

VEB
Projektierung
Wasserwirtschaft

Hydraulischer Grundbruch
Schmale Baugruben

WAPRO
8.05.
Blatt 2

Verbindlich ab 1. 4. 1969

Dieser Standard gilt für den Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit von beidseitig eingespundeten schmalen Baugruben in kohäsionslosen Erdarten und im ungeschichteten Baugrund.

Die Festlegungen des Standards sind zur Anwendung empfohlen.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Allgemeines	1
2. Kritische hydraulische Druckhöhe in einem idealen Baugrund	2
3. Kritische hydraulische Druckhöhe in einem realen Baugrund	6
4. Einbindetiefe der Stirnfront schmaler Baugruben	7
5. Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit	8
6. Berechnungsbeispiel	8

1. Allgemeines

Der vorliegende Standard ist als Einheit mit WAPRO 8.05. Blatt 1 zu betrachten. Die Anwendungsbereiche der Berechnungsansätze für die breiten und für die schmalen Baugruben werden durch das Schlankheitsverhältnis des Baugrubenquerschnittes

$$\beta = \frac{B}{t_a} \leq 5$$

abgegrenzt. Hierin bedeuten:

B - Breite der Baugrube [m]
t_a - äußere Einbindetiefe [m]

Das im nachstehenden dargelegte Berechnungsverfahren gilt nicht nur für die im Bild 1 dargestellten geometrischen Verhältnisse, sondern auch für den Fall, daß der Grundwasserspiegel unter der Geländeoberkante liegt. In diesem Fall ist die Grundbruchsicherheit je nach der Absenkung des Grundwasserspiegels größer als die berechnete.

Fortsetzung Seite 2 bis 10

Bestätigt: 14. 1. 1969, Direktor, Halle (Saale)

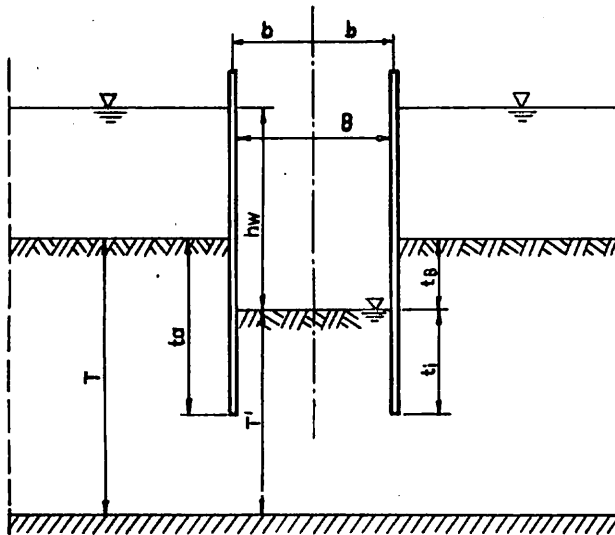


Bild 1
Geometrische
Relationen

Die schmalen Baugruben werden in die sehr schmalen Baugruben $-0 < \beta \leq 0,5 -$, für die die Filterströmung im Aufströmungsbereich zwischen den Baugrubenwänden als Parallelströmung angenommen werden kann, und in die schmalen Baugruben im Übergangsbereich $-0,5 < \beta \leq 5 -$ eingeteilt. Die Bezeichnung Übergangsbereich wurde gewählt, weil in diesem Bereich die Untersuchungen zur Ermittlung der kritischen Druckhöhen sowohl auf den für sehr schmale als auch auf den für breite Baugruben gefundenen Berechnungsansätzen beruhen. Die für diesen Bereich abgeleitete Funktion ergibt einen stetigen Übergang von den Druckhöhen im Parallelströmungsbereich zu denen der breiten Baugruben.

Bei schmalen Baugruben sind die kritischen hydraulischen Druckhöhen, bedingt durch das Zusammendrängen der Strom- und Potentiallinien im Aufströmungsbereich unterhalb der Baugrubensohle, kleiner als bei breiten Baugruben. Als kritische hydraulische Druckhöhe gilt diejenige, bei der infolge des Strömungsdruckes im Aufströmungsbereich eine augenscheinlich erkennbare Wölbung der Baugrubensohle zu beobachten ist.

Bei den angegebenen Berechnungsansätzen ist wie bei den breiten Baugruben zu beachten, daß sowohl Berechnungsansätze für einen idealen -reibungsfreien- als auch für den realen -tatsächlichen- Baugrund angegeben werden.

Den Ableitungen der Formeln liegen die in WAPRO 8.05. Blatt 1 aufgezeigten Voraussetzungen zugrunde.

