

VEB Projektierung Wasserwirtschaft	Hydraulischer Grundbruch Breite Baugruben	<b>WAPRO</b>  <b>8.05.</b> Blatt 1
--	--	---

Verbindlich ab 1. 1. 1970

Dieser Standard gilt für den Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit von Baugrubenumschließungen in kohäsionslosen Erdarten und im ungeschichteten Baugrund.

Die Bildung von Mittelwerten beim Vorhandensein verschiedener Schichten ist unzulässig. Unabhängig vom Nachweis des hydraulischen Grundbruches ist der Nachweis gegen Erosionsgrundbruch zu führen.

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	3
4. Gründungstiefe an rechteckigen Baugrubenecken	4
5. Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit	6
6. Berechnungsbeispiel	7

**1. Allgemeines**

Bei Gründungsarbeiten in offenen Gewässern sowie in durchlässigen wasserführenden Erdschichten werden um die Baugrubenumschließungen Filterwasserströmungen im Untergrund und hierdurch Strömungsdrücke hervorgerufen, die einen hydraulischen Grundbruch verursachen können. Der hydraulische Grundbruch beginnt, wenn die Resultierende aller Vertikalkomponenten der Strömungsdrücke in einem von Stromflächen begrenzten, schmalen und baugrubenseitig an der Wandebene anliegenden Erdkörper gleich der Eigenlast dieses Körpers und der den Aufbruch behindernden Reibungskräfte ist.

Eine Analyse der bisher üblichen Berechnungsverfahren zeigte, daß diese entweder für beliebige geometrische Baugrubenrelationen nicht universell anwendbar oder wegen der Konstruktion und Auswertung von hydrodynamischen Netzen sehr arbeitsaufwendig sind. Bei anderen Stabilitätskriterien hingegen werden derartige Vereinfachungen getroffen, daß die Ergebnisse den Genauigkeitsforderungen nicht mehr gerecht werden. Weiterhin werden die Erdstoffeigenschaften nicht genügend in die Berechnung einbezogen.

Nachstehend wird das sogenannte  $w$ -Verfahren, das von [1] entwickelt wurde, dargestellt. Als kritische hydraulische Druckhöhe, die sich aus den Berechnungsansätzen ergibt, wird diejenige hydraulische Druckhöhe definiert, bei der eine augenscheinlich erkennbare Wölbung der Baugrubensohle zu beobachten ist. Diese Druckhöhe führt im allgemeinen noch nicht unmittelbar zum Durchbruch des Oberwassers.

In den nachstehend aufgezeigten Ergebnissen der theoretischen Untersuchungen ist zu beachten, daß sowohl Berechnungsansätze für einen idealen- reibungsfreien - als auch für einen realen - tatsächlichen- Baugrund ausgewiesen werden. Den Ableitungen der Formeln liegen insbesondere folgende Voraussetzungen zugrunde:

- der Strömungsvorgang des Filterwassers folgt den Gesetzen der Potentialströmung
- der Strömungsvorgang ist laminar, so daß das Darcysche Gesetz gültig ist
- der Baugrund ist bis zur undurchlässigen Schicht homogen und isotrop
- die Baugrubenumschließung ist wasserdicht

Fortsetzung Seite 2 bis 9

Bestätigt: 6. 11. 1969, Direktor, Halle(Saale)

(741)0344-73-1073 X

Wenn diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind, dann sind bei wichtigen Bauvorhaben gesonderte Untersuchungen durchzuführen. Dies gilt ebenfalls für geschichteten Untergrund. Die kritischen hydraulischen Druckhöhen sind bei derartigen Fällen mit Hilfe von Laboruntersuchungen durch hierfür zuständige Institute zu ermitteln.

