

Feldversuche — Einführung

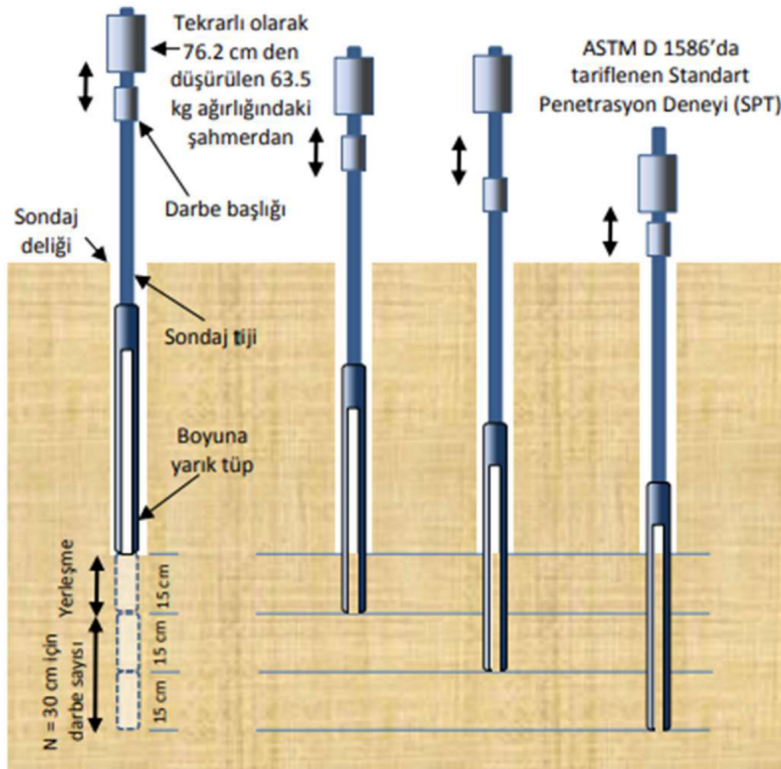
Überblick über geotechnische Feldversuche für eine korrekte Baugrundcharakterisierung.
Originale türkische Quellseite unten erhalten.

Geotechnik problemlerinin doğru olarak tespit edilmesi ve geotechnik özelliklerinin doğru olarak tespit edilmesi için yapılan deneylerdir.

- Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart Penetrasyon Testi (SPT), esas olarak kohezyonsuz zeminlerin sıkılık, yoğunluk ve içsel sürtünme açısının tayini ile kohezyonlu zeminlerin kıvamının belirlenmesinde kullanılır. Bu deneyin TS EN ISO 22476-3 standardına göre yapılması gerekmekte olup, deney sonuçları (araziden elde edilmiş ham SPT verileri) ile deney sonuçlarının gerekli tüm düzeltme faktörlerine (derinlik düzeltmesi, tij boyu düzeltmesi, numune alıcı tipi düzeltmesi, sondaj delgi çapı düzeltmesi, enerji oranı düzeltmesi, ince dane içeriğine göre düzeltme vb.) bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Standart Penetrasyon deneyi zemin sondajlarında yerinde yapılan bir deneydir. Deney 45 cm uzunluğunda ve 2" çaplı bir borunun 75 cm yükseklikten düşen 63,5 kg ağırlığındaki bir şahmerdanla çakılması esasına dayanır. 45 cm'lik uzunluğu 15'er cm'lik üç bölüme ayrılmakta ve üç ayrı aşamada darbe sayısı belirlenmektedir. Genelde 1,5 m aralıklarla yapılan bu deneye göre, zeminin sıkılığı ve kıvam özellikleri ilk 15 cm'lik sondaj tablasındaki örselenmeden dolayı değerlendirmelerde dikkate alınmaz. Hesaplamalarda 2. ve 3. aşama toplamları sonucu elde edilen N değerlerinin formüllere göre düzeltilmiş hali kullanılır.



Pressiometerversuch (PMT) und Plattendruckversuch (PLT)

Pressiometerversuch (PMT)

Beim Pressiometerversuch wird eine zylindrische Sonde lotrecht in ein Bohrloch eingebracht und ueber eine flexible Membran ein gleichmaessig radial gerichteter Druck auf die Bohrlochwand aufgebracht. Aus der unter radialer Belastung gewonnenen Spannungs-Verformungs-Beziehung von Boden- und (weichen/lockeren) Felsformationen lassen sich die Tragfaehigkeit und das Setzungsverhalten von Flach- und Tiefgruendungen berechnen, die in solchen Schichten errichtet werden. Der Versuch dient ferner der Bestimmung der Erddruckkraefte auf Stuetzbauwerke und des Verhaltens horizontal belasteter Pfaehle.

Plattendruckversuch (PLT)

Der Plattendruckversuch liefert in grobkoernigen Boeden bzw. in Boeden mit kleineren Steinen und groben Kiesen sehr aussagekraeftige Ergebnisse. In Baugrunduntersuchungen fuer Hochbauten wird der Plattendruckversuch zur Bestimmung der Tragfaehigkeit des Untergrundes unter Flachgruendungen eingesetzt. Hierzu werden ueber eine definierte Belastungsflaeche zunehmende Druেকে auf den Boden aufgebracht und aus dem Last-Setzungs-Diagramm, das aus den unter diesen Druেকে gemessenen Eindringungen (Setzungen) der Lastplatte abgeleitet wird, die zulaessige Tragfaehigkeit des Bodens bestimmt.

Vorteile und Nachteile des SPT (Vergleichsuebersicht)

Vorteile

- Kurze Versuchsdauer.
- Einfache Versuchsdurchfuehrung.
- Verfuegt ueber die laengste Anwendungsgeschichte und die groesste Datenbasis; weltweit am haeufigsten eingesetzter Feldversuch.
- Gleichzeitige Messung des Eindringwiderstandes und Probenahme moeglich; daher kostenguenstiger als andere Verfahren mit gleichem Funktionsumfang.
- Anwendbar in bindigen und nichtbindigen Boeden ebenso wie in dichten, feinen Kiesen und in Auffuellungen.
- In der Fachliteratur existieren zahlreiche Verfahren zur Ableitung ingenieurmaessiger Bewertungen und Parameter aus SPT-Daten.

