

GRUNDLAGEN UND INFOS ZUM DIAGRAMM

Das Diagramm ermöglicht ohne grossen Rechenaufwand die approximative Abschätzung und Beurteilung der Gründungssituation von lastabtragenden Hallenböden sowie Fundamentplatten unter der Vorgabe, dass diese aus energetischen, bauphysikalischen oder wohngygienischen Gründen erdseitig auf eine Dämmschicht aufgebracht werden sollen.

Schon im Rahmen der Vordimensionierung und Submission durch den Bauingenieur ist es wichtig, den Einfluss einer belasteten Dämmschicht auf das Verformungsverhalten der Tragplatte und der aufgehenden Tragkonstruktion des Gebäudes zu kennen.

Mit dem Diagramm ist die Zielsetzung verbunden, dass eine direkt auf gewachsenem Erdreich aufgebrachte Tragplatte unter lokaler, konzentrierter Einzellast keine grössere Verformung erleiden soll, falls sie mit einer lastabtragenden Dämmschicht von definierter Stärke unterlegt werden muss.

In Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls des Erdreiches (EU), der für direkte Erdreichlagerung vorgesehenen Beton – Plattenstärke (d_{nom1}), der geplanten Stärke der Dämmschicht (d_{WDid} *** sowie je nach deren Elastizitätsmodul (E_{WDid} ***), kann aus dem Diagramm nach einfacher Handrechnung direkt die benötigte Beton – Plattenstärke (d_{nom2}) für gleiche Verformung wie bei d_{nom1} abgelesen werden. ***Gewogener E – Modul einer Bettungsschicht aus (evtl.) mehreren Materialschichten (Dämmung, Schutzlage, Drainage, etc.).

Zu beachten: Das Diagramm gibt keine Auskunft über die absolute Verformung der «Ausgangsplattenstärke d_{nom1} » unter realer Gebäudelast. Solange jedoch die Dämmschicht ein höheres Elastizitätsmodul aufweist als das darunterliegende Erdreich, findet kein Verformungszuwachs statt, womit dann gilt: $d_{nom2} \equiv d_{nom1}$. Stehen andererseits mehrere Dämmstoffe von unterschiedlicher (ideeller) Stärke und / oder (ideellem) Elastizitätsmodul zur Wahl, liefert das Diagramm durch wiederholte Benutzung die gewünschten Vergleiche zwischen den konkurrierenden Konstruktionsvarianten.

Das Diagramm basiert auf den Berechnungsgrundlagen nach *Boussinesq*, *Oedmark* und *Westergaard*. Demnach ist der für die Bemessung benötigte Bettungsmodul (k_B) gleichzeitig vom Elastizitätsmodul des Erdreichs (EU) und von der Plattenstärke (d_{nom}) beeinflusst. Solange daher $EU < \infty$ (∞ herrscht z.B. bei Fels), folgt die Berechnung einem «iterativen Prozess». Im Diagramm wird dabei die gesuchte Grösse d_{nom2} über eine Verhältniszahl ϕ ermittelt, welche sich als Schnittpunkt zweier Funktionslinien gemäss den dargestellten Rechenbeispielen findet.

Als «informative Grössen» können mithilfe des massgebenden Wertes ϕ auch die beiden Bettungsmoduln (k_{B1}) und (k_{B2}) beziffert werden. Desgleichen können davon ausgehend die beiden Wirkungsradien (s_1) und (s_2) bestimmt werden, innerhalb welcher sich für die Gültigkeit des Ergebnisses keine weiteren Einzellasten befinden dürfen (Thema: Z. B. Hochregallager auf lastabtragendem Hallenboden!). Zudem kann mit einfacher Handrechnung der Verformungszuwachs unter Einzellast bestimmt werden, wenn die vorgegebene Plattenstärke d_{nom1} nicht über id_{WD1} mit id_{EWD1} oder direkt auf Erdreich, sondern über id_{WD2} mit id_{EWD2} angeordnet wird.

Für den Spezialfall: «starre Lagerung» schliesslich, kann die erforderliche Vergleichsstärke d_{nom2} direkt nach einfacher Hilfsformel gefunden werden. Desgleichen wiederum der Verformungszuwachs.

ENTWICKLUNG UND AUFBAU DES DIAGRAMMS

Laut *Boussineq* entspricht das Bettungsmodul « k_B » in der «Tiefe d_U » des Erdreich / Halbraums mit E – Modul EU gleich dem Quotienten aus «E-Modul Erdreich / Tiefe d_U ». **Formel: $k_B = (EU / d_U)$.**

Zur Bestimmung des Bettungsmoduls einer (direkt) auf Erdreich aufliegenden Betonplatte von der Stärke « d_{nom} » und mit E – Modul « E_{nom} » wird diese laut *Oedmark* in eine Erdschicht von gleicher Biegesteifigkeit wie die reale Betonplatte umgerechnet. Unter Berücksichtigung des Plattenfaktors folgt daraus zunächst eine «ideelle Plattendicke aus Erdreich did ».