2. Kritische hydraulische Druckhöhe in einem idealen Baugrund

Für die Berechnung der kritischen hydraulischen Druckhöhe gilt die Grundgleichung:

$$h_{wk} = \gamma_a \cdot \omega_{4,5} \cdot t_1 \quad (1)$$

Es bedeuten:

- γ_a - Erdstoffwichte unter Auftrieb [$\text{kp} \cdot \text{m}^{-3}$]
- $\omega_{4,5}$ - Funktionen, die von der Baugrubengeometrie abhängig sind [/]
- t_1 - innere Einbindetiefe der Baugrubenumschließung [m]

Bei der Ermittlung von $\omega_4 = f(\alpha, \lambda, \beta)$ kann im Aufströmungsbereich sehr schmaler Baugruben genügend genau Parallelströmung als gültig vorausgesetzt werden. Für diese Baugrubenquerschnitte, die durch die Verhältnisse $0 \leq \lambda < 1,0$; $0 \leq \alpha < 0,75$ und $0 < \beta \leq 0,5$ gekennzeichnet sind, gilt:

$$\omega_4 = \frac{1}{\varphi_F} \quad (2)$$

Das Potential φ_F kann nach Davidenkoff (siehe Bild 2) graphisch oder auch durch Potentialmessungen experimentell ermittelt werden.

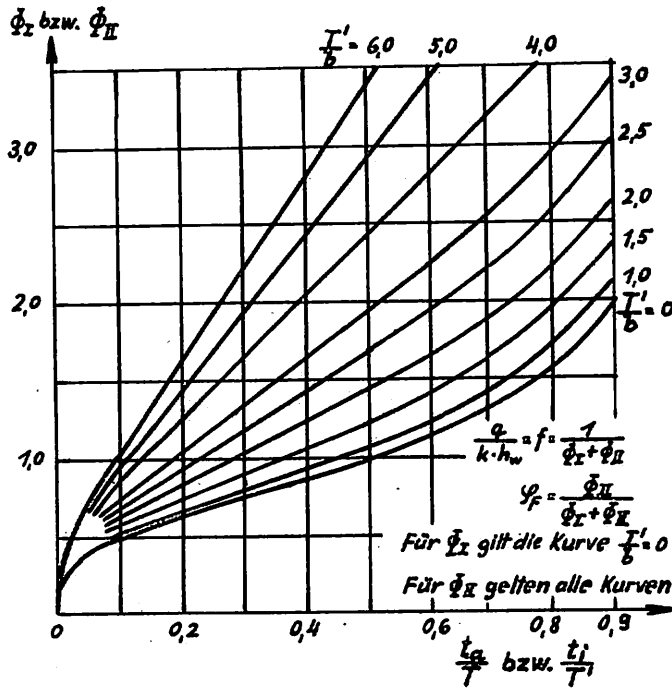


Bild 2

Diagramm zur Berechnung der Potentiale φ_F am Wandfuß nach [5]

für φ_I gilt $\frac{t_a}{b}$

für φ_{II} gilt $\frac{t_i}{t}$

Baugrubenquerschnitte, deren Breitenverhältnis β im Intervall $0,5 \leq \beta \leq 5$ liegt, werden in den sogenannten Übergangsbereich eingeordnet. Für diesen Bereich gilt in den Grenzen $0 \leq \lambda \leq 0,8$ und $0 \leq \alpha \leq 0,75$ die Gleichung:

$$\omega_5 = \omega_{4\beta} + (\omega_3 - \omega_{4\beta=5}) \cdot \log(2 \cdot \beta) \quad (3)$$

Die Funktion $\omega_5 = f(\beta, \lambda, \alpha)$ wurde für verschiedene geometrische Verhältnisse im Bild 3 dargestellt. Es bedeuten:

- $\beta = \frac{B}{t_a}$ - Schlankheit des Baugrubenquerschnittes
- $\omega_{4\beta} = \frac{1}{\varphi_{F\beta}}$ - reziprokes Potential am Wandfuß für das Schlankheitsverhältnis $\beta = \frac{B}{t_a}$
- $\omega_{4\beta=5} = \frac{1}{\varphi_{F\beta=5}}$ - reziprokes Potential am Wandfuß für die obere Schlankheitsgrenze schmaler Baugruben, also $\beta = 5$
- φ_F - Potential am Fuß der Baugrubenumschließung
- ω_3 - Funktionswert für breite Baugruben (siehe WAPRO 8.05./1)