Die Berechnungsansätze in diesem Werkstandard gelten für breite Baugruben, d.h. für solche Baugruben, bei denen das Strom- und Potentialliniennetz von der gegenüberliegenden Baugrubenwand nicht merkbar beeinflusst wird (siehe WAPRO 8.05./2). Als maßgebendes Breitenverhältnis gilt für den Anwendungsbereich

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

Es bedeuten:

B Breite der Baugrube (bei rechteckigem Grundriß ist min B einzusetzen) [m]

$t_a$  äußere Einbindetiefe [m]

## 2. Kritische hydraulische Druckhöhe in einem idealen Baugrund

Für die Berechnung der kritischen hydraulischen Druckhöhe gilt die Grundgleichung:

$$h_{wk} = \frac{\gamma_a}{\gamma_w} \cdot \omega \cdot t_1$$

Die Wichte des Filterwassers  $\gamma_w$  kann genügend genau gleich 1 gesetzt werden, so daß gilt:

$$h_{wk} = \gamma_a \cdot \omega \cdot t_1 \quad (1)$$

Es bedeuten:

$\gamma_a$  Erdstoffwichte unter Auftrieb [ $\text{kp} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$\omega$  Funktion, die von der Baugrubengeometrie abhängig ist, wobei im nachstehenden  $\omega_1, \omega_2$  und  $\omega_3$  unterschieden werden

$t_1$  innere Einbindetiefe der Baugrubenumschließung [m]

Die Funktion  $\omega = f(\alpha, \lambda)$ , die allgemein gilt, lautet für beliebige Baugrubenrelationen:

$$\omega_3 = \frac{\pi^2}{4} + 1,50 \left| \log(1-\alpha) \right| + \frac{\lambda \cdot 3^\alpha}{41,5 \left| \log \lambda \right|} \quad (2)$$

Es bedeuten:

$\alpha = \frac{t_B}{t_a}$  Aushubverhältnis

$\lambda = \frac{t_a}{T}$  Verbauungsverhältnis

$t_B$  Baugrubentiefe [m]

$t_a$  äußere Einbindetiefe [m]

T Mächtigkeit der wasserführenden Schicht [m]

Diese Beziehung gilt für Verbauungsverhältnisse  $0 \leq \lambda \leq 0,8$  bei

$t_a \leq 0,8 \cdot T$  und für Aushubverhältnisse  $0 \leq \alpha \leq 0,8$  bei  $t_B \leq 0,8 t_a$ , sodaß alle praktisch vorkommenden Fälle berechnet werden können.

Für Aushubverhältnisse  $\alpha = 0$  vereinfacht sich obige Beziehung zu:

$$\omega_2 = \frac{\pi^2}{4} + \frac{\lambda}{41,5 \log}$$

Ist außerdem noch  $\lambda = 0$ , dann gilt:

$$\omega_1 = \frac{\gamma^2}{4} = 2,467$$

Die Funktionswerte  $\omega_3$ , und damit auch die für Sonderfälle maßgebenden  $\omega_2$ - und  $\omega_1$ -Werte, sind im Bild 1 dargestellt.