Nachteile

- Empfindlich gegenueber Bedienfehlern.
- Ergebnisse haengen empfindlich von vielen Variablen ab, vom Bohrgeraet bis zur Ausfuehrungsmethode.
- In grobkoernigen, blockigen oder felsigen Boeden kann der Probenehmer beschaedigt werden, was zu unzuverlaessigen Ergebnissen fuehrt.
- In sehr weichen und empfindlichen Tonen kann der Versuch irrefuehrende Werte liefern.
- Unterhalb des Grundwasserspiegels besteht die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs am Bohrlochboden mit verfaelschten Ergebnissen.

Drucksondierung / Cone-Penetration-Test (CPT)

Der Cone-Penetration-Test (CPT) liefert insbesondere in weichen Tonen und Schluffen sowie in sandigen Boeden gute Ergebnisse, ist jedoch in kiesigen oder bloeckigen Boeden und im Fels nicht anwendbar. Fuer eine kontinuierliche und zuverlaessige Ermittlung des Bodenprofils und der Bodenkennwerte wird empfohlen, parallel zu den Bohrungen Drucksondierungen (CPT bzw. CPTU mit Porenwasserdruckmessung) auszufuehren. Bei diesem Versuch ist das Eigengewicht der Geraetschaft ausreichend zu waehlen, um dem aufzubringenden Druck standzuhalten; die poroesen Filtersteine der porenwasserdruckmessenden Sonden sind mit einem Polymer zu saettigen.

Der Versuch ist gemaess den Normen TS EN ISO 22476-1 und TS EN ISO 22476-12 durchzufuehren.

Vorteile

- Kurze Versuchsdauer.
- Wirtschaftlicher als andere Feldversuche fuer weiche und gering tragfaehige Boeden.
- Schnelle Erkennung problematischer Bodenschichten wie Torf, organischer Boeden und weicher Tone.
- Synchrone und kontinuierliche Aufzeichnung der Versuchsdaten waehrend des Versuchs.
- Schnelle digitale Auswertung der Ergebnisse.
- Im Vergleich zum SPT deutlich geringerer Einfluss von Bedienfehlern auf die Ergebnisse.
- Erkennung duenner Schichten, Baender und Linsen moeglich.
- Mit auf der Spitze montierten Messgeraeten lassen sich verschiedene Bodeneigenschaften bestimmen.

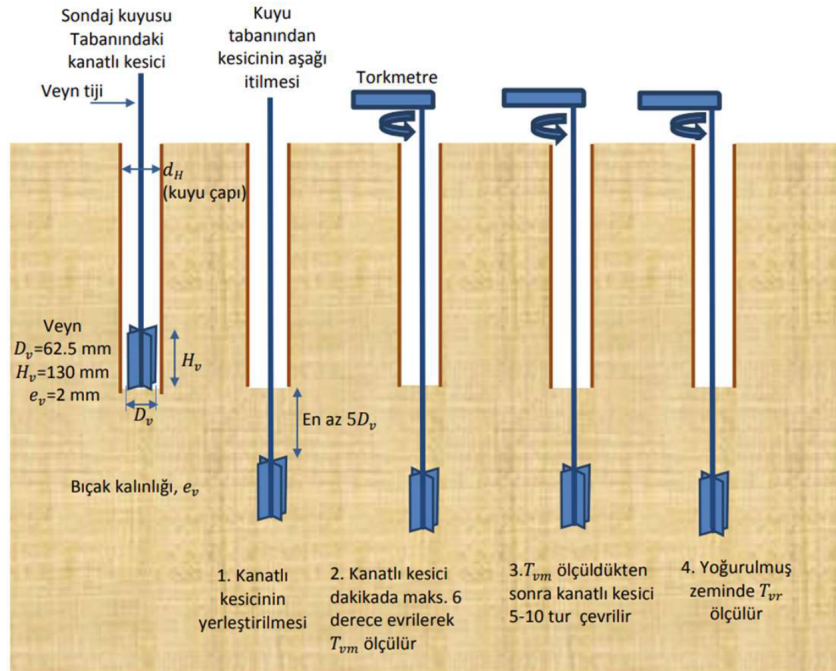
Nachteile

- Nicht anwendbar in sehr dichten Boeden sowie in Boeden mit groben Kiesen und Felsbloecken.
- Waehrend des Versuchs ist keine Probenahme moeglich.
- Ohne Inklinometer-Aufsatz kann das Penetrometer in Tiefen ueber 15 m von der vertikalen Achse abweichen.

Flachdilatometer (DMT) & Flügelsondierung (VST)

Zwei Feldversuche zur Charakterisierung der Bodenverformung und Scherfestigkeit. Originale türkische Quellseite unten erhalten.

Veyn deneyi, kırılsız ve drenajsız kayma dayanımının arızası belirtilmesinde kullanılır. Özellikle de örselenmemiş numune alınmasının güç olduğu yumuşak kıvamdaki kil ya da siltli killer gibi yumuşak/hassas zemin koşullarının olduğu deniz çökellerinde başarılı sonuçlar vermektedir. Deney bir tijin ucuna sabitlenmiş 4 adet bıçaklı kanatın kil içerisinde döndürülmesi sonucu tork direncinin ölçülmesini hedefler. Suyu doygun killerde 200 kN/m^2 ye kadar olan drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için kullanılır. Dikkat edilmesi gereken en önemli unsur torkmetrenin doğru kalibre edilmesidir. Deneyin yapıldığı kilin içeriğinde ki silt-kum miktarı deney sonuçlarını etkiler. Bu sebep ile deneyin yapıldığı her kot derinliğinden numune alınarak elek analizi yapılmalıdır. Bu deney; kum, çakıl veya benzeri zeminler için uygun değildir. Bu deneyin EN ISO 22476-9 standardına göre yapılması gerekmektedir.



- Dilatometre Deneyi

Dilatometre Deneyi, radyal bir basınç altında kayalarda meydana gelen şekil değiştirmenin ölçülmesi suretiyle yapılmakta ve kaya türü zeminlerin gerilme-deformasyon özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Dilatometre deneyi genel olarak dilatometre bıçağının kırılmaması/ bükülmemesi ve çelik diyaframın aşırı deforme olmaması koşuluyla her tip zemin içerisinde uygulanabilmektedir. Önceki çalışmalar, DMT'nin kum, silt, kil ve organik kil tipi zeminlerde diğer zemin türlerine göre çok daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Çakıl ve daha iri daneli zeminlerde uygulanması durumunda ek olarak başka deneylerin yapılması tavsiye edilmektedir. Dane çapı, diyafram çapı olan 60 mm'yi geçen iri çakıllı-bloklü zeminlerde uygulanamamaktadır.

