

# **Stadt Landau**

## **Neugestaltung Weißquartierplatz**

### **Machbarkeitsstudie zur geplanten Tiefgarage**

Auftraggeber:                      Stadtverwaltung Landau  
    Stadtbauamt  
    Königstraße 21  
    76825 Landau in der Pfalz

Datum:                                      15.08.2019

Projektnummer:                      19/814

Seitenzahl:                              29

Anlagen:                                      7

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Problemstellung und Zielsetzung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Auszug aus den Wettbewerbsplänen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Auswertung des Bodengutachtens</b>	<b>10</b>
3.1	Aufschlüsse	10
3.2	Hydrogeologische Verhältnisse	11
3.3	Erdbebeneinstufung	12
3.4	Bodenkenngößen für den Entwurf	12
3.5	Baugrundmodell	13
3.6	Ausführungs- und Gründungsvorschläge	14
3.6.1	Gründung	14
3.6.2	Wasserhaltung in der Bauphase	14
<b>4</b>	<b>Machbarkeitsstudie</b>	<b>15</b>
4.1	Grundsätze der konstruktiven Durchbildung	15
4.1.1	Konstruktive Durchbildung der Tiefgarage	15
4.1.2	Baugrubenumschließung	16
4.1.3	Rückverankerungen, Durchsteifungen, Deckelbauweise	16
4.1.4	Wasserhaltung in der Bauphase	17
4.2	Siegerentwurf, P1	18
4.2.1	Allgemeines	18
4.2.2	Variante P1-1	18
4.2.3	Variante P1-2	18
4.2.4	Bemessungsergebnisse und ingenieurtechnische Bewertung	19
4.3	2. Platz, P2	20
4.3.1	Allgemeines	20
4.3.2	Variante P2-2	21
4.3.1	Bemessungsergebnisse und ingenieurtechnische Bewertung	21
4.4	3. Platz, P3	22
4.5	4. Platz, P4	22
4.5.1	Bemessungsergebnisse und ingenieurtechnische Bewertung	22

<b>5</b>	<b>Kostenschätzung</b>	<b>23</b>
5.1	Grundlagen	23
5.2	Entwürfe P1 und P3, zweigeschossige Tiefgarage	23
5.2.1	Massenermittlung	23
5.2.2	Kosten Tiefgarage (Kostengruppe 300+400)	24
5.2.3	Kosten Baugrubenverbau	24
5.3	Entwurf P2, automatisiertes Parksystem	24
5.3.1	Massenermittlung	24
5.3.2	Kosten Außenhülle und Decken für Parksystem (Kostengruppe 300+400)	24
5.3.3	Kosten automatisiertes Parksystem	25
5.3.4	Kosten Baugrubenverbau	26
5.4	Entwürfe P4, eingeschossige Tiefgarage	26
5.4.1	Massenermittlung	26
5.4.2	Kosten Tiefgarage (Kostengruppe 300+400)	26
5.4.3	Kosten Baugrubenverbau	26
5.5	Zusammenfassung Kostenschätzungen	26
5.5.1	Entwürfe P1 und P3, zweigeschossige Tiefgarage (160 Stellplätze)	26
5.5.2	Entwurf P2, automatisiertes Parksystem (180 Stellplätze)	27
5.5.3	Entwurf P4, eingeschossige Tiefgarage (75 Stellplätze)	27
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und weiterführende Hinweise</b>	<b>27</b>
6.1	Entwürfe P1 und P3, zweigeschossige Tiefgarage	27
6.2	Entwurf P2, automatisiertes Parksystem	28

Anlage A: Nachweise für Siegerentwurf P1

Anlage B: Nachweise für Entwurf P2

Anlage C: Nachweise für Entwurf P4

Anlage D: Auszüge aus BKI

Anlage E: vorläufiges Leistungsverzeichnis für Verbauvariante P1 und P3

Anlage F: vorläufiges Leistungsverzeichnis für Verbauvariante P2

Anlage G: vorläufiges Leistungsverzeichnis für Verbauvariante P4

# 1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Stadt Landau in der Pfalz plant die Neugestaltung des innerstädtischen Weißquartierplatzes. Hierzu fand im Jahr 2018 ein offener Ideenwettbewerb statt, dessen Ergebnisse dem weiteren Diskurs zum Umgang mit dem Weißquartierplatz selbst, aber auch zur städtebaulichen und verkehrlichen Entwicklung der benachbarten Königstraße zugeführt werden sollten. Der Schwerpunkt des Wettbewerbs lag auf dem städtebaulichen Kontext, insbesondere auf der städtebaulichen Neuordnung der bisherigen Nutzungen, der Aufwertung des öffentlichen Raumes der Verbesserung der Verkehrs- und Parkraumsituation sowie der Verbesserung der Einbindung in das innerstädtische Raumgefüge.

Als Ergebnis des Wettbewerbs wurden an vier Entwürfe Preise vergeben. Alle preisgekrönten Entwürfe gehen davon aus, dass der derzeit weitgehend als Stellfläche für PKW genutzte Platz umgestaltet und begrünt werden soll. So soll ein neuer urbaner Raum entstehen, wobei die vorgesehene Nutzung, die architektonische Gestaltung und die Art der oberirdischen Bebauung bei den in Rede stehenden Entwürfen durchaus variieren. Weiterhin ist allen Preisträgern die Idee gemeinsam, die entfallenden oberirdischen Parkplätze durch unterirdische Stellflächen zu kompensieren. Zwei Entwürfe gehen von einer konventionellen, zweigeschossigen Tiefgarage mit ca. 160 Stellplätzen aus. Ein Entwurf thematisiert den Bau einer eingeschossigen Tiefgarage mit reduzierter Stellplatzzahl, während ein weiterer Entwurf die Errichtung eines platzsparenden, automatisierten Parksystems mit 180 Stellplätzen vorschlägt.

Da der Fokus des Wettbewerbs auf städtebaulichen Fragen lag, waren Fragen der technischen Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit solcher Tiefgaragen von nachrangiger Bedeutung. Als Basis für die weitere Planung wurde die BORAPA Ingenieurgesellschaft daher mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie beauftragt, die sich insbesondere mit statisch-konstruktiven Fragen und der Herstellung befassen sollte. Außerdem sollte eine erste Grobkostenschätzung erstellt werden. Besonderes Augenmerk war auf folgende Punkte zu richten:

- Problematik des innerstädtischen Bauens im unmittelbaren Wohnbereich,
- Hohe Grundwasserstände,
- potentiell vorhandene historische Wehranlagen im Baufeld,
- Erschwernisse im Baugrund (insbesondere Bunker).

Soweit eine in den verschiedenen Entwürfen teilweise vorgeschlagene oberirdische Bebauung des Platzes die technische Machbarkeit dieser Varianten beeinflusst, wurde dies im Rahmen der zu erstellenden Studie thematisiert. Die oberirdische Bebauung selbst wurde aber nicht näher untersucht.

Als Basis für diese ersten Planungen wurde vom IBES Baugrundinstitut GmbH ein orientierendes Baugrund- und Gründungsgutachten erstellt.

## • Vorliegende Unterlagen

- Auslobung „Ideenwettbewerb zur Neugestaltung Weißquartierplatz in Landau in der Pfalz“
- Plan Bestandsaufnahme Weißquartierplatz
- Dokumentation des Wettbewerbs „offener Ideenwettbewerb zur Neugestaltung Weißquartierplatz in Landau in der Pfalz“
- Wettbewerbspläne, 1. -4. Platz als pdf
- Bodengutachten 19.206.1 der Fa. IBES vom 02.04.2019

## 2 Auszug aus den Wettbewerbsplänen

### 1. Preis (Entwurf P1)

- **Entwurf:**

faktorgrün Landschaftsarchitekten, Freiburg mit Thomas Schüler, Architekt und Landschaftsplaner, Düsseldorf

- **Technische Daten**

zweistöckige Tiefgarage in Stahlbetonbauweise

Grundfläche: ca.  $35 \times 72 = 2.520 \text{ m}^2$   
160 Stellplätze

Gründungstiefe: ca. 7 – 8 m unter GOK (136,0 – 135,0 mNN)  
einschließlich Erdüberschüttung für Bepflanzung





Grundriss der Tiefgarage (M 1:500)

## 2. Preis (Entwurf P2)

- **Entwurf**

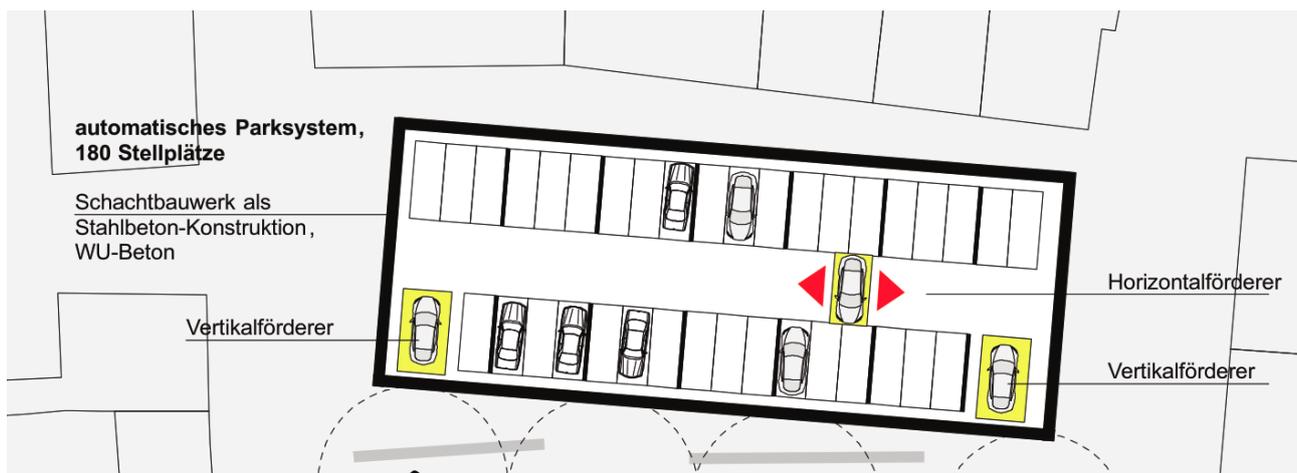
Michael Stoß, Architekt, Berlin

- **Technische Daten**

5-stöckige Tiefgarage als automatisches Parksystem

Grundfläche: ca. 20x50 m = 1.000 m<sup>2</sup>  
180 Stellplätze

Gründungstiefe: ca. 14 m unter GOK (129,0 mNN)