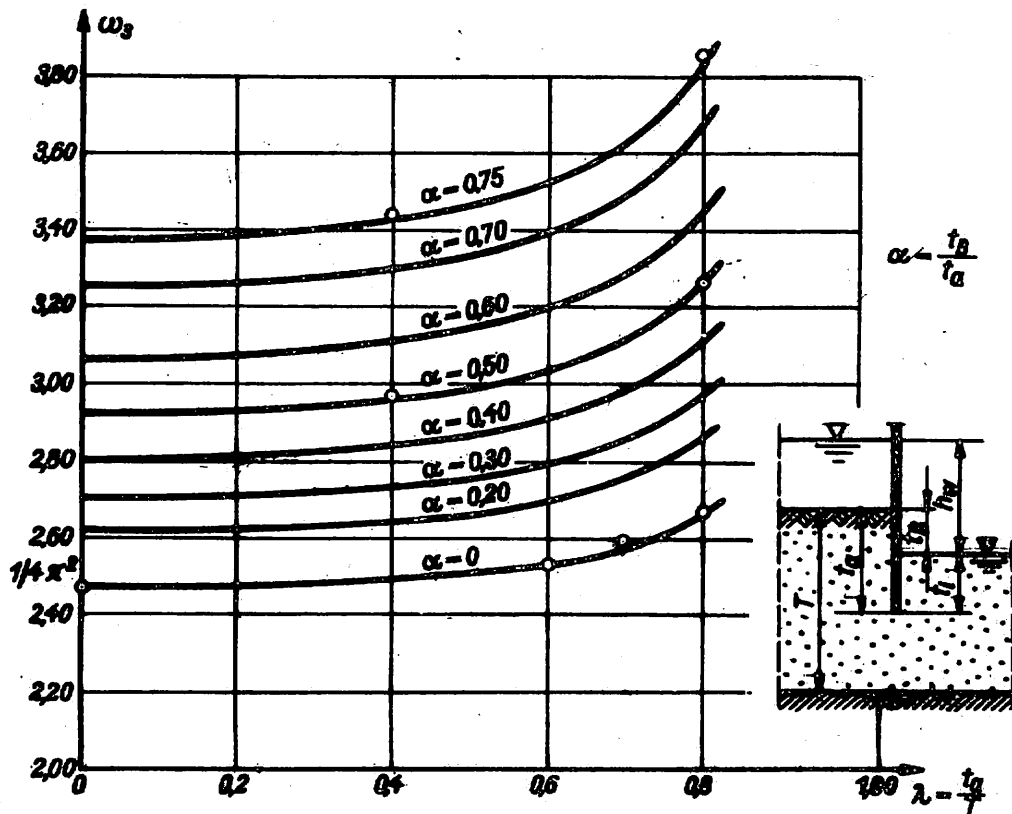


Bild 1

3. Kritische hydraulische Druckhöhe in einem realen Baugrund

Die experimentellen Untersuchungen [1] über den Einfluß der Erdstoffeigenschaften auf die Größe der kritischen hydraulischen Druckhöhe ergaben:

Die Erdstoffwichte  $\gamma_a$  bestimmt bei gleichkörnigen Erdstoffen mit abgerundeter Kornform nahezu linear die Größe der kritischen hydraulischen Druckhöhen. Bei ungleichkörnigen Erdstoffen wurde dagegen festgestellt, daß das Verdichtungsverhältnis des Baugrundes die kritische Druckhöhe stärker beeinflusst, als durch die Zunahme der Erdstoffwichte  $\gamma_a$  zu erwarten war. Dies ist durch die mit steigendem Verdichtungsverhältnis einhergehende Vergrößerung des Winkels der inneren Reibung bedingt.

Die Korngröße beeinflusst bei laminaren Strömungsvorgängen in kohäsionslosen Erdarten die kritische hydraulische Druckhöhe nicht.

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_p$ , der wesentlich von der Kornzusammensetzung des Erdstoffes abhängig ist, hat ebenfalls bei laminar durchströmten Sanden keinen Einfluß auf den hydraulischen Grundbruch an Baugrubenumschließungen in offenen Gewässern.

Die Untersuchungen zeigten, daß die kritische hydraulische Druckhöhe vom Ungleichförmigkeitsgrad und vom Winkel der inneren Reibung merkbar beeinflusst wird. Die empirische Beziehung hierfür lautet:

$$\omega_v = 0,45 \cdot U \cdot \tan \varphi_B \tag{3}$$

$\omega_v$  stellt die Differenz zwischen den für den reibungsfreien Aufbruch abgeleiteten Funktionen  $\omega_{1,2,3}$  und den für den reibungsbehinderten Aufbruch gültigen Funktionen  $\omega^*_{1,2,3}$  dar.

Analog zu der für den reibungsfreien Grundbruch gültigen Grundgleichung gilt für den reibungsbehinderten die allgemeine Beziehung:

$$h_{wk}^* = \frac{\gamma_a}{\gamma_w} \cdot \omega^* \cdot t_i$$

oder einfacher:

$$h_{wk}^* = \gamma_a \cdot \omega^* \cdot t_i \quad (4a)$$

Setzt man hierin  $\gamma_a \cdot \omega^* = \omega^{**}$  dann gilt:

$$h_{wk}^* = \omega^{**} \cdot t_i \quad (4b)$$

Die allgemeine Funktion  $\omega^*$  lautet für die im vorstehenden definierten drei Bereiche der Baugrubenrelationen:

$$\omega_{1,2,3}^* = \omega_{1,2,3} + \omega_v \quad (5)$$

Weiterhin gilt

$$\omega_{1,2,3}^{**} = \gamma_a \cdot \omega_{1,2,3}^*$$

In ausführlicher Schreibweise gilt für allgemeine Baugrubenverhältnisse:

$$\omega_3^* = \frac{\pi^2}{4} + 1,50 \left| \log(1-\alpha) \right| + \frac{\lambda \cdot 3^\alpha}{41,5 \left| \log \lambda \right|} + 0,45 \cdot U \cdot \tan \varphi_s$$