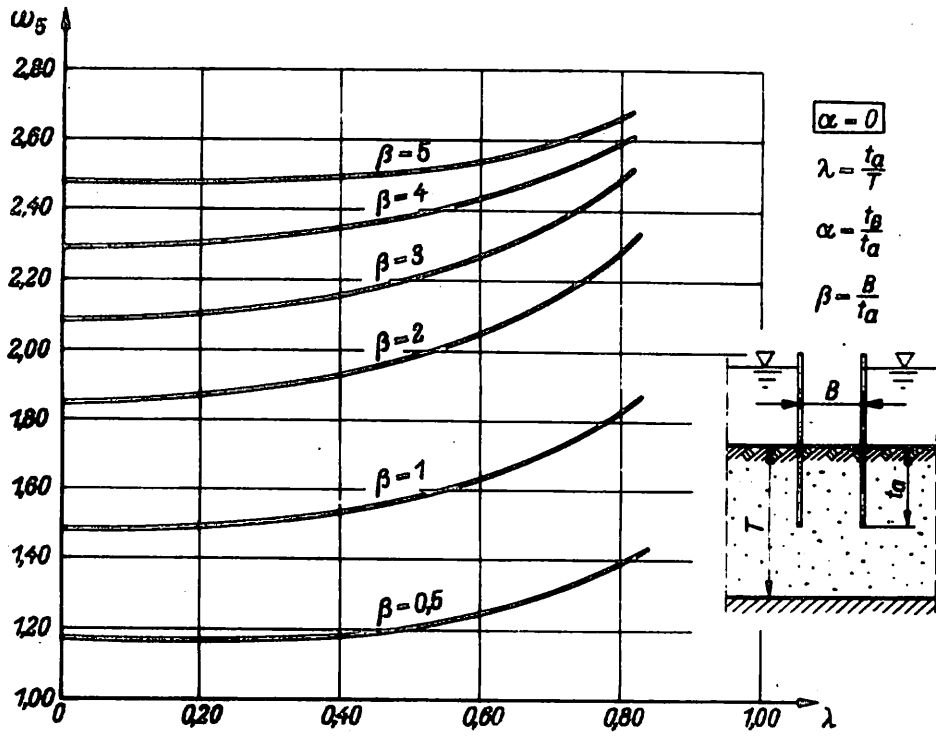


Bild 3 a: ω_5 - Werte für $\alpha = 0$

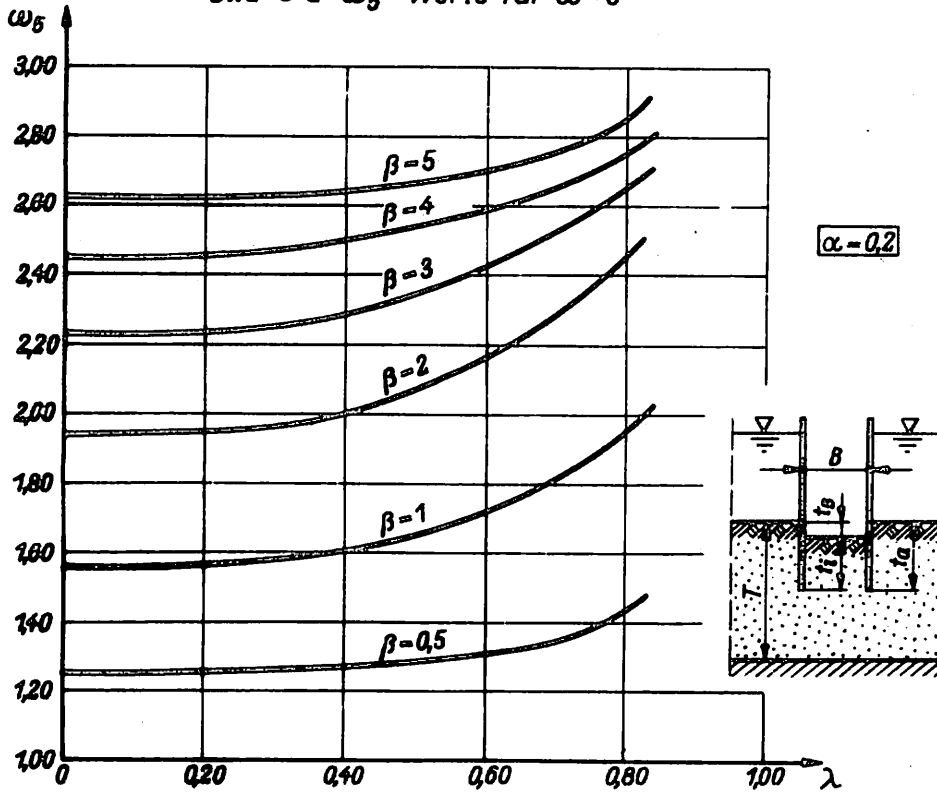


Bild 3 b: ω_5 - Werte für $\alpha = 0.2$

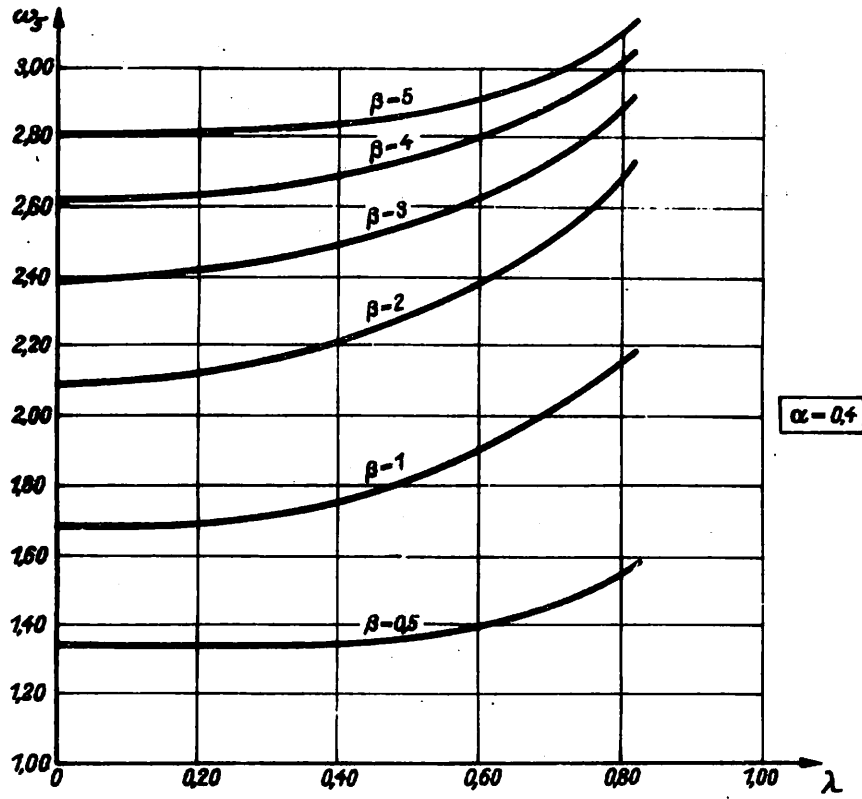


Bild 3 c: ω_5 -Werte für $\alpha=0.4$

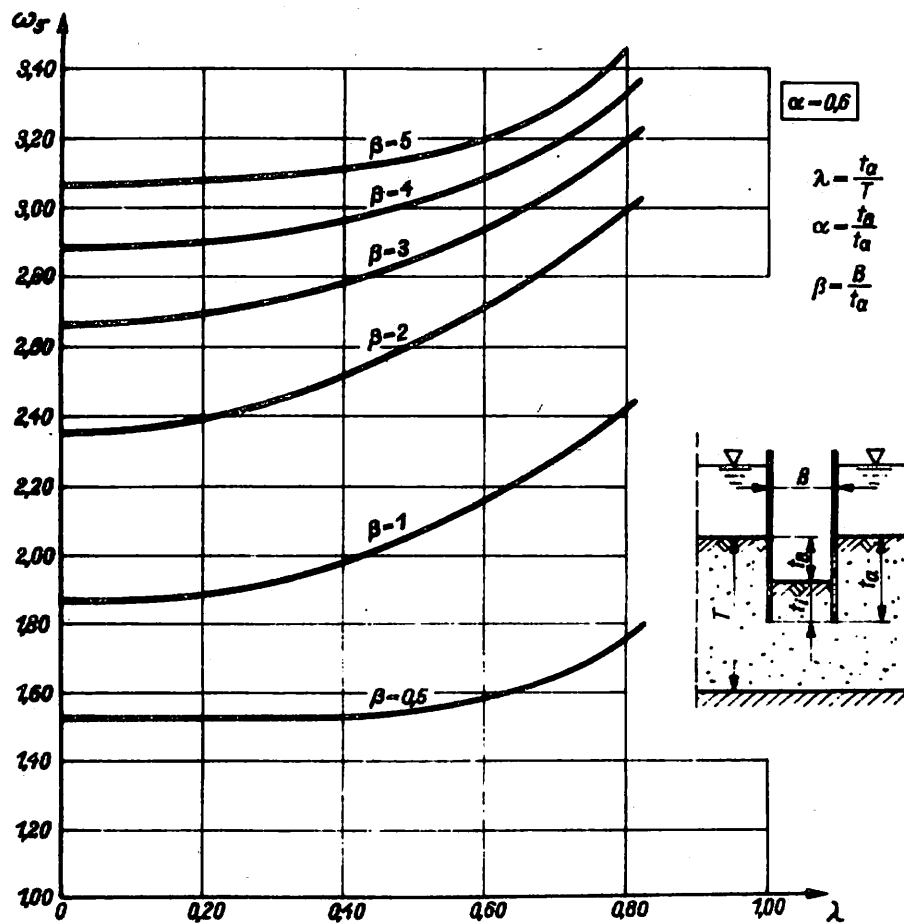


Bild 3 d: ω_5 -Werte für $\alpha=0.6$

3. Kritische hydraulische Druckhöhe in einem realen Baugrund

Die Untersuchung schmaler Baugrubenquerschnitte im Filtergerinne zeigte selbst für den Parallelströmungsbereich $-\beta = 0,5 -$, daß die gemessenen kritischen hydraulischen Druckhöhen etwas größer als die theoretisch ermittelten waren. Dies ist auf Reibungskräfte zurückzuführen, die infolge der im unteren Aufströmungsbereich vorhandenen Krümmung der Strom- und Potentialkurven bei der Verlagerung der Erdstoffteilchen hervorgerufen werden. Es konnte festgestellt werden, daß mit den experimentell ermittelten Druckhöhen übereinstimmende Ergebnisse dann erzielt werden, wenn