

DIN 18135

ICS 93.020

**Baugrund –
Untersuchung von Bodenproben –
Eindimensionaler Kompressionsversuch**

Soil –
Investigation and testing –
Oedometer consolidation test

Sol –
Reconnaissance et essais –
Essai de consolidation à l'oedomètre

Gesamtumfang 40 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Symbole	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole	19
4 Bezeichnung	19
5 Geräte	19
5.1 Belastungsvorrichtung	19
5.2 Kompressionsgerät	20
5.2.1 Allgemeines	20
5.2.2 Ring	21
5.2.3 Filterplatten und Kopfplatte	22
5.2.4 Filtrierpapier	22
5.2.5 Messgeräte	22
5.2.6 Hilfsgeräte und Werkzeuge	23
6 Probekörper	23
6.1 Anforderungen	23
6.2 Zuschneiden der Probekörper	23
6.2.1 Zuschneiden eines Probekörpers aus einem Entnahmezylinder	23
6.2.2 Zuschneiden des Probekörpers aus einer blockförmigen Bodenprobe	24
6.3 Schutz vor Änderung des Wassergehalts	24
6.4 Messungen am Probekörper	24
7 Kalibrierung	24
8 Durchführung	24
8.1 Standort der Versuchseinrichtung	24
8.2 Vorbereitung der Filterplatten	25
8.3 Einbau in das Kompressionsgerät	25
8.4 Belastung	25
8.5 Wasserzugabe	26
8.6 Untersuchung des Quellverhaltens	26
8.7 Untersuchung des Zeit-Zusammendrückungs-Verhaltens	26
8.8 Probenausbau nach Abschluss des Versuchs	27
9 Versuchsauswertung	27
9.1 Darstellung der Versuchsergebnisse	27
9.1.1 Angaben zur Probe und zum Versuchsablauf	27
9.1.2 Druck-Zusammendrückungs-Diagramm	28
9.1.3 Zeit-Zusammendrückungs-Diagramm	28
9.2 Ermittlung von Kennwerten	29
9.2.1 Aus dem Druck-Zusammendrückungs-Diagramm	29
9.2.2 Aus dem Zeit-Zusammendrückungs-Diagramm	29
10 Anwendungsbeispiel	30
10.1 Versuchsbezeichnung	30
10.2 Angaben zur Probe und zum Versuchsablauf	30
10.3 Versuchsergebnisse	31
Literaturhinweise	40

Bild 1 — Darstellungsweisen der Zusammendrückung	7
Bild 2 — Zeitlicher Verlauf der Zusammendrückung bei einer Laststufe.....	9
Bild 3 — Ermittlung des Steifemoduls	13
Bild 4 — Ermittlung von Verformungsbeiwerten im Druck ($\log \sigma'$) - Porenzahl (e) – Diagramm	14
Bild 5 — Porenwasserüberdruckverteilung in einer beidseitig entwässernden Bodenprobe zu einer beliebigen Zeit $t < t_{100}$ ($u = u(t, z)$) für einen über die Probenhöhe konstanten Porenwasserüberdruck zur Zeit $t=0$ ($u_0 = u(0, z)$) als Anfangsbedingung	17
Bild 6 — Zusammenhang zwischen Zeitfaktor T_v und Konsolidationsgrad $U(t)$ für einen über die Probenhöhe konstanten Porenwasserüberdruck als Anfangsbedingung	19
Bild 7 — Kompressionsgerät (schematisch)	21
Bild 8 — Beispiel: Druck-Zusammendrückungs- und Druck-Porenzahl-Kurve	31
Bild 9 — Beispiel: Druck-Porenzahl-Linie in halblogarithmischer Darstellung	34
Bild 10 — Beispiel: Steifemoduln (aus Tangente) in Abhängigkeit von der Spannung	35
Bild 11 — Zeit-Zusammendrückungs-Kurven in log. Maßstab	38
Bild 12 — Zeit-Zusammendrückungs-Kurven im Wurzel-Maßstab	39
 Tabelle 1 — Zeitfaktoren für eindimensionale Konsolidation.....	 18
Tabelle 2 — Mindestwerte der Durchlässigkeit von Filterplatten für verschiedene Böden	22
Tabelle 3 — Beispiel: Druck-Zusammendrückungs-Verhalten.....	32
Tabelle 4 — Beispiel: Bestimmung der Steifemoduln	32
Tabelle 5 — Beispiel: Zeit-Zusammendrückungs-Verhalten.....	36
Tabelle 6 — Beispiel: Auswertung des Zeit-Zusammendrückungs-Verhaltens	36

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-05-03 AA „Baugrund; Laborversuche“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt im Erd- und Grundbau. Diese Norm legt einen Versuch fest, um die Größe und den zeitlichen Verlauf der Zusammendrückung von Böden bei Verhinderung von seitlichen Verformungen unter stufenweiser Laständerung und Entwässerung nur in axialer Richtung zu untersuchen.

