

ACP | Darwinstr 15 | 10589 Berlin

**WERTWIN Projektgesellschaft mbH & Co. KG**  
Lützner Straße 208  
04179 Leipzig

*über:*

Autor Architecture GmbH  
Frederic Paulus Akuffo  
Rauweilersteig 13  
14163 Berlin

via E-Mail: frederic@autorarchitecture.com

**Beratung | Planung | Gutachten**

Objekt- und Tragwerksplanung für  
Baugrubensicherungen  
Baugrund- und Gründungsgutachten  
Offshore-Geotechnik  
Spezialtiefbau  
Böschungen und Stützmauern  
Deiche und Dämme  
Altlastengutachten  
Grundbaudynamik  
Grundwasserströmung  
Numerische Untersuchungen von  
Boden-Bauwerks-Wechselwirkungen

**Vereidigte Sachverständige**

Gerichtsgutachten  
Privatgutachten

24. Mai 2022

Mül 20A018G.00.01 Rev.2

**Wohnpark am Mellensee, Bahnhofsallee 13 in 15838 Gemeinde am Mellensee**

hier: **Hinweise und Empfehlungen zur Gründung**

Sehr geehrter Herr Akuffo,

mit Bezug auf Ihre Prüfkommmentare mit Schreiben vom 09.05.2022 haben wir unsere Stellungnahme vom 23.03.2022 nachfolgend aktualisiert.

**Unterlagen:**

- [U01] Planung, Städtebauliche Entwürfe, Autor Architekture GmbH, Nr. 6001 1101-1104, 15.02.2022.
- [U02] Wohnpark am Mellensee, Grundstück Bahnhofsallee 13, Geotechnischer Bericht zur orientierenden Baugrunderkundung, Nr. 23416, BfU, 07.07.2021.
- [U03] Wohnpark am Mellensee, Grundstück Bahnhofsallee 13, Tragfähiger Baugrund ab Tiefen von ... [m u. GOK]/[mNHN], BfU, 10.03.2021.
- [U04] Wohnpark am Mellensee, Laboruntersuchungen zur undränierten Kohäsion  $c_u$ -Wert, IGtH, 30.03.2021.
- [U05] Lageplan Verkehrsanlagen, B-Plan 19-01, Wohnpark am Mellensee, Nr. 5\_Blatt1\_7\_19.04.2022.

**1 Planung Bebauung**

Im Rahmen der B-Plan Entwicklung ist der städtebauliche Entwurf 04 [U01] für das o.g. Areals weiter entwickelt worden, vgl. Abbildung 1.

Variante 04 umfasst eine konzentrierte Bebauung aus drei U-förmigen Baukörpern mit Innenhöfen, mit jeweils 3 Vollgeschossen und 1 Dachgeschoss.

**ACP Geotechnik GmbH**

**Büro Berlin**

Darwinstraße 15  
D-10589 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 349906-70  
Fax: +49 (0)30 349906-99  
E-Mail: berlin@acp-geotechnik.de  
web: www.acp-geotechnik.de

**Büro Hannover**

Turmstraße 12  
D-30165 Hannover  
Tel.: +49 (0)511 70034930  
Fax: +49 (0)511 70034937  
E-Mail: hannover@acp-geotechnik.de  
web: www.acp-geotechnik.de

**Geschäftsführer**

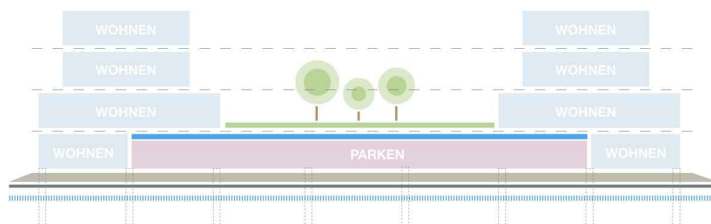
Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus  
Dipl.-Ing. Michael Müller  
Dr.-Ing. Thomas Schrepfer

**Registergericht**

AG Charlottenburg HRB 101773 B

**Bankverbindung**

LBB LandesBank Berlin  
IBAN: DE44 1005 0000 0190 0536 90  
SWIFT-BIC: BELADEBEXX



**Abbildung 1:** Planungsvariante 04

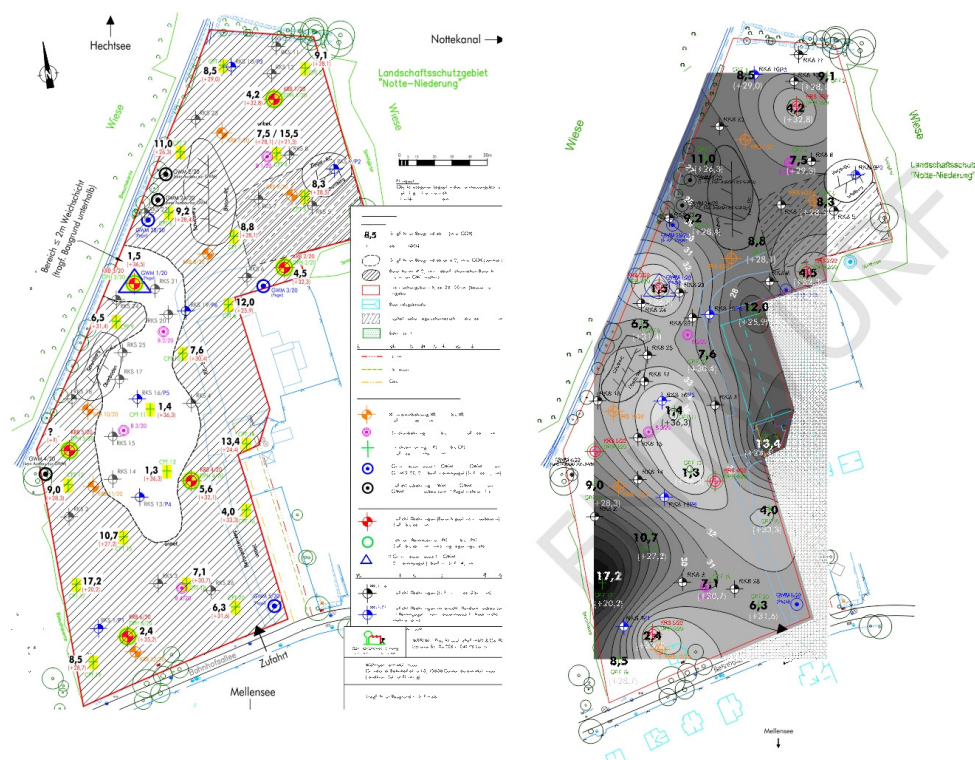
Die vorgesehene Bebauung umfasst neben Gebäuden auch Anwohnerstraßen, PKW-Stellplätze, Feuerwehrumfahrten und Medienleitungen.

## 2 Baugrundsituation

Gemäß dem Geotechnischen Bericht zur orientierenden Baugrunderkundung der BfU vom 07.07.2021 [U02] und der ergänzenden Darstellung der Tiefenlage des tragfähigen Baugrunds vom 10.03.2021 [U03] liegen auf dem Baugrundstück zwei grundlegende Baugrundsituationen vor:

- A. Setzungsempfindlicher Baugrund (großflächige und mächtige Ablagerung stark setzungsempfindlicher Weichschichten im oberflächennahen Untergrund der nördlichen Teilfläche und der Randbereiche der südlichen Teilfläche)
- B. Eingeschränkt tragfähiger bis tragfähiger Baugrund (zentraler Bereich der südlichen Teilfläche mit einer überwiegend sandigen Ausbildung des Untergrundes bis zur max. Erkundungstiefe)

Die örtliche Verteilung der beiden Baugrundbereiche ist der Abbildung 2 (links) zu entnehmen.



