens Güterplatz hat gezeigt, dass anspruchsvolle Bauvorhaben im innerstädtischen Bereich direkt neben planfestgestellten Bereichen nicht immer nur eine Herausforderung der Bemessung und Nachweisführung sind, sondern ein vielfältiger Abstimmungsprozess unter Mitwirkung aller an der Planung, Prüfung und Genehmigung beteiligten Dritten und deren Prüfern erfolgen muss.

Auch hier konnten mithilfe der Verwendung numerischer Studien Grundlagen und Prognosen geschaffen

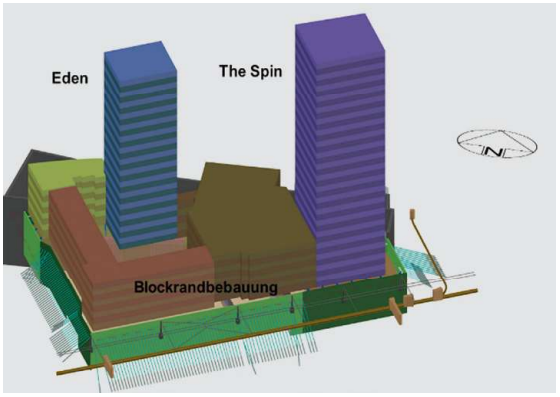


Bild 13: Bauvorhaben Güterplatz – 3D-Animation der geplanten Bebauung

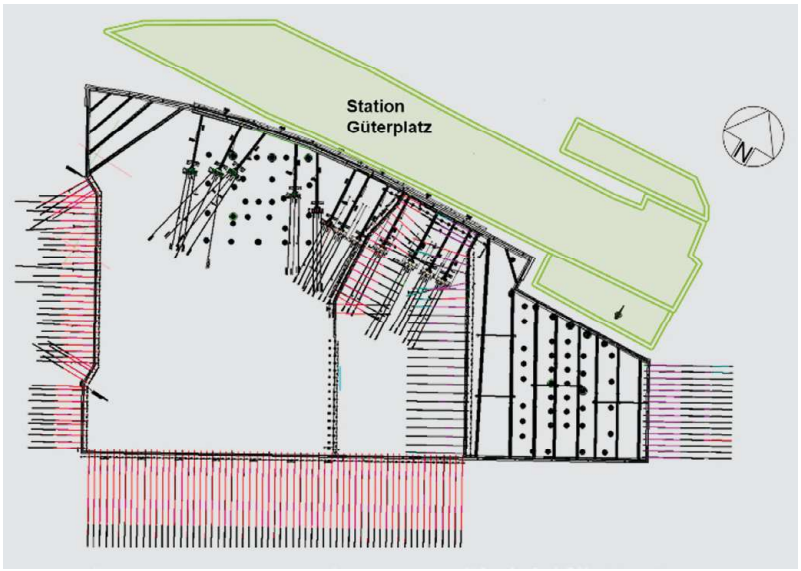


Bild 14: Bauvorhaben Güterplatz – Lageplan der Baugrube [8]

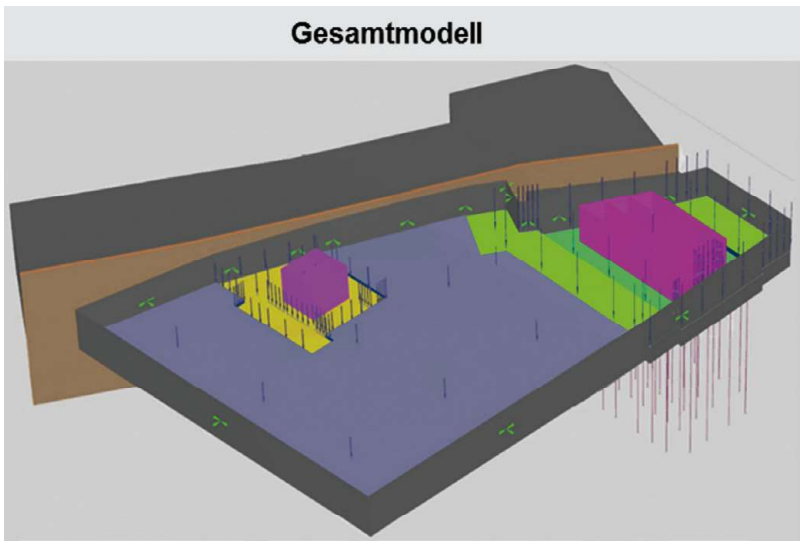


Bild 15: Bauvorhaben Güterplatz – Numerisches Gesamtmodell [8]

