

Fundamente |

Die unsichtbare Konstruktion

Dietmar Adam

Vorstand des Institutes für Geotechnik an der Technischen Universität Wien, Leiter des Forschungsbereiches Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Ingenieurkonsulent für Bauingenieurwesen. 2008 Auszeichnung mit dem Staatspreis für Energieeffizienz

Kennen Sie ein Bauwerk auf dem Festland unseres Planeten, das nicht mit Grund und Boden in Verbindung steht? Nein? Keine Sorge, ich auch nicht! Selbst Baumhäuser sind durch die Wurzeln mit der Erde verbunden. Die Natur zeigt uns bereits – wie so oft – dass es nicht nur eine einzige Art zur Anbindung und Verankerung von Strukturen im Untergrund gibt: Flachwurzler, Tiefwurzler, Stelzwurzler, Stützwurzler etc., eine schier endlose Anzahl von Möglichkeiten, die nicht nur von der Pflanzenart selbst, sondern auch von deren Größe, Ausdehnung, Lage, Topografie und natürlich von der Beschaffenheit des Untergrundes und von dessen Wasserhaushalt abhängt.

Für von Menschenhand errichtete Gebäude ist es nicht anders, jedes Bauwerk steht mit Grund und Boden in Verbindung. Das ist keine neue Erkenntnis, oft aber viel zu selbstverständlich. Und überraschend zugleich, wie lange es in der Geschichte gedauert hat, bis Fundamente planbar und berechenbar geworden sind.

Es ist noch keine 100 Jahre her, dass von Ingenieuren belastbare Theorien und praktische Berechnungsmethoden für Gründungsmaßnahmen entwickelt worden sind.

Und doch bleibt bis heute eine große Unwägbarkeit: der Baugrund selbst; die Erkundung zumeist aus

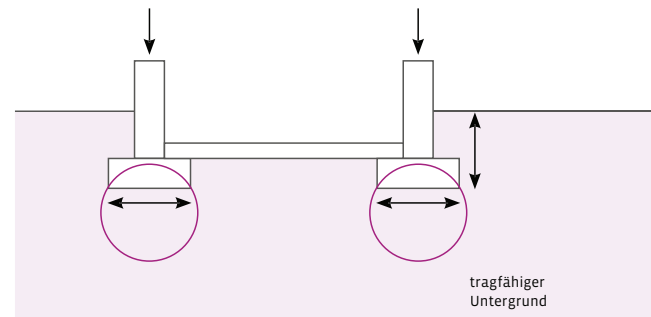
technischen und wirtschaftlichen Gründen nur nadelstichartig, die einer Interpretation unter Zuhilfenahme der Naturwissenschaft – der Geologie – bedarf. Es verbleibt ein mehr oder weniger großes Maß an Ungewissheit, das wir gerne unter dem Begriff „Baugrundrisiko“ subsumieren.

Doch werfen wir zunächst einen Blick in die Geschichte: Wohl war den Ingenieuren immer schon die Bedeutung der Gründung eines Bauwerks bewusst, besondere Aufmerksamkeit bekam das Fundament jedoch erst, als Konstruktionen entwickelt wurden, die empfindlich auf Setzungen und Setzungsdifferenzen reagierten: das Gewölbe und der Bogen, um große Spannweiten zu überbrücken – die Römer waren die ersten Meister dieser Kunst. Einstürzende Strukturen bereits während des Baus oder nach deren Fertigstellung schafften wohl das Bewusstsein, den Boden einer näheren Betrachtung zu unterziehen und Maßnahmen zur Gründung, über lange Zeit empirisch, vorzunehmen. Vom römischen Ingenieur Vitruv ist in diesem Zusammenhang die rund 2000 Jahre alte Anleitung für Pfahlgründungen überliefert: „Wenn man aber keinen festen Boden findet, sondern der Ort locker und sumpfig ist, dann muss der Platz ausgegraben und ausgehöhlt und mit angebrannten Pfählen von Erlen-, Oliven- oder Eichenholz befestigt und der Rost möglichst dicht eingerammt werden;