**Abbildung 2:** Links: Baugrundbereiche A ("weiß") und B ("schraffiert") [U02], rechts: UK nichttragfähiger Schichten [U03]

Die Unterkante der nicht tragfähigen Böden liegt im Bereich A zwischen etwa 1,3 und 1,5 m unter GOK und im Bereich B zwischen 2,4 und 17,2 m unter GOK, vgl. auch Abbildung 2 (rechts). Die Zustandsform der Weichschichten wird teils als weich und teils als breiig angegeben.

Für die Weichschichten wird ein Steifemodul  $E_s = 1,0 - 3,0 \text{ MN/m}^2$  angegeben, weitere Kennwerte, etwa Reibungsbeiwerte werden in [U02] nicht bereitgestellt.

Zur undränierten Kohäsion  $c_u$  der Weichschichten liegen Ergebnisse von 10 ergänzenden Untersuchungen an Bodenproben aus der Bohrung B1 vor [U04], vgl. Anlage 4. Danach liegt die undränirte Kohäsion der untersuchten Böden zwischen 2,8 und 5,5 kN/m<sup>2</sup>.

### 3 Gründungsstrategien

Die Gründung der Bauwerke muss mit folgenden wesentlichen Planungsparametern umgehen:

1. Hochstehender Grundwasserstand, teils nur 0,6 m unter GOK.  
Jeder Eingriff in den Baugrund mit einem Abstand  $< 50$  cm zum Grundwasser, etwa durch einen Bodenaustausch, Einbau einer Tragschicht, Einbau Bauwerk etc. führt zum Erfordernis einer Wasserhaltung. Wasserhaltungen stellen hier unter den Aspekten Auswirkung nach Außen, schwer entwässerbare, wasserdichte Bodenschichten und Verbringung Förderwasser hohe und sehr hohe technische und wirtschaftliche Anforderungen.
2. Weichschichten  
Ein Aushub der wassergesättigten (nassen) organischen Böden und der Kalkmudde führt zu hohen Kosten aufgrund Erfordernis Grundwasserhaltung, Entsorgungskosten (derartige Böden werden von Bodendeponien regelmäßig nicht ohne Vorbehandlung (Entwässerung, Organikgehalt) angenommen) und großer Tonnagen für Abfuhr Organikboden und Anfuhr Austauschboden.
3. Zustandform flüssig und breiig  
Der Torf/Faulschlamm/Mudde weist teils eine flüssige Zustandsform und der Wiesenkalk eine breiige bis flüssige Zustandsform auf. Einhergehend weist der Wiesenkalk nach Laboruntersuchungen eine äußerst geringe undräßierte Kohäsion von hauptsächlich unter 5 kPa auf. Eine derartige Zustandsform stellt hohe Herausforderungen an die Bauausführung, da der Baugrund zunächst einmal ertüchtigt werden muss, um die hohen Gerätelasten (z.B. Bohrgerät  $> 60$ t, Pfahlramme  $> 120$ t) aufnehmen zu können. Dies erfordert - je nach Tiefenlage der Arbeitsebene zur OK Organik - zumindest den Einbau starker Tragschichten in Kombination mit dem Einsatz von Baggermatratzen. Weiterhin schränkt die Zustandform die Ausführbarkeit vieler Gründungsverfahren ein oder erhöht deren Aufwendungen. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass eine konventionelle Bohrpfahlgründung ohne Zusatzaufwand (Stahlrohr) bei dieser Bodenbeschaffenheit nicht ausführbar ist, da der noch flüssige Beton den Boden seitlich verdrängt und ein erhöhter Aufwand (Bewehrung, Stahlrohr) für die Knicksicherheit vorzusehen ist

Eine konventionelle Flachgründung der Bauwerke ist unseres Erachtens im Baugrundbereich A unter wirtschaftlichen Aspekten kaum machbar und im Baugrundbereich B unter technischen Aspekten (Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit) nicht machbar.

Zwar wird in [U02] eine Flachgründung im Bereich A als machbar angesehen, jedoch einhergehend ein Bodenaustausch bis  $+36,2$  mNHN (= OK Grundwasser) empfohlen. Dies erfordert jedoch eine bauzeitliche Grundwasserabsenkung um rund 0,5 m.

Die angetroffenen Weichschichten (Torf, Wiesenkalk, Faulschlamm) sind als nicht tragfähig anzusprechen. Sie neigen bereits unter Eigengewicht, umso mehr bei neu aufgebrachter Belastung durch Baulasten, zu großen und lang anhaltenden Verformungen (Jahre). Bei organischen Schichten tritt zudem ein langzeitlicher Zersetzungsprozess bei (Boden-)Luftzutritt, also insbesondere in der Wasserwechselzone auf. Hierzu sind in [U02] keine Angaben enthalten. Wir gehen größenordnungsmäßig davon aus, dass aus Zersetzungs Vorgängen mit einer Setzungsrate von 0,5 bis 1 mm/Jahr gerechnet werden muss, was bei einer Nutzungszeit von 50 Jahren rund 2,5 bis 5 cm ausmacht. Hierbei ist im Allgemeinen problematisch, dass die Setzungen nicht gleichmäßig über die Fläche verteilt, sondern örtlich extrem unterschiedlich auftreten, d.h. es wird Bereiche geben, die praktisch keine zeitabhängigen Setzungen erfahren, und andere Bereiche, die sich um 10 cm setzen. Derartige Setzungsbeträge sind im unbebauten Areal nicht mit bloßem Auge sichtbar, führen jedoch bei Bebauung mit flacher Gründung auf diesen Weichschichten, z.B. bei Verkehrsflächen, mittel- und langfristig zu teils un stetigen Versätzen, Bodenwellen und Senken, in denen sich Tagwasser staut.



Wir teilen die Auffassung der BfU, dass die Weichschichten mit breiiger Konsistenz kaum zweckmäßig durch eine tiefreichende Baugrundverbesserung, z.B. mittels Rüttelstopfverdichtung, so weit verbessert werden können, so dass sie als Tragschicht herangezogen werden können.

Es bleibt als Gründungsstrategie allein eine Pfahlgründung, bei der die nicht tragfähigen Schichten durchstoßen und die Bauwerkslasten in den tiefer liegenden tragfähigen Böden abgesetzt werden.

Im Grundsatz sind alle Bauwerke, die keine großen Setzungen oder signifikanten Setzungsdifferenzen erfahren dürfen, auf Pfählen zu gründen. Hiervon betroffen sind am Standort erwartungsgemäß die Gebäude, Medien/Leitungen und befestigte Verkehrsflächen mit geschlossener Fahrbahndecke (Asphalt, Beton, Pflasterung etc.).