Die Zahlenwerte für  $\omega_3^* = f(\alpha, \lambda, U, \varphi_s)$  oder für  $\omega_2^*$  und  $\omega_1^*$  können mit dieser Gleichung berechnet oder einfacher aus einem Nomogramm (siehe Bild 2) abgelesen werden. Somit ist es möglich, die kritische Druckhöhe an Einzelwänden für Baugrubenrelationen in den Bereichen  $0 \leq \lambda \leq 0,8$  und  $0 \leq \alpha \leq 0,8$  und in Abhängigkeit von den den hydraulischen Grundbruch maßgebend beeinflussenden Kennwerten kohäsionsloser Sande zu ermitteln. Hierbei ist zu beachten, daß die Beziehung  $\omega_v$  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.

Die Forschungsergebnisse von [2] zeigen, daß bei  $U > 8$  die Gefahr des unmittelbaren hydraulischen Grundbruches nicht mehr besteht. Es ist jedoch zu beachten, daß auch bei Erdstoffen mit  $U > 8$  Suffosions- und Erosionserscheinungen auftreten, die zu einer Lockerung des Erdstoffgefüges führen, so daß erst nach längeren Einwirkungszeiten der Filterwasserströmung Erosions- und hydraulische Grundbrüche eintreten können.

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 dann die für den idealen Baugrund ausgewiesenen Beziehungen zu verwenden.

#### 4. Gründungstiefe an rechtwinkligen Baugrubenecken

Die Gefahr des hydraulischen Grundbruches ist an Baugrubenecken 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 in den Ecken die Gründungstiefe der Baugrubenumschließung so vergrößert wird, daß die erhöhte Beanspruchung durch Verminderung des Filtergefälles kompensiert wird.

Auf experimentellem Wege wurden von [1] für mannigfaltige geometrische Baugrubensituationen die kritischen Eckvertiefungsverhältnisse  $\varepsilon_E = \frac{t_E}{t_a}$  ermittelt, bei denen die Grundbruchsicherheit im Eckbereich gleich der an den Längswänden vorhanden ist. In diesem Verhältnis bedeuten  $t_E$  die Einbindetiefe in der Baugrubenecke und  $t_a$  die Einbindetiefe der Längswände.

Auf Grund der Versuchsergebnisse wird empfohlen, die Eckvertiefungen mit einer Neigung von 1 : 4 und flacher auszuführen. Die Länge der Eckvertiefung bei 1 : 4 ergibt sich zu:

$$l_E = 4 (t_E - t_a) \quad (6)$$

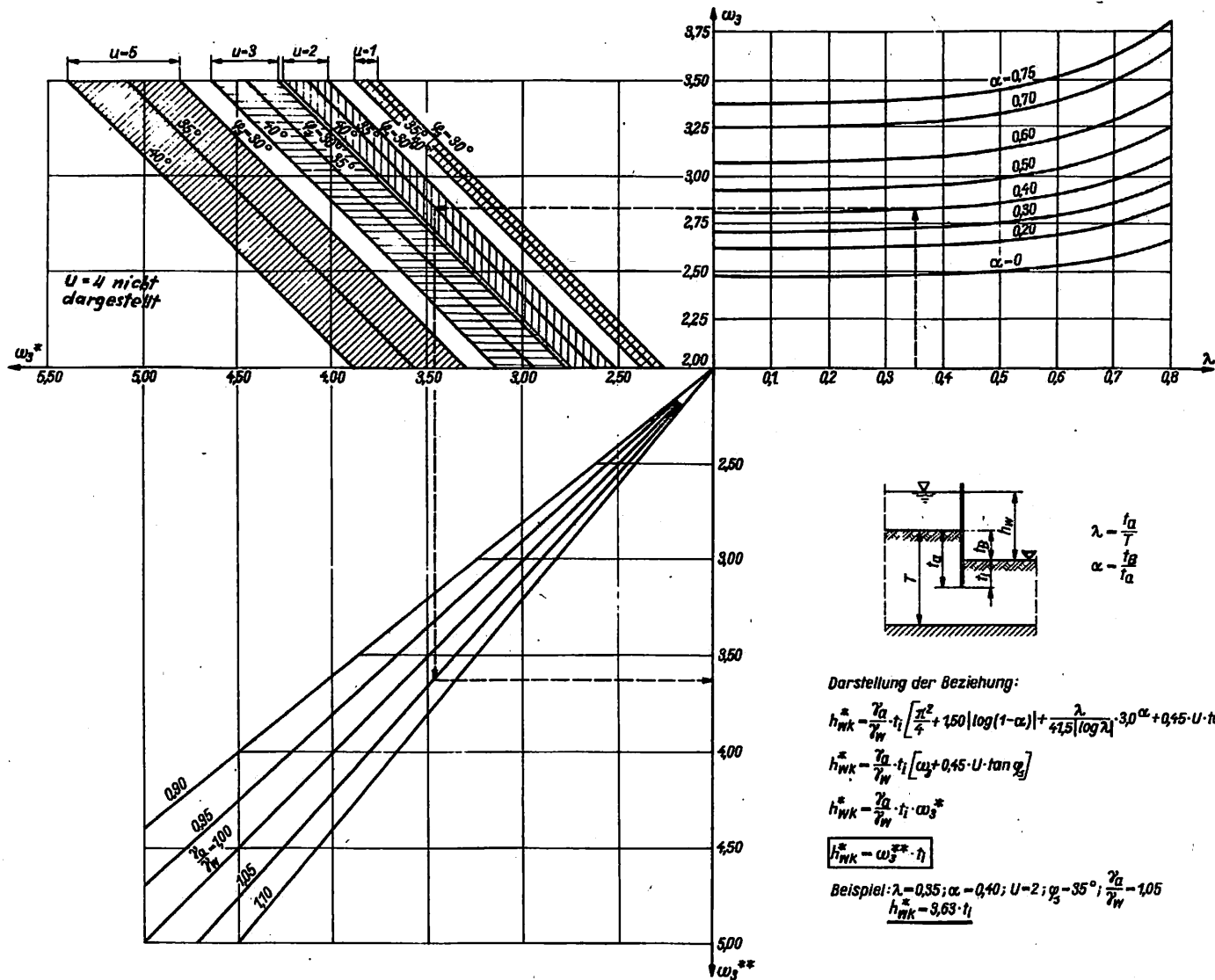


Bild 2 Bemessungsnomogramm

Die kritischen Eckvertiefungen  $\epsilon_k = \frac{t_E}{t_a}$  sowie die sich aus der Beziehung

$$\epsilon = \frac{l_E}{t_a} = \frac{4(t_E - t_a)}{t_a} = 4(\epsilon_k - 1)$$

für die Berechnung der Eckvertiefungslängen ergebenden  $\epsilon'$ -Werte sind im Bild 3 dargestellt. Mit diesen Werten, die vom Anshubverhältnis  $\alpha$  abhängig sind, können sowohl die Gründungstiefe in der Baugrubenecke  $t_E$  als auch die Längen der Eckabschrägung  $l_E$  aus den Ansätzen

$$t_E = \epsilon_k \cdot t_a \quad \text{und} \quad (7)$$

$$l_E = \epsilon' \cdot t_a \quad (8)$$

berechnet werden. Diese Beziehungen können genügend genau für die praktisch vorkommenden Verbaunungsverhältnisse genutzt werden. Reichen bei größeren Verbaunungsverhältnissen die Eckbohlen in die undurchlässige Schicht, so braucht die volle rechnerische Tiefe nicht ausgeführt zu werden.

