

# Spezialtiefbau auf engstem Raum – Die Herstellung einer 13 m tiefen Baugrube im Bestand

O. BERNECKER  
GrundWerk GmbH & Co.KG, Blumenstraße 17, 70182 Stuttgart

## ZUSAMMENFASSUNG:

Der Beitrag stellt ein Projekt aus dem Jahre 2019 vor. Für einen privaten Bauherrn sollte eine Baugrube auf engstem Raum im Hang entstehen. Neben den sehr begrenzten Platzverhältnissen, war die technischen Lösungen eingeschränkt durch denkmalgeschützte Randbebauung, im Hang befindliche alte Kellerräume („Eiskeller“) sowie dem Umstand, dass auf den angrenzenden Grundstücken eine Rückverankerung nicht gestattet wurde. Die unter diesen Umständen zu entwerfende Baugrubensicherung, für den bis zu ca. 13 m senkrechten Höhensprung im ansteigenden Gelände war anspruchsvoll, wenn nicht sogar am Rande des technisch vertretbaren. Aus diesem Grund kam, begleitend zur Bauausführung die Beobachtungsmethode zum Einsatz. Neben der messtechnischen Begleitung wurden die Erkenntnisse bei der Herstellung kommuniziert und immer wieder zwischen den Beteiligten diskutiert. Dies machte ein Anpassen von Prozessen im Bedarfsfalle möglich.

Nur die enge Abstimmung zwischen dem Geotechnischen Ingenieur und den bauausführenden Firmen führte am Ende zu einem sicheren Bauwerk.

## 1. Einleitung

Die Bauidee des privaten Bauherrn in Heidelberg umfasste neben Umbauten am bestehenden Wohnhaus auch den Neubau einer östlich an das Gebäude angrenzenden Tiefgarage für den eigenen Fuhrpark. Insgesamt sollten fünf PkW-Stellplätze entstehen. Das kleine Baufeld für die Tiefgarage misst im Grundriss ca. 20 x 20 m.

Geprägt ist die Lage der Baumaßnahme durch die unmittelbare Nähe zum Neckar und dem von dort aus rasch bis zum Michelsberg ansteigenden Gelände. Innerhalb des Grundstücks betragen die Geländehöhen im Süden ca. 111 m ü. NN und im Norden ca. 127 m ü. NN.

Die folgende Abbildung zeigt den Standort der Baumaßnahmen am Hangfuß unterhalb des Michelsbergs bzw. des Philosophenwegs.

**Abbildung 1:** Standort der Baumaßnahme in Heidelberg



## 2. Bauliche Ausgangssituation und Planungsaufgabe

### 2.1 Bauliche Ausgangssituation

Die vorhandene Bebauung auf und um das Grundstück stammt vorwiegend aus der Zeit zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Während westlich der neuen Tiefgarage der Bestand der Bauherrschaft direkt angrenzt, befinden sich östlich und nördlich weitere bebaute Grundstücke. Der folgende Grundriss zeigt die **vorhandene Bebauung** in grau dargestellt. Farblich angelegt ist der für den Neubau der Garage vorgesehene

Bereich, der bis zum Beginn der Baumaßnahmen als begrünter Außenbereich mit Treppenanlagen und Natursteinmauern angelegt war.

**Abbildung 2:** Grundrissausschnitt mit umliegender Bebauung (grau) und Baufeld Garage (farbig); blau dargestellt: vertikal aufsteigender Hohlraum



Die innerhalb des Baufelds vorhandenen **Natursteinmauern** sind denkmalgeschützt. Diese Natursteinmauern befinden sich am Kopf der für den Garagenneubau herzustellenden Baugrubensicherung im nördlichen Teil des Geländes. Der bauliche Zustand war insgesamt sanierungsbedürftig.

Neben oft weit geöffneten Fugen waren Rissbildungen im Mauerwerk vorhanden. In einem Bereich fehlte ein Teil der Mauer über eine Breite von ca. 1 m.

Die folgende Abbildung zeigt den typischen Zustand der Mauer.

Im Foto grün gekennzeichnet sind Stellen, an denen Probekörper zur weiteren Untersuchung der Bausubstanz entnommen wurden.

**Abbildung 3:** Typischer Zustand der zu sichernden Natursteinmauern im nördlichen Grundstücksteil



**Abbildung 4:** Blick auf die zu sichernde Natursteinmauer und Fehlstelle



Östlich an das Bestandsgebäude angrenzend verläuft ein Gewölbekeller von Süd nach Nord, der vor Beginn der Maßnahmen noch als Garage genutzt wurde. Im nördlichen Teil des Grundstücks taucht dann ein weiterer Gewölberaum vertikal in diesen ein und bildet einen aufsteigenden Hohlraum im Untergrund. Der Hohlraum liegt hinter der durch den Neubau der Garage neu herzustellenden nördlichen Außenwand.