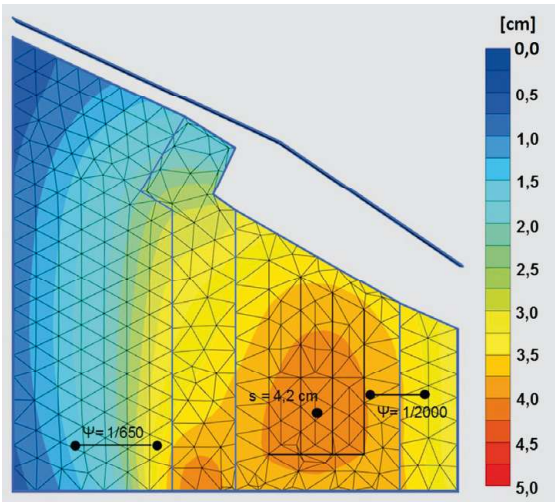


Bild 16: Bauvorhaben Güterplatz – Setzungsplot The Spin [8]

werden, die für die Durchführung und gewisse Risiken des Projekts unerlässlich sind. Die Auswertung der Veränderungen der effektiven Spannungen auf die Verbauwand der geplanten Station Güterplatz beim Bauvorhaben Güterplatz wären nicht allein anhand analytischer Berechnungen möglich gewesen. Zudem fungierten die numerischen Berechnungsergebnisse als Diskussionsgrundlage im Abstimmungsprozess und führten somit zu konstruktiven Lösungen im Planungsprozess.

5 Fazit

Gemäß der aufgeführten Definition einer geotechnischen Risikoanalyse besteht eine Risikoanalyse aus folgenden vier Komponenten:

- Risikoidentifikation
- Risikobewertung (Analyse)
- Risikosteuerung
- Risikoüberwachung

Die Risikoidentifikation erfolgt am Beispiel der Bauprojekte im Europaviertel, wobei ausschließlich auf die Risiken Bezug genommen wird, die dem Baugrund- bzw. dem Systemrisiko zugeordnet werden können.

Aufgrund der Vielzahl identifizierter Risiken wurde ein Risikokatalog erarbeitet, der die Möglichkeit bietet, alle erfassten Risiken in einer Tabelle zu bündeln, zu vergleichen und zu bewerten. Dieser Risikokatalog ist ein zentrales Dokument, da in ihm alle vier Komponenten einer Risikoanalyse zur Geltung kommen.

Die Bewertung der einzelnen Risiken erfolgt anhand eines Scoring-Ergebnisses als Produkt aus den gewichteten Werten für die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Auswirkung des Risikos. Anhand dieses Scoring-Ergebnisses konnten weitere Aussagen über die Relevanz bestimmter Risiken getroffen werden. Ein identifiziertes Risiko mit hohem Scoring-Ergebnis ist somit von besonderer Relevanz für die Risikoanalyse des Europaviertels und bedarf einer hohen Aufmerksamkeit sowie der Planung von Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos bzw. Minimierung möglicher Schäden beim Auftreten des Risikos.

Die aus dem Risikokatalog gewonnenen Erkenntnisse können anhand von Risikobeispielen und zugehörigen Risikosimulationsrechnungen mit den am höchsten bewerteten Ergebnissen aufgegriffen und nachvollziehbare Berechnungs- und Optimierungsansätze für diese Risiken dargestellt und erläutert werden. Aus den Ergebnissen solcher Risikosimulationsrechnungen können verschiedene, im Risikokatalog aufgeführte Maßnahmen resultieren, die die Wirkung des Risikos minimieren oder im Fall des Risikoeintritts den Fortbestand der Bauausführungen sicherstellen.

Die Erstellung einer Risikoanalyse für das Projektgebiet Europaviertel bot einen weitläufigen Einblick in die Risikovielfalt geotechnischer Fragestellungen bei verschiedenen Bauvorhaben. Da viele der identifizierten Risiken nicht nur im Projektgebiet, sondern unabhängig von der Lage des Bauvorhabens auftreten können, bietet es sich an, den Risikokatalog auch auf andere Bauvorhaben anzuwenden und diesen gegebenenfalls anzupassen. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Eintrittswahrscheinlichkeiten und das Schadensmaß immer in Abhängigkeit vom geplanten Bauvorhaben und den lokalen Gegebenheiten gewählt werden sollten und nicht vom Projektgebiet Europaviertel übernommen werden können.

Der Verwendung von Risikoanalysen sollte in der Geotechnik in der Zukunft wieder mehr Bedeutung zukommen. Gerade in der heutigen Zeit, in der die Planung und Durchführung von Bauvorhaben zeitlich immer enger gestrickt wird, sollte sich Zeit für eine genaue Betrachtung der Risiken, die in Zusammenhang mit dem Bauvorhaben stehen, genommen werden. Durch Risikoanalysen besteht nicht nur die Möglichkeit, die geplanten Kosten einzuhalten, sondern auch die Einhaltung der Bauzeit zu gewährleisten.

Im Vertragsverhältnis zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber kann eine Risikoanalyse gegenseitiges Verständnis für die Zuständigkeiten und Aufgaben und damit eine gute Grundlage für partnerschaftliches und zielorientiertes Bauen bilden.