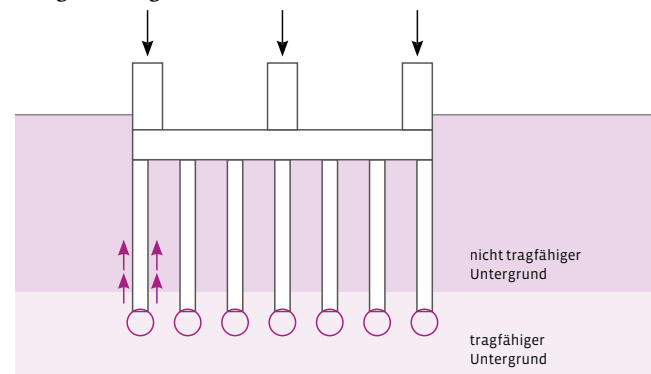
die Zwischenräume der Pfähle fülle man mit Kohle aus und führe dann den Grundbau aus möglichst starkem Mauerwerk auf.“ Das Grundprinzip mit all seinen Facetten ist gleich geblieben, andere moderne Baustoffe und weit entwickelte Bauverfahren erschließen heute jedoch ungeahnte Möglichkeiten.

Die Entwicklung der modernen Bodenmechanik in den Zwanziger- und Dreißigerjahren des vorigen Jahrhunderts mit dessen bahnbrechenden Erkenntnissen zur mechanischen Beschreibung und Untersuchung des Bodens unter der unumstrittenen Vorreiterrolle des österreichischen Professors

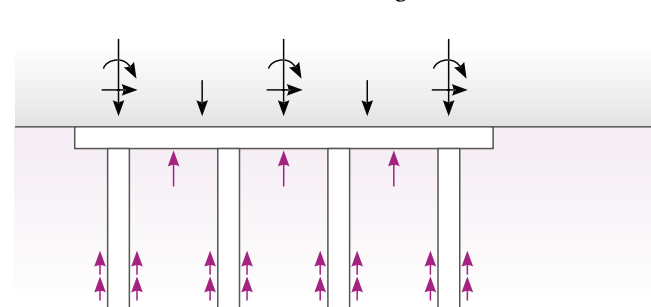
Flachgründung



Tiefgründung



Kombinierte Pfahl-Platten-Gründung (KPP)





Karl von Terzaghi, der an der damaligen Technischen Hochschule in Wien lehrte und forschte und 1928 in Wien das weltweit erste Institut für Grundbau und Bodenmechanik gründete, läutete eine neue Ära der wissenschaftlich fundierten Betrachtung von unzähligen geotechnischen Fragestellungen ein. Mittels mechanischer Grundbruchberechnungen ließ sich nun das Versagen von Gründungen beschreiben, mittels Konsolidationstheorie das zeitabhängige Setzungsverhalten von belasteten Böden, mittels mechanisch-hydraulischer Berechnungen die Wirkung von Wasser in Grund und Boden, um nur beispielhaft einige wenige aus einer Unzahl von Errungenschaften zu nennen.

Heute blicken wir auf eine kaum mehr überschaubare Zahl von Methoden und Verfahren zur Gründung. Diese auch nur annähernd in ihrer Gesamtheit aufzuzählen, würde diesen Beitrag bei Weitem sprengen. Von der klassischen Flachgründung (Einzel-, Streifenfundament) bzw. Flächengründung (Plattenfundament) in ausreichend tragfähigen Böden bis hin zur Tiefgründung (Pfähle, Schlitzwände etc.) zur Abtragung von hohen Lasten in größere Tiefen bzw. zur Überbrückung von wenig tragfähigen bzw. setzungsempfindlichen Bodenschichten bieten sich zusätzlich unzählige Methoden zur Bodenverbesserung an. Unter Hybridgründungen