In Abhängigkeit der Nutzeranforderungen und des angestrebten Unterhaltungsaufwandes wäre es grundsätzlich denkbar, untergeordnete Verkehrsflächen mit geringer Anforderung an die Ebenheit, z.B. Stellplätze oder Feuerwehraufstellflächen, die etwa mit Rasengittersteinen befestigt werden, ohne Pfahlgründung auszuführen. Hierbei sind jedoch - auch bei Einbau von starken Tragschichten und lastverteilenden Geotextilien - gewisse großräumige Setzungsunterschiede hinzunehmen.

Soweit beabsichtigt wird, Bauwerke, etwa Tiefgaragen, tief unter Gelände im Grundwasser abzusetzen, z.B. mit 1,5 bis 3,5 m Einbindung in das Grundwasser, bestehen grundsätzlich 3 Möglichkeiten, dies zu realisieren:

1. Betreiben einer Grundwasserhaltung mit hohen Absenkbeträgen und großer Reichweite des Absenktrichters nach Außen (außerhalb des Baufeldes in die Nachbargrundstücke und das Naturschutzgebiet hinein). Hierbei gilt zu beachten: Organische Böden neigen bei Entwässerung zu großen Setzungen, die an bestehender Bebauung zu Schäden führen können. Soweit die denkmalgeschützten Nachbargebäude auf Holzpfehlen gegründet sein sollten, neigen diese mit Wasserabsenkung zu Zersetzungen infolge Bodenluftzutritt. Wir gehen davon aus, dass eine Grundwasserabsenkung im NSG unzulässig ist. Die Planung einer Grundwasserhaltungsmaßnahme ist vergleichsweise häufig mit großen Risiken behaftet, da allein die entscheidende Kenngröße des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes in [U02] mit  $10^{-4}$  bis  $10^{-9}$  m/s angegeben wird, also um den Faktor 100.000 auf dem Grundstück schwankt. Entsprechend kann auch die tatsächliche Fördermenge einer Wasserhaltungsanlage um einen hohen Faktor vom berechneten bzw. genehmigten Wert abweichen.

Aus unserer Sicht sind tiefreichende Grundwasserabsenkungen hier genehmigungsrechtlich problematisch und mit (für den Bauherren) nicht hinnehmbaren Risiken behaftet.

2. Herstellung einer praktisch wasserdichten Baugrube,

- 2a. Aushub der Baugrube unter Wasser,

hierbei Einbau einer wasserdichten Umschließung, Bodenaushub mittels Baggern auf schwimmenden Pontons und Einbau einer Unterwasserbetonsohle.

Hierbei erfolgt nur ein einmaliges Lenzen der Baugrube nach Fertigstellung und Betrieb einer (im besten Fall geringfügigen) Restwasserhaltung infolge Leckagen.

Hierbei besteht in organischen Böden das hohe Risiko, dass sich Wasser und leichter Boden vermischt und der Bagger nicht Boden allein, sondern einen "Brei" löffelt und Boden/Wasser nicht ohne erheblichen Aufwand getrennt werden kann. Zudem müssen wochenlang Taucherkolonnen eingesetzt werden, die bei sehr begrenzter effektiver Arbeitszeit zu erheblichen Kosten führen. Treten hier Probleme auf (z.B. Beherrschung Schlammanfall vor Betonage, Absammeln "stückiger" Organik von der Sohle in Handarbeit), explodieren die Kosten.

- 2b. Einbau wasserdichter Trog

bestehend aus einer wasserdichten Umschließung, z.B. mittels schlossgedichteten Spundwänden und Einbau einer künstlichen Dichtungssohle (Düsenstrahl- oder Injektionssohle).

Hierbei nach Fertigstellung Betrieb einer Restwasserhaltung und Bodenaushub im Trocknen.

Hierbei besteht ein hohes Risiko, dass in den recht wasserdichten organischen Böden Fehlstellen verbleiben und die Huminsäure der Organik die Festigkeitsentwicklung des Zementes behindert, so dass die Sohle undicht bleibt. Nachdichtungen benötigen häufig Monate, bringen nicht den gewünschten Erfolg und sorgen für sehr hohe Kosten.

Zusammenfassend ist der Einbau einer Tiefgarage, die tief in das Grundwasser einbindet, in allen drei Ausführungsvarianten mit großen wirtschaftlichen Risiken verbunden.

#### 4 Betrachtungen zur Lage der Gründungssohle zum Grundwasser

Im Hinblick auf die Wahl der Höhenordinate OK Fußboden EG bezüglich NHN, ist insbesondere auch die damit verbundene Lage der Sohlplatte (inkl. Pfahlkopfbalken) zum bauzeitlichen Grundwasserstand planerisch zu beachten, vgl. Abbildung 3.

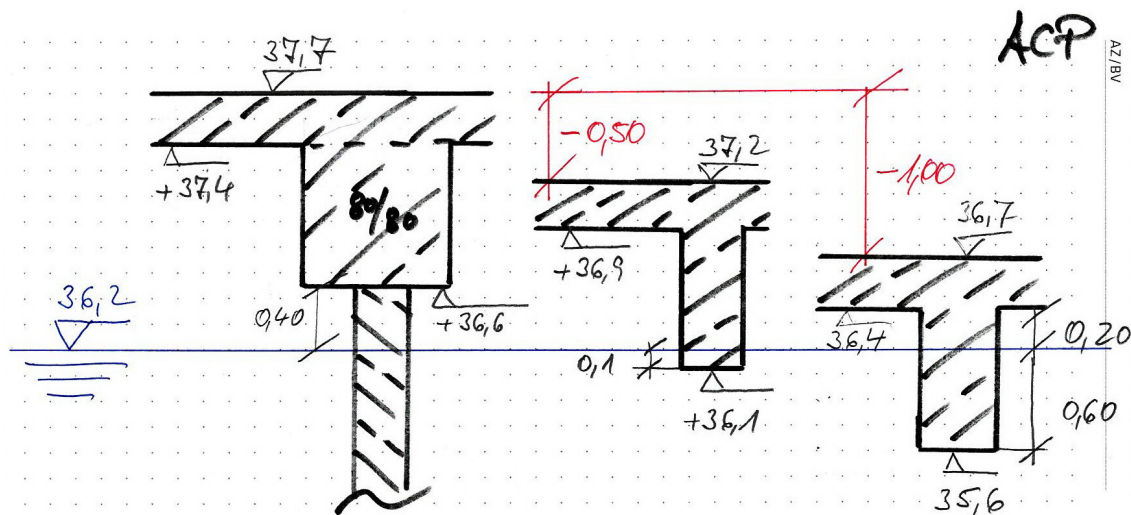


Abbildung 3: Drei Planungsvarianten 1/2/3 zur Lage der (pfahlgegründeten) OK Sohlplatte (+37,7/+37,2/+36,7 mNHN) zum Grundwasser (+36,2 mNHN)

Hierbei ist davon auszugehen, dass der Pfahlkopfbalken zwischen UK Sohlplatte und OK Pfahlkopf Abmessungen von etwa 0,8x0,8 m aufweisen wird und die Sohlplatte eine Dicke von rd. 0,3 cm aufweist.

In Variante 1 (OK Fußboden EG bei +37,7 mNHN) liegt die UK Pfahlkopfbalken mit +36,6 mNHN bezüglich bauzeitlichem Grundwasserstand (+36,2 mNHN) vollständig aus dem Wasser. Damit ist kein Einfluss des Grundwassers auf die Ausführung der Stahlbetonarbeiten gegeben.