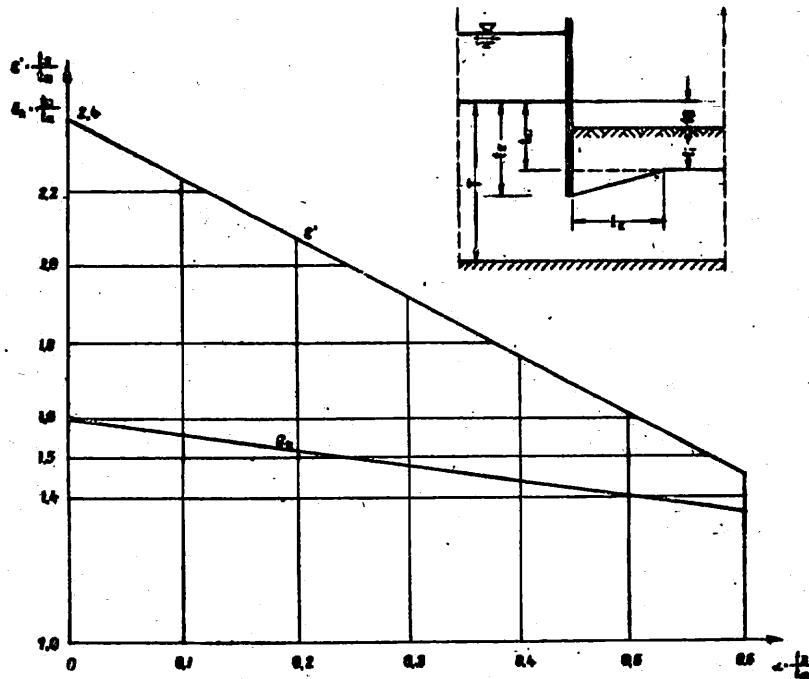


Bild 3

### 5. Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit

Die hydraulische Grundbruchsicherheit ergibt sich aus:

$$v_G = \frac{h_{wk}}{\max h_w} \quad \text{und} \quad (9)$$

$$v_G = \frac{h_{wk}^*}{\max h_w}$$

Es bedeuten:

$h_{wk}$  - kritische hydraulische Druckhöhe beim reibungsfreien hydraulischen Grundbruch [m]

$h_{wk}^*$  - kritische hydraulische Druckhöhe beim reibungsbehinderten hydraulischen Grundbruch [m]

$\max h_w$  - vorhandene maximale hydraulische Druckhöhe [m]

$v_G$  - Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Die maximale hydraulische Druckhöhe ergibt sich aus der Höhendifferenz zwischen dem höchsten GW- und dem niedrigsten UW-Spiegel. Liegt der UW-Spiegel unterhalb der Baugrubensohle (siehe Bild 4), dann ist bei kleinen Verhältnissen  $\frac{t_e}{t_1}$  der Wert  $t_e$  zu vernachlässigen, d.h.  $h_w$  und  $t_1$  sind auf die Baugrubensohle zu beziehen. Bei größeren Werten für  $t_e$  ist die Erdschicht in diesem Bereich als Auflast  $p = \gamma_f \cdot t_e$  auf eine ideale Baugrubensohle, die in Höhe des UW-Spiegels liegt, zu betrachten. Die Wichte des Baugrundes unter Auftrieb ist dann:

$$\gamma'_a = \gamma_a + \frac{\gamma_f \cdot t_e}{t_1}$$

Die Maße für  $t_1$ ,  $t_e$  und  $h_w$  sind nach Bild 4 anzusetzen. Für das Aushubverhältnis gilt in diesem Fall:

$$\alpha = \frac{t_B + t_e}{t_a}$$

In Zweifelsfällen ist der Nachweis der Grundbruchsicherheit sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung von  $t_e$  zu führen.

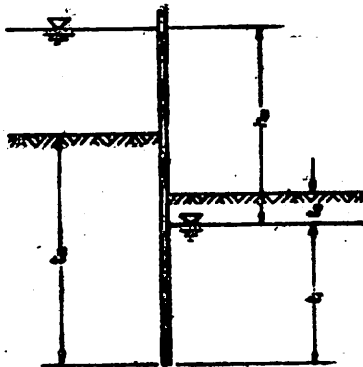


Bild 4

Die Grundbruchsicherheit kann grundsätzlich durch das Aufbringen von Belastungsfiltern erhöht werden. Bei der Wahl des Materials sind die Filterregeln zu beachten. Undurchlässige Belastungsplatten verändern das Stromliniennetz und sind auf statischen Überdruck zu berechnen. Gefrorene Baugrubensohlen sind grundbruchgefährdet, da an der Unterseite der Frostschicht der hydrostatische Überdruck wirkt.