sind Maßnahmen zu verstehen, bei denen der Baugrund gleichzeitig verbessert wird und (Tief-)Gründungselemente hergestellt werden. Kombinationsgründungen stellen eine Verquickung unterschiedlicher Gründungsmethoden dar. Beispielsweise wird bei einer Kombinierten Pfahl-Platten-Gründung (KPP) die Lastabtragung sowohl über Pfähle als auch über die darauf und gleichzeitig auf dem Boden liegende Bodenplatte abgetragen; unter Berücksichtigung der Verformungsverträglichkeit erfolgt die Verteilung der Lasten auf die einzelnen Gründungselemente. Kastengründungen bzw. Topfgründungen ermöglichen die Abtragung von sehr hohen Lasten und ausgedehnten Belastungsflächen bei sämtlichen Untergrundverhältnissen. Nicht zu vergessen sind Unterfangungen und Verstärkungen von Bestandsfundamenten. Den Belastungen und Dimensionen sind keine Grenzen gesetzt, Gründungstiefen von bis zu 100 m und in Einzelfällen auch deutlich darüber sind mit den üblichen modernen Verfahren keine Besonderheit mehr, stellen jedoch oft große Herausforderungen in der Ausführung dar.

Aktuelle spektakuläre Projekte mit ebenso beeindruckenden Gründungen dienen der Illustration und sollen an dieser Stelle exemplarisch für „best practices“ präsentiert werden:



Bert Danckaert
Simple Present #350
(Havana), 2010
Courtesy Roberto Polo
Gallery, Brussels

Der erst kürzlich eröffnete DC Tower 1 in der Wiener Donau City mit einer Höhe von 220 m (plus 30 m Sendemast) ist auf bis zu 35 m tiefen Schlitzwandelementen (und Pfählen) gegründet, die unter Berücksichtigung der Tiefgeschosse bis rund 55 m unter die Oberfläche reichen. Die vertikale Abmessung des Gebäudes von der Spitze des Sendemasts bis zur Unterkante der Fundierung beträgt somit mehr als 300 m. Die lastverteilende hochbewehrte Stahlbetonbodenplatte weist eine Dicke von 4 m auf. Die Grundwasserhaltung in den komplexen Untergrundverhältnissen des sog. Wiener Tegels mit zahlreichen gespannten Grundwasser führenden Bodenhorizonten ist eine besondere Herausforderung gewesen. Gebäudesetzungen in der Größenordnung von 5 cm liegen im erwarteten Bereich.

Das neue Wahrzeichen der serbischen Hauptstadt Belgrad ist die kürzlich fertiggestellte asymmetrische Schrägkabelbrücke über die Save mit einer Gesamtlänge von 964 m unmittelbar vor der Mündung in die Donau. Der Pylon mit einer Höhe von 200 m ruht auf einem kreisförmigen Gründungskasten mit einem Durchmesser von 37 m, bestehend aus einer Kopfplatte mit einer Gesamtdicke von 8 m, einer umfassenden Schlitzwand sowie 113 Bohrpfählen bis in eine Tiefe von 40 m. Synergien wurden dahingehend genutzt, dass durch die ringförmige Anordnung der Schlitzwandelemente weder eine Aussteifung noch eine Verankerung für die Baugrubensicherung erforderlich war und diese zudem dicht ausgeführt wurde, sodass keine Grundwasserhaltung erforderlich war. Zuzufolge der Pylonlast von rund 600.000 kN (!) traten Setzungen in der Größenordnung von in etwa 4 cm auf.