### 3. Preis (Entwurf P3)

- **Entwurf:**

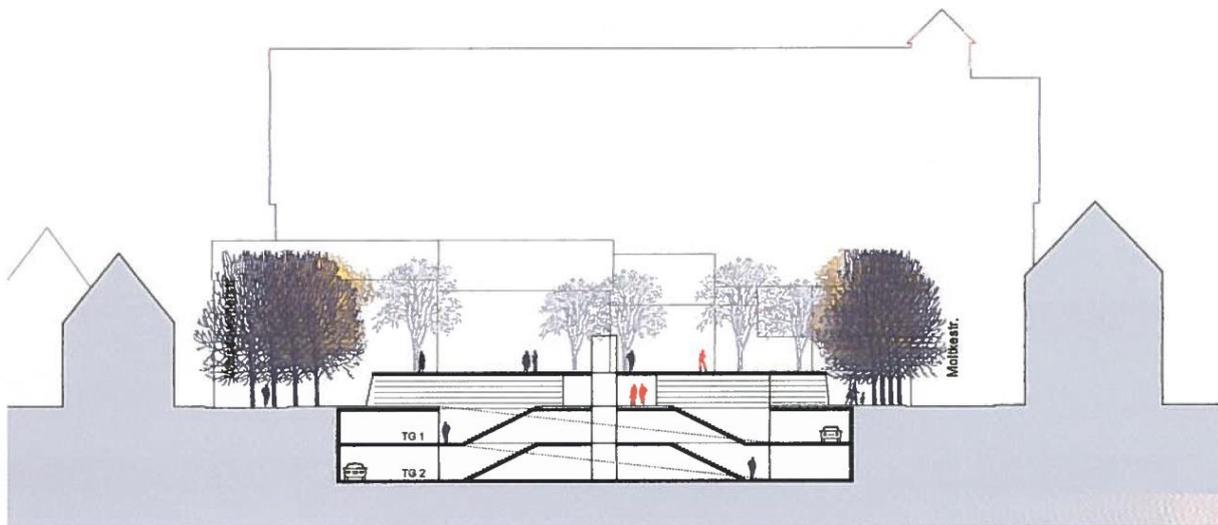
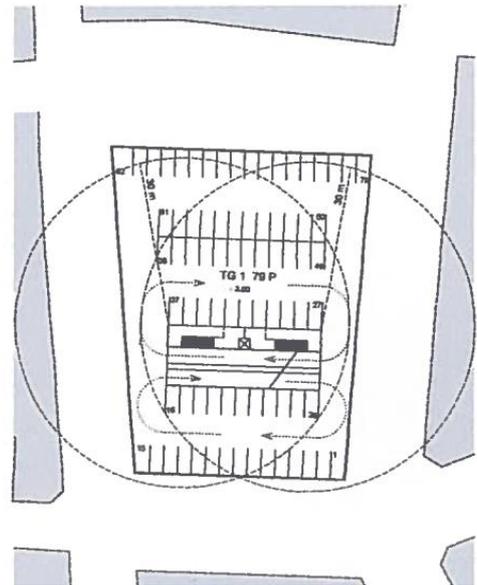
Helmut Mack, Architekt, Fellbach mit  
Hannes Stahlecker, Landschaftsarchitekt und Stadtplaner

- **Technische Daten**

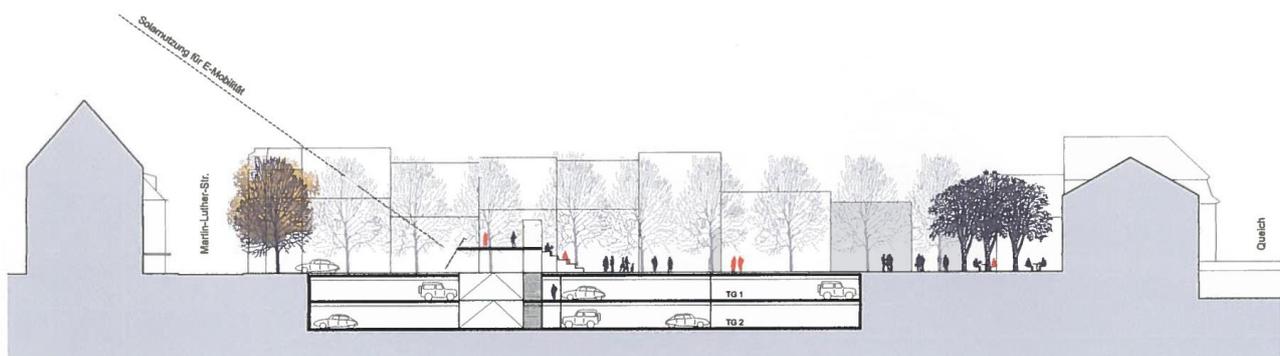
2-stöckige Tiefgarage mit 158 Parkplätzen

Grundfläche: ca. 58x42 (i.m) = 2.436 m<sup>2</sup>  
160 Stellplätze

Gründungstiefe: ca. 6 - 7 m unter GOK  
(137,0 – 136,0 mNN)  
(keine Erdüberschüttung)



SCHNITT O-W M 1:200



SCHNITT N-S M 1:200

#### 4. Preis (Entwurf P4)

- **Entwurf:**

ARGE Gassmann-Thiele  
Gerd Gassmann, Architekt, Karlsruhe mit  
Thomas Thiele, Architekt, Gundelfingen  
faktorgrün Landschaftsarchitekten, Freiburg

- **Technische Daten**

1-geschossige Tiefgarage mit unbekannter Stellplatzzahl

Grundfläche: ca. 40x80 m  
75 Stellplätze

Gründungstiefe: ca. 4 m unter GOK  
(139,0 mNN)  
(keine Erdüberschüttung)



Querschnitt "großer" Weißquartierplatz M1\_200



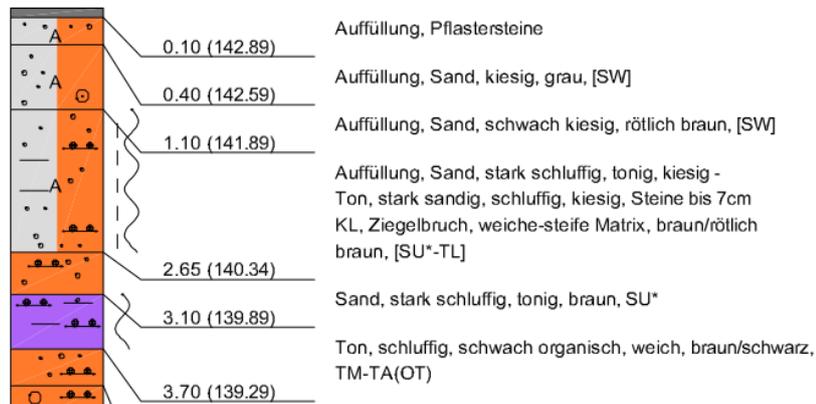
Querschnitt "kleiner" Weißquartierplatz M1\_200

### 3 Auswertung des Bodengutachtens

#### 3.1 Aufschlüsse

##### Auffüllung und Decklehm

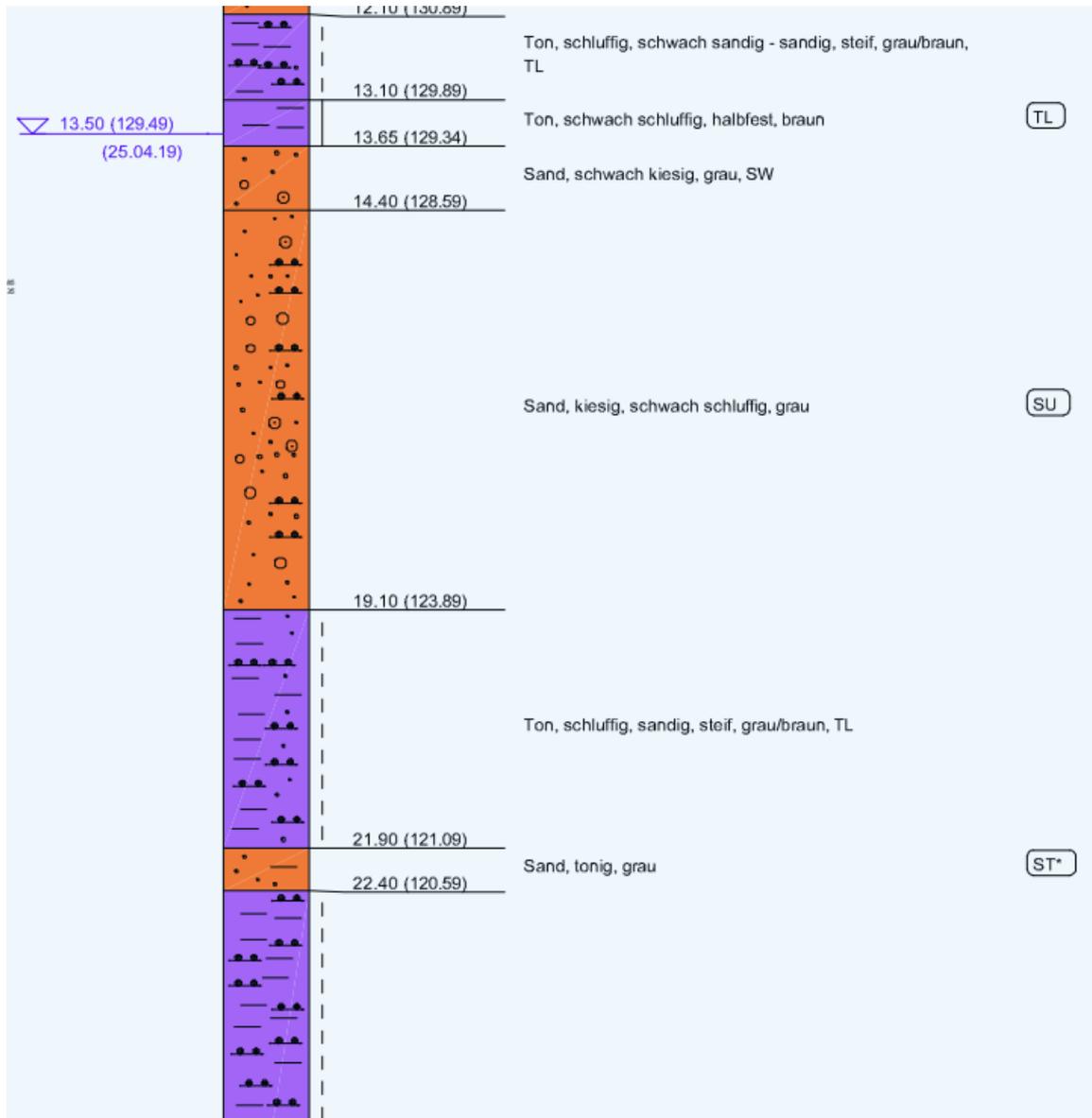
142,99 mNN



##### Decklehm, Sande + Kiessande, toniger Zwischenhorizont



## Unterlagernde Sande und Tone



## 3.2 Hydrogeologische Verhältnisse

### • Grundwasser

Besondere hydrogeologische Situation mit zwei Grundwasserstockwerken

- ⇒ oberer Grundwasserleiter (OGWL):
- Basis: 130,9 mNN (-12,1 mGOK)
  - GW-Stand: 138,3 mNN (-4,71 mGOK)
  - Schwankungsbereich: 1,2 bis 1,5 m
  - Ansatz: 139,1 mNN bzw. -3,9 mGOK
- ⇒ Unterer Grundwasserleiter (UGWL):
- Basis: 123,9 mNN (-19,1 mGOK)
  - GW-Stand: 137,3 mNN (-5,68 mGOK)
  - Schwankungsbereich: offen
  - Ansatz: offen