In Variante 2 (OK Fußboden EG mit +37,2 mNHN etwa 0,5 m tiefer ggü. Var.1) taucht nur der Pfahlkopfbalken mit UK bei +36,1 mNHN gering in das Wasser ein. Die Betonage ist problemlos machbar, mittels Wasserhaltung mit geringem Absenkmaß von 0,4 bis 0,7 m (je nach angestrebten Sicherheitsabstand zum Grundwasser). Allgemein gilt ein Sicherheitsabstand von 0,5 m als Planungsziel, zur Ermöglichung einer Nachverdichtung der Aushubsohle und einer Befahrung mit Geräten. Bei umsichtiger Arbeitsweise (rückschreitend) und ohne Nachverdichtung ist im Einvernehmen mit ausführender Firma häufig auch 0,30 m machbar.

In Variante 3 (OK Fußboden EG mit +36,7 mNHN etwa 1,0 m tiefer ggü. Var.1) taucht die Platte selbst nicht in das Grundwasser ein, aber ggf. eine Wärmedämmung (10 cm) in Kombination mit

der Sauberkeitsschicht (10cm). Der Pfahlkopfbalken taucht rd. 60 cm ins Grundwasser. Dies erfordert eine Wasserhaltung im Bereich der Pfahlkopfbalken (mit einem Absenkungsbetrag von im Mittel etwa 1,0 m) und der Sohle (im Mittel etwa 0,2 m Absenkungsbetrag). Insoweit wäre das Grundwasser im den gesamten Gebäudegrundflächen um rund 1,0 m abzusenken. Dies ist technisch machbar und wir schätzen - vorbehaltlich von Abstimmungen mit den Behörden - auch genehmigungsfähig, jedoch bereits mit einem deutlichen Aufwand verbunden.

Es gilt zu beachten, dass der geotechnische Sachverständige den Wert +36,2 mNHN als den zum Zeitpunkt seiner Untersuchungen vor Ort erfassten unbeeinflussten Wasserstand bezeichnet [U02]. Er gibt diesen Wert nach unserer Kenntnis und Lesart nicht als Empfehlung für die Bauzeit an. Zu einem anderen Zeitpunkt (Bauzeit) können andere Wasserstände auftreten. Insoweit sollte dieser Wert nicht ohne Weiteres als Planungsgrundlage verwendet werden.

Zu bauzeitlich zu erwartenden Wasserständen oder langzeitlichen Schwankungen der Wasserstände am Standort selbst sind dem Geotechnischen Bericht keine Angaben zu entnehmen.

## 5 Vorentwurf der Gründung Gebäude

Im Rahmen eines Vorentwurfes gehen wir davon aus, dass praktisch alle Bauwerke im Baufeld mittels Pfählen zu gründen sind, sich diese jedoch in der Pfahllänge unterscheiden.

Um die Kosten der Pfahlgründung grob überschlägig abzuschätzen, wählen wir folgenden Ansatz:

### Lasten Gebäude:

Die Gebäudelasten für Wohnungsbauten sind - weitgehend unabhängig von der Bauweise - ingenieurmäßig anzusetzen mit:

4 bis 5 kN pro m<sup>3</sup> umbauten Raum bzw. 12 bis 15 kN/m<sup>2</sup> pro Geschoss

Für den städtebaulichen Entwurf gemäß Abbildung 1 ergeben sich die zu bebauenden Grundflächen mit den jeweiligen Geschosszahlen und einhergehenden Bauwerkslasten gemäß der Auswertung in Anlage 1.

### Pfahltragfähigkeit:

Ein im Berlin-Brandenburger Raum sehr erfolgreich eingesetztes Pfahlsystem ist das System FUNDEX der Firma König-Pfähle aus Werder (Havel). Es handelt sich um einen sogenannten "Vollverdränger-Bohrpfahl", der beim Einbau keinen Boden fördert (es fällt also kein zu entsorgendes Bohrgut an), sondern diesen seitlich vollständig verdrängt. Nach Erreichen der Endtiefe wird der Bewehrungskorb eingebaut und der Hohlraum unter Ziehen des Bohrrohres ausbetoniert.

Standardmäßig werden Pfähle mit einer Gebrauchslast von  $E_k=600-1000$  kN, i.M. 800 kN (Typ I) oder von  $E_k=1.000-1.500$  kN, i.M. 1.250 kN (Typ II) angeboten.

Weitere Pfahlsysteme sind technisch und wirtschaftlich ebenso darstellbar.

Der Einsatz von Fertigteilrammpfählen stellt hier allein unter Kostenaspekten das günstigste Pfahlsystem dar. Beim Rammen werden jedoch sehr hohe Erschütterungen in den Baugrund eingeleitet, die in der Nachbarschaft (z.B. denkmalgeschützte Wohngebäude) auch in 60-100 m Distanz noch deutlich wahrgenommen werden und dort zu Schäden führen können, in jedem Fall aber das nachbarschaftliche Verhältnis auf die Probe stellen. Die Machbarkeit kann u.E. nur durch Proberammungen geklärt werden, da unter den hier vorliegenden komplexen Randbedingungen keine Prognosemodelle existieren. Hierzu sollte die Erfahrung von Spezialtiefbaufirmen

hinzugezogen werden, die unter vergleichbaren Randbedingungen Fertigteilrammpfähle bereits erfolgreich eingebaut haben.

Betreffend Anwendungs- und Kostensicherheit stehen FUNDEX-Pfähle auf der sicheren Seite und werden daher zunächst im Weiteren betrachtet. Es wird konservativ ein Pfahl Typ II mit 600 kN Gebrauchslast berücksichtigt.

### Anzahl Gründungspfähle pro Grundfläche

Grundsätzlich kommen zwei Tragsysteme in Betracht:

1. Ein Balkenrost mit dünner Tragplatte, hierbei werden die Pfähle unter den belasteten, tragenden Wänden angeordnet oder
2. Eine verstärkte Bodenplatte, hierbei werden die Pfähle in einem gleichmäßigeren Raster unter der Bodenplatte (nicht zwingend unter den Wänden und Stützen) angeordnet. Hierbei entfällt der Balkenrost. Dies wird hier als Vorzugsvariante betrachtet.

In beiden vorstehenden Varianten sind die Pfahlköpfe nach Fertigstellung zu kappen, um die freigestemmte Bewehrung in die Sohle bzw. den Balkenrost einbinden zu lassen.

Wir gehen erfahrungsbasiert davon aus, dass für eine 2 bis 4-geschossige Bauweise mit regelmäßiger Anordnung zumeist etwa 10 bis 12 Pfähle für eine Grundfläche von 100 m<sup>2</sup> ein wirtschaftliches Optimum darstellen, so dass sich etwa 0,8 bis 1 Pfahl pro 10 m<sup>2</sup> Einzugsfläche ergibt. Für Überschneidungen, Doppelpfähle im Bereich Gebäudetrennfugen etc. sind etwa 20% Zusatzpfähle vorzusehen.

