

Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte
Bestimmung der Scherfestigkeit
 Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen

DIN
18 137
 Teil 1

Soil, testing procedures and testing equipment; determination of shear strength; concepts and general testing conditions

Ersatz für Ausgabe 03.72

Sol, méthodes et appareils d'essais; détermination de la résistance au cisaillement; définitions et conditions d'essai générales

Diese Norm ist das Beratungsergebnis eines gemeinsamen Ausschusses des Fachbereichs Baugrund des Normenausschusses Bauwesen im DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	2	3.33 Arten der Konsolidation	7
2 Formelzeichen	2	3.34 Beim Abscheren dräniert Boden	7
3 Begriffe	3	3.35 Effektive Grenzbedingung und Scherparameter des dränierten Bodens	7
3.1 Totale Spannungen	3	3.36 Totale Scherparameter des undränierten, bindigen Bodens c_u und ϕ_u	9
3.2 Porenwasserdruck	3	3.37 Scherparameter ϕ und c des dränierten, teilgesättigten Bodens	9
3.3 Effektive Spannungen	3	3.38 Versuchsserie	9
3.4 Deviatorspannung	3	3.39 Sättigungsdruck	9
3.5 Schubwiderstand	3	3.40 Versuchsarten	10
3.6 Isotroper Druck	3	4 Versuchsanordnungen und Versuchsbedingungen	10
3.7 Grenzbedingung	3	4.1 Allgemeines	10
3.8 Scherfestigkeit	3	4.2 Versuchsanordnungen für kontrollierte Hauptspannungen und feste Hauptspannungsrichtungen in einem Zonenbruch	10
3.9 Scherversuch	4	4.3 Versuchsanordnungen für die Untersuchung von Scherfugen	10
3.10 Abscheren	4	4.4 Versuchsanordnung für eingeprägte Randschubspannungen und Bildung eines Zonenbruches ..	11
3.11 Spannungspfad	4	5 Wahl der Versuchsart und des Versuchsverfahrens	11
3.12 Grenzzustand	4	5.1 Ermittlung der Scherparameter c' und ϕ' des dränierten, wassergesättigten Bodens	11
3.13 Plastisches Versagen	4	5.2 Ermittlung des effektiven Reibungswinkels ϕ' bei trockenen, nichtbindigen Böden	11
3.14 Zonenbruch	4	5.3 Ermittlung der totalen Scherparameter c_u und ϕ_u des undränierten, bindigen Bodens	11
3.15 Scherfuge	4	5.4 Bestimmung der Scherparameter dräniert, teilgesättigter Böden	12
3.16 Kritischer Grenzzustand	4	6 Anforderungen an eine Versuchsserie	12
3.17 Kritische Porenzahl	4	7 Kriterien für das Erreichen des Grenzzustands beim Versuch	12
3.18 Überkritisch bzw. unterkritisch dichter Boden	4	7.1 Grenzzustand bei Scherfugen	12
3.19 Grenzzustand größter Scherfestigkeit	4	7.2 Grenzzustand bei einem Zonenbruch	12
3.20 Grenzzustand eines unterkritisch dichten Bodens	4	7.3 Beendigung des Versuchs bei Erreichen einer Verformungsgrenze	13
3.21 Dilatanz	4	Zitierte Normen und andere Unterlagen	13
3.22 Kontraktanz	4		
3.23 Verfestigung	4		
3.24 Entfestigung	4		
3.25 Restscherfestigkeit	5		
3.26 Reibungswinkel	5		
3.27 Kohäsion	5		
3.28 Kapillarkohäsion	5		
3.29 Formen der Grenzbedingung	5		
3.30 Konsolidation	6		
3.31 Konsolidationsspannung	6		
3.32 Vergleichsspannung der Konsolidation	6		

Fortsetzung Seite 2 bis 13

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Die Kenntnis der Scherfestigkeit wird für erdstatische Berechnungen im Erdbau und Grundbau benötigt. In der Norm werden die zur Kennzeichnung der Scherfestigkeit dienenden Parameter sowie die zu ihrer Bestimmung geeigneten Versuchsbedingungen definiert. Dabei werden rein mechanische Beanspruchungen vorausgesetzt.