• **Grundwasseranalyse:**

Kalkaggressive Kohlensäure vorhanden mit schwankendem Gehalt,  
 Einstufung: Nicht betonangreifend bzw. schwach betonangreifend → Expositionsklasse XA1

**3.3 Erdbebeneinstufung**

Erdbebenzone 1

Geologische Untergrundklasse S

Baugrundklasse C

**3.4 Bodenkenngrößen für den Entwurf**

**Tabelle 1: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen**

Schichtkomplex	Bodenart <sup>1)</sup>	DIN 18196	Konsistenz / Lagerung	$\gamma_k (\gamma')$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
(1) Auffüllungen	kiesige Sande	[SW]	locker	18 (8)	32,5	0	30-40
	feinkornreiche Sande – stark sandige Tone	[SU*], [SU*-TL]	locker / weich -steif	19 (9)	30,0	0-2	10-15
(2) Deck-/Auenlehme	stark schluffige, tonige Sande	SU*	sehr locker	18 (8)	30,0	0	10-15
	Schluffige, schwach organische Tone	TM-TA (OT)	weich	18 (8)	22,5	2-5	2-3
(3) Sande und Kiessande	kiesige Sande bzw. sandige Kiese; teilw. schwach schluffig	SE, SE-SU, SW-SU, SU, GW-GU, GU	mitteldicht	20 (10)	37,5	0	40-50
			dicht	21 (11)			50-60
			sehr dicht	22 (12)			70-80
(3) feinkornreiche Sande und Schluffe	schwach schluffige, schwach tonige Sande bzw. (sandige, kiesige Schluffe)	SU*(, UL)	mitteldicht / steif	20 (10)	27,5	0-3	8-15
(4) toniger Zwischenhorizont	schluffige, sandige Tone	TL	steif	20 (10)	27,5	3-6	5-8
			halbfest	21 (11)		6-8	8-12
(5) Sande	(schwach) kiesige, schwach schluffige Sande	SW, SU	sehr dicht	22 (12)	37,5	0	80-90
(6) Tone	schluffige, teilw. sandige Tone	TL, TA	steif	20 (10)	22,5	5-15	6-10
			halbfest	21 (11)	22,5	8-20	8-15
(6) tonige Sande	tonige Sande	ST*	dicht (halbfest)	21 (11)	30	0-3	30

$\gamma_k (\gamma')$  Wichte (Wichte unter Auftrieb)

$c'$  effektiver Wert für die Kohäsion

$\phi'$  effektiver Wert für den Reibungswinkel

$E_{s,k}$  charakteristischer Wert für die Steifeiffer

<sup>1)</sup> Nebenbestandteile, die bei der Vergabe der Kenngrößen unbedeutend sind, sind in dieser Spalte nicht mit aufgeführt.

### 3.5 Baugrundmodell

GOK:	ca. 143,00 mNN	0,00 mGOK
Auffüllungsböden:	143,0 bis 140,3 mNN locker gelagert bzw. weich-steife Konsistenz eingeschränkte Tragfähigkeit $\varphi = 30^\circ$ $c = 0$ $\gamma/\gamma' = 19/9 \text{ kN/m}^3$	0,00 /-2,70 mGOK
Decklehme:	140,3 bis 139,3 mNN hoher Feinkorngehalt, weiche Konsistenz, hoher Anteil an organischen Stoffen, sehr eingeschränkte Tragfähigkeit $\varphi = 22,5^\circ$ $c = 3 \text{ kN/m}^2$ $\gamma/\gamma' = 18/8 \text{ kN/m}^3$	-2,70/-3,70 mGOK
Sande und Kiessande:	139,3 bis 130,9 mNN mitteldicht bis sehr dicht gelagert gut tragfähig $\varphi = 35^\circ$ $c = 0$ $\gamma/\gamma' = 21/11 \text{ kN/m}^3$ (die geringmächtige schluffige Zwischenlage wird vernachlässigt)	-3,70/-12,1 mGOK
Toniger Zwischenhorizont:	130,9 bis 129,4 mNN steife bis halbfeste Tone eingeschränkte Tragfähigkeit $\varphi = 27,5^\circ$ $c = 5 \text{ kN/m}^2$ $\gamma/\gamma' = 21/11 \text{ kN/m}^3$	-12,1/- 13,6 mGOK
Sande:	129,4 bis 123,9 mNN sehr dicht gelagert gute Tragfähigkeit $\varphi = 37,5^\circ$ $c = 0$ $\gamma/\gamma' = 22/12 \text{ kN/m}^3$	-13,6/-19,1 mGOK
Tone:	123,9 bis 112,6 mNN steif bis halbfest gute Tragfähigkeit $\varphi = 22,5^\circ$ $c = 8 \text{ kN/m}^2$ $\gamma/\gamma' = 21/11 \text{ kN/m}^3$	-19,1/-30,4 mGOK
OGWL:	Basis: 130,9 mNN GW-Stand: 139,1 mNN	(-12,1 mGOK) (-3,9 mGOK)
UGWL (gespannt):	Basis: 123,9 mNN GW-Stand: 137,3 mNN (noch zu überprüfen)	(-19,1 mGOK) (-5,7 mGOK)

## **3.6 Ausführungs- und Gründungsvorschläge**

### **3.6.1 Gründung**

Bei beiden Varianten liegt die Gründungssohle im Bereich gut tragfähiger Sande und Kiessande. Da die resultierende Bodenbelastung unter Berücksichtigung der Aushubentlastung gering ist, wird die Gründung des Bauwerks auf einer ausreichend dicken Bodenplatte kein Problem darstellen. Tiefgründungen (Bohrpfähle, Mikropfähle) sind im Endzustand nicht erforderlich, soweit die Auftriebssicherheit gewährleistet ist.

### **3.6.2 Wasserhaltung in der Bauphase**

Da beide Varianten stark in das Grundwasser einschneiden, scheidet eine offene Wasserhaltung grundsätzlich aus.

Bei einer fünfgeschossigen Tiefgarage (Entwurf P2) liegt die Gründungssohle weit unter dem natürlichen Horizont des OGWL. Außerdem wird der Trennhorizont zwischen OGWL und UGWL durchstoßen. Eine Grundwasserabsenkung (Vollabsenkung für den OGWL, Teilabsenkung für den UGWL) wäre technisch sehr aufwändig und mit einem hohen Risiko für Setzungsschäden in der Nachbarbebauung verbunden. Zudem ist die Genehmigungsfähigkeit einer solchen Maßnahme zumindest fragwürdig.

In abgeschwächter Form gelten diese Ausführungen auch für die zweigeschossigen Tiefgaragen der Entwürfe P1 und P2. Hier müsste allerdings nur der OGWL abgesenkt werden. Das Setzungsrisiko müsste im Zuge der weiteren Planung durch weitere Untersuchungen näher untersucht werden.

Aus ingenieurgeologischer und auch aus ingenieurtechnischer Sicht ist unter den hier vorliegenden Randbedingungen eine wasserdichte Baugrube zu favorisieren. Prinzipiell sind hier zwei Varianten denkbar:

- a) Ausführung einer wasserdichten Baugrubenumschließung mit WU-Unterwasserbetonsohle
- b) Ausführung einer wasserdichten Baugrubenumschließung bis in die wasserdichten Tone (120,6 mNN bzw. 22,4 mGOK)

Der tonige Zwischenhorizont in ca. 130,0 mNN (-13,0mGOK) ist zu geringmächtig, um eine Abdichtfunktion zu erfüllen.

## 4 Machbarkeitsstudie

### 4.1 Grundsätze der konstruktiven Durchbildung

#### 4.1.1 Konstruktive Durchbildung der Tiefgarage

Alle Ausführungsvarianten binden mehr oder weniger tief in das Grundwasser ein. Sie müssen daher als wasserdichte Konstruktionen ausgeführt werden. Üblicherweise wird hier eine Ausführung als so genannte Weiße Wanne gewählt. Dieses Konstruktionsprinzip wurde auch der vorliegenden Machbarkeitsstudie zugrunde gelegt. Für die Dichtigkeit müssen vom Bauherrn Kriterien vorgegeben werden. Üblich ist für Tiefgaragen eine Regelung auf der Basis der „WU-Richtlinie“ (Anforderungsklasse B, Grenzzrissbreiten und Wanddicken in Abhängigkeit vom Wasserdruck).

Denkbar ist aber auch eine Ausführung mit einer außenliegenden Abdichtung (schwarze oder braune Wanne).

Weiterhin ist es prinzipiell möglich, die Baugrubenumschließung als Teil des endgültigen Bauwerks zu nutzen. In diesem Fall muss sichergestellt werden, dass die Baugrubenumschließung selbst, aber auch der Anschluss der Bodenplatte und der Deckenplatten dauerhaft wasserdicht und tragfähig ist. Zumindest in Deutschland ist es aber üblich, die Baugrubenumschließung und das endgültige Bauwerk konstruktiv voneinander zu trennen. Dieses Konstruktionsprinzip wird daher auch der Machbarkeitsstudie zugrunde gelegt.

Bei den ein- bzw. zweigeschossigen Tiefgaragenvarianten liegt die Gründungssohle im Bereich gut tragfähiger Sande und Kiessande. Da die resultierende Bodenbelastung unter Berücksichtigung der Aushubentlastung gering ist, wird die Gründung des Bauwerks auf einer ausreichend dicken Bodenplatte kein Problem darstellen. Tiefgründungen (Bohrpfähle, Mikropfähle) sind im Endzustand nicht erforderlich, soweit die Auftriebssicherheit gewährleistet ist.

Bei der Bemessung der Sohlplatte sind die beim Nachweis gegen Aufschwimmen angesetzten Einwirkungen zu berücksichtigen, wobei zwischen Bauzustand und Endzustand zu unterscheiden ist. Dabei sind ggf. ungleichmäßige Verteilungen des Auftriebs (z. B. bei Versprüngen der Sohle) und der Eigengewichtslasten zu berücksichtigen.

Für die aufgehenden Wände ist nachzuweisen, dass die Wasserdrücke und ggf. Erddrücke aufgenommen werden können. Für weiße Wannen ist außerdem ein Dichtigkeitsnachweis auf der Basis der WU-Richtlinie zu führen.

Die Deckenplatten müssen neben ihrem Eigengewicht die Verkehrslasten aus den Fahrzeugen sowie – soweit keine Daueranker zum Einsatz kommen – die Stabilisierungslasten aus Erddruck aufnehmen.

Soweit für einen genaueren Auftriebsnachweis Scherkräfte zwischen der Baugrubenwand und dem Boden beim Nachweis der Sohlplatte gegen Aufschwimmen in Anspruch genommen wurden, ist natürlich auch der Anschluss zwischen der Bauwerkssohle und den Baugrubenwänden entsprechend zu konstruieren und zu bemessen. Zu bedenken sind auch die Auswirkungen der Scherkräfte auf die Biegemomente der Sohlplatte.

