

Beispiel 7: Überprüfung der Konsolidationssetzung unter einem Kreisfundament**1 Aufgabenstellung**

Zur Überprüfung der Berechnung der Konsolidationssetzung mit dem Programm *ELPLA* wird die Konsolidationssetzung einer Tonschicht unter einem Kreisfundament nach *Das* (1983), Beispiel 6.3, Seite 371, mit den Ergebnissen von *ELPLA* verglichen.

Ein Kreisfundament von 2 [m] Durchmesser in einer Tiefe von 1.0 [m] unter Gelände wird berücksichtigt, wie im Bild 8 gezeigt. Das Grundwasser liegt 1.5 [m] tief unter Gelände. Es wird angenommen, dass der Sohldruck gleichförmig verteilt ist, er wird mit $q = 150$ [kN/m²] angesetzt. Eine einfach verdichtete Tonschicht von 5 [m] Dicke liegt in einer Tiefe von 2.0 [m] unter der Bodenoberfläche. Die Schichtenverläufe sind im Bild 8 dargestellt, während die Bodenkennwerte in der Tabelle 7 gezeigt werden. Es soll die Endsetzung unter dem Zentrum des Fundaments aufgrund der Konsolidierung des Tons bestimmt werden.

Tabelle 7 Bodenkennwerte

Schicht Nr.	Benennung des Bodens	Tiefe der Schicht unter Gelände z [m]	Wichte des Bodens γ [kN/m ³]	Kompressionsbeiwert C_c [-]	Porenzahl e_o [-]
1	Sand	1.5	17.00	-	-
2	Sand	2.0	9.19	-	-
3	Ton	7.0	8.69	0.16	0.85