Laborversuche

Da Boeden natuerliche Materialien sind, die aus drei Phasen (fest, fluessig, gasfoermig) bestehen, sind ihre Verhaltensweisen schwerer zu beschreiben als die anderer Baustoffe des Ingenieurbaus. Aus diesem Grund muessen die Bodeneigenschaften fuer jedes Projektgebiet experimentell bestimmt werden, wobei die jeweiligen Standortbedingungen sorgfaeltig zu beruecksichtigen sind.

Die in geotechnischen Untersuchungen zur Beschreibung und experimentellen Bestimmung der ingenieurmaessigen Bodeneigenschaften eingesetzten Versuche lassen sich in drei Hauptgruppen einteilen:

Versuche zur Bodenklassifikation und -beschreibung

- Bestimmung des natuerlichen Wassergehalts
- Bestimmung der natuerlichen Wichte / Korndichte
- Korngruessenverteilung (Siebanalyse)
- Plastizitaet von Boeden (Atterberg-Grenzen)

Versuche zur Bestimmung der Festigkeit (Spannungs-Verformungs-Eigenschaften) von Boeden

- Einaxialer Druckversuch
- Triaxialversuch (UU, CU, CD)
- Rahmenscherversuch / Direktscherversuch

Versuche zur Bestimmung des Setzungsverhaltens des Bodens

- Konsolidationsversuch / Oedomerversuch

Versuche zur Bodenklassifikation und -beschreibung

Bestimmung des natuerlichen Wassergehalts

Der Wassergehalt (W) ergibt sich aus dem Verhaeltnis der im Boden enthaltenen Wassermasse zur Trockenmasse, die durch Trocknung bei 105 Grad Celsius ueber 24 Stunden ermittelt wird.

Bestimmung der natuerlichen Wichte / Korndichte

Die Korndichte (G) ergibt sich aus dem Verhaeltnis der Trockenmasse einer Bodenprobe zu deren Trockenvolumen. Die Bestimmung erfolgt mit der Pyknometer-Methode (ASTM D-854-72).

Aus den Versuchen wird die natuerliche Wichte des Untersuchungsschachtes ermittelt (Beispiel: fuer SK-1 betraegt die natuerliche Wichte 1,89-1,92 g/cm³).

Korngroessenverteilung (Siebanalyse)

Die Siebanalyse dient der Bestimmung der Korngroessenverteilung von Boeden mittels Sieben unterschiedlicher Maschenweite. Sie beruht auf der Bestimmung des Verhaeltnisses des auf jedem Sieb verbleibenden Bodenanteils zur Gesamtmasse. Sie ist das aelteste und bekannteste Verfahren zur Bestimmung der Korngroessenverteilung von Gesteinskoernungen.

Bodenklassifikation

- Material, das das Sieb Nr. 200 passiert (kleiner als 0,075 mm), wird als mineralischer Filler bezeichnet. Liegt mehr als 50 % des Bodens unter dem Sieb Nr. 200, wird das Material als feinkoernig bezeichnet; sind es weniger als 50 %, gilt es als grobkoernig.
- Material, das nicht durch das Sieb Nr. 10 hindurchgeht (groesser als 2,00 mm), wird als Kies bezeichnet.
- Material zwischen dem Sieb Nr. 10 und Nr. 200 (kleiner als 2,00 mm und groesser als 0,075 mm) wird als Sand bezeichnet.

Grobsand: Korngroessen zwischen 2 mm und 0,425 mm (Sieb Nr. 40). Feinsand: Korngroessen zwischen 0,425 mm und 0,075 mm (Sieb Nr. 200).

- Material, das das Sieb Nr. 200 passiert (kleiner als 0,075 mm), wird als Schluff oder Ton bezeichnet.

Schluff und Ton: Boeden mit Plastizitaetszahl 10 oder darunter werden als "schluffig", solche mit hoeherer Plastizitaetszahl als "tonig" bezeichnet.

Beispiel einer Siebanalyse / USCS-Bodenklassifikation (ASTM)

Beispiel einer Siebanalyse

USCS — Unified Soil Classification System / Bodenklassifikation nach USCS (ASTM)



Yayın Tarihi:

26.04.2024

Rev. No/Tarihi:

00 / 26.04.2024

NUMUNE Sample			Su İçeriği Water Content W _n (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ _n	Kuru Birim Hacim Ağırlık γ _s	Özgül Ağırlık G _s	Atterberg Limitleri Atterberg Limits			ELEK ANALİZİ SIEVE ANALYSIS (Yüzde Geçen Percent Passing)		HİDROMETRE Hydrometer		USCS	Nokta Yükleme Deneyi Point Load Strength Test	Kesme Kutusu Deneyi Direct Shear Test
Sondaj No Boring/T. pit No	Numune No Sample No	Derinlik Depth					LL	PL	PI	4 Kalan (%)	200 Geçen (%)	Silt (%)	Kil (%)			
AÇ-1	NUM.	1.50	14.16	1.780			27.5	11.4	16.1	4.01	86.29			CL		
AÇ-2	NUM.	2.00	11.64							60.87	29.15			GM		
AÇ-3	NUM.	1.00	8.17							6.73	85.21			ML		
AÇ-4	NUM.	1.50	5.50				31.5	17.2	14.3	7.23	82.89			CL		
AÇ-5	NUM.	2.00	5.45							51.29	35.89			GM		
AÇ-6	NUM.	2.50	6.79	1.850						9.38	78.56			ML	0.19	15.00
AÇ-7	NUM.	2.00	7.09				31.2	18.7	12.5	5.04	86.23			CL		
AÇ-8	NUM.	1.50	6.98							4.09	86.94			ML		
AÇ-9	NUM.	2.00	13.73	1.910						15.55	42.57			SM	0.18	16.00
AÇ-10	NUM.	1.00	5.65							7.26	82.86			ML		
AÇ-11	NUM.	3.00	8.17							55.43	34.54			GM		
AÇ-12	NUM.	2.00	8.65	1.880						13.95	22.92			SM	0.21	17.00
AÇ-13	NUM.	2.50	19.80							14.05	68.36			ML		
AÇ-14	NUM.	3.00	14.03							59.30	30.50			GM		
AÇ-15	NUM.	2.00	7.11	1.830						13.31	28.66			SM	0.20	16.00