#### 4.1.2 Baugrubenumschließung

Da eine bauzeitliche Grundwasserabsenkung gemäß Bodengutachten ausscheidet, muss die Baugrube wasserdicht ausgeführt werden. Hierfür kommen prinzipiell die folgenden Konstruktionen in Betracht:

- ⇒ Spundwand
- ⇒ Überschnittene Bohrpfahlwand
- ⇒ Schlitzwand

Für die Ausführung einer Spundwand ist eine ausreichende Rammbarkeit des Baugrunds erforderlich. Gemäß Bodengutachten ist diese aber in den dicht gelagerten Sanden nur bedingt gegeben, so dass vermutlich Auflockerungs- oder Austauschbohrungen erforderlich werden. Es wird wohl schwierig sein, eine Spundwand bis in die unterliegenden Tonschichten zu führen, falls dies für die Wasserhaltung erforderlich ist. Hinzu kommt, dass im Baufeld wohl mit Rammhindernissen zu rechnen ist. Schließlich sind Rammungen mit im Vergleich zu Bohrungen relativ großen Erschütterungen verbunden, was im innerstädtischen Bereich und baugrubennaher Bebauung als problematisch zu bewerten ist.

Das Einbringen von Bohrpfählen oder Schlitzwänden ist dagegen mit deutlich weniger Erschütterungen verbunden.

Soweit Schlitzwände in Betracht kommen, müssen diese eine ausreichende Dicke aufweisen, damit möglichst nur eine Ankerlage erforderlich wird. Außerdem benötigt der Maschinenpark für Einbau und Aufbereitung der Stützsuspension des Schlitzes ein großes Baufeld, das im innerstädtischen Bereich schwierig zu realisieren sein dürfte. Schließlich gilt auch für Schlitzwände, dass Hindernisse im Baufeld das Abteufen des Schlitzes zumindest stark erschweren.

Im Rahmen der Parameterstudie wird daher für alle TG-Varianten von einer überschnittenen Bohrpfahlwand als Baugrubenumschließung ausgegangen. Damit ist es möglich, selbst Bohrhindernisse aus Beton zu durchhörern.

#### 4.1.3 Rückverankerungen, Durchsteifungen, Deckelbauweise

Für die mehrgeschossigen Varianten müssen die Baugrubenwände mit vorgespannten Verpressankern oder Verpresspfählen rückverankert werden. Dabei ist zwischen Temporärankern und Dauerankern zu unterscheiden.

Soweit die Rückverankerungen nur in der Bauzeit wirksam sein sollen, muss das fertiggestellte Bauwerk sowohl Erd- als auch Wasserdrucklasten aufnehmen. Wenn Daueranker ausgeführt werden, muss das Bauwerk dagegen im Endzustand nur für Wasserdrucklasten ausgelegt werden.

Die erste Ankerlage sollte so angeordnet werden, dass keine Leitungen, Kanäle o.ä. beim Bohren beschädigt werden können. Weiterhin ist zu beachten, dass das Einbringen von Rückverankerungen in Nachbargrundstücken einer nachbarschaftlichen Zustimmung bedarf. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wird – soweit dies möglich ist - die Länge der Anker so gewählt, dass keine Nachbargrundstücke betroffen sind.

Wenn auf Rückverankerungen verzichtet werden soll, ist es prinzipiell denkbar, die Baugrubenwände durchzusteiern oder über Bockkonstruktionen in der Baugrube zu stabilisieren. Dies ist aber konstruktiv aufwändig und kostenintensiv, zudem wird dadurch der Bauablauf

erheblich beeinflusst. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden solche Lösungen daher nicht weiter verfolgt.

Eine in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht interessante Herstellalternative ist die Deckelbauweise. Dabei werden zunächst die Baugrubenumschließung und die so genannten Primärstützen hergestellt. Danach erfolgt ein erster Aushub, um die oberste Deckenplatte betonieren zu können. Danach erfolgt der weitere Aushub und die Betonage der weiteren Deckenplatten, bis die Endtiefe erreicht ist und die Bodenplatte betoniert werden kann. Bei dieser Bauweise (von oben nach unten) können die Deckenscheiben zur Aussteifung der Baugrubenumschließung herangezogen werden, woraus sich eine wirtschaftliche Ausführung der Baugrubenumschließung ergeben kann.

Da die Deckelbauweise ein komplexes Bauverfahren darstellt, dessen Wirtschaftlichkeit von vielen Randbedingungen abhängt und stark vom fachlichen Können der ausführenden Firma abhängt, wird diese Variante im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht weiter verfolgt.

Zudem ist nach Auswertung der vorliegenden Planunterlagen nicht davon auszugehen, dass bei Ankerlagen unterhalb von  $-2,0$  mGOK und Ankerneigungen  $> 20^\circ$  Versorgungsleitungen und Kanäle Bohrhindernisse darstellen.

#### **4.1.4 Wasserhaltung in der Bauphase**

Da beide Varianten stark in das Grundwasser einschneiden, scheidet gemäß Bodengutachten eine offene Wasserhaltung in der Baugrube ohne sonstige bauliche Maßnahmen grundsätzlich aus.

Beim 2. Platz liegt die Gründungssohle weit unter dem natürlichen Horizont des OGWL. Außerdem wird der Trennhorizont zwischen OGWL und UGWL durchstoßen. Eine Grundwasserabsenkung (Vollabsenkung für den OGWL, Teilabsenkung für den UGWL) wäre technisch sehr aufwändig und mit einem hohen Risiko für Setzungsschäden in der Nachbarbebauung verbunden. Zudem ist die Genehmigungsfähigkeit einer solchen Maßnahme zumindest fragwürdig.

In abgeschwächter Form gelten diese Ausführungen auch für die übrigen Preisträger. Hier müsste allerdings nur der OGWL abgesenkt werden. Das Setzungsrisiko müsste im Zuge der weiteren Planung durch weitere Untersuchungen näher untersucht werden.

Aus ingenieurgeologischer und auch aus statisch-konstruktiver Sicht ist unter den hier vorliegenden Randbedingungen eine wasserdichte Baugrube zu favorisieren. Diese Lösung wird im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie weiter verfolgt.

Im vorliegenden Fall sind zur Realisierung einer wasserdichten Baugrube insbesondere die folgenden Varianten denkbar:

- c) Ausführung einer wasserdichten Baugrubenumschließung mit WU-Unterwasserbetonsohle,
- d) Ausführung einer tief liegenden Dichtsohle (Weichgelsohle) als temporärer Dichthorizont,
- e) Ausführung einer wasserdichten Baugrubenumschließung bis in die wasserdichten Tone (120,6 mNN bzw. 22,4 mGOK).

Der tonige Zwischenhorizont in ca. 130,0 mNN (-13,0mGOK) ist zu geringmächtig, um eine Abdichtfunktion zu erfüllen.

## 4.2 Siegerentwurf, P1

### 4.2.1 Allgemeines

Im Siegerentwurf soll eine konventionelle zweigeschossige Tiefgarage mit einer Grundfläche von ca. 35x72 m, einer Bruttobauhöhe von ca. 6,5 m und einer Erdüberschüttung von ca. 1,5 m ausgeführt werden. Die Unterkante der Bodenplatte liegt damit ca. 8 m unter GOK (135 mNN).

Die Baugrubensohle liegt damit in den gut tragfähigen Sanden/Kiessanden oberhalb des tonigen Zwischenhorizonts. Es wird nur der obere Grundwasserleiter angeschnitten.

Es werden zwei Varianten untersucht:

P1-1: Rückverankerte Bohrpfahlwand, Horizontalabdichtung durch Unterwasserbetonsohle

P1-2: Rückverankerte Bohrpfahlwand bis in die unterlagernde Tonschicht, keine wasserdichte Unterwasserbetonsohle erforderlich.

### 4.2.2 Variante P1-1

- **Herstellungsschritte:**

1. Einbringen der wasserdichten überschnittenen Bohrpfahlwand in statisch erforderlicher Länge,  $L = 12 \text{ m}$ ,
2. Aushub bis ca. 3,50 m unter GOK (oberhalb des oberen GW-Spiegels),
3. Einbringen der ersten Ankerlage in ca. 3,00 m unter GOK,
4. Aushub im Grundwasser bis Endtiefe 8,0 m unter GOK,
5. Einbau einer wasserdichten Unterwasserbetonsohle,
6. Lenzen der Baugrube,
7. Errichten der aufgehenden Bauteile im Schutz der wasserdichten Baugrube.

Kritisch ist bei diesem Bauablauf die Auftriebssicherheit der Bodenplatte im Bauzustand, wenn noch keine Lasten aus den aufgehenden Bauteilen vorhanden sind. Damit sind folgende Konstruktionen denkbar:

- a) Ausbildung einer rückverankerten Unterwasserbetonsohle,
- b) Ausbildung einer ausreichend dicken Bodenplatte, Auftriebssicherheit durch Eigengewicht, ggf. in Verbindung mit einer moderaten, temporären GW-Absenkung,
- c) Einbau einer Weichgelsohle als (temporäre) Horizontalabdichtung.

Ein detaillierter Ausdruck der überschläglichen Standsicherheitsnachweise sind Anlage A zu entnehmen.

### 4.2.3 Variante P1-2

- **Herstellungsschritte:**

1. Einbringen der wasserdichten überschnittenen Bohrpfahlwand bis in den unterlagernden dichtenden Ton,  $L = 22 \text{ m}$ ,
2. Aushub bis ca. 3,50 m unter GOK (oberhalb des oberen GW-Spiegels),
3. Einbringen der ersten Ankerlage in ca. 3,00 m unter GOK,
4. Aushub und Lenzen der Baugrube bis Endtiefe 8,0 m unter GOK,
5. Errichten der aufgehenden Bauteile im Schutz der wasserdichten Baugrube.

Bei dieser Ausführungsvariante stellt die Auftriebssicherung im Bauzustand kein Problem dar. Eine rückverankerte Bodenplatte oder die Ausbildung einer Weichgelsohle ist nicht erforderlich. Es ist lediglich eine baugrubenseitige Wasserhaltung zur Ableitung von Sicker- und Oberflächenwasser vorzusehen. Für die Nachweise der Bohrpfahlwand gelten die Berechnungsergebnisse der Variante P1-1 uneingeschränkt. Die Bohrpfahlwand wird lediglich über das statisch erforderliche Maß hinaus bis zur unterliegenden Tonschicht geführt.