Die sich nach den im vorstehenden aufgezeigten Gleichungen ergebende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch ist der zulässigen gegenüberzustellen. Die Größe der jeweils einzuhaltenden Sicherheit ist insbesondere von der Gleichmäßigkeit der geologischen Verhältnisse

und der Güte der Baugrunderkundung sowie auch vom Grad einer möglichen Gefährdung von Menschen und Maschinen abhängig. Der Sicherheitsbeiwert ist  $\geq 1,75 \leq 3,0$  zu wählen. Bei der Festlegung der Einbindetiefen der Baugrubenumschließungen empfiehlt es sich, bei Verbauungsverhältnissen  $\lambda > 0,8$  die Baugrubenwand in die undurchlässige Schicht einzubinden.

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, daß trotz sorgfältiger Baugrunduntersuchungen und Berechnungen jeder Bauleiter und Meister, der verantwortlich für Arbeiten in Baugruben ist, die von offenem Wasser umgeben sind oder die tief in das Grundwasser einbinden, über den hydraulischen Grundbruch und insbesondere über dessen erste Anzeichen zu belehren ist. Es ist darauf hinzuweisen, daß die Baugrubensohle, vor allem in den Baugrubenecken und unmittelbar an der Baugrubenwand, ständig zu beobachten ist und daß bei auftretenden Hebungen oder Quellerscheinungen besondere Aufmerksamkeit erforderlich ist. Bei gefährlichen Anzeichen sind die Bauarbeiten sofort einzustellen und Maßnahmen zum Schutz der Baugrube einzuleiten. In Fällen besonderer Gefahr ist die Baugrube unverzüglich zu fluten.

#### 6. Berechnungsbeispiel

Die Umschließung einer breiten Baugrube, deren Sohle unterhalb der Gewässersohle liegt, ist so tief zu gründen, daß die hydraulische Grundbruchsicherheit  $v_G = 2$  erzielt wird. Der Berechnung sind die nachstehenden Abmessungen und erdstoffphysikalischen Kennwerte zugrunde zu legen.

Die Gründung der Umschließung ist im Bereich der rechtwinkligen Baugrubenecke so zu bemessen, daß am gesamten Baugrubenumfang die gleiche hydraulische Grundbruchsicherheit vorhanden ist.

Geometrie:

Mächtigkeit der wasserführenden Schicht  $T = 12,0$  m  
 maximale hydraulische Druckhöhe  $h_w = 6,5$  m  
 maximale Baugrubentiefe  $t_B = 3,0$  m

Baugrund:

Mittelsand:  $U = 2,0$ ;  $\varphi_s = 35^\circ$ ;  $n_n = 0,40$ ;  $\gamma_s = 2,65$  p/cm<sup>3</sup>

Berechnung

Ermittlung der Einbindetiefen  $t_i$  und  $t_a$

Für die innere Einbindetiefe  $t_i$ , die entweder aus der statischen Berechnung als Mindestwert vorliegt oder geschätzt wird, sei hier  $t_i = 3,0$  m angenommen. Nach Formel 4a gilt:

$$h_{wk}^* = \gamma_a \cdot t_i \left[ \frac{\pi^2}{4} + 1,50 \left| \log(1 - \alpha) \right| + \frac{\lambda}{41,5 \left| \log \lambda \right|} \cdot 3,0^\alpha \right. \\ \left. + 0,45 \cdot U \cdot \tan \varphi_s \right]$$

Zur Auswertung dieser Beziehung sind zu berechnen:

$$\lambda = \frac{t_a}{T} = \frac{3,0 + 3,0}{12,0} = 0,50$$

$$\alpha = \frac{t_B}{t_a} = \frac{3,0}{3,0 + 3,0} = 0,50$$

$$\gamma_a = (1 - n_n)(\gamma_s - \gamma_w) = (1 - 0,40)(2,65 - 1,0) = 0,99$$

Eingesetzt in vorstehende Gleichung, ergibt sich:

$$h_{wk}^* = 0,99 \cdot t_i \left[ \frac{\pi^2}{4} + 1,50 \left| \log(1 - 0,50) \right| \right. \\ \left. + \frac{0,50}{41,5 \left| \log 0,50 \right|} \cdot 3,0^{0,50} + 0,45 \cdot 2,0 \cdot 0,700 \right] \\ = 3,58 \cdot t_i = 3,58 \cdot 3,0 = 10,74 \text{ m}$$

Hydraulische Grundbruchsicherheit:

$$v_G = \frac{h_{wk}^*}{\max h_w} = \frac{10,74}{6,50} = 1,65 < 2,00$$

Die innere Einbindetiefe ist also zu vergrößern.