Die Norm gilt auch für künstlich verfestigte Böden, soweit die viskosen (geschwindigkeitsabhängigen) Eigenschaften gegenüber den plastischen (geschwindigkeitsunabhängigen) Eigenschaften vernachlässigbar sind. Parameter, welche sich auf viskose Eigenschaften der Böden beziehen, werden in dieser Norm nicht behandelt.

Die in dieser Norm benutzten Begriffe beziehen sich auf Versuche an Probekörpern. Um die Versuche mit den behandelten Verfahren genügend genau auswerten zu können, wird angenommen, daß die Probekörper homogen sind.

2 Formelzeichen

Nr	Formelzeichen, Indices	Benennung	Einheit	Definition in Abschnitt, Bild Nr, Gleichung Nr
1	σ	totale Normalspannung (Druck positiv)	kN/m ²	3.1
2	τ	totale und effektive Schubspannung	kN/m ²	3.1
3	u	Porenwasserdruck	kN/m ²	3.2
4	σ'	effektive Normalspannung	kN/m ²	3.3
5	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	totale Hauptspannungen $\sigma_3 \leq \sigma_2 \leq \sigma_1$	kN/m ²	Bild 1
6	$\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$	effektive Hauptspannungen	kN/m ²	Bild 1
7	$\bar{q}$	Deviatorspannung	kN/m ²	3.4; Bild 1; Gleichung (2)
8	q	größte Hauptspannungsdifferenz $q = \sigma_1 - \sigma_3$	kN/m ²	
9	p	totaler isotroper Druck	kN/m ²	3.6; Gleichung (3)
10	p'	effektiver isotroper Druck	kN/m ²	3.6; Gleichung (4)
11	$\max \sigma'$	größte Konsolidationsspannung, die der Boden je erfahren hat	kN/m ²	3.33.7
12	σ'_V	Vergleichsspannung der Konsolidation	kN/m ²	3.32; Gleichung (8)
13	$\max \sigma'_V$	Vergleichsspannung für $\max \sigma'$	kN/m ²	3.33.5
14	σ'_{Vm}	größte Vergleichsspannung der Konsolidation im Versuch	kN/m ²	5.1.2.1
15	$\dot{\epsilon}; \dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_2, \dot{\epsilon}_3$	Dehnungsgeschwindigkeit (auch Dehnungsrate); Hauptkomponenten	s ⁻¹	
16	φ	Reibungswinkel	°	3.26
17	φ'	effektiver Reibungswinkel	°	3.35; Gleichungen (5), (6)
18	φ'_w	effektiver Reibungswinkel für gleichen Wassergehalt	°	3.35; Bild 6
19	φ'_s	Winkel der Gesamtscherfestigkeit	°	3.35; Gleichungen (11), (12); Bilder 3, 6
20	φ'_k	kritischer Reibungswinkel	°	3.35
21	φ'_0	Sekantenreibungswinkel	°	3.35
22	φ_u	totaler Reibungswinkel des undrnierten Bodens	°	3.36; Gleichung (7)
23	c	Kohäsion	kN/m ²	3.27
24	c_c	Kapillarkohäsion	kN/m ²	3.28
25	c'	effektive Kohäsion	kN/m ²	3.35; Gleichungen (5), (6); Bilder 3, 4
26	c'_w	effektive Kohäsion für gleichen Wassergehalt	kN/m ²	3.35.2.2; Bild 6
27	c_u	(totale) Kohäsion des undrnierten Bodens	kN/m ²	3.36; Gleichung (7)
28	λ_{cs}	Kohäsionskonstante für Scherfugen	1	Gleichung (9)
29	λ_c	Kohäsionskonstante für Zonenbruch	1	Gleichung (10)
30	α'	Neigungswinkel der geraden Umhüllenden im $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2, (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ -Diagramm	°	3.29.2; Bild 5
31	b'	Ordinatenabschnitt der geraden Umhüllenden im $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2, (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ -Diagramm	kN/m ²	3.29.2; Bild 5
32	e	Porenzahl	1	
33	w	Wassergehalt	1	
34	x	Scherweg	mm	Bild 2
35	f	Faktor	1	Bild 9
36	f	Index für im Grenzzustand	—	
37	k	Index für kritisch(-er Grenzzustand)	—	3.16
38	R	Index für Restscherfestigkeit	—	3.25; Bilder 2, 3