Beispiele zur Überprüfung des Programms *ELPLA*

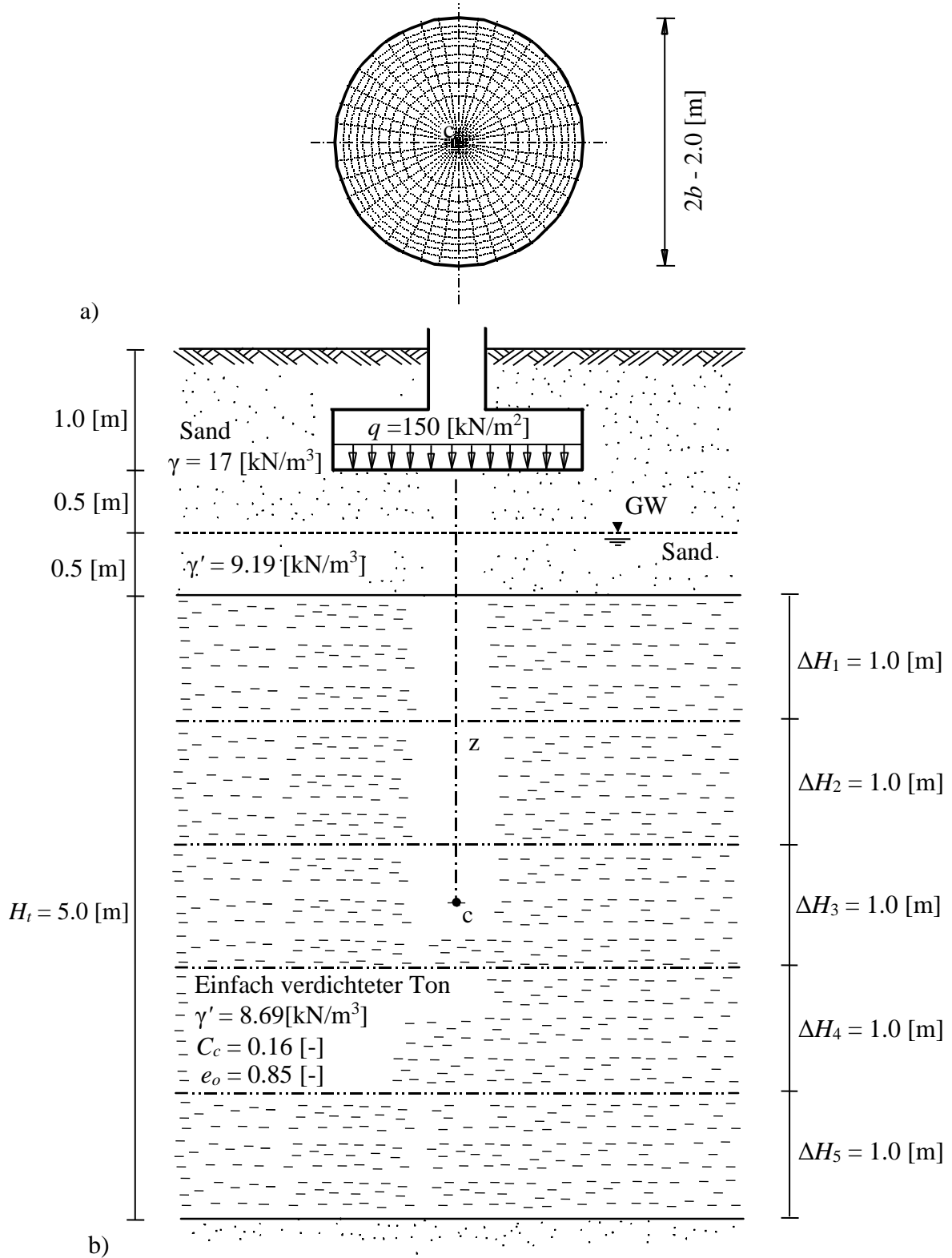


Bild 8 a) Grundriss des Fundaments mit Abmessungen und FE-Netz
b) Querschnitt durch den Baugrund unter dem Fundament mit Last

2 Handberechnung der Konsolidierung

Nach *Das* (1983) erhält man die Konsolidierung der Tonschicht mit Handberechnung wie folgt:

Die Tonschicht ist dick, verglichen mit den Abmessungen des Fundaments. Deshalb wird die Tonschicht in fünf Schichten eingeteilt, jede Schicht ist 1.0 [m] dick.

Berechnung der wirksamen Spannung $\sigma'_{o(1)}$

Die wirksame Spannung $\sigma'_{o(1)}$ in der Mitte der ersten Schicht ist

$$\sigma'_{o(1)} = \gamma_1 z_1 + \gamma_2 z_2 + \gamma_3 \frac{\Delta H_1}{2}$$

$$\sigma'_{o(1)} = 17 \times 1.5 + 9.19 \times 0.5 + 8.69 \times \frac{1}{2} = 34.44 [\text{kN/m}^2]$$

Die wirksame Spannung $\sigma'_{o(2)}$ in der Mitte der zweiten Schicht ist

$$\sigma'_{o(2)} = \sigma'_{o(1)} + \gamma_3 \left(\frac{\Delta H_1}{2} + \frac{\Delta H_2}{2} \right)$$

$$\sigma'_{o(2)} = 34.44 + 8.69 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) = 43.13 [\text{kN/m}^2]$$

Ebenso ist

$$\sigma'_{o(3)} = 43.13 + 8.69 = 51.82 [\text{kN/m}^2]$$

$$\sigma'_{o(4)} = 51.82 + 8.69 = 60.51 [\text{kN/m}^2]$$

$$\sigma'_{o(5)} = 60.51 + 8.69 = 69.20 [\text{kN/m}^2]$$

Berechnung des wirksamen Spannungsinkrements $\Delta\sigma'_i$

Für eine belastete Kreisfläche mit Radius b und Last q wird das wirksame Spannungsinkrement $\Delta\sigma'_i$ unter dem Zentrum in einer Tiefe z bei *Das* (1983) folgendermaßen angegeben:

$$\Delta\sigma'_i = q \left(1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{b}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right) \quad (9)$$

Damit ergibt sich

$$\Delta\sigma'_1 = 150 \left(1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{1.5} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right) = 63.59 [\text{kN/m}^2]$$

$$\Delta\sigma'_2 = 150 \left(1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{2.5} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right) = 29.93 [\text{kN/m}^2]$$

$$\Delta\sigma'_3 = 150 \left(1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{3.5} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right) = 16.66 [\text{kN/m}^2]$$

$$\Delta\sigma'_4 = 150 \left(1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{4.5} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right) = 10.46 [\text{kN/m}^2]$$

$$\Delta\sigma'_5 = 150 \left(1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{5.5} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right) = 7.14 [\text{kN/m}^2]$$

Berechnung der Konsolidationssetzung s_c

Die Schritte zur Berechnung der Konsolidationssetzung s_c werden in Tabelle 8 und Bild 8 gezeigt.

