

Danach können die beiden Zwischenwerte (Δ_{d2} und Δ_{d3}), welche die Einfederung in den Flächenbereichen zu $E_2 \rightarrow (x \cdot A)$ resp. $E_3 \rightarrow ((1 - x) \cdot A)$ quantifizieren, wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta_{d3} = [(\sigma_{\text{Druck-Mittelwert}}) \cdot d_{02} \cdot d_{03}] / [\alpha \cdot d_{03} \cdot E_2 \cdot x \cdot A + d_{02} \cdot E_3 \cdot (1 - x) \cdot A]$$

$$\Delta_{d2} = \alpha \cdot \Delta_{d3}$$

Daraus schliesslich sind die beiden spezifischen Druckspannungen bestimmt:

$$\sigma_2 = (\alpha \cdot \Delta_{d3} / d_{02}) \cdot E_2 \quad \text{resp.}$$

$$\sigma_3 = (\Delta_{d3} / d_{03}) \cdot E_3$$

2.11 Praktisches Zahlenbeispiel:

Ausgehend von:

$$d_{02} \equiv d_{03} = 300 \text{ mm}$$

$$E_2 = 90 \text{ MN / m}^2; E_3 = 220 \text{ MN / m}^2$$

$$x = 0.5 \text{ Flächenanteil an A und sowie } \sigma_{\text{Druck-Mittelwert}} = 0.465 \text{ N/mm}^2$$

A = Druckfläche [mm], beliebig

ergeben sich je nach Schichtstärke (d_{01}) einer federnden Zwischenschicht mit Steifemodul $E_1 = 1.0 \text{ MN / m}^2$ folgende (Teil -) Spannungen σ_2 resp. σ_3 :

Zwischenschicht d_{01} [mm]	Teilspannungswert σ_2 [N/mm ²]	Teilspannungswert σ_3 [N/mm ²]	Einfederung δ [mm]
0	0.2700	0.6600	0.900
1	0.3282	0.6018	1.424
2	0.3597	0.5703	1.918
5	0.4027	0.5273	3.356
10	0.4279	0.5021	5.706
20	0.4445	0.4855	10.390
50	0.4562	0.4737	24.333
100	0.4605	0.4695	47.588

Ist keine Zwischenschicht vorhanden, so bilden sich die Teilspannungswerte σ_2 und σ_3 im Verhältnis ihrer Steifemoduli E_2 und E_3 . Multipliziert mit ihren Flächenanteilen entsprechen sie als Spannungssumme dem vorgegebenen Mittelwert ($d_{02} \equiv d_{03}$ vorausgesetzt).

2.2 Fall <Halbraum - Lagerung>

Liegt das obige Modellbeispiel nicht auf starrer Unterlage, sondern auf homogenem Erdreich mit Steifemodul (E_U) auf, so ist folgendes zu beachten:

Dort wo (E_U) > E_2 und / oder E_3 , wird sein Wert durch die „weichere“ Dämmschicht nach den Regeln von Boussinesq und Oedmark reduziert. Nutze dazu auch:

→ <http://apps.cellularglassengineering.com/de/programs/p16>

Ist (E_U) jedoch kleiner als E_2 oder E_3 , so geht an Stelle des betreffenden Wertes für den Dämmstoff nur der (unveränderte) Steifemodul (E_U) in die Rechnung ein.

Als Vergleichsbeispiel zur obigen „starken Lagerung“ wird hier der Wert (E_U) mit 150 MN/m^2 festgelegt. Für die Berechnung fällt demnach E_3 ausser Betracht!

An Stelle von E_3 (220 MN / m^2) ist bloss mit $E_U = 150 \text{ MN / m}^2$, bzw.: übertragen auf starre Lagerung mit $E_3^* \sim 30.7 \text{ MN / m}^2$ zu rechnen. Und für E_2 (90 MN / m^2) ist die Schwächung des Erdreichs infolge „weicherer“ Dämmung durch einen ideellen Steifemodul E_2^{**} – hier wieder übertragen auf starre Lagerung bei 300 mm Dämmstärke – im Betrag von ca. 27.0 MN / m^2 zu ersetzen.

Aus analoger Auswertung ergibt sich damit für das Modellbeispiel mit Halbraum - Lagerung:

Zwischenschicht d_{01} [mm]	Teilspannungswert σ_2 [N/mm ²]	Teilspannungswert σ_3 [N/mm ²]	Einfederung δ [mm]
0	0.4351	0.4948	4.835
1	0.4378	0.4922	5.302
2	0.4400	0.4900	5.768
5	0.4422	0.4873	7.205
10	0.4498	0.4802	9.495
20	0.4547	0.4752	14.149
50	0.4598	0.4701	28.102
100	0.4621	0.4678	51.350

Es gilt wieder: Ist keine Zwischenschicht vorhanden, so bilden sich hier die Teilspannungswerte σ_2 und σ_3 im Verhältnis der Steifemoduli E_2^{**} und E_3^* . Multipliziert mit ihren Flächenanteilen entsprechen sie als Spannungssumme wieder dem vorgegebenen Mittelwert ($d_{02} \equiv d_{03}$ vorausgesetzt). Die Anfangsdifferenz in der Einfederung zwischen starrer Lagerung und Halbraum (ca. 4 mm, wenn Zwischenlage $d_{01} = 0$) bleibt bei allen (zunehmenden) Zwischenschichten in etwa konstant.

3. FAZIT

Die praktische Wirkung des Knieschoners für den Bodenleger hat also auch seinen theoretischen Hintergrund: Mit zunehmender Schichtdicke der weichen Zwischenlage werden lokale Spannungsspitzen aus lokal härterem Untergrund, bzw. aus Inhomogenitäten im Dämmschichtpaket oder Unebenheiten der Unterlage abgedämpft und auf den rechnerischen Mittelwert <Last durch Fläche> ausgeglichen. Das kann oftmals von grösserem baupraktischen Nutzen sein, als man gemeinhin denkt!