### Pfahlanzahl

Mit den vorstehenden Daten ergeben sich für die Gebäude folgende Pfahllängen:

**Tabelle 1:** Abschätzung der Pfahllängen und -anzahl für die Gebäude

Bauteilbereiche	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Last in [kN/m <sup>2</sup> ]	Gesamt- last [kN]	Pfahl- anzahl [1]	Ges. Pfahl- widerstand [kN]	Nicht tragf. Baugrund [m]	Mittlere Pfahllänge [m]	Ges. Pfahllänge [m]
Entwurfsvariante 04								
1 Geschoss/Garage	4.380	14	61.320	631	378.600	7,5	11	6.941
2 Geschosse	259	28	7.252	37	22.200	7	10,5	389
3 Geschosse	1.940	42	81.480	279	167.400	8	11,5	3.209
4 Geschosse	2.370	56	132.720	341	204.600	7,5	11	3.751
4 Geschosse inkl.Gar.	2.112	56	118.272	304	182.400	7,5	11	3.344
11.061		1.592			17.634			



## Pfahllängen und -kosten

Unsere orientierende Ermittlung der Pfahllängen für die vier repräsentativen Drucksondierergebnisse CPT 4, 7, 11 und 19 ergab für den betrachteten FUNDEX-Pfahl Pfahllängen von 3,5 (best-case) bis 14,2 m (worst-case).

**Tabelle 2:** Ergebnisse der orientierenden Berechnung der erf. Pfahllängen

Druck- sondierung	OK tragf. Boden [U02]		GOK [mNHN]	Erf. Pfahllänge [m]	Pfahlabsatz- tiefe [mNHN]	Einbindung unter OK tragf. Baugrund [m]
	[m]	[mNHN]				
CPT 04	7,5	29,3	+36,9	14,2	22,7	6,6
CPT 07	8,8	28,1	+36,9	11,5	25,4	2,7
CPT 11	1,4	36,3	+37,7	3,5	34,2	2,1
CPT 19	8,5	28,7	+37,2	10,5	26,7	2,0

Gegenüber den durch BfU ermittelten Oberkanten der tragfähigen Bodenschichten benötigen die Pfähle insoweit eine Einbindung in den tragfähigen Böden von rund 2 m (CPT 19) bis 6,6 m (CPT 04), im Mittel der vier orientierenden Berechnungen von rd. 3,35 m. Konservativ wird im Weiteren eine Einbindung unterhalb OK tragfähiger Baugrund von im Mittel 3,5 m angenommen.

Die Auswertung aller Drucksondierergebnisse ergab, dass die mittlere Mächtigkeit der breiigen Schichten, mit einer undrnierten Kohäsion von erwartungsgemäß <10 kPa bei etwa 3,5 m liegt. In diesen Schichten ist der Bewehrungskorb mit einer Hülse aus Stahlrohr zu versehen, um die Integrität des Pfahl während der Herstellung sicherzustellen.

Unsere ingenieurmäßige Wichtung der erforderlichen Pfahllängen für die einzelnen Bauteilbereiche auf der Grundlage des Isohypsenplans der OK tragfähiger Baugrund [U03], vgl. auch Abbildung 2, rechts, ergab die in Tabelle 1 angegebene Einzel- und Gesamtpfahllänge.

Unter Berücksichtigung von Pfahlherstellkosten von rund 105 € pro lfdm, einer Zulage zur Anordnung einer Pfahlhülse im Bereich einer flüssigen/breiigen Konsistenz von rund 70 bis 80 €, dem Aufwand zum Kappen der Pfähle von rund 100 €/Stück und Baustelleneinrichtungskosten von rd. 20.000 € ergeben sich die Kosten der FUNDEX-Pfahlgründung der Gebäude insgesamt gemäß Tabelle 3:

**Tabelle 3:** Abschätzung der Pfahlkosten FUNDEX für Gebäude

Entwurfsvariante 04:						
Pfahl	17.634 m	x	105 €/m	=	1.851.570 €	
Hülse	1.592 Stck	x	3,5 m x 80 €/m	=	445.760 €	
Kappen	1.592 Stck	x	100 €/Stck	=	159.200 €	
BE				=	17.500 €	
gesamt					<b>2.474.030 €</b>	

Hinzu treten Kosten für die Herstellung des Balkenrostes bzw. für eine verstärkte Bodenplatte zur Aufnahme der Pfahlköpfe. Diese Kosten werden dem Hochbau zugeordnet.

Zum Vergleich:

Sollte im Ergebnis einer eingehenden Prüfung und Zustimmung des Bauherren zur Inkaufnahme verbleibender Risiken eine Rammpfahlgründung im Hinblick auf Einwirkungen auf die Umgebung seitens der Planungsbeteiligten als machbar und sinnvoll angesehen werden, schätzen wir

die Kosten für ein Pfahlsystem mit einem Querschnitt von 30x30 bis 40x40cm mit rd. 40 bis 60 €/m ab, zzgl. Baustelleneinrichtungskosten von rd. 17.500 €. Die Kosten einer Fertigrammpfahlgründung läge damit bei rd. 1.075.000 €.

Weiterhin ist - soweit erforderlich - eine temporäre Tragschicht als befestigte Arbeitsebene für die schweren Arbeitsgeräte (Dienstgewichte 60 bis 120t) herzurichten, abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, vgl. Abschnitt 9.

## 6 Vorentwurf der Gründung Straße

Auch für die Gründung der Straße und der Zufahrten kommt u.E. nur eine Tiefgründung mittels Pfählen in Frage.

Die alternative Ausführung einer tieferreichenden Baugrundverbesserung mittels Rüttelstopfverdichtung kommt hier aufgrund der geringen Kohäsion der organogenen Böden u.E. nicht in Betracht. Darüber hinaus wäre hierbei von erheblichem Mehraufwand auszugehen, da mit Kies vorgestopft und mit Schotter nachgestopft werden müsste. Hierbei werden große Materialmengen benötigt (>15% des Volumens des zu verbessernden Bodens).

**Tabelle 4:** Abschätzung der Pfahllängen und -anzahl für die Straße (Fahrbahn) und Zufahrten

Bauteilbereiche	Fläche [m²]	Last in [kN/m²]	Gesamt- last [kN]	Pfahl- anzahl [1]	Ges. Pfahl- widerstand [kN]	Nicht tragf. Baugrund [m]	Mittlere Pfahllänge [m]	Ges. Pfahllänge [m]
Entwurfsvariante 04								
Straße (Fahrbahn)	3.610	25	90.250	520	415.872	7,5	10	5.198
Zufahrten	311	25	7.775	45	35.827,2	7,5	10	448
	3.921			565				5.646

**Tabelle 5:** Abschätzung der Pfahlkosten für die Straße (Fahrbahn) und Zufahrten

Entwurfsvariante 04:									
Pfahl	5.646	m	x	105	€/m		=	592.855	€
Hülse	565	Stck	x	3,5	m	x 80 €/m	=	158.095	€
Kappen	565	Stck	x	100	€/Stck		=	56.462	€
BE (bereits bei Gebäuden erfasst)								=	0 €
gesamt								<b>807.412</b>	<b>€</b>

Hinzu treten Kosten für den Pfahlrost- bzw. Stahlbetonunterbau der Straße, die den Kosten für den Straßenbau zugeordnet werden.

Zum Vergleich:

Sollte unter dem Vorbehalt gemäß Abschnitt 5 eine Fertigteilrammpfahlgründung machbar sein, betragen deren Kosten rd. 355.000 €.

## 7 Gründung der Parkplätze und Rettungswege

Für untergeordnete Nutzungen mit geringen Anforderungen an Ebenheit und Verformungen, z.B. Parkplätze und Rettungswege, kann in Abstimmung mit dem Bauherren ggf. auf eine Pfahlgründung verzichtet und "nur" eine Tragschicht eingebaut werden.