Tabelle 8 Schritte zur Berechnung der Konsolidationssetzung s_c

Schicht Nr.	Dicke der Schicht ΔH_i [m]	Wirksame Spannung $\sigma'_{o(i)}$ [kN/m ²]	Wirksames Spannungsincrement $\Delta\sigma'_i$ [kN/m ²]	Abnahme der Porenzahl $\Delta e_{(i)}$ [-]	Konsolidationssetzung $s_{c(i)}$ [m]
1	1.0	34.44	63.59	0.07270	0.0393
2	1.0	43.13	29.93	0.03660	0.0198
3	1.0	51.82	16.66	0.01940	0.0105
4	1.0	60.51	10.46	0.01110	0.0060
5	1.0	69.20	7.14	0.00682	0.0037
Gesamtkonsolidationssetzung Σ					0.0793

In der Tabelle 8 wurden die Abnahme der Porenzahl $\Delta e_{(i)}$ und die Konsolidationssetzung $s_{c(i)}$ durch die Gleichungen 10 und 11 errechnet.

$$\Delta e_{(i)} = c_c \log \left(\frac{\sigma'_{o(i)} + \Delta\sigma'_{o(i)}}{\sigma'_{o(i)}} \right) \quad (10)$$

$$s_{c(i)} = \frac{\Delta e_{(i)}}{1 + e_o} \Delta H_{(i)} \quad (11)$$

Die Gesamtkonsolidationssetzung aus Handberechnung ist nach Tabelle 8

$$s_c = 0.0793 \text{ [m]} = 7.93 \text{ [cm]}$$

3 Berechnung der Konsolidationssetzung mit dem Programm *ELPLA*

Unter dem Fundament befinden sich zwei verschiedene Bodenschichten. Die erste Schicht ist Sand mit 2.0 [m] Mächtigkeit, während die zweite Schicht aus Ton mit 5.0 [m] Mächtigkeit besteht, wie im Bild 89 gezeigt. Da nur die Setzung aufgrund der Konsolidierung des Tons bestimmt werden soll, kann die Setzung beim Sand durch die Annahme eines sehr großen Wertes für den Steifemodul von Sand E_{s1} klein gehalten werden. Folglich neigt die Setzung aufgrund des Sandes zu null. Sie wird fast gleich null, wenn zum Beispiel $E_{s1} = 1 \times 10^{20}$ [kN/m²] ist. Im Programm *ELPLA* genügt es, die Tonschicht als ein Ganzes zu berücksichtigen. Die Konsolidationssetzung soll berechnet werden in Bezug auf Kompressionsbeiwert C_c und Anfangsporenzahl des Bodens e_o . Der Sohldruck der Platte in diesem Beispiel ist bekannt. Auch ist die Plattenstarrheit nicht erforderlich. Deshalb kann das verfügbare Verfahren "Schlaffe Platte 9" im Programm *ELPLA* hier verwendet werden, um die Konsolidationssetzung des Tons zu bestimmen. Die wirksame Spannung σ'_o und das wirksame Spannungsinkrement $\Delta\sigma'$ in der Mitteltiefe der Tonschicht (Tabelle 8) können vom Programm *ELPLA* auch durch die Option "Berechnung der Grenztiefe" erhalten werden. Mit einer Grenztiefenberechnung wird die Bodenspannung in der Tiefe unter dem Fundament bestimmt. Die wirksame Spannung σ'_o und das wirksame Spannungsinkrement $\Delta\sigma'$ gegen die Tiefe werden von *ELPLA* gerechnet und mit denen einer Handberechnung (Bild 9) geplottet und verglichen. Die End-Konsolidationssetzung des Tons unter dem Zentrum des Fundaments $s_c = 8.09$ [cm], errechnet vom Programm *ELPLA*, gleicht fast der aus der Handberechnung.