#### 4.2.4 Bemessungsergebnisse und ingenieurtechnische Bewertung

Einfach rückverankerte überschnittene Bohrpfahlwand, wasserdicht

Baugrubentiefe 8,0 m

Pfahldurchmesser:  $\varnothing = 90 \text{ cm}$

Pfahlabstand (bewehrte Pfähle): 150 cm

Beton: C30/37

Bewehrung: BSt 500 B

erf.  $a_s = 28,7 \text{ cm}^2$  / (Umfangsbewehrung)

z.B  $\varnothing 25/15 \text{ cm}$

Ankerlage: -2,00 m GOK

Ankerneigung:  $\alpha = 30^\circ$

Ankerabstand:  $a = 1,50 \text{ m}$

Ankerkraft:  $A_{hg,k} = 177 \text{ kN/m}$        $A_{hq,k} = 67 \text{ kN/m}$

$A_{h,d} = 327 \text{ kN/m}$        $A_d = 327/\cos 30 = 378 \text{ kN/m}$

$A_d = 1,5 \times 378 = 567 \text{ kN je Anker}$

Lage Verpresskörper: Sand + Kiessande

Grenzmantelreibung  $q_{s,k} = 0,32 \text{ MN/m}^2$  (Mittelwert)

$q_{s,d} = 0,32/1,1 = 0,29 \text{ MN/m}^2$

Ankerlänge: 11,20 m

Verpresskörper:  $d_A = 11,4 \text{ cm}$      $u_A = 35,8 \text{ cm}$

Länge Verpresskörper:  $l_A = 0,567/(0,29 \times 0,358) = 5,46 \text{ m}$

Länge bis Ende Verpresskörper:  $L_{\text{Brutto}} = 11,20 + 5,46/2 = 13,93 \text{ m}$

Unterwasserbetonsohle erf.  $h = 2,30 \text{ m}$       ohne Grundwasserabsenkung

unverankert: erf.  $h = 1,80 \text{ m}$       Grundwasserabsenkung auf 137,5 mNN

Unterwasserbetonsohle, erf.  $h = 1,20 \text{ m}$

rückverankert: GEWI-Pfähle  $\varnothing 75 \text{ mm}$ ,  $L = 6,0 \text{ m}$ , Raster  $4,0 \times 4,0 \text{ m}$ ,

Weichgelsohle: Lage: 130 mNN

Dicke: 1,00 m

Die Variante P1-2 bietet in statisch-konstruktiver Hinsicht erhebliche Vorteile, da hier die wasserdichte Baugrubenumschließung in Verbindung mit der unterlagernden Tonschicht eine ausreichende bauzeitliche Wasserdichtigkeit bietet. Auf die Rückverankerung der Bodenplatte, die Erhöhung der Bodenplattendicke oder die Ausbildung einer Weichgelsohle kann dann verzichtet werden. Allerdings ist hier die wasserrechtliche Genehmigungsfähigkeit abzuklären, da

hier beide Grundwasserhorizonte zumindest temporär, u.U. aber auch dauerhaft abgesperrt werden, wodurch die Lage des Grundwasserspiegels im Bauwerksbereich beeinflusst wird.

Soweit die Variante P1-2 nicht genehmigungsfähig ist, sollte bei der Variante P1-1 entweder die Bodenplatte ausreichend dick ausgeführt oder eine Weichgelsohle als Dichthorizont vorgesehen werden. Der Einbau von Rückverankerungen für die bei Variante P1-1 erforderliche Unterwasserbetonsohle ist für den Endzustand nicht erforderlich und damit im Vergleich zu den anderen Varianten vermutlich unwirtschaftlich.

Insgesamt ist die Herstellung einer zweigeschossigen Tiefgarage unter dem Weißquartierplatz eine ingenieurtechnisch zwar anspruchsvolle Aufgabe, aber vor dem Hintergrund der derzeit vorhandenen Informationen über den Baugrund ohne größere Schwierigkeiten lösbar.

Gewisse ausführungstechnische Probleme könnten sich aus Bohrhindernissen im Untergrund ergeben, die zwar prinzipiell bekannt, in ihrer genauen Lage aber noch nicht detektiert sind.

### **4.3 2. Platz, P2**

#### **4.3.1 Allgemeines**

Der 2. Platz sieht ein automatisiertes Parksystem mit 5 Parkebenen vor. Die Grundrissabmessungen betragen ca. 20x50 m, die Bruttobauhöhe ca. 14,00 m.

Die Baugrube durchörtert damit den als Trennschicht wirkenden tonigen Zwischenhorizont und schneidet den unteren Grundwasserleiter an.

Anders als bei dem Siegerentwurf P1 ist wegen der großen Tiefe das Eigengewicht der Konstruktion zur Sicherung gegen Auftrieb im Endzustand nicht ausreichend, so dass eine dauerhafte Rückverankerung der Bodenplatte erforderlich ist.

Aufgrund der großen Baugrubentiefe wird außerdem eine mehrlagige Rückverankerung der Baugrubenwände erforderlich sein. Die erste Ankerlage liegt noch oberhalb des GW-Spiegels und kann damit problemlos nach entsprechendem Erdaushub eingebaut werden. Die übrigen Ankerlagen liegen dagegen unterhalb des GW-Spiegels. Für deren Einbau muss der Wasserspiegel mit fortschreitendem Aushub auf der Baugrubenseite abgesenkt werden. Dies erfordert die Realisierung einer horizontalen Abdichtungsebene vor Erreichen des Endaushubs. Hierzu sind prinzipiell zwei Alternativen denkbar:

P2-1: Führen der vertikalen Abdichtungsebene bis in die abdichtenden Tone  
(-19,1 mGOK bzw. 123,9 mNN).  
Aushubtiefe: ca. 14 m  
Verbauwandhöhe: ca. 21 m

P2-2: Ausbilden einer tiefliegenden Weichgelsohle in den Sanden/Kiessanden  
Aushubtiefe: ca. 14 m  
erforderliche Lager der Weichgelsohle: 117,5 mNN bzw. 25,5 m unter GOK  
(aus Auftriebsnachweis, s. Anlage)  
Verbauwandhöhe: ca. 26 m

Die Nachweise zeigen, dass die Weichgelsohle zur Sicherung des Auftriebs sehr tief im Baugrund, d.h. in der unterlagernden Tonschicht liegen müsste. In dieser Schicht ist die Herstellung einer Weichgelsohle technisch zum einen wohl nicht möglich, zum anderen aber auch widersinnig, da diese Schicht ohnehin als Abdichtebene wirken kann. Die Variante P2-2 wird nicht weiter betrachtet.

### 4.3.2 Variante P2-1

Die Ausführung der Variante P2-1 kann damit wie folgt beschrieben werden:

1. Einbringen einer wasserdichten überschnittenen Bohrfahlwand/Schlitzwand, L = 21,0 m
2. Aushub bis ca. 3,50 m unter GOK (oberhalb des oberen GW-Spiegels)
3. Einbringen der 1. Ankerlage in ca. 3,00 m unter GOK
4. Lenzen der Baugrube
5. Erdaushub und Einbau der übrigen Ankerlagen bei baugrubenseitig abgesenktem Wasserspiegel (Schritte 5/6 ggf. sukzessive)
6. Errichten der aufgehenden Bauteile im Schutz der wasserdichten Baugrube

Da automatisierte, palettengestützte Parksysteme nach jetzigem Kenntnisstand einen durchgängigen Baukörper ohne Zwischendecken benötigen, müssen die Außenwände sowohl im Bau- als auch im Endzustand durch Anker ausgesteift werden. Diese müssen damit als Daueranker ausgeführt werden.

Beim palettenlosen System „CUBILE“ der Fa. Lödige sind nach derzeitigem Kenntnisstand Stahlbetondecken vorgesehen (s. Werbetrailer). In diesem Fall könnten die Decken im Endzustand die Aussteifung sicherstellen, sodass nur temporär wirksame Anker erforderlich sind.

Wegen der relativ geringen Baugrubenbreite von lediglich ca. 20 m ist hier, im Gegensatz zur Baugrube für die Variante P1 auch eine Durchsteifung, z.B. mit kräftigen Stahlrohren, denkbar.

Die Standsicherheitsnachweise für die Bohrfahlwand können Anlage B entnommen werden.

### 4.3.1 Bemessungsergebnisse und ingenieurtechnische Bewertung

Dreifach rückverankerte überschnittene Bohrfahlwand, wasserdicht

Baugrubentiefe:	14,0 m
Pfahllänge:	22,0 m
Pfahldurchmesser:	Ø = 90 cm
Pfahlabstand (bewehrte Pfähle):	150 cm
Beton:	C30/37
Bewehrung:	BSt 500 B
	erf. $a_s = 35,9 \text{ cm}^2$ (Umfangsbewehrung)
	z.B. Ø 25/12,5 cm
Ankerlagen:	-2,0/-6,5/-10,5 mGOK
Ankerneigungen:	$\alpha = 20^\circ/20^\circ/20^\circ$
Ankerabstand:	a = 1,50 m
Ankerkräfte:	$A_d = 333/795/915 \text{ kN je Anker}$
Ankerlängen:	13,80/15,80/15,10 m
Verpresskörper:	$d_A = 11,4 \text{ cm}$ $u_A = 35,8 \text{ cm}$
Länge Verpresskörper:	$l_{A,1} = 0,333/(0,29 \cdot 0,358) = 3,20 \text{ m}$
	$l_{A,2} = 0,795/(0,29 \cdot 0,358) = 7,66 \text{ m}$
	$l_{A,3} = 0,915/(0,29 \cdot 0,358) = 8,81 \text{ m}$
Längen bis Ende Verpresskörper:	$L_{\text{Brutto}} = 15,40/19,63/19,50 \text{ m}$

Dauerhafte Auftriebsicherung durch Rückverankerung der Bodenplatte erforderlich.

#### 4.4 3. Platz, P3

Die zweigeschossige Tiefgarage des Entwurfs P3 weist bei gleicher Stellplatzzahl und fast identischer Grundrissfläche eine etwas andere Grundrissgeometrie als der Siegerentwurf P1 auf. Dies hat auf die Bauausführung keinen Einfluss, so dass die diesbezüglichen Ausführungen uneingeschränkt übertragen werden können.

#### 4.5 4. Platz, P4

##### • Allgemeines

Der Entwurf P4 sieht eine lediglich eingeschossige Tiefgarage vor.

Die Baugrubensohle liegt damit lediglich ca. 4 m unter GOK in einer Höhe von 139,0 mNN. Damit schneidet die Baugrube gerade den Grundwasserspiegel an, so dass davon ausgegangen werden kann, dass zur Herstellung einer trockenen Baugrube eine offene Wasserhaltung oder ggf. eine geringe bauzeitliche Grundwasserabsenkung ausreicht. Diese sollte im Hinblick auf etwaige Setzungen der Nachbarbebauung unkritisch sein.

Weiterhin zeigen die geführten Nachweise, dass die Baugrubenumschließung unverankert ausgeführt werden kann, wenn eine Bohrfahldicke von 120 cm gewählt wird (s. Anlage C).

##### • Herstellschritte:

1. Einbringen der überschnittenen Bohrfahlwand in statisch erforderlicher Länge,  $L = 12 \text{ m}$ ,
2. Grundwasserabsenkung auf 138,5 mNN oder offene Wasserhaltung in der Baugrube
3. Aushub der Baugrube auf 139,00 mNN
4. Errichten der aufgehenden Bauteile im Schutz der Baugrube.

#### 4.5.1 Bemessungsergebnisse und ingenieurtechnische Bewertung

Ein detaillierter Ausdruck der überschläglichen Standsicherheitsnachweise ist Anlage C zu entnehmen.