bei sehr schmalen Baugruben, also für die geometrischen Verhältnisse $0 \leq \lambda < 1,0$; $0 \leq \alpha < 0,75$ und $0 < \beta \leq 0,5$, die Beziehung

$$\omega_4^* = \frac{1}{\varphi_{Fm}} \quad (4)$$

in Gl. (1) eingesetzt wird. Hierbei ist φ_{Fm} das mittlere Potential der Sohlfläche des Aufbruchkörpers, also der Fläche, die von den Fußlinien der Wandebene begrenzt wird. Das mittlere Potential ist aus dem jeweils zutreffenden Potentialnetz zu bestimmen. Für die Verhältnisse $\lambda < 0,67$ und $\alpha \leq 0,5$ können die ω_4^* -Werte genügend genau aus Bild 4 abgelesen werden.

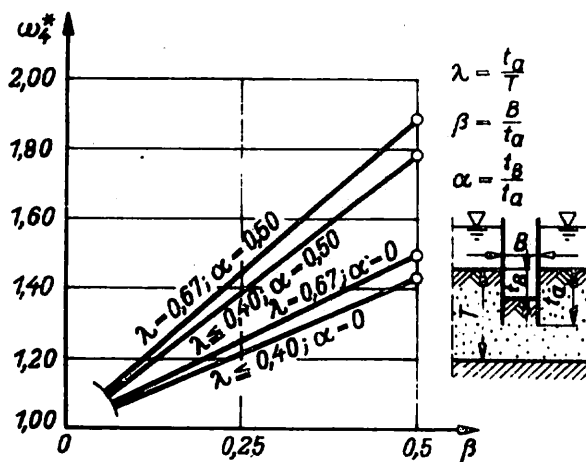


Bild 4

Darstellung einiger Funktionen für

$$\omega_4^* = \omega_4^*(\lambda, \alpha, \beta)$$

In der Praxis liegen die Querschnittsrelationen schmaler Baugruben meist im Übergangsbereich $-0,5 < \beta \leq 5 -$. Die Auswertung der Versuche ergab in Verbindung mit den theoretischen Ergebnissen für die Verhältnisse $0 \leq \lambda \leq 0,8$ und $0 \leq \alpha \leq 0,75$ die Beziehung:

$$\omega_5^* = \omega_5 + \left(\omega_{4\beta=0,5}^* - \omega_{4\beta=0,5} \right) \cdot \log \left(\frac{5}{\beta} \right) + \omega_v \cdot \log (2\beta) \quad (5)$$

Es bedeuten:

ω_5 - Funktionswert für den reibungsfreien Aufbruch (siehe Bild 3)

$\omega_{4\beta=0,5}^*$ - $\frac{1}{\varphi_{Fm}}$ für $\beta = 0,5$ (siehe Bild 4)

$\omega_{4\beta=0,5}$ - $\frac{1}{\varphi_F}$ für $\beta = 0,5$ (siehe Bild 3, denn für $\beta = 0,5$ ist

$$\omega_{4\beta=0,5} = \omega_{5\beta=0,5})$$

ω_v - $0,45 \cdot U \cdot \tan \varphi_s$

$\beta = \frac{B}{t_a}$ - Schlankheit des Baugrubenquerschnittes

U - Ungleichförmigkeitsgrad

Die Funktion für ω_5^* liefert für $\beta = 0,5$ das Ergebnis $\omega_5^* = \omega_4^*$; und für $\beta = 5$ gilt $\omega_5^* = \omega_3^*$. Die Berechnungswerte ergeben also einen kontinuierlichen Übergang vom Bereich der sehr schmalen zu dem der breiten Baugruben.