Elek Analizi Deneyi Örneği

200 # Elekten Geçen %	4 # Elekten Geçen %	İnce Tane Yüzdesi	Derecelenme ve Plastiklik	Sembol	Açıklama	
< %50	> %50	% 0-5	$c_u > 6$ ve $1 < c_c < 3$	Evet	SW	İyi derecelenmiş KUM
				Hayır	SP	Kötü derecelenmiş KUM
		% 5-12	Çift Sembol	SP-SM	Siltli, Kötü derecelenmiş KUM	
				SP-SC	Killi, Kötü derecelenmiş KUM	
				SW-SM	Siltli, iyi derecelenmiş KUM	
				SW-SC	Killi, iyi derecelenmiş KUM	
	% 12-50	$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)	Evet	SC	Killi KUM	
			Hayır	SM	Siltli KUM	
	< %50	% 0-5	$c_u > 4$ ve $1 < c_c < 3$	Evet	GW	İyi derecelenmiş ÇAKIL
				Hayır	GP	Kötü derecelenmiş ÇAKIL
		% 5-12	Çift Sembol	GP-GM	Siltli, Kötü derecelenmiş ÇAKIL	
				GP-GC	Killi, Kötü derecelenmiş ÇAKIL	
GW-GM				Siltli, iyi derecelenmiş ÇAKIL		
GW-GC				Killi, iyi derecelenmiş ÇAKIL		
% 12-50	$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)	Evet	GC	Killi ÇAKIL		
		Hayır	GM	Siltli ÇAKIL		
200 # Elekten Geçen %	LL > %50	$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)	Sembol	Açıklama		
> %50	Evet	Evet	CH	Yüksek plastisiteli inorganik KİL		
		Hayır	MH	Yüksek plastisiteli inorganik SİLT		
	Hayır	Evet	CL	Düşük plastisiteli inorganik KİL		
		Hayır	ML	Düşük plastisiteli inorganik SİLT		

USCS Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM) Tablosu

Atterberg-Grenzen — Plastizitätsdiagramm

Plastizitätszahl, Fließgrenze und Ausrollgrenze bei feinkörnigen Böden. Originaler türkischer Inhalt + Diagramm unten erhalten.

İnce taneli zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri su içeriğine bağlı olarak buldukları fazlara göre değişir. Kurudan sıvıya kadar artan su içeriğine göre hemen her fazda bulunan zeminlerin bu faz geçişleri limitlerle tanımlanmıştır. Su içerisinde süspansiyon şeklinde bulunan killer kurudukça hacim değişikliğine uğrar (Atterberg, 1911).

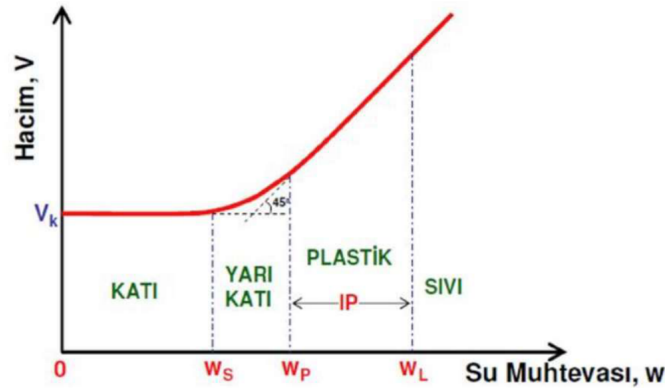
Likid Limit (LL):

Zeminin likid fazdan plastik faza geçtiği andaki su içeriğidir. Bu durumda zeminde hacim azalması olur, fakat herhangi bir kırık ve/veya çatlak gelişmez.

Plastik Limit (PL):

Zeminin plastikten yarı katı faza geçtiği andaki su içeriğidir. Bu aralıkta hacim azalması yanında kuru yan zeminde kırık/çatlaklar gelişebilir. Dolayısıyla bu aralıkta bulunan zeminlerde sıkışma, şişme veya yük taşıma halinde deformasyonlar beklenmelidir. Zeminlerin plastik özellikleri birçok jeoteknik davranışlarını etkilemekte olup, bu aralıktaki su içeriği değişimi de Plastisite İndeksi(PI) olarak tanımlanmıştır.

$$PI = LL - PL$$



- w_L : Likit Limit**
- w_P : Plastik Limit**
- w_S : Büzülme Limiti**
- IP : Plastisite İndisi**

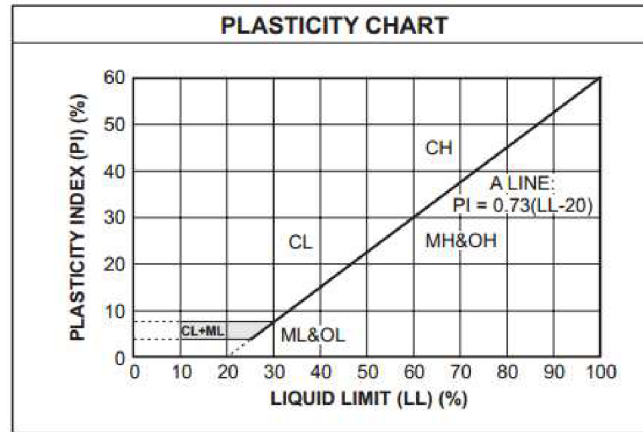
Auswertung der Atterberg-Grenzen

Aus den in den Untersuchungsschaechten gewonnenen Probeergebnissen werden gemaess der Tabelle der Atterberg-Grenzen die Werte fuer Flieessgrenze (wL) und Plastizitaetszahl (IP) ueberprueft. Da die Plastizitaetszahl als Differenz zwischen Flieessgrenze und Ausrollgrenze definiert ist ($IP = wL - wP$), kann die Bodenklasse ohne diese Werte nicht bestimmt werden. Anschliessend erfolgt die Bodenklassifikation anhand des Plastizitaetsdiagramms (Plasticity Chart).