Gewählt wird  $t_i = 3,70$  m

$$\lambda = \frac{t_a}{T} = \frac{3,0 + 3,70}{12,0} = 0,56$$

$$\alpha = \frac{t_B}{t_a} = \frac{3,0}{3,0 + 3,70} = 0,45$$

In vorstehende Gleichung eingesetzt, erhält man:

$$h_{wk}^* = 3,539 \cdot t_i = 3,539 \cdot 3,70 = 13,09 \text{ m}$$

$$v_G = \frac{h_{wk}^*}{\max h_w} = \frac{13,09}{6,50} = 2,01 > 2,00$$

Die innere Einbindetiefe  $t_i = 3,70$  m gewährleistet die geforderte Sicherheit von  $v_G = 2,0$

Ermittlung der Einbindetiefen  $t_i$  und  $t_a$  mit Bemessungsnomogramm

Das Nomogramm (siehe Bild 2) erleichtert wesentlich die dargelegte Berechnung. So ergibt sich für

$$\lambda = 0,50; \alpha = 0,50; U = 2; \varphi_s = 35^\circ \text{ und } \frac{\gamma_a}{\gamma_w} = 0,99$$



ohne Zwischenrechnung der Wert  $\omega_3^* = 3,58$  und somit ist:

$$h_{wk}^* = 3,58 \cdot 3,0 = 10,74 \text{ m}$$

Die übrige Berechnung wird bei nochmaliger Anwendung des Nomogramms für  $\lambda = 0,56$ ;

$\alpha = 0,45$ ;  $U = 2$ ;  $\varphi_B = 35^\circ$  und  $\frac{\gamma_a}{\gamma_w} = 0,99$ , wofür sich  $\omega_3^* = 3,54$  ergibt.

Ermittlung der äußeren Einbindetiefe  $t_B$  an der rechtwinkligen Ecke der Baugrubenumschließung.

Für die Sicherheit  $v_G = 2$  wurde die innere Einbindetiefe  $t_1 = 3,70$  m ermittelt.

Die äußere Einbindetiefe  $t_a$  ist also:

$$t_a = t_B + t_1 = 3,00 + 3,70 = 6,70 \text{ m}$$

Nach Gl.(7) und Bild 3 ist für  $\alpha = 0,45$

$$t_B = 1,42 \cdot t_a = 1,42 \cdot 6,70 = \underline{\underline{9,51 \text{ m}}}$$

Ermittlung der Länge der Eckvertiefung  $l_B$

Nach Gl. (8) und Bild 3 gilt für  $\alpha = 0,45$   $l_B = 1,68 \cdot t_a$

Mit der ermittelten äußeren Einbindetiefe  $t_a$  ist somit:

$$l_B = 1,68 \cdot 6,70 = \underline{\underline{11,26 \text{ m}}}$$

#### Hinweise

Ersatz für Arbeitsblatt AB 8.05. Blatt 1 Ausg.8.68. Redaktionell überarbeitet.  
WAPRO 8.05./2 1.69 Hydraulischer Grundbruch; Schmale Baugruben

- [1] Knaupe, W.: Hydraulischer Grundbruch an Baugrubenumschließungen in kohäsionslosen Erdarten, Dissertation, Deutsche Bauakademie 1967
- [2] Knaupe, W.: Hydraulischer Grundbruch bei Baugruben, Forschungsbericht für VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Halle/S. 1968
- [3] Knaupe, W.: Neue Erkenntnisse hinsichtlich der Verformungsbeständigkeit der Lockergesteine gegenüber Wirkungen des Sickerwassers - II. Hydraulischer Grundbruch an Baugrubenumschließungen in kohäsionslosen Erdarbeiten  
Wasserwirtschaft - Wassertechnik 18 (1968) 4, S. 125 bis 132
- [4] Knaupe, W.: Hydraulischer Grundbruch an Baugruben Schriftenreihe der Bau-forschung,  
Ingenieur- und Tiefbau Heft 15  
Deutsche Bauinformation, Berlin 1968