3 Begriffe

3.1 Totale Spannungen

(en: total stresses)

Die totale Normalspannung σ bzw. die totale Schubspannung τ ist die Normal- bzw. Schubspannung, die sich aus der Normal- bzw. Tangentialkomponente der gesamten auf eine gedachte ebene Schnittfläche mittig wirkenden Kraft, bezogen auf die gesamte Größe dieser Schnittfläche, ergibt.

3.2 Porenwasserdruck

(en: pore pressure)

Der Porenwasserdruck u ist der Druck des freien Porenwassers.

3.3 Effektive Spannungen

(en: effective stresses)

Die effektive (auch wirksame) Normalspannung σ' eines wassergesättigten Bodens ist die totale Normalspannung, vermindert um den Porenwasserdruck,

$$\sigma' = \sigma - u \quad (1)$$

Die effektive Schubspannung ist gleich der totalen Schubspannung τ .

Es wird angenommen, daß die effektiven Spannungen die allein vom Korngerüst getragenen Anteile der totalen Spannungen sind.

3.4 Deviatorspannung

(en: deviatoric stress)

Die Deviatorspannung bei einem räumlichen Spannungszustand ist der Abstand $\bar{q}$ des Spannungspunktes im Raum der drei Hauptspannungen $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ bzw. $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$ von der Geraden $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ bzw. $\sigma'_1 = \sigma'_2 = \sigma'_3$ (siehe Bild 1: dort für die Grenzbedingung dargestellt). Im Sonderfall $\sigma_2 = \sigma_3$ bzw. $\sigma'_2 = \sigma'_3$ ist

$$\bar{q} = \sqrt{2/3} \cdot |\sigma_1 - \sigma_3| \quad (2)$$

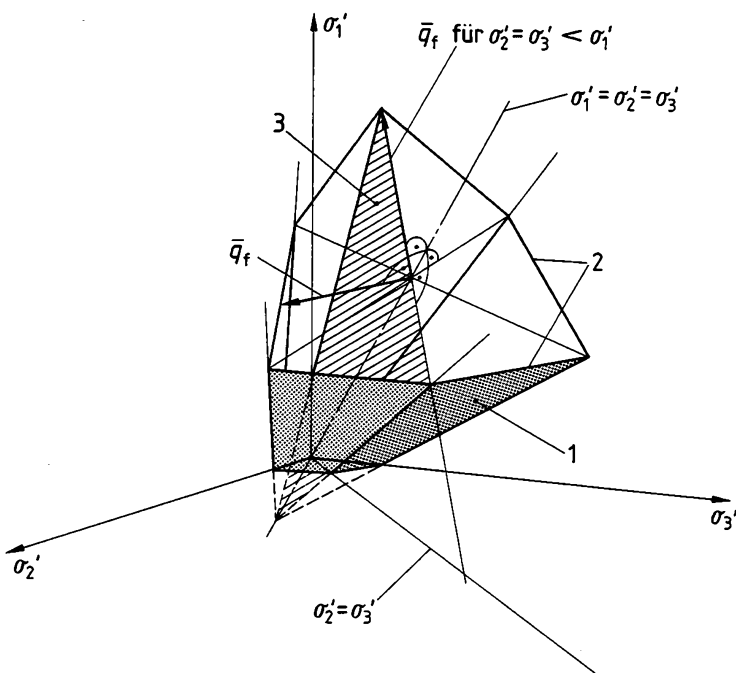


Bild 1. Beispiel einer Grenzbedingung (Grenzfläche) im Raum der drei effektiven Hauptspannungen

3.5 Schubwiderstand

(en: shear resistance)

Der Schubwiderstand (auch Scherwiderstand) ist die Deviatorspannung bzw. Schubspannung als Reaktion des Bodens auf Randspannungen und Randverschiebungen, die beim Scherversuch in den Probekörper eingepreßt werden.