Formel: $did = 0.83 * d_{nom} * (E_{nom} / EU)^{0.333}$. Davon ausgehend alsdann das Bettungsmodul der Betonplatte nach dem Ansatz « EU / did ». **Formel: $k_B = 1.2 * EU^{1.333} * E_{nom}^{-0.333} * d_{nom}^{-1}$.**

Wird jetzt zwischen Betonplatte und Erdreich eine lastableitende Dämmschicht von der Stärke « d_{WDid} » und mit E – Modul « E_{WDid} » – wobei ($E_{WDid} < EU$)! – eingeschoben, vergrössert sich die «ideelle Plattendicke aus Erdreich» nach der **Formel: $did' = [did - d_{WDid} + (EU/E_{WDid}) * d_{WDid}]$.**

Das reale Bettungsmodul für die Betonplatte über Dämmschicht ist damit bestimmt. Ausgeschriebene **Formel: $k_{B1,2} = EU / [0.83 * d_{nom1,2} * (E_{nom}/EU_{1,2})^{0.333} + ((EU_{1,2}/E_{WDid1,2}) - 1) * d_{WDid1,2}]$.**

Ist $d_{WDid} = \text{Null}$, oder $E_{WDid} \geq EU$, geht die Formel «zurück» in jene für « k_B aus direkter Erdreichlagerung». ***** Hinweis: Wenn $E_{WDid} > EU$, dann Quotient $(EU/E_{WDid}) = 1$ setzen!**

Um jetzt für gleiche Plattenverformung unter Einzellast von der gegebenen Plattenstärke d_{nom1} (direkt auf Erdreich liegend) zur gesuchten Plattenstärke d_{nom2} (auf Dämmschicht aufliegend) zu gelangen, kann folgende Beziehung nach den Grundlagen von *Westergaard* genutzt werden:

$$\text{Verformung } \delta_1 = \text{Last} / [k_{B1} * (l_{c1})^2] \equiv \text{Verformung } \delta_2 = \text{Last} / [k_{B2} * (l_{c2})^2]$$

Dabei ist die «Elastische Länge l_{ci} » allgemein bestimmt aus: $l_{ci} = [(E_{nom} * d_{nomi}^3) / (12 * k_{Bi})]^{0.25}$

Sowohl der Bettungsmodul k_{B2} als auch die elastische Länge l_{c2} sind von der unbekanntem Vergleichs - plattenstärke d_{nom2} beeinflusst, was zu der «Vergleichs» - **Formel: $k_{B1} * d_{nom1}^3 = k_{B2} * d_{nom2}^3$** führt. Damit gilt auch: $k_{B2} = k_{B1} * (d_{nom1}/d_{nom2})^3$. Wird für das unbekanntem $d_{nom2} = \phi * d_{nom1}$ gesetzt, folgt weiter: $(k_{B2}/k_{B1}) = \phi^{-3}$. Wird daraus der Quotient aus (k_{B1}/k_{B2}) gemäss obigen Formelwerten (d.h. k_B ohne, bzw. mit Dämmschichtlage) vereinfacht, so folgt als massgebende Beziehung schliesslich die «Diagramm» - **Formel: $\kappa + \phi = \phi^3$.** Darin bildet « κ » als Hilfwert die Einstiegsgrösse auf der Diagramm – Y – Achse. Sie wird von Hand wie folgt berechnet:

$$\text{Formel: } \kappa = \{ [1.2 * (EU/E_{nom})^{0.333} * ((EU/E_{WDid2}) - 1) * d_{WDid2}] / d_{nom1} \}.$$

Ab der Y – Achse folgt der Hilfwert κ «parallel» den Hilfskurven entlang der X – Achse mit unbekanntem « ϕ – Zuschlag», bis der Schnittpunkt mit der roten Funktionskurve für ϕ^3 gefunden ist. Auf der X – Achse kann damit der gesuchte Multiplikator ϕ (zur Erinnerung: $d_{nom2} = \phi * d_{nom1}$) für den gefundenen Schnittpunkt abgelesen werden. Hinweis: die Y – Achse ist für bessere Lesbarkeit im logarithmischen Massstab dargestellt.

Aus informativer Kenntnis der beiden Bettungsmoduln k_{B1} und k_{B2} wird bedarfsweise der Verformungszuschlag auf die Stärke d_{nom1} berechnet, wenn diese Platte ohne Verstärkung auf die Bettungsschicht mit id_{WD2} und id_{EWD2} aufgebracht wird.

$$\text{FORMEL: } \text{Verformungszuwachs} = \pm VZ = [(k_{B1}/k_{B2})^{0.5} - 1] * 100 [\%]$$