Bei der Anwendung der vorstehenden Gleichungen ist zu beachten, daß die Beziehungen ω_v für kohäsionslose Sande in den Grenzen $1 < U \leq 5$ und $30^\circ \leq \varphi_s \leq 40^\circ$ gilt. Für Erdstoffe mit $U > 5$ ist maximal $U = 5$ einzusetzen.

Für praktische Berechnungen wird aus Sicherheitsgründen empfohlen, bei unklarer Untergrundbeschaffenheit, nicht ausreichenden Baugrundaufschlüssen oder unzuverlässigen Erdstoffkennwerten die reibungsbedingte Vergrößerung der kritischen hydraulischen Druckhöhe bei der Bemessung der Gründungstiefe der Baugrubenumschließungen zu vernachlässigen. Es sind also dann die für den idealen Baugrund ausgewiesenen Beziehungen zu verwenden.

4. Einbindetiefe der Stirnfront schmaler Baugruben

Die Gefahr des hydraulischen Grundbruches ist an den Stirnfronten besonders groß, weil durch die hier auftretende Konzentration der Strom- und Potentialkurven eine erhöhte Beanspruchung des Baugrundes auftritt. Eine gleichbleibende Grundbruchsicherheit am gesamten Baugrubenumfang ist erreichbar, wenn an der Stirnfront die Einbindetiefe der Baugrubenumschließung so vergrößert wird, daß die erhöhte Beanspruchung durch Verminderung des Filtergefälles kompensiert wird.

Die Einbindetiefe wird wesentlich von den geometrischen Baugrubenrelationen beeinflusst. Hierbei wurden nach Bild 5 zwei Varianten unterschieden, und zwar die Baugruben, die allseitig von offenem Wasser umgeben sind, -Variante a mit $\beta_a = \frac{B(a)}{t_a}$, und diejenigen, die einseitig an bereits vorhandene Bauwerke angrenzen, -Variante b mit $\beta_b = \frac{B(b)}{t}$. Aus dem Bild ist ersichtlich, daß sich die Schlankheitsverhältnisse der Variante a und b, also $\beta_a : \beta_b$ wie 1 : 2 verhalten. Die Grenzschlankheiten der schmalen Baugruben sind somit:

$$\beta_{aGr} = 5 \quad \text{und} \quad \beta_{bGr} = 2,5$$

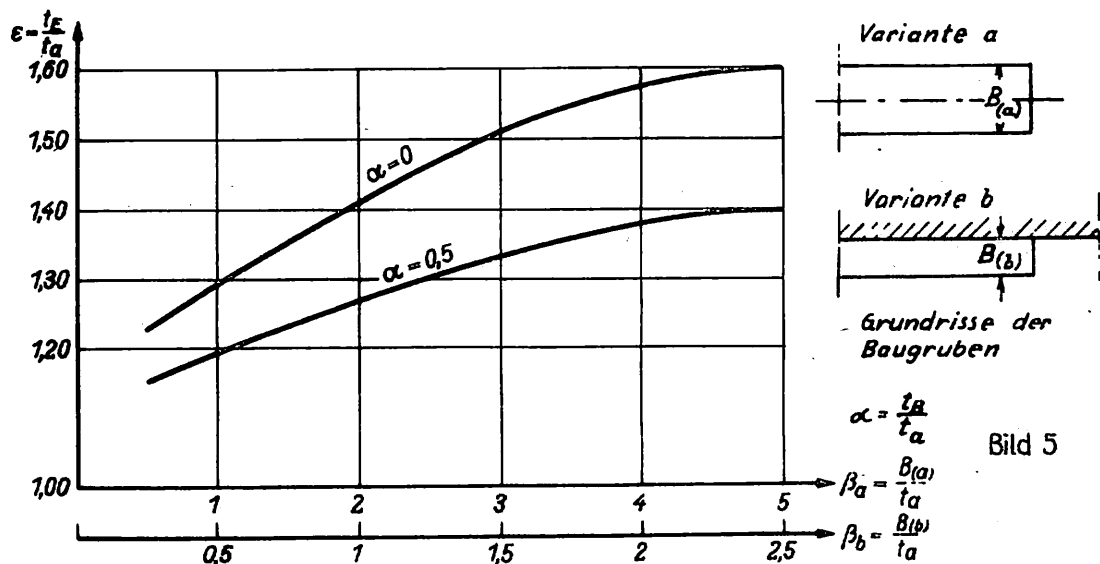


Bild 5

Gründungstiefe der Stirnfronten schmaler Baugruben
 β_a für frei stehende Baugruben (Variante a) β_b für Baugruben neben Bauwerken (Variante b)

Auf experimentellem Wege wurden von Knaupe [1] für mannigfaltige geometrische Baugrubensituationen die kritischen Eckvertiefungsverhältnisse $\epsilon_k = \frac{t_E}{t_a}$ ermittelt, bei denen die Grundbruchsicherheit an der Stirnfront gleich der an den Längswänden vorhandenen ist. In diesem Verhältnis bedeuten t_E die Einbindetiefe an der Baugrubenstirnseite und t_a die Einbindetiefe der Längswände bei ebener Filterströmung.