3.6 Isotroper Druck

(en: isotropic stress)

Der totale bzw. effektive isotrope Druck (auch allseitiger oder hydrostatischer Druck) ist

$$p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \quad (3)$$

$$p' = (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)/3 \quad (4)$$

3.7 Grenzbedingung

(en: limit condition)

Die Grenzbedingung ist diejenige Funktion der Spannungskomponenten, durch welche die von einem Bodenkörper aufnehmbaren Spannungen begrenzt werden.

Anmerkung: Im Raum der drei Hauptspannungen $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ stellt die Grenzbedingung eine Fläche dar, welche das Gebiet der erreichbaren von den nicht erreichbaren Spannungen abgrenzt (siehe Bild 1). Der Abstand $\bar{q}_f$ eines Punktes dieser Fläche (Grenzfläche) von der Geraden für allseitig gleiche Spannung $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ist die Deviatorspannung in dem die Grenzbedingung erfüllenden Spannungszustand.

Die Grenzbedingung eines wassergesättigten bindigen Bodens kann sowohl durch die totalen (totale Grenzbedingung) als auch durch die effektiven Spannungen (effektive Grenzbedingung) ausgedrückt werden.

3.8 Scherfestigkeit

(en: shear strength)

Die Scherfestigkeit ist gleich der Deviatorspannung in einem die Grenzbedingung erfüllenden Spannungszustand (siehe Bild 1). Die Scherfestigkeit in einer Scherfuge ist die Schubspannung τ_f , die im Grenzzustand auftritt.

- 1 Grenzbedingung (Grenzfläche) nach Mohr-Coulomb Gleichung (6);
- 2 Schnitt der Grenzfläche 1 mit einer Ebene $\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3 = \text{const}$;
- 3 Ebene $\sigma'_2 = \sigma'_3$
- $\bar{q}_f$ Abstand eines Punktes der Grenzfläche von der Geraden $\sigma'_1 = \sigma'_2 = \sigma'_3$, Deviatorspannung im Grenzzustand

3.9 Scherversuch

(en: shear test)

Ein Scherversuch ist ein Versuch zur Bestimmung der Scherfestigkeit bzw. des Grenzzustands eines Probekörpers durch kontrollierte Einwirkung von Spannungen und/oder Verschiebungen.

3.10 Abscheren

(en: shearing)

Abscheren ist der Vorgang bei einem Scherversuch, die Deviatorspannung bis zum Erreichen der Scherfestigkeit (Grenzbedingung) zu ändern.

3.11 Spannungspfad

(en: stress path)

Der effektive bzw. totale Spannungspfad ist die Aufeinanderfolge von effektiven bzw. totalen Spannungszuständen, die bei einem Versuch durchlaufen werden. Beispiele effektiver Spannungspfade zeigt Bild 5.

3.12 Grenzzustand

(en: limit state)

Der Grenzzustand ist ein Zustand der Spannungen und Dehnungsänderungen des Bodens, in welchem die Spannungen die Grenzbedingung erfüllen. Ein Grenzzustand ist im Versuch dadurch ausgezeichnet, daß bei fortgesetzter Gestaltänderung und

- verhinderter Volumenänderung der Schubwiderstand und die totalen Normalspannungen konstant oder extrem werden,
- unbehinderter Volumenänderung der Schubwiderstand und die effektiven Normalspannungen konstant oder extrem werden.

3.13 Plastisches Versagen

(en: plastic failure)

Plastisches Versagen ist das (unbegrenzte) Anwachsen der Verformungen in einem Grenzzustand.

3.14 Zonenbruch

(en: zone rupture)

Ein Zonenbruch ist ein plastisches Versagen unter kontinuierlicher Verformung einer räumlichen Zone.