Yayın Tarihi: 26.04.2024
Rev. No/Tarihi: 00 / 26.04.2024

NUMUNE Sample			Su İçeriği Water Content	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Kuru Birim Hacim Ağırlık	Özgül Ağırlık	Atterberg Limitleri Atterberg Limits			ELEK ANALİZİ SIEVE ANALYSIS (Yüzde Geçen Percent Passing)		HIDROMETRE Hydrometer		Nokta Yükleme Deneyi Point Load Strength Test	Kesme Kutusu Deneyi Direct Shear Test		
Sondaj No Boring/T.pit No	Numune No Sample No	Derinlik Depth	Ws (%)	γ _n t/m ³	γ _s t/m ³	G _s	LL	PL	PI	4 Kalan (%)	200 Geçen (%)	Silt (%)	Kil (%)		I _p Mpa	c kg/cm ²	ø Deg.
AÇ-1	NUM.	1.50	14.16	1.780			27.5	11.4	16.1	4.01	86.29			CL			
AÇ-2	NUM.	2.00	11.64					#		60.87	29.15			GM			
AÇ-3	NUM.	1.00	8.17					NP		6.73	85.21			ML			
AÇ-4	NUM.	1.50	5.50				31.5	17.2	14.3	7.23	82.89			CL			
AÇ-5	NUM.	2.00	5.45					#		51.29	35.89			GM			
AÇ-6	NUM.	2.50	6.79	1.850				NP		9.38	78.56			ML		0.19	15.00
AÇ-7	NUM.	2.00	7.09				31.2	18.7	12.5	5.04	86.23			CL			
AÇ-8	NUM.	1.50	6.98					NP		4.09	86.94			ML			
AÇ-9	NUM.	2.00	13.73	1.910				#		15.55	42.57			SM		0.18	16.00
AÇ-10	NUM.	1.00	5.65					NP		7.26	82.86			ML			
AÇ-11	NUM.	3.00	8.17					#		55.43	34.54			GM			
AÇ-12	NUM.	2.00	8.65	1.880				#		13.95	22.92			SM		0.21	17.00
AÇ-13	NUM.	2.50	19.80					NP		14.05	68.36			ML			
AÇ-14	NUM.	3.00	14.03					#		59.30	30.50			GM			
AÇ-15	NUM.	2.00	7.11	1.830				#		13.31	28.66			SM		0.20	16.00



Araştırma çukurlarında yapılan deneyler sonucu Atterberg Limitlerine göre örnek numune sonuçları tablosundan "Likit Limit ve Plastisite Index" kontrol edilir. Likit Limit ve Plastik Limit değerleri arasındaki fark "Plastisite Index" olarak tanımlandığı ($PI = LL - PL$) için bu değerler olmadan zemin sınıfını kontrol edemeyiz. Ardından "Plasticity Chart" tablosu kullanılarak zeminin sınıflaması yapılır.

Festigkeitsversuche (Spannungs-Verformungs-Verhalten)

Einaxialer Druckversuch

Zweck des Versuchs ist die Bestimmung der Tragfaehigkeit eines Felsmaterials unter einaxialem Druck bis zum Bruch.

Die Festigkeit eines Felsmaterials beschreibt seinen Widerstand gegen aeussere Kraefte. Wird die einwirkende Last grosser als der Widerstand des Materials, tritt Versagen ein. Die einaxiale Druckfestigkeit ist das gebraeuchlichste Verfahren zur Bestimmung der Festigkeit von Felsmaterialien. Einaxiale Druckfestigkeit bedeutet, dass die Last in nur einer Achsrichtung auf das Gestein aufgebracht wird (Abb. 1). Sie wird mit dem Symbol σ_c bezeichnet. Der Versuch wird an zylindrischen oder prismatischen Proben durchgefuehrt.

Triaxialversuch / Dreiaxialer Druckversuch

Der Triaxialversuch dient der Bestimmung der unkonsolidierten, undrainierten Scherfestigkeitsparameter von Boeden.

Die Scherfestigkeit ist die maximale Schubspannung, der ein Boden ohne Bruch standhalten kann. Der Triaxialversuch ist eines der Verfahren zur Bestimmung der Scherfestigkeitsparameter und wegen der Aufbringung lateraler und axialer Spannungen, die den realen Feldbedingungen nahekomen, eines der fortschrittlichsten Verfahren. Er wird in der Regel fuer standfeste, bindige Boeden eingesetzt.

(Abb. 1: Lasteinwirkung auf das Felsmaterial im einaxialen Druckversuch)



Yayın Tarihi: 26.04.2024
Rev. No/Tarihi: 00 / 26.04.2024

Zeminerde Dayanım (Gerilme-Şekil Değişirme Karakteristiklerini Belirleyen) Deneyleri

- Tek Eksenli Basınç Deneyi

Kaya malzemelerinin üzerlerine uygulanan belirli bir basınç altında kırılmadan önce ne kadar yüke dayandığını belirlemektir.

Bir kaya malzemesinin dayanımı, dış kuvvetlere karşı direncini ifade eder. Uygulanan yük, kaya malzemesinin direncini aştığında, malzeme yenilmeye uğrar. Kaya malzemelerinin dayanımının belirlenmesinde kullanılan en yaygın metot tek eksenli basınç dayanımı testidir. Tek eksenli basınç dayanımı yükün kayaca tek yönden uygulanması anlamına gelmektedir (Şekil 1). Tek eksenli basınç dayanımı " σ_c " ile gösterilir. Bu deney silindirik veya prizmatik numunelere uygulanmaktadır.



Tek eksenli sıkışmada kaya malzemesine uygulanan yük

- Üç Eksenli Basınç Deneyi

Zeminerin konsolidasyonsuz drenajsız kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek için uygulanan bir deneydir.

Kayma mukavemeti, zeminin kırılmadan karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesidir. Zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemlerinden biridir. Üç eksenli basınç deneyinde numuneye yanal ve eksenel gerilmeler uygulanarak, zeminin arazi koşullarına yakın yüklemeler altında deneye tabii tutulması sağlanabildiğinden bu deney, kayma mukavemetinin saptanmasında kullanılan en gelişmiş deney yöntemlerinden biridir. Genellikle kendini tutabilen, kohezyonlu zeminler için uygulanan bir yöntemdir.