Orientierend können die möglichen Setzungen einer solchen "schwimmenden" Gründung zwar abgeschätzt werden, jedoch ergeben sich große Schwankungsbreiten, je nachdem welche fiktive worst case Situation berücksichtigt wird, insbesondere im Hinblick auf kleinräumige örtliche Wechsel von schlechter zu guter Tragfähigkeit des Baugrunds. Die Machbarkeit orientiert sich zumeist an kleinräumigen Inhomogenitäten des Baugrunds, die nicht zutreffend vorhergesagt werden können.

Es wäre noch abzuklären, ob der Einbau von konventionellem recyceltem Tragschicht-Material (z.B. BRC), dessen LAGA-Einbauklasse selten Z0, regelmäßig Z1.1 und gelegentlich Z1.2 ist, bei durchlässiger Gestaltung des Belages, z.B. Rasengittersteine, und aufgrund geringen Abstandes zum Grundwasser hier genehmigungsfähig ist. Sinngemäß wäre auch die Verwendbarkeit des vor Ort auf Haufwerken liegenden (gebrochenen?) Abbruchmaterials als Tragschicht auf dem Grundstück zu klären.

Nach Angaben der BfU/ Herrn Jeske weist das Haufwerksmaterial eine Körnigkeit auf, die es als Tragschichtmaterial geeignet erscheinen lässt. Chemische Analysen des Materials liegen nicht vor. Es ist zu vermuten, dass derartiges Material (aus gleicher Abbruchmaßnahme) verwendet wurde, um große Areale des Grundstücks zu befestigen. Die chemischen Analysen des aufgefüllten Boden [U02] weisen jedoch LAGA-Einbauklassen von teils >Z2 (unter Berücksichtigung von  $TOC_{gesamt}$ ) bzw. allein unter Berücksichtigung des fossilen TOC (unter Außerachtlassung des (natürlichen) biogenen TOC-Anteils) zumindest von Z2 (nicht gefährlicher Abfall) auf. Es deutet sich an, dass diese Belastung ggf. aus den Haufwerken herrührt. Weiterhin weist das Haufwerksmaterial nach Angaben von Herrn Jeske Fremdbestandteile auf. Diese wären ggf. vor der Verwendung auszusondern, was regelmäßig nur händisch erfolgen kann, was zu einem erheblichen Mehraufwand führen kann, um eine Verwendung zu ermöglichen.

Soweit der Einbau von externem RC-Material oder dem anstehenden Haufwerksmaterial nicht genehmigungsfähig ist, wäre der Einbau von gebrochenem Naturstein, z.B. Kalkschotter 0/32 oder 0/45 vorzusehen.

Die Kosten für Lieferung Kalkschotter aus Berlin (rd. 35 bis 60 €/m<sup>3</sup>) und Einbau in einer Lagenstärke von 1,00 m (rd. 10 €/m<sup>3</sup>) schätzen wir mit rd. 45 bis 70 €/m<sup>3</sup> ab. Als Trennlage und zur Lastverteilung ist ein Geotextil anzuordnen, mit Kosten von rd. 2,0 bis 2,5 €/m<sup>2</sup>. Für eine rd. 1,0 m mächtige Tragschicht betragen die Kosten somit rd. 70 €/m<sup>2</sup>. Für die Verbreiterung der Tragschicht gegenüber der Straßenbreite infolge Lastausbreitung wird ein Zuschlag von 20% berücksichtigt.

**Tabelle 6:** Abschätzung des Aufwandes zur Gründung der sekundären Verkehrswege

Bereich	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Mächtigkeit [m]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	Kosten gesamt [€]
Entwurfsvariante 04				
Parkplätze	779	1,0	70	65.436
Gehwege	773	1,0	70	64.932
Schotterrasen/ Betonrasensteine	223	1,0	70	18.732
1.775				149.100

Hinzu treten die Kosten für den Bau der Verkehrsanlagen selbst und den Einbau eines lastverteilenden Geotextils.

Soweit Setzungen der Parkplätze, etwa im Hinblick auf die Aufrechterhaltung eines Gefälles nicht hinnehmbar sein sollten, wäre dort ersatzweise eine Pfahlgründung vorzunehmen. Die Kosten für die Parkplätze sind analog der Straßengründung mit etwa 210 €/m<sup>2</sup> anzusetzen, woraus sich Pfahlgründungskosten (FUNDEX) der Parkplätze von 165.000 € ergäben.

## 8 Gründung der Medienleitungen

Die Gründung von Medienleitungen, insbesondere R- und S-Kanalisation, in den nicht tragfähigen Böden, erfordert ebenfalls eine Pfahlgründung. Die zentrale Erschließung sollte - soweit technisch möglich - unterhalb der Straße angeordnet werden und somit Bestandteil der Straßengründung werden. Soweit es, z.B. aus Gründen der Unterhaltung, angeraten ist, die Leitungen gesondert zu verlegen, kann dies in einem Kanal parallel zur Straße erfolgen. Die Hausanschlussleitungen sind - ausgehend von der Straße - in pfahlgegründeten Leitungskanälen anzuordnen. Die Pfähle stehen einachsrig in einem Abstand von rund 3 bis 5 m, im Mittel von 4 m.

Grob überschlägig wird zunächst von einer Gesamtlänge der Hausanschlussleitungen von 50 m (≈ 20 Pfähle) ausgegangen. Im Mittel des gesamten Baufeldes beträgt die erforderliche Pfahllänge rd. 10 m.

**Tabelle 7:** Abschätzung der Pfahlkosten FUNDEX für Hausanschlussleitungen

Entwurfsvariante 04:						
Pfahl	200	m	x	105	€/m	= 21.000 €
Hülse	20	Stck	x	3,5	m x 80 €/m	= 5.600 €
Kappen	20	Stck	x	100	€/Stck	= 2.000 €
BE (bereits bei Gebäuden erfasst)						= 0 €
gesamt						<b>28.600 €</b>

## 9 Temporäre Herstellung von Arbeitsebenen/ Tragschichten

Die Herstellung der Gründung erfordert eine für schweres Bohrpfahlgerät (60-80 t) tragfähige Arbeitsebene. Nach Angaben der BfU/ Herrn Jeske ist auf weiten Grundstücksbereichen bereits RC-Material in den Boden eingearbeitet worden, so dass lediglich noch 2 Bereiche vorhanden seien, die zum Zeitpunkt der Untersuchung der BfU nicht tragfähig waren. Je nach Witterungslage, örtlicher Dränagesituation und Belastung können ggf. auch weitere Grundstücksbereiche durchweichen. Im Kontext der Befahrung des Geländes mit der Drucksonde auf Kette (geschätztes Gerätegewicht rd. 30 t) seien nach Angaben von Herrn Jeske keine Probleme (Versackungen des Gerätes) aufgetreten. Allerdings befährt eine Drucksonde die Arbeitsfläche 1-fach und sinkt allenfalls durch Eigengewicht ein, anders als ein Bohrgerät, dass sich durch mehrfache Beanspruchung der gleichen Arbeitsfläche in den Boden "einarbeitet". Zudem ist die Befahrbarkeit in hohem Maße witterungsabhängig (aufgeweicht durch Regen oder mehrtägig trocken). Wir gehen zunächst davon aus, dass für die Herstellung der Pfahlgründung in einigen Bereichen eine Tragschicht einzubauen ist, die vor Ort verbleibt.