Auf Grund der Versuchsergebnisse wird empfohlen, die Abschrägung zu der Baugrubenstirnwand an den Längswänden mit einer Neigung von 1 : 3 auszuführen, d. h., die Länge der Stirnvertiefung ergibt sich zu:

$$l_E = 3(t_E - t_a) \quad (6)$$

Die kritischen Eckvertiefungen $\epsilon_k = \frac{t_E}{t_a}$ können aus Bild 5 entnommen werden.

Die Untersuchungen an schmalen Baugruben zeigten weiter, daß die Stirnfronten dieser Baugruben durchgehend mit der für die Ecke gültigen Einbindetiefe t_E zu gründen sind, da sonst in diesem Bereich die an den Längswänden vorhandene Grundbruchsicherheit nicht gewährleistet werden kann.

5. Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit

Die hydraulische Grundbruchsicherheit ist entsprechend WAPRO 8.05./1 nachzuweisen.

6. Berechnungsbeispiel

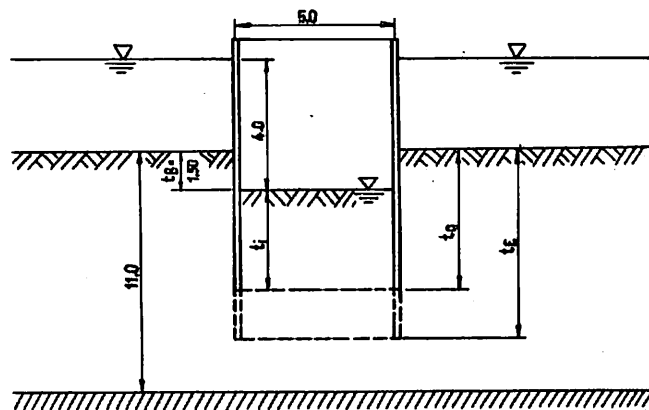
Die Umschließung einer schmalen, in einem offenen Gewässer mit der Stirnfront abschließenden Baugrube, deren endgültige Sohle unterhalb der Gewässersohle liegt, ist so tief zu gründen, daß die hydraulische Grundbruchsicherheit $v_G = 2,5$ beträgt. Der Berechnung sind die nachstehenden Abmessungen und erdstoffphysikalischen Kennwerte zugrunde zu legen.

Die Gründung der Umschließung ist an der besonders gefährdeten Stirnfront so zu bemessen, daß auch in diesem Bereich die Sicherheit $v_G = 2,5$ vorhanden ist.

Geometrie:

Bild 6

Schnitt



Baugrund:

Mittel- bis Grobsand; $U = 2,3$; $\varphi_s = 37,5^\circ$; $\gamma_a = 1,02 \text{ [Mp/m}^3\text{]}$

Berechnung:

1. Nachweis der Grundbruchsicherheit

1.1. Nachweis ohne Berücksichtigung der erdstoffphysikalischen Kennwerte U und φ_s

Die innere Einbindetiefe wird, wenn aus anderen Untersuchungen noch kein Wert vorliegt, geschätzt. Für vorliegenden Fall wird $t_i = 6,50 \text{ m}$ angenommen. Nach Gl. (1) gilt:

$$h_{wk} = \gamma_a \cdot \omega_5 \cdot t_i$$

Der Wert ω_5 kann aus Gl. (3) oder einfacher aus Bild 3 ermittelt werden. Hierfür sind folgende Verhältnisse zu berechnen:

$$\lambda = \frac{t_a}{T} = \frac{1,50 + 6,50}{11,0} = 0,73$$

$$\alpha = \frac{t_B}{t_a} = \frac{1,50}{1,50 + 6,50} = 0,19$$

$$\beta = \frac{B}{t_a} = \frac{5,00}{1,50 + 6,50} = 0,63$$

Mit diesen Werten ist nach Bild 3 b:

$$\omega_5 = 1,50$$

Die kritische hydraulische Druckhöhe ist somit:

$$h_{wk} = 1,02 \cdot 1,50 \cdot 6,50 = 9,95 \text{ m}$$

Hydraulische Grundbruchsicherheit:

$$v_G = \frac{h_{wk}}{\max h_w} = \frac{9,95}{4,0} = 2,50 = v_{G_{erf}}$$

Die Einbindetiefe $t_i = 6,50 \text{ m}$ gewährleistet die geforderte Sicherheit. Die Stirnfront soll in diesem Beispiel nicht untersucht werden.