Rahmenscherversuch und Konsolidationsversuch

Rahmenscherversuch / Direktscherversuch

Der Versuch dient der Bestimmung des Scherwiderstands und des Reibungswinkels einer Bodenprobe durch Beanspruchung unter Scherung. Als Versuchsprobe dienen in der gewünschten Dichte hergestellte Sande oder ungestoerte bzw. wiederaufbereitete Tonproben.

Die Bodenprobe wird gewogen und in einen quadratischen, in zwei Haelften geteilten starren Scherrahmen eingesetzt. Verformungs- und Lastmesseinrichtungen werden eingerichtet. Unter einer aufgebraachten Scherkraft wird der obere Teil des Rahmens festgehalten, waehrend sich der untere Teil horizontal bewegen kann; entlang der durch die Probenmitte verlaufenden horizontalen Ebene wird die Probe zum Scheren gezwungen. Nach Konsolidation der Probe wird die Scherung mit konstanter Geschwindigkeit eingeleitet. Der bewegliche Teil des Scherrahmens stuetzt sich gegen einen Stahllastring, an dem die Scherkraft gemessen wird. Gleichzeitig werden horizontale und vertikale Verschiebungen mit Wegaufnehmern erfasst.

Versuche zur Bestimmung des Setzungsverhaltens des Bodens

Konsolidationsversuch / Oedometerversuch

Die Kompressibilitaets- und Konsolidationseigenschaften feinkoerniger Boeden werden mit dem von Terzaghi entwickelten Oedometerversuch bestimmt. Konsolidation bezeichnet den zeitabhaengigen Setzungsvorgang in feinkoernigen Boeden infolge einer Spannungserhoehung. Bei diesem Versuch wird die Konsolidation einer wassergesaettigten, lateral verformungsbehinderten, scheibenfoermigen, ungestoerten Bodenprobe gemessen, indem unter vertikaler axialer Belastung die Drainage von der Ober- und Unterseite ermoeeglicht und der Konsolidationsbetrag und die Konsolidationsgeschwindigkeit erfasst werden.

Versuche nach Bodenklassen

Sand - Ton - Schluff

- Standard-Penetrationsversuch (SPT)
- Drucksondierung (CPT)
- Pressiometerversuch (PMT)
- Atterberg-Grenzen
- Fluegelsondierung (VST)
- Korngroessenverteilung (Siebanalyse)
- Rahmenscherversuch / Direktscherversuch
- Konsolidationsversuch / Oedometerversuch

Fels - Kies

- Einaxiale Druckfestigkeit
- Triaxiale Druckfestigkeit
- Punktlastfestigkeit (Point-Load-Index)
- Pressiometerversuch (PMT)
- Plattendruckversuch (PLT)
- Flachdilatometer (DMT)



Yayın Tarihi: 26.04.2024
Rev. No/Tarihi: 00 / 26.04.2024

ZEMİN SINIFINA GÖRE YAPILAN DENEYLER	
KAYA - ÇAKIL	KUM – KİL - SİLT
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)
Üç Eksenli Basınç Dayanımı	Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)
Nokta Yük Dayanımı	Presiyometre Deneyi
Presiyometre Deneyi	Atterberg Limitleri
Plaka Yükleme Deneyi	Kanatlı Kesici Deneyi (Veyn)
Dilatometre	Tane Boyu Dağılımı (Elek Analizi)
	Kesme Kutusu Deneyi
	Konsolidasyon Deneyi

Was liefert dieser Versuch? - Uebersicht (Teil 1)

Standard-Penetrationsversuch (SPT) Bestimmung der Lagerungsdichte, Wichte und des inneren Reibungswinkels nichtbindiger Boeden sowie der Konsistenz bindiger Boeden.

Pressiometerversuch (PMT) Berechnung der Tragfaehigkeit und der Setzungen von Flach- und Tiefgruendungen, die in Boden- und (weichen/lockeren) Felsformationen errichtet werden, anhand der Spannungs-Verformungs-Beziehung unter radialem Druck. Einziger Zweck des Versuchs: Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit (cu) in Tonen.

Fluegelsondierung (VST) / Feldfluegelscherversuch Feldbestimmung der undrainierten Scherfestigkeit weicher Tonbaender oder -schichten und bindiger Boeden.

Drucksondierung / Cone-Penetration-Test (CPT) Bestimmung der relativen Lagerungsdichte, der undrainierten Scherfestigkeit, der Zusammendruckbarkeit, des Schubmoduls, des Verfluessigungspotenzials sowie der Tragfaehigkeit von Gruendungen.

Bestimmung des natuerlichen Wassergehalts Verhaeltnis der Wassermasse in der Probe zur Trockenmasse nach 24-stuendiger Trocknung bei 105 Grad Celsius.

Bestimmung der natuerlichen Wichte / Korndichte Korndichte (G) als Verhaeltnis der Trockenmasse zum Trockenvolumen einer Bodenprobe.

Siebanalyse (Korngruessenverteilung) Prozentuale Bestimmung der auf bzw. unter den Sieben Nr. 10 und Nr. 200 verbleibenden bzw. durchgehenden Anteile mittels Standardsieben.

Atterberg-Grenzen Beschreibung der Konsistenz (Steifigkeit/Weichheit) bindiger Boeden in Abhaengigkeit vom Wassergehalt.

Plattendruckversuch (PLT) Beruht auf der Messung der Setzung und des Versagens einer starren Platte unter aufgebrachtter Last. Aus dem Versuch werden Tragfaehigkeit, Setzung, Bettungsmodul und Elastizitaetsmodul abgeleitet.

Rahmenscherversuch / Direktscherversuch Bestimmung der Scherfestigkeit und des Reibungswinkels, vorwiegend an Sanden sowie an ungestoerten oder wiederaufbereiteten Tonen.