Diese Norm dient dazu, das Schwellverhalten von Böden unter den genannten Randbedingungen zu untersuchen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 18121-1, *Untersuchung von Bodenproben — Wassergehalt — Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung*

DIN 18124, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Korndichte — Kapillarpyknometer, Weithalspyknometer, Gaspyknometer*

DIN 18125-1, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Dichte des Bodens — Teil 1: Laborversuche*

DIN 18136, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Einaxialer Druckversuch*

DIN 18137-1, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Scherfestigkeit — Teil 1: Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen*

DIN 18137-2, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Scherfestigkeit — Teil 2: Triaxialversuch*

DIN 18196, *Erd- und Grundbau — Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke*

DIN 53135, *Filtrierpapiere für chemische Analysen — Einteilung, Bezeichnung, Haupteigenschaften, Prüfverfahren*

DIN EN 1997-2, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

DIN EN 10002-3, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 3: Kalibrierung der Kraftmessgeräte für die Prüfung von Prüfmaschinen mit einachsiger Beanspruchung*

DIN EN ISO 376, *Metallische Werkstoffe — Kalibrierung der Kraftmessgeräte für die Prüfung von Prüfmaschinen mit einachsiger Beanspruchung*

DIN EN ISO 14688-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden — Teil 1: Benennung und Beschreibung*

VDI/VDE/DKD 2638, *Kenngößen für Kraftaufnehmer — Begriffe*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach DIN 18137-1 und die folgenden Begriffe und Symbole.

3.1 Begriffe

3.1.1

eindimensionaler Kompressionsversuch

(en: oedometer test)

Versuch zur Ermittlung von Verformungen bei Belastung und Entlastung einer zylindrischen Probe in Richtung ihrer Achse, wobei radiale Verformungen durch einen Ring verhindert werden

3.1.2

Primärkonsolidation

(en: primary consolidation)

Verringerung des Porenvolumens infolge Erhöhung der effektiven Spannungen, wobei die damit einhergehende Porenwasserströmung durch Widerstände im Korngerüst zeitlich verzögert wird

ANMERKUNG Die Primärkonsolidation wird allgemein auch Konsolidation genannt (siehe DIN 18137-1); der Vorgang der Primärkonsolidation wassergesättigter Böden kann mit hinreichender Annäherung durch die Konsolidationstheorie von Terzaghi beschrieben werden.

3.1.3

Sekundärkonsolidation

(auch Kriechen)

(en: secondary consolidation)

Volumenänderung bei gleichbleibender effektiver Spannung

ANMERKUNG Die Sekundärkonsolidation wird im Versuch nach der Primärkonsolidation beobachtet.

3.1.4

Zusammendrückung

(en: compression)

s

durch die axiale Belastung seit Beginn des Versuchs hervorgerufene Änderung der Probenhöhe

ANMERKUNG 1

$$s = h_0 - h \quad (1)$$

Dabei ist

h_0 die Anfangsprobenhöhe;

h die Höhe der Probe.

Am Ende der i-ten Laststufe ist:

$$h = h_i$$

und

$$s_i = h_0 - h_i \quad (2)$$

ANMERKUNG 2 Wird die Probe bündig in Höhe Oberkante Ödometerring abgeglichen, kann für h_0 die Höhe des Ödometerrings eingesetzt werden.

ANMERKUNG 3 Die Zusammendrückung bei einer Laststufe ist:

$$\Delta s_i = h_{i-1} - h_i \quad (3)$$

ANMERKUNG 4 Zwischen der Zusammendrückung und den Änderungen der Porenzahl e und des Porenanteils n gelten die Zusammenhänge nach Bild 1.