Planmäßige Setzungen in ganz anderer Dimension traten beim neuen Stadion Klagenfurt auf, das für die EURO 2008 auf extrem setzungsempfindlichen Seetonen des verlandeten Teils des Wörthersees errichtet wurde. Da der tragfähige Boden bereits in einer Tiefe von mehr als 80 m angetroffen wurde, entschied man sich, das Stadion schwimmend auf einem mittels Tiefenverdichtung verbesserten Bodenpaket zu gründen (Rüttelstopfverdichtung bis max. 15 m Tiefe). Zuzufolge der asymmetrischen Belastung der Bodenplatte für die Haupttribüne wurden neben Setzungen im Dezimeterbereich auch Differenzsetzungen von mehreren Zentimetern prognostiziert, die zuzufolge der Konsolidation und des Kriechens des Bodens auch bilderbuchartig mit der Zeit auftraten. Die auf diese Langzeitsetzungen statisch-konstruktiv ausgeklügelt ausgelegte Bauwerksstruktur aus Stahlbeton (unterer Rang) und Stahl (oberer Rang) erfüllt vorbildlich ihre Funktion.

Das Entwicklungspotenzial von Gründungen ist noch lange nicht ausgeschöpft.

Der Ruf nach Ressourceneinsparung und Effizienzsteigerung, aber auch Kosten- und Termindruck bei komplexen geotechnischen Fragestellungen verlangen innovative Lösungsansätze und Konzepte, die durch intelligente Verknüpfung und Vernetzung von Abläufen, Maßnahmen und

Systemen in Planung, Ausführung und Betrieb generiert werden. Energieeffizienz und die Nutzung regenerativer Energiequellen sind Schlagworte, die in aller Munde sind; auch an Fundamenten sind sie nicht spurlos vorbegegangen.

Energiepfähle, Energieschlitzwände, Energiebodenplatten etc. werden immer häufiger zur Erschließung der in Boden und Grundwasser vorhandenen Erdwärme herangezogen.

Damit werden erdberührte Bauteile, die statisch-konstruktiv sowieso erforderlich sind, kostengünstig im Sinne von Synergieeffekten als Energieabsorber genutzt, um Wärme zu Heizzwecken aus dem Untergrund zu entnehmen, zu Kühlzwecken in den Untergrund einzubringen oder für eine Kombination aus Heizung und Kühlung im Boden zu speichern – übrigens wie vieles in der Geotechnik eine österreichische „Erfindung“!

In Zukunft wird bedingt durch die Wiederverwertung von Liegenschaften das Augenmerk verstärkt auf den Rückbau von Fundamenten zu richten sein, die Betrachtung der Lebenszykluskosten enthält nicht nur Errichtung, Betrieb und Instandhaltung, sondern auch den Abbruch, der sich insbesondere bei Tiefgründungen schwierig gestalten kann. Bodenverbesserungsmaßnahmen werden aus diesem Gesichtspunkt von Vorteil sein.

Verantwortlich für die Auslegung von Fundamenten und all das, was dafür erforderlich ist – die Erkundung des Untergrundes, die Beschreibung und Charakterisierung des Bodens, die Konzeption, Planung und Dimensionierung von Gründungen sowie die Begleitung und Überwachung in der Ausführung, sind zumeist Bauingenieure mit Spezialisierung auf Geotechnik, wobei Geotechniker immer dasselbe Schicksal ereilt: Ihre Arbeit, die für die dauerhafte Existenz eines Bauwerks von fundamentaler und grundlegender Bedeutung ist, bleibt praktisch immer im Verborgenen, unsichtbar, im Untergrund.

Ohne festes Fundament, ohne sichere Gründung kann jedoch kein Gebäude, keine spektakuläre Architektur, kein ausgeklügeltes Ingenieurbauwerk umgesetzt werden, geschweige denn von dauerhaftem Bestand sein.

Wenn Sie zukünftig ein Gebäude betrachten, versuchen Sie sich vorzustellen, was „darunter“ ist, was es für die Wechselwirkung zwischen Bauwerk und Untergrund bedarf, damit Bauwerk und Boden unerschütterlich den Kräften und Verformungen trotzen. Lassen Sie Ihre Fantasie spielen und zollen Sie auch jenen (Ziviltechnikern bzw. Ingenieurkonsulenten) Respekt, die – zumeist verborgen – dafür verantwortlich sind ... ■