Ausweislich der Geologischen Karte von Heidelberg sind zahlreiche Verwerfungen im Umfeld der Baumaßnahme vorhanden.

**Abbildung 7:** Auszug aus der Geologischen Karte „Heidelberg Nord“



In der Gesamtschau war davon auszugehen, dass über etwa die Halbe Höhe der notwendigen Baugrubensicherung auf der Nordseite lockergesteinsähnliche Materialien anstehen. Innerhalb dieser Materialien waren Blöcke in unregelmäßiger Verteilung zu erwarten.

Darunter folgte gemäß eigener Interpretation der Baugrunddaten zunächst entfestigter Buntsandstein bis nahezu an die Baugrubensohle (BGS = ca. 111,7 m ü. N).

Sämtliche Kennwerte waren in den Geotechnischen Berichten enthalten.

#### 4. Lösung der Bauaufgabe

##### 4.1 Vorbereitende Maßnahmen

Im Vorfeld der Aushub- und Sicherungsmaßnahmen wurde ein Konzept zur Sicherung der bestehenden und denkmalgeschützten Natursteinmauern und zur Überwachung der Verformungen entwickelt. Die Sanierung der Mauern erfolgt dann in mehreren Schritten. Nach Reinigung der Oberfläche waren die Fugen zu säubern und im Nachgang zu verpressen. Risse wurden vernadelt, einzelne Steine ersetzt. Zudem wurden verstärkte Injektionsmaßnahmen im Bereich des Mauerfußes vorgenommen. Der etwa 1 m breite Zwischenbereich wurde mittels vernagelter, gewölbter Spritzbetonschale überbrückt.

Nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen wurden an der Wand elektronische Neigungsmessgeber angebracht. Der Wandfuß erhielt zusätzliche geodätische

Messpunkte zur Verformungsüberwachung. Das Anmessen der geodätischen Messpunkte erfolgte mittels Totalstation in regelmäßigen Zeitabständen.

Die folgende Abbildung zeigt die sanierte Mauer mit Messgebern.

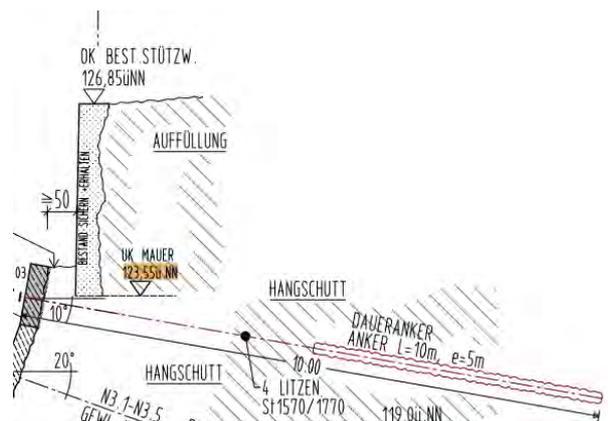
**Abbildung 8:** Sanierte Natursteinmauer mit Messpunkten 101 bis 108 und Neigungsmessgebern 1 bis 7



##### 4.2 Sicherung der Natursteinmauer

Zur Sicherung der Natursteinmauer kam eine abschnittsweise Abfangung mittels rückverankerter Einzelelemente aus Betonfertigteilen zum Einsatz.

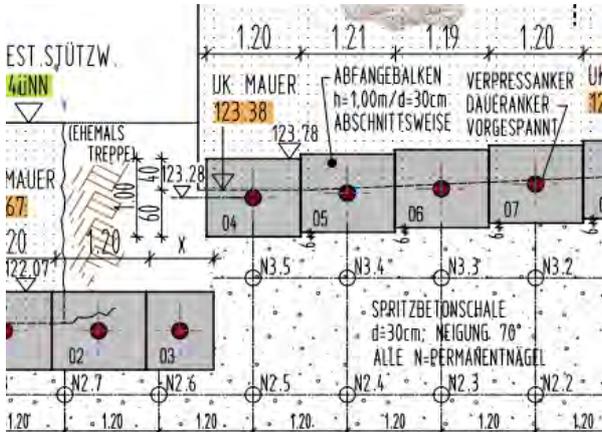
Die untenstehende Abbildung zeigt das System.



Da die spätere Geländemodellierung der Objektplaner keine ausreichende Einbindung am Mauerfuß erwarten ließ war zur Herstellung einer ausreichende Standsicherheit der Mauern eine dauerhafte Rückverankerung notwendig.