Baugrubentiefe:	4,0 m
Pfahllänge:	12,00 m
Beton:	C30/37
Bewehrung:	BSt 500 B

##### Alternative 1

Frei auskragende tangierende Bohrfahlwand

Pfahldurchmesser:	$\varnothing = 90 \text{ cm}$
	erf. $a_s = 31,5 \text{ cm}^2/$ (Umfangsbewehrung)
	z.B $\varnothing 25/15 \text{ cm}$

##### Alternative 2

Frei auskragende überschnittene Bohrfahlwand

Pfahldurchmesser:	$\varnothing = 120 \text{ cm}$
	erf. $a_s = 46,0 \text{ cm}^2/$ (Umfangsbewehrung)
	z.B $\varnothing 28/12,5 \text{ cm}$

Die Herstellung einer unverankerten Bohrfahlwand als Verbau für eine eingeschossige Tiefgarage ist bei den hier vorliegende Randbedingungen unproblematisch (vorbehaltlich etwaiger Bohrhindernisse).

## 5 Kostenschätzung

### 5.1 Grundlagen

Im Folgenden werden für die Entwürfe P1 bis P4 die Ergebnisse einer ersten Kostenschätzung zusammengestellt. Die Entwürfe P1 und P3 sehen jeweils zweigeschossige Tiefgaragen vor, die sich im Wesentlichen nur durch die Höhe der Überschüttung unterscheiden. Daher können die Ergebnisse der Kostenschätzung für die Tiefgarage für beide Entwürfe verwendet werden.

Die Kosten der Kostengruppen 300 und 400 der baulichen Anlage, d.h. Außenwände, Stützen, Decken und Bodenplatte in Stahlbetonbauweise, wurden den „Statistischen Kostenkennwerten Gebäude Neubauten (BKI Kostenplanung 2019)“ entnommen. Siehe hierzu den Auszug aus BKI 2019 in Anlage E (Anmerkung: Die hierin genannten Kosten sind Bruttokosten).

Hinzu kommen die Kosten für die Spezialtiefbauarbeiten zur Herstellung der Baugrube, die in den Kosten der BKI nicht enthalten sind. Diese Kosten werden im Zuge einer gesonderten Kostenschätzung auf Basis der Massen der statischen Vorbemessung ermittelt.

Da die zweigeschossigen Tiefgaragen der Entwürfe P1 und P3, die eingeschossige Tiefgarage P4 und das automatisierte Parksystem (Tiefparker) für den Entwurf P2 gleichartige Stahlbetontragkonstruktionen aufweisen und auch ähnliche Ausbaugewerke wie z.B. Lüftungsanlage und Elektroinstallation benötigen, können die Kostenansätze der Kostengruppen 300 und 400 für beide Varianten unverändert übernommen werden.

Nicht enthalten sind folgende Kostenansätze:

- Gestaltete Außenanlagen, Freiflächen und Bebauungen auf dem Weißquartierplatz (im wesentlichen Kostengruppe 500)
- Vorbereitende Maßnahmen (Kostengruppe 200)
- Kosten für außergewöhnliche Kampfmittelondierungen, hydraulische Simulationen der Grundwasserleiter.

Die Baunebenkosten liegen gemäß BKI zwischen 21 – 26 % der Baukosten und werden im Folgenden mit dem Mittelwert von 23,5 % der Baukosten abgeschätzt.

### 5.2 Entwürfe P1 und P3, zweigeschossige Tiefgarage

#### 5.2.1 Massenermittlung

Grundfläche:	ca. $35 \times 72 = 2.520$ (Entwurf P3: $58 \times 48 = 2436$ m <sup>2</sup> )
Genutzte Bruttogrundfläche (BGF)	ca. $2 \times 35 \times 72 = 5.040$ m <sup>2</sup>
Volumen:	ca. $35 \times 72 \times 7 = 17.640$ m <sup>3</sup>
Ansichtsfläche Verbau	$(2 \times 75 + 2 \times 38) \times 8 = 1.808$ m <sup>3</sup>
Bohrpfähle, d= 90 cm, e = 75 cm	$(2 \times 75 + 2 \times 38) / 0,75 = 301$ Stück
Primärpfähle, Länge 22 m	$0,5 \times 301 \times 22 = 3.311$ m
Sekundärpfähle, Länge 22 m	$0,5 \times 301 \times 22 = 3.311$ m
Ankeranzahl, e = 1,5 m	$(2 \times 75 + 2 \times 38) / 1,5 = 155$ Stück
Ankerlänge, Länge 14 m	$155 \times 14 = 2.170$ m

### 5.2.2 Kosten Tiefgarage (Kostengruppe 300+400)

Es werden die Kosten für die Mittelwerte gemäß BKI entnommen und im Folgenden aufgeführt. Die Zahlengrundlage in BKI basiert auf 4 Beispielen. Wobei die beiden größten Beispiele 75 und 102 Stellplätze aufweisen. Diese Beispiele weisen die niedrigsten Einheitspreise auf und liegen ca. 20 bis 25 unter dem Mittelwert. Auf Grund der frühen Planungsphase und der damit verbundenen Unwägbarkeiten wird für die weitere erste Kostenabschätzung von den Mittelwerten ausgegangen.

Kosten auf Basis BRI	$17.640 \text{ m}^3 \times 235 \text{ €/m}^2 =$	4.145.400 €, brutto
Kosten auf Basis BGF	$5.040 \text{ m}^2 \times 700 \text{ €/m}^2 =$	3.528.000 €, brutto
Kosten auf Basis Nutzeinheit (=Stellplätze)	$160 \times 18.730 \text{ €/NE} =$	2.996.800 €, brutto

### 5.2.3 Kosten Baugrubenverbau

Die Kosten für den Verbau der Baugrube der Variante P1 und P3 zweigeschossige Tiefgarage betragen gemäß beiliegender Kostenschätzung ca. 2,7 Mio €, brutto.

## 5.3 Entwurf P2, automatisiertes Parksystem

### 5.3.1 Massenermittlung

Grundfläche:	ca. $20 \times 50 = 1.000 \text{ m}^2$
Genutzte Bruttogrundfläche (BGF)	entfällt hier
Volumen:	ca. $20 \times 50 \times 13 = 13.000 \text{ m}^3$
Ansichtsfläche Verbau	$(2 \times 53 + 2 \times 23) \times 14 = 2.128 \text{ m}^2$
Bohrpfähle, d= 90 cm, e = 75 cm	$(2 \times 53 + 2 \times 23) / 0,75 = 203 \text{ Stück}$
Primärpfähle, Länge 22 m	$0,5 \times 203 \times 22 = 2.233 \text{ m}$
Sekundärpfähle, Länge 22 m	$0,5 \times 203 \times 22 = 2.233 \text{ m}$
Ankeranzahl, e = 1,5 m	$3 \times (2 \times 53 + 2 \times 23) / 1,5 = 3 \times 101 = 303 \text{ Stück}$
Ankerlänge 1. Lage - Länge 15,4 m	$101 \times 15,4 \text{ m} = 1.556 \text{ m}$
Ankerlänge 2. Lage - Länge 19,7 m	$101 \times 19,7 \text{ m} = 1.990 \text{ m}$
Ankerlänge 3. Lage - Länge 19,5 m	$101 \times 19,5 \text{ m} = 1.970 \text{ m}$
Gesamtlänge der Anker	5.516 m

### 5.3.2 Kosten Außenhülle und Decken für Parksystem (Kostengruppe 300+400)

Es werden die Kosten für die Mittelwerte gemäß BKI entnommen und im Folgenden aufgeführt. Die Zahlengrundlage in BKI basiert auf 4 Beispielen, wobei die beiden größten Beispiele 75 und 102 Stellplätze aufweisen. Diese Beispiele weisen die niedrigsten Einheitspreise auf und liegen ca. 20 bis 25 % unter dem Mittelwert. Auf Grund der frühen Planungsphase und der damit verbundenen Unwägbarkeiten wird für die weitere erste Kostenabschätzung von den Mittelwerten ausgegangen. Für die Außenhülle und die Decken kann lediglich der Preis des Bruttorauminhaltes herangezogen werden ein Preis auf Basis der Bruttogrundfläche und der Nutzeinheit ist hier nicht möglich.

Kosten auf Basis BRI	$13000 \text{ m}^3 \times 235 \text{ €/m}^2 =$	3.055.000 €, brutto
----------------------	--	---------------------

Hinzu kommen die Kosten für eine Rückverankerung der Baugrubensohle. Diese werden grob mit ca. 300 T€, brutto abgeschätzt. Daraus ergeben sich ungefähre Gesamtkosten in einer Größenordnung von 3,4 Mio €, brutto.

### 5.3.3 Kosten automatisiertes Parksystem

Als Basis für eine erste grobe Kostenschätzung wurden uns von der Fa. Lödige für das gewählte Parksystem „Cubile“ folgende Kostenansätze übermittelt.

Die angegebenen Abmessungen von 20x50m sind nach einer ersten, groben Einschätzung, für die Realisierung von 36 Stellplätzen je Ebene ausreichend. Bei fünf Parkebenen ergeben sich so 180 Stellplätze.

In Bezug auf die Einfahrtsituation könnten nach einer ersten Einschätzung für eine reine Anwohnergarage zwei Kabinen ausreichend sein. Bei allgemein öffentlicher Nutzung und entsprechend höheren Ein- und Ausparkzyklen kann eine dritte Einfahrkabine erforderlich werden.

#### Lieferumfang

- 180 Stellplätze
- Untergeschosse
- Betonebenen, bauseits
- 2 Kabinen inkl. Ausstattung (Sensoren, Registrierterminal, Fahrzeugführung) im EG
- 2 Heber
- 1 Fahrgasse je Parkebene
- 5 Querverschiebewagen - TVs (1 je Parkebene)
- Steuerung – Maschinen- und Materialflusssteuerung, sowie Visualisierung
- Produktion inkl. Transport
- Installation und Inbetriebnahme
- Project Management

Der Richtpreis für das beschriebene System beträgt netto € 14.000,-- bis 17.000,-- je Stellplatz für 180 Stellplätze.

#### Folgende Leistungen sind in der Kostenschätzung nicht enthalten:

- Kabinendesign und Umsetzung (Verkleidung und Tore)
- Kassensystem, falls erforderlich
- Elektrische Zuleitung(en) nach unseren Vorgaben
- Brandschutz (Sprinkler) Ventilation und Beleuchtung

Der Preis für die Wartung der Anlagen beträgt je nach Leistungsumfang zwischen 30,-- bis 75,-- je Stellplatz je Monat.

Damit entstehen Gesamtkosten von 3,0 Mio €, brutto bis 3,6 Mio €, brutto für das Parksystem. Die Wartungskosten betragen 77 T€, brutto bis 193 T€, brutto pro Jahr. Dies entspricht etwa 5 % der Investitionssumme.

### 5.3.4 Kosten Baugrubenverbau

Die Kosten für den Verbau der Baugrube bei der Variante Tiefparker (Entwurf P2) betragen gemäß beiliegender Kostenschätzung ca. 2,5 Mio €, brutto.