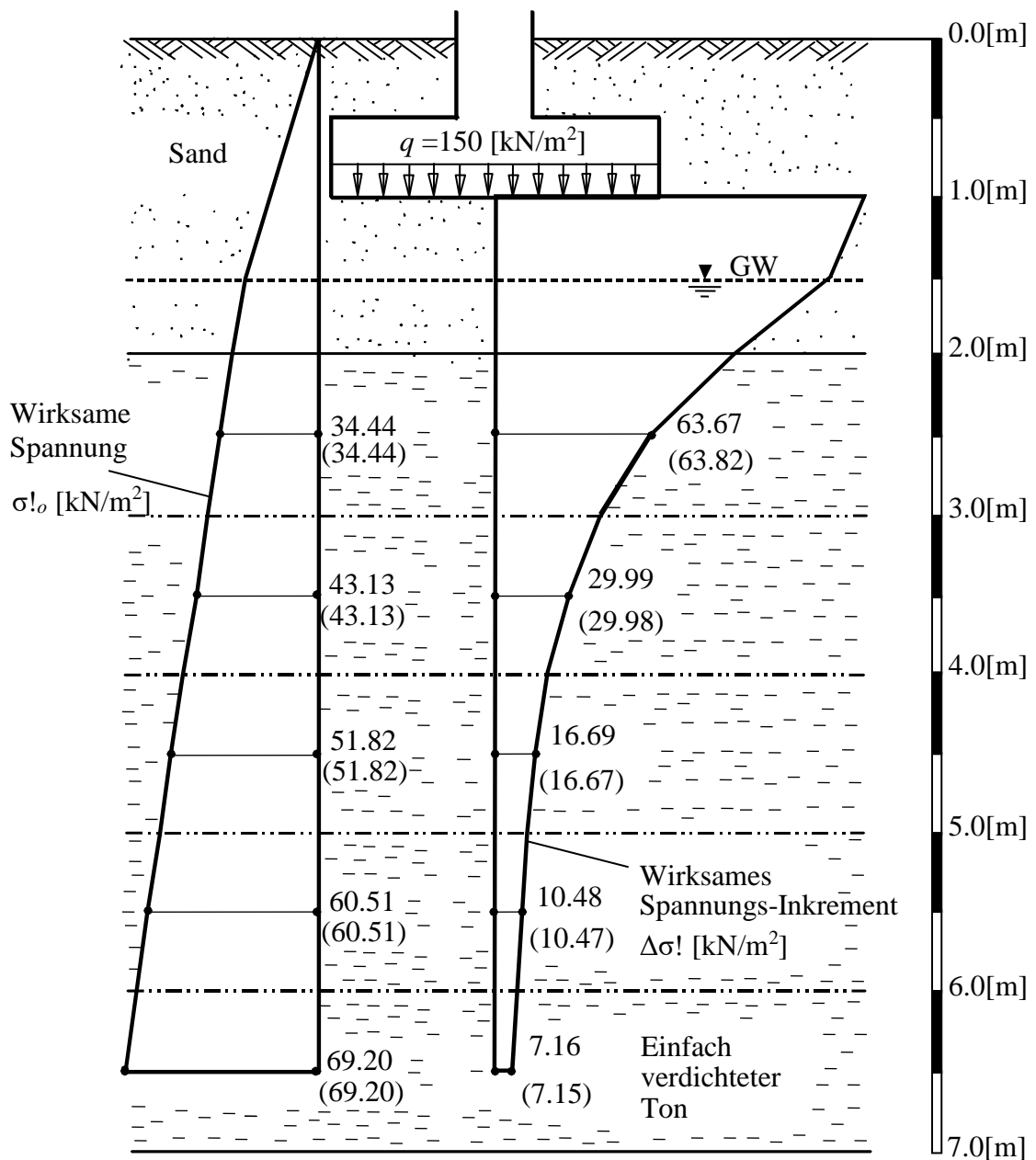


Bild 9 Wirksame Spannung σ'_o [kN/m²] und wirksames Spannungskrement $\Delta\sigma'$ [kN/m²] (Ergebnisse $\Delta\sigma'$ gerechnet mit *ELPLA*, Handberechnung in Klammern)