Durch den Einsatz von einzelnen Elementen konnte flexibel auf die unterschiedlichen Höhenlagen des Mauerfußes reagiert werden.

Abbildung 9: Elemente des Abfange balkens - Ansicht



Wesentlich für das Gelingen der Maßnahmen war die Wahl der „richtigen“ Vorspannkraft. Hierfür war zunächst der gegebene Zustand der Mauern statisch zu untersuchen. Die Vorspannkraft ( $P_k$ ) der Verpressanker wurde dann mit  $P_k = 100$  kN festgelegt.

Das Ergebnis der Herstellung zeigt das Bild unten.

Abbildung 10: Abfangebalken zur Sicherung der Natursteinmauer



#### 4.2 Spritzbetonvernagelung

Der Einsatz größerer Bohrtechnik war erst ab einer Höhenlage des Aushubs bei 118,5 m ü. NN möglich. Diese Ebene lag ca. 8,5 m unter dem Kopf der Natursteinmauer und bis zu ca. 4,5 m unterhalb des Abfangebalkens. Zur Überwindung des Höhensprungs wurde eine Spritzbetonvernagelung zur Unterfangung des Abfangebalkens entworfen und bemessen. Die Herstellung erfolgte in einzelnen festgelegten horizontalen Abschnitten.

Abbildung 11: Spritzbetonvernagelung unterhalb Abfangebalken

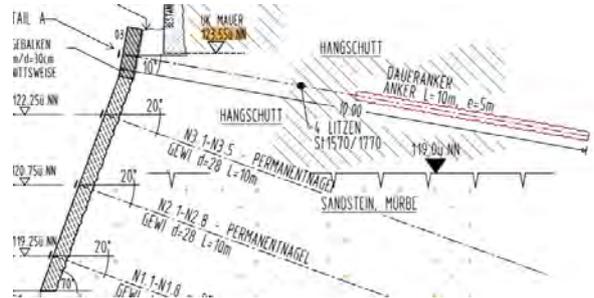


Abbildung 12: Aushub bis zur Zwischenebene auf 118,5 m ü. NN



Die Ausführung dieser Konstruktion bis auf Höhe der Baugrubensohle war nicht möglich, da auf der Westseite des Baufelds eine Rückverankerung nicht gestattet war.

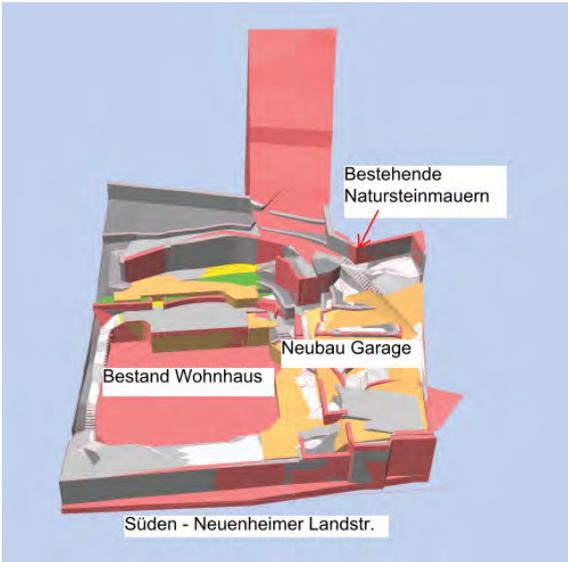
#### 4.3 Bohrpfehlwand

Bedingt durch die Vorgabe, dass Rückverankerungen nur auf dem eigenen Grundstück gestattet waren, musste an der Ostseite zum benachbarten Grundstück eine auskragende Wand geplant werden, die den vorhandenen Höhensprung von ca. 8m sichert. Auf der Nordseite konnte eine Rückverankerung realisiert werden.

Entworfen wurde eine überschnittene Bohrpfehlwand. Aus den planerischen Randbedingungen ergab sich ein L-förmiger Grundriss der Bohrpfehlwand.



**Abbildung 17:** 3D-Ausgangsmodell der Baugrubenplanung



**5. Ausführung**

Mit der gewählten Abfolge der Systeme war der Einsatz von Kleingeräten zur Herstellung möglich. Für die Herstellung der Rückverankerungen sowie der Bodennägel kam eine Beretta T44 mit einem Gesamtgewicht von 4,4 t zum Einsatz.

Ab der Ebene 118,5 m ü. NN konnte eine ausreichend große Bohrebene für das Pfahlbohrgerät errichtet werden. Um die südliche Stützmauer nicht mit dem Gerätegewicht zu belasten musste eine über Zusatzpfähle tief gegründete Fahrebene hergestellt werden. Das Großbohrgerät wurde nach Antransport vor Ort zerlegt und nach Einheben auf die Herstellebene auf der Baustelle wieder aufgebaut. Bewehrungskörbe und Verrohrungen mussten aus Sicherheitsgründen gegen abrollen gesichert sein.