Abhängig von der Lage Baunull und damit von der Lage zum Grundwasser und dem einhergehenden Anschnitt weicher Bodenschichten kann auch für die Herstellung der Bodenplatten die Anordnung einer temporären Tragschicht (zum Verbleib) erforderlich werden.

Zur Generierung von Kostensicherheit berücksichtigen wir zunächst, dass unterhalb des gesamten, durch Gebäude bebauten Fläche ein 0,75 m mächtiges Gründungspolster bzw. eine Tragschicht eingebaut wird.

**Tabelle 8:** Abschätzung des Aufwandes zur Herstellung von Tragschichten (zum Verbleib)

Bereich	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Mächtigkeit [m]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]	Kosten gesamt [€]
Entwurfsvariante 04				
Bebaute Fläche	11.061	0,75	55	<b>730.026</b>

## 10 Zusammenfassende Bewertung der Entwurfsvariante 04

Insgesamt ist die vorstehend betrachtete Entwurfsvariante 04 gründungstechnisch sicher beherrschbar. Es ergibt sich derzeit eine Pfahllänge von max. rd. 14 m, wobei technisch gesehen Pfähle bis 25 und 30 m machbar wären.

Aus gründungs- und hochbautechnischer Sicht, unter Außerachtlassung aller Aspekte der Architektur und Wohnkultur, stellt - wie stets der Fall - die Errichtung der drei unzergliederten (kompakten, würfelförmigen) Gebäude in der Entwurfsvariante 04 gegenüber einer weiter aufgelösten Bebauung, etwa durch Einfamilienhäuser und Reihenhäuser ein kostenmäßiges Optimum dar.

Eine detaillierte Betrachtung der unterschiedlichen Bauwerkslasten und der daraus resultierenden unterschiedlichen Pfahllängen der Gebäude blieb in unserer Untersuchung zunächst außer Acht, da der Kosteneinfluss bei den hier vorliegenden Spitzendruckpfählen moderat ist. So ist etwa bei der großen Gebäudefläche mit nur einem Geschoss eine geringe Ausnutzung der Pfähle gegeben, so dass Optimierungspotenzial hin zu weniger Pfählen besteht, bei dann geringeren Herstellungskosten.

**Grob überschlägig** schätzen wir den Gesamtaufwand zur Gründung der Gebäude, der Straße, der Parkflächen, der Rettungswege, der Medienleitungen und für temporäre Tragschichten im Rahmen einer konservativen Herangehensweise für die betrachtete Planung in Variante 04 mit rund **4,2 Mio€** ab.



## 11 Empfehlungen und Hinweise

Die Ausführung der Gründung erfolgt durch eine Spezialtiefbaufirma. Wir empfehlen, frühzeitig ein oder zwei Firma (z.B. Pfahl-König GmbH/ Herr Stein aus Werder/Havel (Pfahlsystem FUNDEX), Stump-Franki GmbH/ Herr Prütz aus Berlin (Pfahlsystem ATLAS), Arkil Spezialtiefbau/ Herr Meier aus Hamburg (Stahlbetonfertigteiltrampfpfähle)) hinzuzuziehen, um unter den vorliegenden Randbedingungen insbesondere folgende Aspekte weiter abzuklären:

- Welches Pfahlsystem ist wirtschaftlich optimal für den vorgesehenen Baugrund?
- Das Schlagrammen von Fertigteilpfählen ist auf den ersten Blick die günstigste Pfahlvariante. Welche Erfahrungen liegen firmenseitig vor zum Einfluss auf die Umgebung in den vorliegenden organischen Böden? Ist die Durchführung einer Proberammung zielführend zur Abklärung Machbarkeit? Können Risiken (Nachbarbebauung) sicher ausgeschlossen werden?
- Wird unter den vorliegenden Randbedingungen eine befestigte Arbeitsfläche (Einbau Tragschicht) benötigt?
- Welche Proteste der Anwohner sind bei Einsatz einer Schlagramme zu erwarten?

Auf dem Grundstück sind große Mengen Erdstoffe zu bewegen, zu liefern und zu entsorgen, mit teils problematischer Beschaffenheit und Verbringungsmöglichkeit (Organik, Wiesenkalk, vermischte Böden aus RC+Organik). Frühzeitig sollte eine Erdbaufirma in geringer Transportentfernung (die nächstgelegene uns bekannte Firma ist BZR GmbH in Michendorf, mit rund 50 km zu weit entfernt) hinzugezogen werden, da insbesondere der Transportweg hohe Kosten verursacht. Frühzeitig sollten geklärt werden:

- Ist das vor Ort auf Haufwerken vorhandene Material technisch (Kornverteilung, Beschaffenheit) und chemisch (Genehmigungsfähigkeit) geeignet zum Einbau vor Ort im und knapp über Grundwasser?
- Kann mineralisches Recycling-Material oder muss Naturstein-Bruch verwendet werden?
- Wie (Aufwand, Kosten) kann die gegebenenfalls auszuhebende Organik und der Wiesenkalk entsorgt werden?

Die Wasserhaltungen auf dem Grundstück stellen eine große Herausforderung in technischer und genehmigungsrechtlicher Hinsicht dar. Durch Hinzuziehung Wasserhaltungsfirma (z.B. Wils & Water GmbH, Hölscher Wasserbau GmbH, beide in Werder/Havel) sollte weitergehend geklärt werden:

- Sind die organischen Böden und der Wiesenkalk mit Kleinfiltrervakuum- oder Brunnenanlagen entwässerbar bzw. welche Zusatzmaßnahmen (z.B. Dränschlitz) sind erforderlich?
- Welche Verbringungsmöglichkeit des Förderwassers besteht (R-Kanal)?
- Welche Anforderungen bestehen an die Qualität des Förderwassers zur Einleitung R-Kanal?
- Welche Qualität betreffend Einleitparameter weist das Förderwasser erwartungsgemäß auf?
- Soweit tieferreichende Wasserhaltungen unvermeidbar sind, sollte durch Probeabsenkungen der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  des "Systems" und die Absenkreichweite weitergehend aufgeklärt werden. Der  $k_f$ -Wert unterliegt sehr großen Schwankungen und schlägt kostentechnisch insoweit sehr stark durch.

Die Anordnung von zentralen Parkhäusern unter GOK, mit einem Untergeschoss, das signifikant in das Grundwasser einbindet, ist mit großen Herausforderungen und großen Risiken verbunden. Gleiches gilt für eine mögliche Unterkellerung der Wohngebäude. Einen Absenkungsbetrag von <0,5m betrachten wir zunächst problemlos als machbar. Darüber hinaus sind die Risiken genau zu betrachten und ggf. UVP-Auflagen zu beachten.

Grundsätzlich sollte unter Kostenvernunft gelten: Nach Möglichkeit bauzeitlich und dauerhaft möglichst weit über dem Grundwasser bleiben, idealerweise "Pfahlbauten", die sich über das bestehende Geländeniveau erheben.