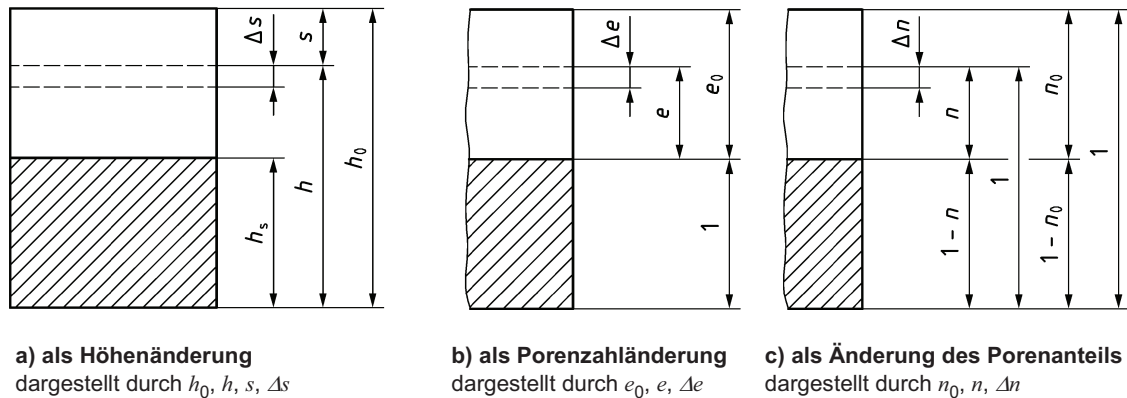


Bild 1 — Darstellungsweisen der Zusammendrückung

Zur Berechnung von Porenanteil n und Porenzahl e siehe DIN 18125-1. Es werden die Volumenanteile der festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteile des Bodens zahlenmäßig beschrieben (Phasenzusammensetzung).

h_s ist die theoretische Höhe des Feststoffanteils in der Probe. Es gilt:

$$h_s = \frac{h_0}{1 + e_0} = (1 - n_0) \cdot h_0 \quad (4)$$

3.1.5 bezogene Zusammendrückung

s'

auf die Anfangshöhe h_0 bezogene Zusammendrückung s der Probe

ANMERKUNG 1

$$s' = \frac{s}{h_0} \quad (5)$$

nach der i -ten Laststufe gilt analog

$$s_i' = \frac{s_i}{h_0} \quad (6)$$

ANMERKUNG 2 Die bezogene Zusammendrückung s' wird in DIN 18136 und in DIN 18137-2 mit ε bezeichnet.

3.1.6 axiale Dehnung (en: axial strain)

ε

auf die momentane Höhe h bezogene Änderung dh der Probenhöhe

ANMERKUNG 1

$$d\varepsilon = -\frac{dh}{h} = -\frac{de}{1+e} = -\frac{ds'}{1-s'} \quad (7)$$

$$\varepsilon_i = \ln\left(\frac{h_0}{h_i}\right) = \ln\left(\frac{1+e_0}{1+e_i}\right) = -\ln(1-s_i') \quad (8)$$

ANMERKUNG 2 Gleichung (8) folgt aus Gleichung (7) durch Integration.

ANMERKUNG 3 Mit den Gleichungen (7) und (8) werden Stauchungen als positiv definiert.

3.1.7

Schwellen

(en: swelling)

Zunahme der Probenhöhe, verursacht durch Abnahme der effektiven Spannung

3.1.8

Quellen

(en: swelling)

Zunahme der Probenhöhe durch Wasseraufnahme in die Mineralstruktur

ANMERKUNG 1 Ursache können Wassereinlagerungen in die Tonminerale (Ton-Quellen) oder chemische Vorgänge, z. B. Anhydritquellen, sein.

ANMERKUNG 2 Schwellen und Quellen lassen sich nicht getrennt messen, wenn eine Entlastung der Probe unmittelbar vor dem Beginn des Quellvorgangs stattgefunden hat. In diesem Fall werden Schwellen und Quellen nur summarisch erfasst.

3.1.9

Sackung

(en: collapse)

plötzliche Abnahme der Höhe einer Probe ohne Änderung der äußeren Belastung

ANMERKUNG Ursache für Sackungen kann z. B. der Wasserzutritt bei teilgesättigten Böden oder eine Erschütterung bei locker gelagerten, nichtbindigen Böden sein.

3.1.10

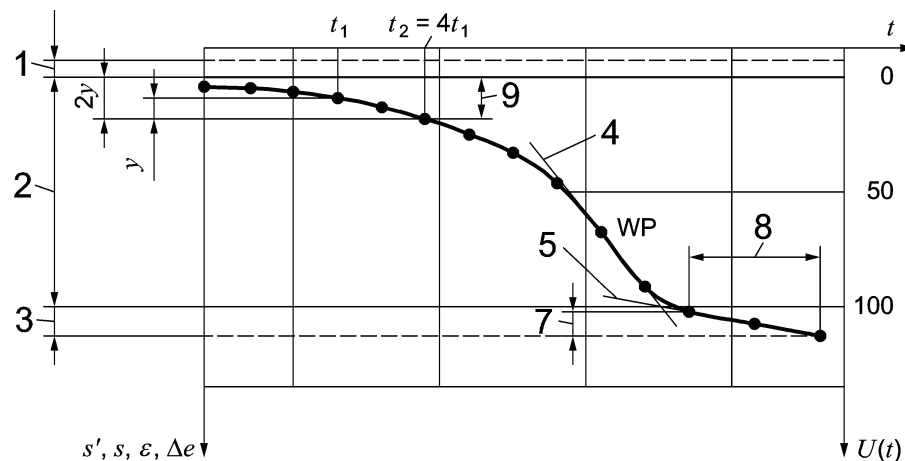
Anfangszusammendrückung

(en: initial compression)