1.2. Nachweis mit Berücksichtigung der erdstoffphysikalischen Kennwerte U und φ_s

Die innere Einbindetiefe wird für vorliegende Verhältnisse mit $t_i = 5,0 \text{ m}$ angenommen. Nach Gl. (1) und (5) gilt:

$$h_{wk}^* = \gamma_a \cdot \omega_5^* \cdot t_i$$

$$\omega_5^* = \omega_5 + (\omega_4^{\beta=0,5} - \omega_4^{\beta=0,5}) \cdot \log\left(\frac{5}{\beta}\right) + \omega_v \cdot \log(2\beta)$$

Zur Auswertung dieser Beziehungen sind zu berechnen:

$$\lambda = \frac{t_a}{T} = \frac{1,50 + 5,0}{11,0} = 0,59$$

$$\alpha = \frac{t_B}{t_a} = \frac{1,50}{1,50 + 5,0} = 0,23$$

$$\beta = \frac{B}{t_a} = \frac{5,0}{1,50 + 5,0} = 0,77$$

Mit diesen Werten sind nach Bild 3:

$$\omega_5 = 1,60 \text{ und } \omega_4^{\beta=0,5} = 1,32 \quad (\omega_4^{\beta=0,5} = \omega_5^{\beta=0,5} \text{ da Grenzwerte der Bereiche})$$

und nach Bild 4 ist für $\lambda = 0,59$ und $\alpha = 0,23$:

$$\omega_4^* \beta_{=0,5} = 1,65$$

Für ω_v gilt:

$$\omega_v = 0,45 \cdot U \cdot \tan \varphi_B$$

Somit ergibt sich für:

$$\omega_5^* = 1,60 + (1,65 - 1,32) \cdot \log \left(\frac{5}{0,77} \right) + 0,45 \cdot 2,3 \cdot 0,767 \cdot \log 1,44$$

$$\omega_5^* = 2,00$$

Die kritische hydraulische Druckhöhe ist somit:

$$h_{wk}^* = 1,02 \cdot 2,00 \cdot 5,0 = 10,20 \text{ m}$$

Hydraulische Grundbruchsicherheit:

$$V_G = \frac{h_{wk}^*}{\max h_w} = \frac{10,20}{4,0} = 2,55 > 2,50$$

Die Einbindetiefe $t_1 = 5,00 \text{ m}$ gewährleistet die geforderte Sicherheit.

2. Ermittlung der Einbindetiefe t_B der Stirnwand

Nach obiger Berechnung ist die äußere Einbindetiefe:

$$t_a = t_B + t_1 = 1,50 + 5,0 = 6,50 \text{ m}$$

Nach Bild 5 ist für $\beta_a = 0,77$ und $\alpha = 0,23$; $\epsilon_k = 1,25$

$$t_B = \epsilon_k \cdot t_a$$

$$t_B = 1,25 \cdot 6,50 = 8,12 \text{ m}$$

3. Ermittlung der horizontalen Länge der Abschrägung entlang der Baugrubenlängswände

Nach Gl. (6) gilt:

$$l_B = 3 (t_B - t_a) = 3(8,12 - 6,50) = 4,86 \approx 5,00 \text{ m}$$

Hinweise

Ersatz für Ausgabe 1.69. Änderungsmitteilung 7/69 vom 21. 8. 1969 eingearbeitet.
Redaktionelle Korrekturen.

WAFRO 8.05./1 11.69 Hydraulischer Grundbruch; Breite Baugruben

- [1] Knaupe, W.: Hydraulischer Grundbruch bei schmalen Baugruben, Forschungsbericht für VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Halle (S.) 1968
- [2] Knaupe, W.: Hydraulischer Grundbruch an Baugrubenumschließungen in kohäsionslosen Erdarten, Dissertation, Deutsche Bauakademie 1967
- [3] Knaupe, W.: Neue Erkenntnisse hinsichtlich der Verformungsbeständigkeit der Lockergesteine gegenüber Wirkungen des Sickerwassers -
II. Hydraulischer Grundbruch an Baugrubenumschließungen in kohäsionslosen Erdarten
Wasserwirtschaft-Wassertechnik 18 (1968) 4, S. 125 bis 132
- [4] Knaupe, W.: Hydraulischer Grundbruch an Baugruben, Schriftenreihe der Bauforschung, Ingenieur- und Tiefbau, Heft 15, Deutsche Bauinformation, Berlin 1968
- [5] Davidenkoff, R. N., Franke, O. L.: Untersuchung der räumlichen Sickerströmung in eine umpundete Baugrube in offenen Gewässern
Die Bautechnik, Berlin 42 (1965) 9, S. 298 - 307