6 Literaturverzeichnis

[1] Nussbaumer, M.; Klotz, U.; Reichert, D.: Risikomanagement im Spezialtiefbau – Grundsätze und Erfahrungen aus der Praxis – Vorträge der Baugrundtagung in Mainz, 2002

[2] aurelis Real Estate GmbH & Co. KG: Home - Europaviertel. URL http://www.europaviertel.de/ – Überprüfungsdatum 2018-01-07

[3] Lausberg, M.: Modell für die moderne Stadt: Europaviertel: Die letzte große Freifläche der City wird Stadtteil des 21. Jahrhunderts. URL http://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2855&_ffmpar%5B_id_inhalt%5D=7673472. – Aktualisierungsdatum: 2018 – Überprüfungsdatum 2018-03-03

[4] Stadtplanungsamt Frankfurt am Main: Planungsgeschichte, Stadtplanungsamt Frankfurt am Main. URL http://www.stadtplanungsamtfrankfurt.de/planungsgeschichte_5200.html?psid=d). – Aktualisierungsdatum: 2018 – Überprüfungsdatum 2018-01-07

[5] Kümmerle, E.; Seidenschwann, G.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000. 3., neu bearb. Aufl. Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, 1993

[6] Ziegler, M.: Risikosimulationsrechnungen – eine Möglichkeit zur Quantifizierung von Sicherheit und Risiko in der Geotechnik. Vorträge der Baugrundtagung in Mainz, 2002

[7] Meißner, S.; Kies, M.; Escher, M.; Wegerl, M.: DB Tower FFM: 13 m tiefe Baugrube mit nur einer Ankerlage unter besonderen geologischen Bedingungen. Bauen in Boden und Fels, 2020

[8] Meißner, S.; Michael, J.; Quick, H.: Zwei Hochhäuser in direkter Nachbarschaft einer geplanten U-Bahnstation. 26. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium, 2019

Maximilian Kies, M. Eng.



hat an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt Bauingenieurwesen studiert und ist seit 2018 bei Prof. Quick und Kollegen – Ingenieure und Geologen GmbH, Darmstadt, Deutschland, als Projektingenieur tätig.
Kontakt: maximilian.kies@quick-ig.de

Dr. rer. nat. Joachim Michael



ist seit 2014 Gesellschafter und Geschäftsführer der Prof. Quick und Kollegen - Ingenieure und Geologen GmbH, Darmstadt, Deutschland. Er lehrt an der Technischen Hochschule Mittelhessen Tunnelbau und Rohrvortriebsverfahren. Seine Promotion hat er an der Phillips-Universität Marburg mit Schwerpunkt Felsbruchmechanik und Tunnelbau absolviert und ist Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Grundbau, Geotechnik im Tunnelbau (IHK Darmstadt).
Kontakt: joachim.michael@quick-ig.de

Dr.-Ing. Simon Meißner



ist Gesellschafter und Geschäftsführer der Prof. Quick und Kollegen - Ingenieure und Geologen GmbH, Darmstadt, Deutschland. Dr. Meißner lehrt an den Technischen Universitäten Kaiserslautern und Darmstadt. Er ist Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger Erdbau, Grundbau, Felsbau (IHK Darmstadt), Prüfsachverständiger für Erd- und Grundbau und Mitglied im Arbeitskreis 1.6 Numerik in der Geotechnik der DGGT.
Kontakt: simon.meissner@quick-ig.de

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt



vertritt im Fachbereich Bauingenieurwesen an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt, Deutschland, die Forschungs- und Lehrgebiete Geotechnik und Tunnelbau.
Kontakt: juergen.schmitt@h-da.de

QIG

PROF. QUICK UND KOLLEGEN INGENIEURE UND GEOLOGEN GMBH

D-64295 DARMSTADT · GROSS-GERAUER WEG 1
TEL.: +49 (0) 61 51 / 13 03 6-0 · FAX: +49 (0) 61 51 / 13 03 6-10
EMAIL: OFFICE@QUICK-IG.DE · INTERNET: WWW.QUICK-IG.DE

Leistungen Grand Tower:
- Geotechnischer Bericht
- Planung, numerische Analyse und Bemessung der Gründung und Baugrube
- Mess- und Beweissicherungsprogramme
- Ausschreibung Spezialtiefbauarbeiten
- Fachbauüberwachung
- Bemessung und Begleitung der Grundwasserhaltung





Beratungsleistungen:
- Geotechnik
- Ingenieurgeologie
- Tunnelbau
- Geothermie

Prüf- und Sachverständigenleistungen:
- Prüfingenieurwesen (HPPVO, WSV)
- Sachverständigentätigkeit (ö.b.u.v. SV IHK)
- Mediations- und Schlichtungsverfahren

Projektbeispiele:
- FOUR - Frankfurt
- Tower One - Frankfurt
- BV Güterplatz - Frankfurt
- Hochhaus Baufeld 4 - Berlin
- Cube - Berlin
- GO West - Berlin
- Vitopia Kampus - Offenbach
- ABS/NBS Karlsruhe - Basel
- NBS Gelnhausen - Fulda