## 5.4 Entwurf P4, eingeschossige Tiefgarage

### 5.4.1 Massenermittlung

Grundfläche:	ca. $80 \times i.M\ 40 = 3.200\ m^2$
Genutzte Bruttogrundfläche (BGF)	ca. $80 \times i.M\ 40 = 3.200\ m^2$
Volumen:	ca. $40 \times 80 \times 3 = 12.800\ m^3$
Ansichtsfläche Verbau	$(2 \times 80 + 2 \times 40) \times 4 = 960\ m^2$
Bohrpfähle, d= 120 cm, e = 100 cm	$(2 \times 80 + 2 \times 40) / 1,0 = 240\ \text{Stück}$
Primärpfähle, Länge 22 m	$0,5 \times 240 \times 12 = 1.440\ m$
Sekundärpfähle, Länge 22 m	$0,5 \times 240 \times 12 = 1.440\ m$

### 5.4.2 Kosten Tiefgarage (Kostengruppe 300+400)

Es werden die Kosten für die Mittelwerte gemäß BKI entnommen und im Folgenden aufgeführt. Die Zahlengrundlage in BKI basiert auf 4 Beispielen, wobei die beiden größten Beispiele 75 und 102 Stellplätze aufweisen. Diese Beispiele weisen die niedrigsten Einheitspreise auf und liegen ca. 20 bis 25 % unter dem Mittelwert. Auf Grund der frühen Planungsphase und der damit verbundenen Unwägbarkeiten wird für die weitere erste Kostenabschätzung von den Mittelwerten ausgegangen.

Kosten auf Basis BRI  $12.800\ m^3 \times 235\ €/m^3 = 3.008.000\ €$ , brutto

### 5.4.3 Kosten Baugrubenverbau

Die Kosten für den Verbau der Baugrube der Variante P1 und P3 eingeschossige Tiefgarage betragen gemäß beiliegender Kostenschätzung ca. 1,6 Mio €, brutto.

## 5.5 Zusammenfassung Kostenschätzungen

### 5.5.1 Entwürfe P1 und P3, zweigeschossige Tiefgarage (160 Stellplätze)

Kosten Verbau	2,7 Mio €
Kosten 300+400 TG	4,2 Mio €
Nebenkosten	1,6 Mio €
<b>Summe, brutto</b>	<b>8,5 Mio €</b>
Preis pro Stellplatz	ca. 53 T€

### 5.5.2 Entwurf P2, automatisiertes Parksystem (180 Stellplätze)

Kosten Verbau	2,5 Mio €
Kosten 300+400 TG	3,4 Mio €
Automatisiertes Parksystem	3,6 Mio €
<u>Nebenkosten (nur Verbau und Baukonstruktion)</u>	<u>1,4 Mio €</u>

**Summe, brutto** **10,9 Mio €**

Preis Pro Stellplatz ca. 60 T€ zzgl. jährlich bis zu 192 T€ Wartungskosten bei einer Lebensdauer des Parksystems von ca. 20 Jahren

### 5.5.3 Entwurf P4, eingeschossige Tiefgarage (75 Stellplätze)

Kosten Verbau	1,6 Mio €
Kosten 300+400 TG	3,1 Mio €
<u>Nebenkosten</u>	<u>1,1 Mio €</u>

**Summe, brutto** **5,8 Mio €**

Preis pro Stellplatz: ca. 77 T€

## 6 Zusammenfassung und weiterführende Hinweise

### 6.1 Entwürfe P1 und P3, zweigeschossige Tiefgarage

- **Ingenieurtechnische Bewertung**

Für die Entwürfe P1 und P3 wird aus statisch-konstruktiver Sicht die Ausführung einer wasserdichten Baugrube durch Einbinden der vertikalen Baugrubenumschließung in die unterliegende Tonschicht empfohlen. Dann kann auf auftriebsichernde Maßnahmen wie tiefliegende Weichgelsohle oder temporäre Rückverankerung der Baugrubensohle verzichtet werden.

Falls diese Ausführung in wasserrechtlicher Hinsicht nicht genehmigungsfähig ist, kann die Auftriebssicherung durch Erhöhung des Bodenplatteneigengewichts, ggf. in Verbindung mit einer mäßigen temporären Grundwasserabsenkung erfolgen. Allerdings ist anzumerken, dass bei der Herstellung einer Unterwasserbetonsohle der Abtransport des nassen Aushubmaterials zu erheblichen Verunreinigungen führt und im innerstädtischen Bereich als problematisch bewertet werden muss. Die Ausbildung einer tiefliegenden Weichgelsohle führt demgegenüber zwar zu gewissen Mehrkosten, vermeidet aber den Transport von wassergesättigten Böden.

Die Rückverankerung der Baugrubenwand ist nur temporär erforderlich, da im Endzustand die Erddrucklasten den aussteifenden Decken zugewiesen werden können. Soweit das Abteufen von Ankern unter den Nachbargebäuden vermieden werden soll, müssen Grundrissabmessungen und Lage der Tiefgarage überprüft und ggf. angepasst werden.

Insgesamt ist die Herstellung einer zweigeschossigen Tiefgarage unter dem Weißquartierplatz eine ingenieurtechnisch zwar anspruchsvolle Aufgabe, aber vor dem Hintergrund der derzeit vorhandenen Informationen über den Baugrund ohne größere Schwierigkeiten lösbar. Gewisse ausführungstechnische Probleme könnten sich aus Bohrhindernissen im Untergrund ergeben, die zwar prinzipiell bekannt, in ihrer genauen Lage aber noch nicht detektiert sind.

- **Ergebnis der Kostenschätzung:**

Bruttokosten: 8,50 Mio €

Nicht enthalten: Platzgestaltung und Aufbauten auf dem Platz.

- **Hinweise zum Entwurf**

Der Entwurf P1 weist im Untergeschoss 89 Parkplätze mit einer Breite von 2,3 m und einer Länge von 5,0 m auf. Die Fahrgassenbreite beträgt 6,5 m. Das Obergeschoss wurde nicht dargestellt. Hinsichtlich der Parkplatzbreite ist dies das minimal zulässige Maß. Damit besitzt die Tiefgarage einen sehr geringen Komfort. Empfohlen werden derzeit Parkplatzbreiten von 2,5 m. Eine Verbreiterung der Parkplätze auf 2,5 m würde einen Verlust von 8 Parkplätzen pro Geschoss bedeuten.

Der Grundriss lässt derzeit keine Stützen erkennen. Wenn von einer Stützenbreite von 40 cm und einem Stützenabstand von 7,5 m in Längsrichtung ausgegangen wird, bedeutet dies bei gleichbleibenden Außenabmessungen einen Verlust von mindestens vier bis sechs Stellplätzen pro Geschoss. Bei gleichbleibender Stellflächenzahl müssen die Außenabmessungen entsprechend erhöht werden.

Die Zufahrtssituation sieht derzeit eine äußerst ungünstige Gegenverkehrsrampe vor. Weiterhin hat die Rampe keine Ausrundung im Kurvenbereich. Mit der dargestellten Rampensituation kann die geplante Zufahrt in die Tiefgarage nicht realisiert werden.

Zur Herstellung eines benutzerfreundlichen Parkhauses muss die vorliegende Planung vermutlich erheblich überdacht werden muss. Nur durch Wahl von optimalen statischen Systemen (Reduktion von Stützen) und ggf. schräger Anordnung der Parkplätze kann die gewünschte Parkplatzanzahl auf der vorhandenen Grundfläche unter Umständen erreicht werden. Die Rampensituation und Zufahrtsituation muss in jedem Fall neu geplant werden.

## **6.2 Entwurf P2, automatisiertes Parksystem**

- **Ingenieurtechnische Bewertung**

Die Baugrubenumschließung muss zur Sicherstellung einer bauzeitlichen Wasserdichtigkeit bis in die unterliegende Tonschicht geführt werden. Die Auftriebsicherheit im Endzustand erfordert mit hoher Wahrscheinlichkeit die Ausbildung einer Rückverankerung der Bodenplatte. Hier ist zu berücksichtigen, dass bereits ca. 6 m unter der Gründungssohle die unterliegende Tonschicht ansteht, in der nur geringe Mantelreibungskräfte aktiviert werden können. Die temporär oder bei entsprechender Konstruktion der Tiefgarage sogar dauerhaft erforderlichen Anker der Baugrubenumschließung weisen Bruttolänge von bis zu 19,50 m und liegen damit auf jeden Fall unter den Bestandsgebäuden der Nachbarbebauung.

- **Ergebnis der Kostenschätzung**

Bruttokosten: 10,90 Mio € (ohne Platzgestaltung und Aufbauten auf dem Platz)

Bei einer Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung sind die für ein automatisiertes Parksystem anfallenden laufenden Betriebskosten zu bewerten (s.u.).

Außerdem muss beachtet werden, dass das Setzen von Ankern in Nachbargrundstücken, was bei dem Entwurf P2 nicht zu vermeiden ist, vermutlich zwar gestattet werden muss, in der Regel aber mit nennenswerten Ausgleichszahlungen verbunden ist. Auch vor diesem Hintergrund sollten Daueranker möglichst vermieden werden.

- **Anmerkungen zum automatisierten Parksystem**

Um die Aussteifung der 5-geschossigen Tiefgaragenkonstruktion im Endzustand sicherzustellen, sollten Stahlbetondecken ausgeführt werden, die dann die Erddrucklasten dauerhaft aufnehmen. Dann können die Rückverankerungen der Baugrubenumschließung als Temporäranker ausgeführt werden, was im Hinblick auf die Lage der Verankerung unter den Nachbargrundstücken genehmigungstechnische Vorteile bieten dürfte.

Bei Parksystemen mit Transport auf Paletten, die vollständig autark als Stahlkonstruktion in eine unterirdische Hülle eingebaut werden, sind Durchsteifungen der Außenwände nicht realisierbar. Daher müssen die Außenwände dauerhaft im Baugrund rückverankert werden. Dies ist sinnvoll nur möglich, wenn Baugrubenumschließung und Tiefgaragenaußenwände eine konstruktive Einheit bilden.

Demgegenüber arbeitet das System „Cubile“ der Firma Lödige mit so genannten Shiftern, bei dem spezielle Laufschiene auf Stahlbetondecken montiert werden. Dieses System ist nach Aussage der Fa. Lödige für automatisierte Parkgaragen in der Größenordnung von 180 Stellplätzen gut geeignet und bietet den Vorteil, dass die Stabilisierung der Außenwände durch die ohnehin erforderlichen Stahlbetondecken sichergestellt werden kann.

Automatisierte Parksysteme beziehen ihren wesentlichen Vorteil daraus, dass bei gleicher Stellplatzzahl lediglich 55 – 65 % der Grundfläche einer konventionellen Tiefgarage benötigt werden. Es ist aber wie bei konventionellen, geschlossenen Parkgaragen eine Belüftungsanlage vorzusehen. Darüber hinaus ist für die Funktionstüchtigkeit der Anlage eine Betriebstemperatur von 10 - 40°C sicherzustellen. Schließlich ist für den Brandschutz eine Sprinkleranlage erforderlich.