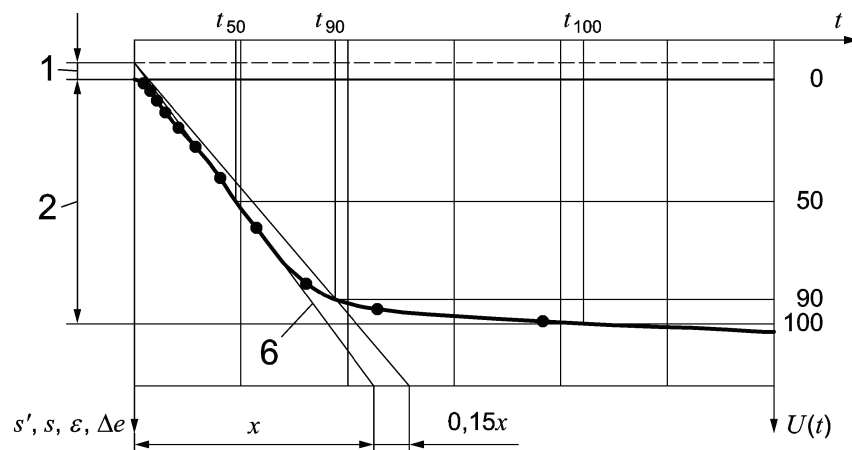
s_0

Teil der Zusammendrückung Δs bei einer Laststufe, der unmittelbar mit der Lastaufbringung eintritt

ANMERKUNG Siehe Bild 2.



a) Zeitachse im logarithmischen Maßstab



b) Zeitachse im Quadratwurzel – Maßstab

Legende

- 1 Anfangszusammendrückung s_0
- 2 Primärzusammendrückung s_{100}
- 3 Sekundärzusammendrückung s_α
- 4 Wendetangente im Bereich der Primärkonsolidation
- 5 Tangente an den linearen oder linearisierten Abschnitt im Bereich der Sekundärkonsolidation
- 6 Tangente an den linearen oder linearisierten Kurventeil im Bereich $U \leq 50\%$ der Primärkonsolidation
- 7 Δe zur Ermittlung des Kriechbeiwertes C_α , wenn die Zusammendrückung durch die Porenzahl dargestellt wird
- 8 $\Delta \log t$ zur Ermittlung des Kriechbeiwertes C_α
- 9 die nach 4-facher Zeit ($4t_1$) verdoppelte Zusammendrückung ($2y$)

Bild 2 — Zeitlicher Verlauf der Zusammendrückung bei einer Laststufe

Zur Abgrenzung zwischen Anfangs- und Primärzusammendrückung wird die nach der Konsolidationstheorie angenäherte parabelförmige Zeit-Zusammendrückungs-Linie während der ersten Hälfte der Primärkonsolidation benutzt. Bei einer 4-fachen Konsolidationszeit verdoppelt sich die Primärzusammendrückung (siehe Bild 2 a)). Bei Auftragung der Zeit im Wurzelmaßstab und der Zusammendrückung im linearen Maßstab verläuft die Zeit-Zusammendrückungs-Linie anfänglich annähernd geradlinig (siehe Bild 2 b)). Die beiden in

Bild 2 dargestellten Auswertungen können zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Abgrenzung der Anfangs-, Primär- und Sekundärsetzung führen.

Mit der Auftragung der Zeit im Wurzelmaßstab nach Bild 2 b) lässt sich das Ende der Primärkonsolidationszeit während des Versuchs bestimmen.

Die Anfangszusammendrückung s_0 wird u. a. durch geräte- oder versuchsbedingte Einflüsse verursacht, z. B. durch Anpassung der Probenoberfläche an die Filtersteine, Anpassung der Probe an den Ring oder die Verformung des Geräts. Bei Teilsättigung kann ein Teil der Anfangszusammendrückung auch durch die Kompression der Luft im Porenraum entstehen.

3.1.11

Primärzusammendrückung

(en: primary compression)

s_{100}

Teil der Zusammendrückung Δs bei einer Laststufe, der durch die Primärkonsolidation hervorgerufen wird

ANMERKUNG Die dabei verstreichende Zeit wird mit t_{100} bezeichnet (siehe Bild 2).