Yayın Tarihi: 26.04.2024
Rev. No/Tarihi: 00 / 26.04.2024

Deney İsmi	Bu testten ne elde edilir?
Standart Penetrasyon Testi (SPT)	Kohezyonsuz zeminlerin sıklık, yoğunluk ve içsel sürtünme açısının tayini ile kohezyonlu zeminlerin kıvamının belirlenmesi
Presiyometre Testi	Radyal basınç altında zemin ve kaya (yumuşak/zayıf kaya) birimlerin gerilme-deformasyon ilişkisinden faydalanılarak, bu tür birimler üzerinde veya içinde inşa edilecek sığ ve derin temellerin taşıma gücü ve oturma miktarlarının hesaplanması
Kanatlı Kesici Deneyi (Veyn Deneyi)	Deneyin tek amacı kilerde drenajsız kayma mukavemeti (cu) değerini ölçmesi Yumuşak kil bantları veya tabakaların ve kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımının arazide belirlenmesi
Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)	Zeminlerin Relatif sıklık, Drenajsız kayma mukavemeti, sıkışabilirlik, kayma modülü, sıvılaşma potansiyeli analizi, ve temellerin taşıma gücünün belirlenmesi
Doğal Su İçeriği Tayini	Zemin numunesi içinde bulunan su ağırlığının, zemin numunesinin 105°'de 24 saat kurutulması sonucunda elde edilen kuru ağırlığına oranlanması ile tayin edilmesi
Doğal Birim Hacim Ağırlık Tayini	Özgül Ağırlık (G), bir kuru zemin ağırlığının, yine bu kuru zemin hacmine oranlanması ile tayin edilmesi
Elek Analizi (Tane Boyu Dağılımı)	Standart elekler kullanılarak zemin numunesini oluşturan tanelerin 10 numara ve 200 numara elek boyunda kalan / geçen miktarlarının yüzde oran olarak belirlenmesi
Atterberg Limitleri	Su içeriğine bağlı olarak kohezyonlu zeminlerde zeminin sertlik-yumuşaklık durumu tanımlanması
Plaka Yükleme Deneyi	Rijit bir plakaya uygulanan yük ile birlikte, plakanın yapacağı oturmanın ve göçmenin ölçülmesine dayanmaktadır. Testi sonucunda taşıma kapasitesi, oturma, yatak katsayısı ve elastisite modülü gibi parametrelerin hesaplanması
Kesme Kutusu Deneyi	Daha çok kum ve örsellenmemiş veya yoğrulmuş killerin kayma mukavemeti ve kayma açısının saptanması

Was liefert dieser Versuch? - Uebersicht (Teil 2)

Einaxialer Druckversuch (UCS) Messung der Laengenaenderung (axialer Verformung) der Probe unter zunehmender axialer Belastung; Ermittlung der Spannungs-Verformungs-Kurven.

Einaxiale Druckfestigkeit Bestimmung der Festigkeit von Felsmaterialien sowie naeherungsweise Ermittlung der Parameter Kohesion (c) und innerer Reibungswinkel (ϕ).

Triaxiale Druckfestigkeit Berechnung des Scherwiderstandes des Bodens anhand der aus dem Versuch ermittelten Parameter inneres Reibungswinkel und Kohesion.

Flachdilatometer (DMT) Feldversuch zur Erfassung von Bodenprofil, Scherfestigkeit, Zusammendruckbarkeit, Vorbelastungszustand und Porenwasserdruck.



Yayın Tarihi: 26.04.2024
Rev. No/Tarihi: 00 / 26.04.2024

Deney İsmi	Bu testten ne elde edilir?
Serbest Basınç Deneyi	Eksenel yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısalması (eksenel şekil değiştirilmesi) ölçülmekte gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin elde edilmesi
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Kaya malzemelerinin dayanımının belirlenmesi, Kohzyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) gibi parametreleri yaklaşık olarak bulunması
Üç Eksenli Basınç Dayanımı	Deney sonucu bulunan zemin içsel sürtünme açısı ve kohezyon parametreleri sayesinde zeminin kayma direnci hesaplanabilmesi
Dilatometre	Zemin profili, zeminin kayma dayanımı, sıkışabilirlik, ön yükleme durumu ve boşluk suyu basıncı hakkında bilgi veren bir arazi deneyi

Moegliche Probleme - Grundwasser und Quellverhalten

1- Grundwasserspiegel

Bei Grundwasserstaenden bis 10 m Tiefe besteht ein hohes Verfluessigungsrisiko. In den letzten Jahren wurde nachgewiesen, dass auch Grundwasserspiegel in 20 m Tiefe Verfluessigungserscheinungen ausloesen koennen. Bei der Pruefung des Bodengutachtens ist dies unbedingt zu beruecksichtigen.

2- Quellverhalten-Analyse / Schwellanalyse

Anhand der Plastizitaetszahl und der Fluessgrenze ist das Quellpotenzial des Bodens zu pruefen. Bei festgestelltem Problem ist der Wasserkontakt mit dem Boden zu vermeiden; sind bodenverbessernde Massnahmen erforderlich, ist auf die Notwendigkeit entsprechender ingenieurmaessiger Vorkehrungen hinzuweisen.

Freies Quellmass in Abhaengigkeit von der Plastizitaetszahl (Klassifikationstafel quellender Boeden nach O'Neill und Poormoayed, 1980).



Yayın Tarihi: 26.04.2024
Rev. No/Tarihi: 00 / 26.04.2024

Yaşanabilecek Problemler

1- Yer Altı Suyu Seviyesi

Yer altı suyu seviyesinin 10 m derinliğe kadar olduğu durumlarda sıvılaşma riski yüksektir. Son yıllarda 20 m derinliğindeki yeraltı suyu seviyesinin de sıvılaşma olaylarına yol açtığı anlaşılmıştır. Zemin etüd raporlarını incelerken kesinlikle bakılması gerekir.

2- Şişme Analizi

Plastisite İndeksi ve Likit Limit sonuçlarına göre zeminde şişme potansiyeli kontrol edilmelidir. Problem görülmesi halinde zeminin suyla teması önlenmeli, zemin iyileştirmesi gereken durumlarda gerekli mühendislik önlemlerinin alınması gerektiği belirtilmelidir.

Likit Limit %	Plastisite İndeksi %	Şişme Potansiyeli %	Şişme Potansiyeli Sınıflaması
< 50	< 25	< 0,5	Düşük
50-60	25-35	0,5-1,5	Orta
> 60	> 35	> 1,5	Yüksek

Şişme Potansiyeli: Örtü basıncına eşit basınç altındaki düzey şişme

O'Neill ve Poormoayed,1980' e göre şişen zeminlerin sınıflandırılması çizelgesi

PI	Şişme Potansiyeli
$PI \geq 35$	Çok yüksek
$20 \leq PI \leq 35$	Yüksek
$10 \leq PI \leq 35$	Orta
$PI \leq 15$	Düşük

Plastisite İndisine Göre Serbest Şişme Yüzdesi

Verflüssigungsanalyse & Oberflächenwasser

Abschnitte 3-6: Verflüssigungsanalyse (Andrews & Martin 2000), Umweltbedingungen, Naturkatastropheneinflüsse, Oberflächenwasser. Originale türkische Quellseite unten erhalten.