**Abbildung 18:** Bohrgerät auf Herstellebene 118,5 m ü. NN



**Abbildung 19:** Ankerbohrgerät Beretta T44 vor der südlichen Stützmauer auf Endaushubsohle



Einen Eindruck der Herstellung Baugrube liefern die nachfolgenden Bilder, die verschiedene Bauzustände zeigen.

**Abbildung 20:** Abfangebalken und Spritzbetonverbagelung bis Herstellenebene BPW



**Abbildung 21:** Blick Richtung Norden, links Schutzbermen vor Steifeneinbau



**Abbildung 22:** Blick von der Neuenheimer Landstraße Richtung Norden



**6. Messtechnische Überwachung**

Aufgrund der Komplexität der einzelnen Sicherungsmaßnahmen in Verbindung mit den Hohlraumsituationen, wurde zur ständigen Überwachung der Verformungen ein Messkonzept erarbeitet. Dieses sah die permanente Überwachung der eintretenden Neigungen der bestehenden Natursteinmauern, des Abfangbalkens, der Spritzbetonschale und der Stützmauer im Süden vor.

Die Messdaten wurden dabei über eine Totalstation erfasst und auf einem Server allen Beteiligten zur Verfügung gestellt. Im Vorfeld waren Warn-, Alarm und Eingriffswerte festgelegt worden. Im Alarmfall erfolgte das Auslösen einer Mitteilungskette per Email und/oder Mobilfunk. Damit war ständig sichergestellt, dass bei Überschreiten der festgelegten Werte zuvor festgelegte Maßnahmen ergriffen werden konnten.

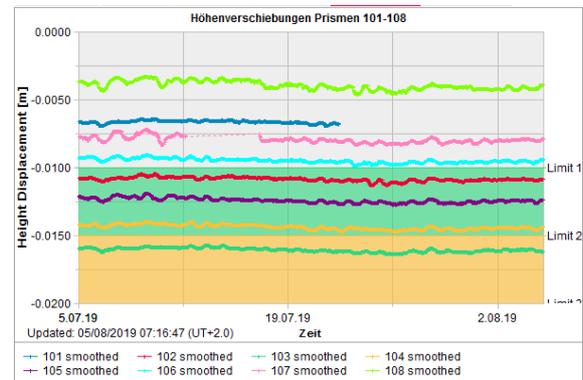
Mit Hilfe der Überwachungspunkte an der vorhandenen Natursteinmauer konnten zudem die möglichen Auswirkungen des Spannvorgangs der vorgespannten Verpressanker innerhalb des Abfangbalkens beobachtet werden. Die zuvor ermittelten Vorspannkkräfte resultierten naturgemäß aus Annahmen zum statischen System. Im Falle einer maßgebenden Über- oder Unterschätzung der errechneten Vorspannkkräfte

wäre es mit Hilfe der Beobachtung der Wandbewegungen möglich gewesen, einzugreifen und die Vorspannkkräfte nach zu justieren.

**Abbildung 23:** Messpunkte-/geber an Natursteinmauer und Abfangbalken



**Abbildung 24:** Beispielhaftes Ergebnis der Setzungen der Natursteinmauer mit farbiger Darstellung Warn- und Alarmwert (grün, gelb)



**Abbildung 25:** Messpunkte auf Stützwand Südseite

## 7. Schlussbemerkungen

Während der Arbeiten mussten zahlreiche technischer Aufgaben gelöst werden. Aufgrund der teilweise offen ständigen Klüfte, die beim Ankerbohren angetroffen wurden, kam es zu erhöhtem Verlust von Injektionsmörtel. Hier war eine Anpassung der Ankerherstellung bzw. der Herstellung der Verpressstrecke notwendig. Einzelne Stellen mussten nach Vorvergütung neu gebohrt werden. Teilweise kam es in den Gewölben zu Suspensionsaustritten.

Die Datenübertragung und -aufzeichnung der permanenten messtechnische Überwachung war immer wieder durch die Maschinenteknik oder Witterungseinflüsse beeinträchtigt, so dass einzelne Messreihen zeitweise lückenhaft waren.

Im Ergebnis konnte die sehr komplexe Bauaufgabe im Zusammenspiel aller Beteiligten ohne Schäden an der Bausubstanz gemeistert werden. Ausdrücklich sei an dieser Stelle auf die sehr gute und konstruktive Zusammenarbeit mit den beteiligten ausführenden Firmen hingewiesen.