3.1.12

Sekundärzusammendrückung

(en: secondary compression)

s_α

Teil der Zusammendrückung Δs bei einer Laststufe, der durch die Sekundärkonsolidation hervorgerufen wird

ANMERKUNG Siehe Bild 2.

3.1.13

Axialspannung

(en: axial stress)

σ

auf den Probenquerschnitt A bezogene mittige und axial wirkende Druckkraft F

ANMERKUNG 1

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (9)$$

ANMERKUNG 2 Mit Gleichung (9) werden Druckspannungen als positiv definiert.

3.1.14

effektive Axialspannung (auch wirksame Spannung)

(en: effective axial stress)

σ

Axialspannung σ vermindert um den Porenwasserdruck u bei einem wassergesättigten Boden

ANMERKUNG 1

$$\sigma' = \sigma - u \quad (10)$$

$$u = u_0 + \Delta u \quad (11)$$

Dabei ist

Δu der Porenwasserüberdruck;

u_0 der hydrostatische Druck.

ANMERKUNG 2 Bei der Auswertung von Versuchen in Geräten mit offenem Porenwassersystem, wie bei dem in dieser Norm beschriebenen Gerät, wird $u_0 = 0$ gesetzt.

ANMERKUNG 3 Beim eindimensionalen Kompressionsversuch wird als Axialspannung ausschließlich Druck aufgebracht. Im Folgenden wird deshalb in der Regel der Begriff Druck verwendet.

3.1.15

Quelldruck

(en: swell(ing) pressure)

σ_s

axiale Spannung, die ein Probekörper im Kompressionsgerät durch Wasserzutritt bei verhinderter axialer Dehnung entwickelt

3.1.16

effektiver Überlagerungsdruck

(en: effective overburden pressure)

σ'_{vo}

wirksame lotrechte Spannung, der die Bodenprobe vor ihrer Entnahme in situ ausgesetzt war

ANMERKUNG

$$\sigma'_{vo} = \sum \gamma_i h_i - \gamma_w h_w \quad (12)$$

Dabei ist

γ_i die Wichte der Schicht i;

h_i die Höhe der Schicht i;

h_w die Höhe des Wasserspiegels über der Probe.

3.1.17

Vorkonsolidationsspannung

(en: preconsolidation pressure)

σ'_p

aus der Auswertung des eindimensionalen Kompressionsversuchs gewonnene Spannung, die den Bereich geringerer Zusammendrückbarkeit nach oben begrenzt

ANMERKUNG 1 σ'_p ist in der halblogarithmischen Darstellung der Druck-Porenzahl-Linie die wirksame Vertikalspannung am Übergang des flachen Wiederbelastungsasts zum steileren Erstbelastungsast. Die Vorkonsolidationsspannung entspricht ungefähr der größten effektiven Konsolidationsspannung $\max \sigma'$ nach DIN 18137-1.

ANMERKUNG 2 σ'_p wird durch die Sekundärkonsolidation (Alterung) vergrößert.

ANMERKUNG 3 Bei manchen Böden kann dieser Knick unabhängig vom Vorbelastungszustand durch Verkittungseffekte (en: cementation) bedingt sein. Dabei kennzeichnet der Knick einen Strukturzusammenbruch. Die zugehörige Spannung wird scheinbare Vorkonsolidationsspannung (en: apparent preconsolidation pressure) genannt.

3.1.18

Steifemodul

(en: oedometer modulus)

E_s

Verformungsmodul bei eindimensionaler Zusammendrückung, ermittelt für eine bestimmte Spannung aus der Tangente oder für ein bestimmtes Spannungsintervall aus der Sekante der Druck-Verformungs-Linie

ANMERKUNG 1

Steifemodul aus der Tangente (siehe Bild 3):

$$E_s = \frac{d\sigma'}{d\varepsilon} \quad (13)$$

gleichwertige Darstellungen:

$$E_s = - \frac{d\sigma'}{de} (1 + e) \quad (14)$$

$$E_s = \frac{d\sigma'}{ds'} (1 - s') \quad (15)$$

Steifemodul für die Spannung σ'_i aus der Sekante (siehe Bild 3):

$$E_s = \frac{\Delta\sigma'}{\Delta\varepsilon} \quad (16)$$

gleichwertige Darstellungen:

$$E_{s,i} = - \frac{\Delta\sigma'}{\Delta e} (1 + e_i) \quad (17)$$

$$E_{s,i} = \frac{\Delta\sigma'}{\Delta s'} (1 - s'_i) \quad (18)$$