Deprem sırasında, dalgaların özellikle kayma dalgalarının suya doymuş daneli tabakalardan geçerken, dane (zemin parçacığı) yerleşim düzenini değiştirir. Bu yerleşme sırasında daneler arasında su yol bulup, kaçamazsa boşluk suyu basıncı yükselir. Eğer bu basınç üstte bulunan tabakaların ağırlığına yakın bir seviyeye ulaşırsa, daneli tabaka geçici olarak sıvı gibi davranarak sıvılaşma olayını ortaya çıkarır. Ani yüklemeye sonucunda suya doymuş daneli zeminin yapısının bozulması ve ayırık daneler arasındaki temas kuvvetinin azalması boşluk suyu basıncının yükselmesi ve zeminin direncini kaybetmesiyle oluşur.

Genellikle, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerdeki yakın zamana ait olan sıkışmamış kum ve siltlerin sıvılaşma potansiyeli yüksektir. Bunun yanında akarsuların yığıldığı kumlar, boyutlarındaki düzensizlik nedeniyle sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Yeraltı su seviyesinin yüze 10 m den daha yakın olması da sıvılaşma tehlikesini arttırır. Buna karşılık yer altı su seviyesinin 20 m'den daha derinde ve sıkı zeminlerde sıvılaşma potansiyeli azdır. Ama son yıllarda 20 m derinliğindeki yeraltı suyu seviyesinin de sıvılaşma olaylarına yol açtığı anlaşılmıştır.

Temel altındaki bir zeminin sıvılaşabilmesi için genel olarak;

Yeraltı Suyu : Yapı altında bulunan zeminde özellikle yüze yakın katmanlarda (ilk 3 metre çok önemli olup, 15-20 metreye kadar suyun varlığı değerlendirilmelidir.) yer altı suyuna rastlanması.

Konum: Yapının deprem riski yüksek bir bölgede inşa edilmiş olması.

Zemin Tipi: Zeminin kumlu-siltli yapıda ve gevşek durumda olması.

<https://www.youtube.com/watch?v=rKtBPtqiKzg> videoda da görüldüğü gibi sıvılaşma zemin incelemesinde önemli bir etkidir.

4- Çevre Koşulları Yönünden

Yapı alanı ve yakın çevresinde; hidroloji, tabii bitki örtüsü, yüzeysel su rejimi, şev/yamaç duraysızlığı, çökme ve yer değiştirme hareketleri vb. doğal süreçlerle ilgili sorunlar belirtilmiş ise temsilciye iletilmelidir.

5- Doğal Afet Etkileri

Kütle hareketi (heyelan, kaya düşmesi, çökme, krip, toprak akması) ve potansiyeli, jeolojik birimlerin (kaya/zemin) yapısından kaynaklanan şişme, çökme potansiyeli, sel, taşkın, çığ potansiyeli ile ilgili bilgi verilmişse not edilmelidir.

6- Yüzeysel Suları

İnceleme alanı çevresinde mevcut durumda sulama kanalı, akar durumda bulunan dere ya da kurumuş akarsu yatağı var mı kontrol edilmelidir. Mevsime göre yoğun yağış alması durumunda meydana gelebilecek su baskını riskine karşı yüzeysel suları drene edilerek zemine etkisi azaltılmalı ve ortadan kaldırılması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Pruefung der Pfahlbemessung

Zur Festlegung der Rammtiefe (Einbindetiefe) ist die Pfahlbemessung durchzufuehren. Sind die hierfuer erforderlichen Angaben im Bodengutachten enthalten, sind diese zu pruefen. Auf Grundlage der aus den Untersuchungsschaechten entnommenen Bodenproben sind anhand von Daten wie in der unten dargestellten Beispieltabelle die Pfahlbemessung vorzunehmen und die Rammtiefe zu bestimmen.

Pfahlbemessung / Rammtiefenberechnung.



Yayın Tarihi: 26.04.2024
Rev. No/Tarihi: 00 / 26.04.2024

Kazık Hesabı Kontrolü

Çakma derinliğini belirlemek için kazık hesabının yapılması gerekir. Zemin Etüd Raporunda gerekli bilgiler var ise kontrol edilmelidir. Araştırma çukurlarından alınan zemin numunelerine göre yapılan hesaplamalar sonucu aşağıda verilen örnek tablodaki gibi verilere dayanarak kazık hesabını yapıp çakma derinliği belirlenmelidir.

Kohezyon c	0.240	kg/cm ²	2.400	t/m ²	Temel Yükleme	i_c	1	
ϕ açısı Φ	14	derece			Egikligi	i_q	1	
Doğal BHA-1 γ	1.850	gr/cm ³			Katsayıları	i_γ	1	
Temel derinligi D_f	1.00	m			Temel Zemi ni	g_c	1	
Temel üstü örtü yükü q	1.850	t/m ²			Egimi	g_q	1	
Temel genişligi B	2.00	m			Katsayıları	g_γ	1	
Temel uzunluđu L	2.00	m			Temel Taban	b_c	1	
Taşıma Gücü Katsayıları	N_q	3.586			Egimi	b_q	1	
	N_c	10.370			Katsayıları	b_γ	1	
	N_γ	1.289			B/L		1.000	
Temel Şekli Katsayıları	s_c	1.000			D_f/B		0.500	
	s_q	1.000			K		0.500	
	s_γ	1.000			γ_{RV}		1.4	
Temel Derinlik Katsayıları	d_c	1.147			Temel Taşıma Gücü Karakteristik Dayanımı	q_k	38.51	t/m ²
	d_q	1.143			Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	q_d	27.51	t/m ²
	d_γ	1.000						

Bodengutachten - Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Da in diesem Abschnitt die Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen sowie die zu beachtenden Punkte zusammengetragen sind, ist er besonders sorgfältig zu lesen und zu vermerken.