3.15 Scherfuge

(en: shear band)

Eine Scherfuge ist ein dünner, flächenhafter Bereich, in welchem Scherverformungen beim plastischen Versagen konzentriert stattfinden. Scherfugen können sich im Probekörper bei Einprägung von Randspannungen und/oder Randverschiebungen frei oder kinematisch erzwungen ausbilden.

Anmerkung: Bei der Versuchsauswertung muß davon ausgegangen werden, daß in den Bruchzonen bzw. Scherfugen, die im Probekörper durch den Versuch erzeugt wurden, die Spannungen und Dehnungen gleichmäßig verteilt sind.

3.16 Kritischer Grenzzustand

(en: critical state)

Der kritische Grenzzustand (auch kritischer Zustand) ist derjenige Grenzzustand, der bei volumenkonstanter Formänderung und gleichbleibender effektiver Spannung stattfindet (siehe Bilder 2 und 3). Im kritischen Grenzzustand ist die Porenzahl gleich der kritischen Porenzahl e_k .

3.17 Kritische Porenzahl

(en: critical void ratio)

Die kritische Porenzahl e_k ist die Porenzahl im kritischen Grenzzustand.

3.18 Überkritisch bzw. unterkritisch dichter Boden

(en: overcritically, undercritically dense soil)

Ein Boden heißt überkritisch dicht, wenn seine Porenzahl e kleiner ist als die zur herrschenden effektiven Spannung gehörige kritische Porenzahl e_k . Für $e > e_k$ heißt der Boden unterkritisch dicht.

3.19 Grenzzustand größter Scherfestigkeit

(en: peak state)

Der Grenzzustand größter Scherfestigkeit ist der Grenzzustand, der bei einem überkritisch dichten Boden bei unbehinderter Volumenänderung erreicht wird. Im Bereich des Grenzzustands größter Scherfestigkeit findet mit der fortgesetzten Gestaltänderung eine stetige Volumenzunahme, Dilatanz, statt. Infolge der Dilatanz findet nach Erreichen des Grenzzustands größter Scherfestigkeit eine Entfestigung statt, die bis zum kritischen Grenzzustand fortschreiten kann (siehe Bilder 2 und 3).

Anmerkung: In überkritisch dichten Böden, bei denen die Volumenänderung durch Porenwasser verhindert ist, finden die Dilatanz und die Entfestigung bis zum kritischen Grenzzustand bevorzugt in Scherfugen statt.

3.20 Grenzzustand eines unterkritisch dichten Bodens

Der Grenzzustand eines unterkritisch dichten Bodens fällt mit einem kritischen Grenzzustand zusammen.

Bei unbehinderter Volumenänderung geht mit einer fortgesetzten Gestaltänderung eine stetige Volumenabnahme, Kontraktanz, einher. Hierbei findet eine Verfestigung bis zu einem kritischen Grenzzustand statt (siehe Bilder 2 und 3).

Anmerkung: Ist beim Abscheren eines unterkritisch dichten feinkörnigen Bodens die Volumenänderung durch Porenwasser verhindert, so nimmt die effektive Spannung durch Zunahme des Porenwasserdrucks mit fortgesetzter Gestaltänderung ab, bis der zur vorhandenen Porenzahl gehörige kritische Grenzzustand erreicht ist.

3.21 Dilatanz

(en: dilatancy)

Dilatanz ist die Volumenzunahme (Auflockerung) beim Abscheren eines überkritisch dichten Bodens ohne Verhinderung der Volumenänderung.

3.22 Kontraktanz

(en: contractancy)

Kontraktanz ist die Volumenabnahme (Verdichtung) beim Abscheren eines unterkritisch dichten Bodens ohne Verhinderung der Volumenänderung.

3.23 Verfestigung

(en: hardening)

Verfestigung ist die Zunahme des Schubwiderstands durch Verformung des Bodens.

Anmerkung: Die Verformung, die zur Verfestigung führt, kann eine Volumenänderung durch Konsolidation oder die beim Abscheren stattfindende Verformung sein.

3.24 Entfestigung

(en: softening)

Entfestigung ist die Abnahme des Schubwiderstands bei Fortsetzung der Gestaltänderung nach Erreichen eines Grenzzustands.