Die Trockenhaltung einer Baugrube erfordert eine Wasserhaltung, die durch die Ausbildung eines "Absenktrichters" Auswirkungen auf die Nachbarschaft ausübt. Soweit beispielsweise das Grundwasser mittels Brunnen oder Kleinfiltervakuumanlage größenordnungsmäßig um 2 m abgesenkt wird, erreicht die Absenkung (je nach Lage auf dem Grundstück) auch die denkmalgeschützten Nachbargebäude. Soweit dort Holzpfehlgründungen vorliegen, die trockengelegt werden oder organische Böden anstehen, besteht hohes Schadenspotenzial. Ebenso besteht Gefahr für benachbarte Biotope, die trockengelegt werden. In jedem Fall ist durch den Planer der Einfluss nach Außen zu bewerten. Zu beachten ist weiterhin (oft vergessen), dass die Absenkung bis deutlich unter UK Sohle zu erfolgen hat, also z.B. zzgl. Wärmedämmung 10 cm + Sauberkeitsschicht 10 cm + Sicherheitsabstand 0,5 m, also insgesamt 0,7 m tiefer als UK Gebäudesohle, deren Mächtigkeit bei mindestens 0,6 bis 0,7 m liegt.

Wie bereits oben ausgeführt wäre auch der Betrieb der Wasserhaltung selbst eine Herausforderung, da organische Böden sehr undurchlässig sind und Brunnen oft einen geringen Wirkungsradius aufweisen, d.h. es sind entsprechend viele Brunnen anzuordnen. Die Entwässerung der Organik ist insgesamt eine Herausforderung, so dass wir die frühzeitige Einbindung einer erfahrenen Wasserhaltungsfirma anraten. Oft führen organische/saure Bedingungen auch zum Zusetzen der Brunnen. Ein Risiko besteht auch darin, dass im Zuge der Wasserförderung eine Schadstoffbelastung auf dem eigenen Grundstück oder dem Nachbargrundstück "angezapft" wird. Das Förderwasser wäre dann mit hohem Aufwand zu reinigen oder in die Schmutzwasserkanalisation abzuleiten (Schmutzwasserentgelt). Die Berechnung (besser: Schätzung der Größenordnung) der Grundwasserfördermengen ist ebenfalls mit sehr hohen Ungenauigkeiten behaftet, je nach Konservativität der Planung und Aufwand für die Bestimmung der Durchlässigkeit (Probepumpversuche).

Mit freundlichen Grüßen

  
Dipl.-Ing. Michael Müller  
ACP Geotechnik GmbH

#### Anlagenverzeichnis:

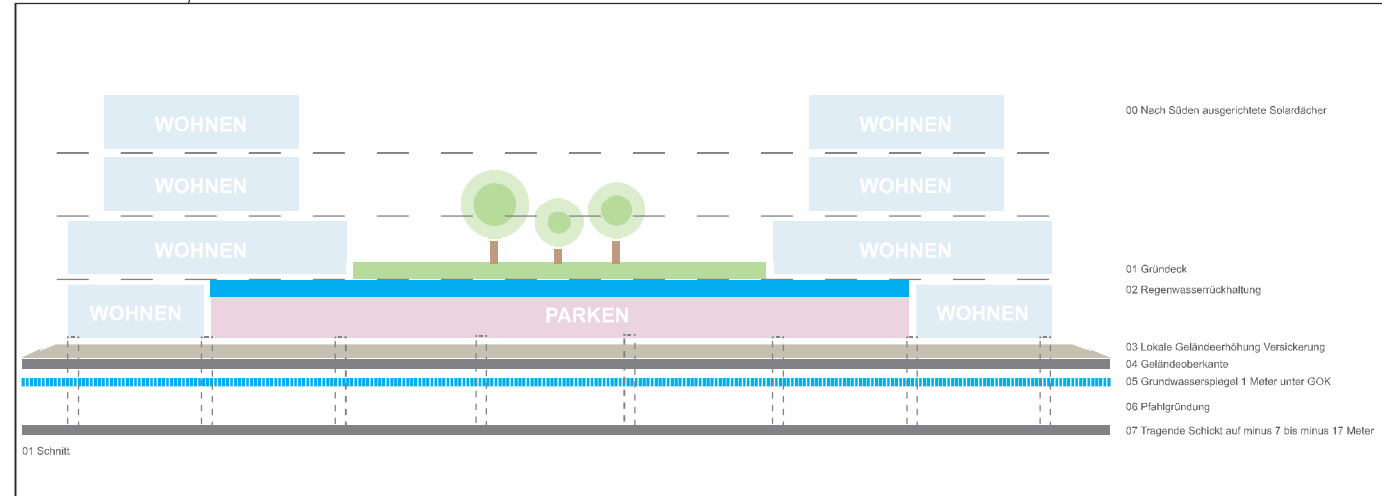
- |                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1. Gliederung der Baukörper in einzelne Gründungsbereiche nach Flächen                  | 2 Blätter  |
| 2. Überlagerung der Baukörper mit dem Isohypsenplan zur OK tragfähiger Bodenschichten   | 2 Blätter  |
| 3. Ergebnisse orientierender/ indikativer Berechnungen zur Bemessung von FUNDEX Pfählen | 11 Blätter |
| 4. Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur undränierten Kohäsion cu-Wert [U04]           | 13 Blätter |

# Variante 04



14 kN/m <sup>2</sup>	4.380,0m <sup>2</sup>	1 Geschoss / Garage
28 kN/m <sup>2</sup>	259,2m <sup>2</sup>	2 Geschosse
42 kN/m <sup>2</sup>	1.940,2m <sup>2</sup>	3 Geschosse
56 kN/m <sup>2</sup>	2.370,0m <sup>2</sup>	4 Geschosse
56 kN/m <sup>2</sup>	2112,0m <sup>2</sup>	4 Geschosse inkl. Garage

- Legende**
- Allgemeines**
- Untersuchungsbereich (bauseitige Angaben)
  - Isolinie Tiefe tragfähiger Baugrund Angaben in [m NHN]
  - Tiefe tragfähiger Baugrund ab ... [m u. GOK]
  - Oberkante tragfähiger Baugrund ab Tiefe ... [m NHN]
- 5,0**  
(+29,6)
- Detailerkundung (BfU 10-11/2020, 2. UK)**
- Trockenbohrung B 1/20 bis B 4/20 (Tiefe: ca. 15 m)
  - Kleinrammbohrung KRB 7/20 bis KRB 12/20 (Tiefe: i.d.R. ca. 10 m)
  - Drucksondierung (CPT 1/20 bis CPT 20/20) (Tiefe: ca. 15 - max. 25 m)
  - Grundwassermessstelle GWM 2B/20, GWM 3/20 und GWM 5/20, 2<sup>te</sup> Überflurrammbohrung (Tiefe: ca. 6,0 m)
  - Aufschlussbohrung (GWM 2/20, GWM 2A/20 und GWM 4/20), (Ausbau zum 2<sup>te</sup>-Pegel nicht erfolgt)
- Orientierende Baugrunduntersuchung (BfU GmbH, 9/2020, 1. UK)**
- Kleinrammbohrung (Tiefe: 7,0 m u. GOK)
  - Schwere Rammsonde zur Ermittlung Lagerungsdichte (Tiefe: 7,0 m u. GOK)
  - 2<sup>te</sup>-HDPE Rammbohrung (Überflur) (Tiefe: ca. 4,5 m u. GOK)
- Voruntersuchungen (IGU, 8/2016)**
- Rammkernsondierung bis max. 6,0 m u. GOK
  - Aufschlussbohrungen (PK...)



M ca. 1:1670