Neben den Strombetriebskosten fallen auch Kosten für regelmäßige Wartung an. Die Wartungsintervalle entsprechen in etwa den Intervallen bei Fahrstühlen (4xjährlich). Die Firma Lödige schätzt die Lebensdauer der Anlage mit ca. 20 Jahren ab.

### 6.3 Entwurf P4

- **Ingenieurtechnische Bewertung**

Die Herstellung einer unverankerten Bohrpfehlwand als Verbau für eine eingeschossige Tiefgarage ist bei den hier vorliegenden Randbedingungen unproblematisch (vorbehaltlich etwaiger Bohrhindernisse). Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind keine wasserdichte Baugrubenumschließung und keine wasserdichte Baugrubensohle erforderlich. Unter Umständen muss der Grundwasserspiegel bauzeitlich geringfügig um maximal 1,0 m abgesenkt werden. Dies ist aber, den Ausführungen des Bodengutachtens folgend, im Hinblick auf etwaige Setzungen der Nachbarbebauung unbedenklich.

- **Ergebnis der Kostenschätzung**

Bruttokosten: 5,8 Mio € (ohne Platzgestaltung und Aufbauten auf dem Platz)

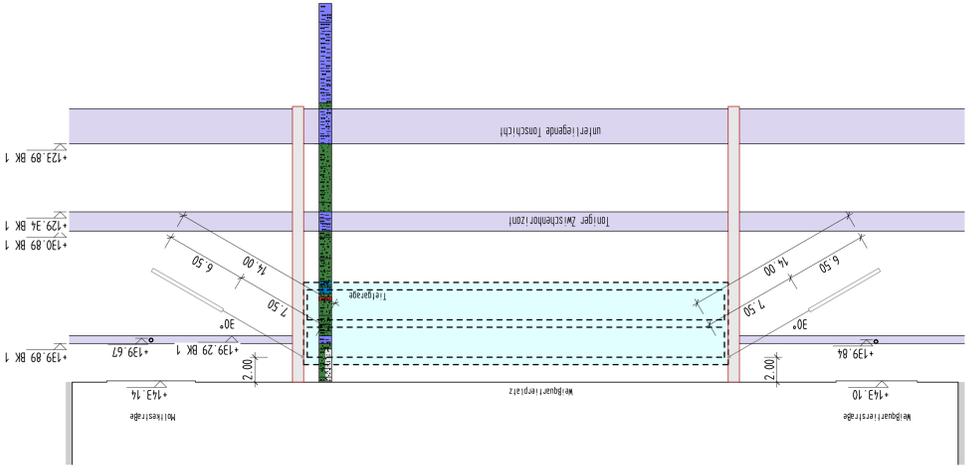
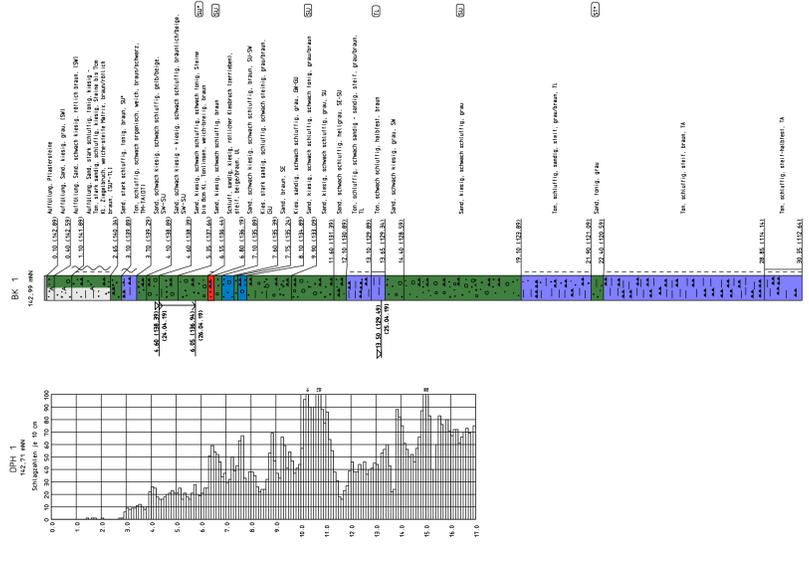
Kaiserslautern, 15.08.2019



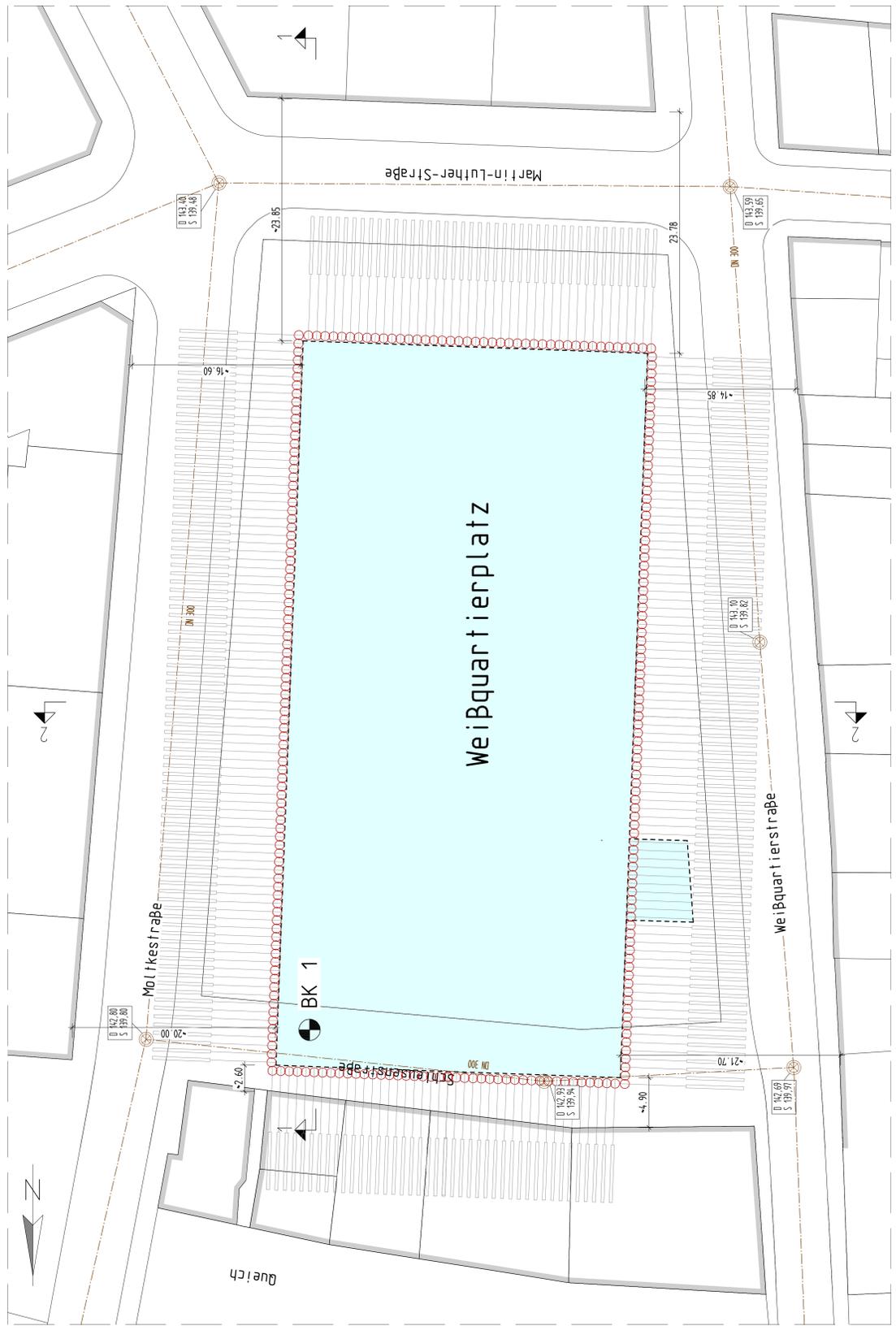
Dr.-Ing. R. Wörner



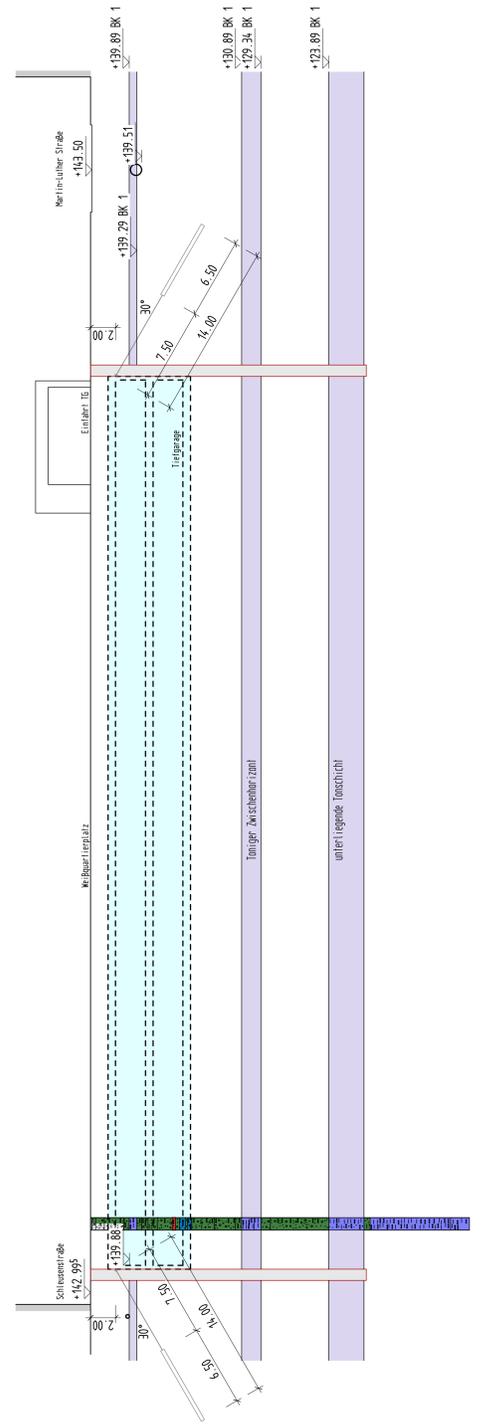
Dipl.-Ing. (FH) F.J. Donauer



**SCHNITT 2-2**  
M 1:200



**SCHNITT 1-1**  
M 1:200



1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99					
100					

Auftragnehmer		Auftraggeber	
BORAPA Ingenieurgesellschaft mbH Cottbusener Straße 1-3 10557 Berlin Tel.: (030) 31 35 102-10 Fax: (030) 31 35 102-30 Mail: info@borapa.de Internet: www.borapa.de		Projekt-Nr.: 19 / 814 Datum: 15.08.2019 MWO Bearb.: 15.08.2019 An Gepr.: 15.08.2019 An Plan-Nr.: 01 Maststab: 1:200	
Bauwerk / Baugruben		Stadt Landau Machbarkeitsstudie Neubau einer Tiefgarage Weißquartierplatz, 76829 Landau in der Pfalz	
Planbearbeitung		Grundriss und Schnitt	