

VEB
Projektierung
Wasserwirtschaft

Hydraulischer Grundbruch
Baugruben im geschichteten Baugrund

WAPRO
8.05.
Blatt 3

Verbindlich ab 1. 1. 1974

Dieser Standard gilt für den Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit von Baugrubenumschließungen in kohäsionslosen Erdarten bei geschichtetem Baugrund.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines
2. Hydraulische Grundbruchsicherheit breiter Baugruben
 - 2.1. Idealer Baugrund
 - 2.2. Realer Baugrund
3. Hydraulische Grundbruchsicherheit schmaler Baugruben im idealen Baugrund
4. Hydraulische Grundbruchsicherheit in Baugrubenecken.
5. Berechnungsbeispiele

1. Allgemeines

Der vorliegende Standard bildet mit WAPRO 8.05/1 und 2 eine Einheit.

Die Potentialverteilungen der Filterwasserströmung um Baugrubenumschließungen im geschichteten Baugrund zeigen, daß der hydraulische Gradient $i = dh/dl$ und damit der Strömungsdruck $p_s = \gamma_w \cdot i$ des Filterwassers im Aufströmungsbereich unterhalb der Baugrubensohle bei relativ dichter Deckschicht wesentlich größer als bei relativ durchlässiger Deckschicht ist.

Als kritische hydraulische Druckhöhe wird diejenige Druckhöhe definiert, bei der sich ein seitlich von Stromflächen begrenzter, schmaler und baugrubenseitig an der Wandebene anliegender Erdkörper im labilen Gleichgewichtszustand befindet.

Bei Systemen mit relativ durchlässiger Deckschicht wird dieser Körper über die gesamte Einbindetiefe der Wand betrachtet. Im labilen Stadium ist die Resultierende aller Vertikalkomponenten der Strömungsdrücke gleich der Eigenlast des Körpers unter Auftrieb plus den strömungs- und erdstoffphysikalisch bedingten Reibungskräften. Bei Systemen mit relativ dichter Deckschicht wird dagegen nur der labile Gleichgewichtszustand der Deckschicht betrachtet, also der Zustand, bei dem die Resultierende der Vertikalkomponenten der Strömungsdrücke in der Deckschicht gleich der Eigenlast dieser Schicht unter Auftrieb ist, da die Deckschicht in diesem Stadium bereits die Tragfähigkeit Null hat.

In jedem Fall ist zu beachten, daß die hydraulische Grundbruchsicherheit bei geschichtetem Baugrund um so kleiner ist, je dichter die Deckschicht und je geringer deren Mächtigkeit im Verhältnis zu den darunterliegenden durchlässigen Erdschichten ist.

Fortsetzung Seite 2 bis 13

Bestätigt: 13. 9. 1973 , Direktor, Halle (Saale)

Das Berechnungsverfahren für relativ durchlässige und/oder relativ dichte Deckeschichten gilt für jedes von 1 abweichende Verhältnis der k -Werte dieser Schichten.

Die im nachstehenden dargelegte Untersuchungsmethode gilt für beliebig geschichteten Baugrund im offenen Wasser und auch im Grundwasser. Bei Systemen im Grundwasser ist die vorhandene Grundbruchsicherheit je nach Absenkung des Grundwasserspiegels größer als die berechnete.

2. Hydraulische Grundbruchsicherheit breiter Baugruben

2.1. Idealer Baugrund

2.1.1. Berechnungsgrundlagen

Der Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit setzt voraus, daß

- die Untergrundrelationen
- die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte
- die Röhndichten
- die maximale hydraulische Druckhöhe
- die Geometrie der Baugrubensituation

für alle zu untersuchenden Stadien bekannt sind. Die Einbindetiefe ist, wenn nicht bereits aufgrund anderer Untersuchungen bekannt, überschläglich zu bestimmen.

Der Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit ist im geschichteten Baugrund nicht nur für die Lage der Baugrubensohle, sondern für alle aus dem geologischen Profil erkennbaren kritischen Aushubphasen zu führen. Im vorstehenden wurde darauf hingewiesen, daß bei ungünstiger Schichtenfolge bereits bei geringen Druckhöhendifferenzen die Standfestigkeit der Baugrubensohle beeinträchtigt und der Aushub erschwert wird. Zur Vermeidung kostenaufwendiger Veränderungen der Technologie während des Aushubprozesses ist die Standfestigkeit der Schachtsohle für alle Aushubphasen zu prüfen.

Für den Nachweis der kritischen hydraulischen Druckhöhe wird die zu untersuchende Stromröhre entlang der Wandebene durch ein schmales Erdstoffprisma ersetzt. Die Potentiale werden auf die Breite des Prismas als horizontale Gerade vorausgesetzt.

Das Problem kann nunmehr analytisch-grafisch gelöst werden. Hierfür wird an den Schnittpunkten aller charakteristischen Horizontalebene mit der baugrubenseitigen Wandebene die jeweils zugehörige Grundbruchsicherheit ermittelt. Die sich ergebende kleinste Grundbruchsicherheit ist für das Gesamtsystem maßgebend.

2.1.2. Darstellung des prinzipiellen Berechnungsganges

Die mathematische und im allgemeinen auch die experimentelle Potentialermittlung sind aufwendig und zeitintensiv, so daß grafische Verfahren angewandt werden können. Die Genauigkeit ist wesentlich größer, wenn bekannte Potentialverteilungen des homogenen Untergrundes auf den geschichteten übertragen werden können oder wenn die grafische Ermittlung nach den bekannten Konstruktionsregeln in einem derartigen System durchgeführt werden kann. Damit ein vergleichbares homogenes System entsteht, sind die Schichtmächtigkeiten auf eine Bezugsschicht zu reduzieren.

Die Potentiale werden nur in dem entstandenen äquivalenten Einschichtsystem ermittelt und anschließend in das Ausgangssystem übertragen (Bild 1). Jetzt werden die hydrodynamischen Druckunterschiede Δp_d und die wirksamen Spannungen \bar{p}_1 in den zu untersuchenden Schnitten berechnet. Die so gefundenen angreifenden und widerstehenden Kräfte ermöglichen den Nachweis der Grundbruchsicherheit in allen interessierenden Horizontalschnitten.

Die Berechnung wird in den nachfolgenden Schritten durchgeführt:

- Auftragen der geometrischen Situation und Eintragen aller Daten
- Wahl einer Baugrundschiicht als Bezugsschiicht j mit k_j
- Reduktion der Baugrundschiichten 1 bis n mit:

$$h_{i,red} = h_i \cdot \frac{k_j}{k_i}$$

- Auftragen der reduzierten geometrischen Situation
- Ermittlung der Potentialverteilung für das reduzierte homogene System
- Übertragen der Potentialverteilung in die Ursprungssituation

$$h_i = h_{i,red} \cdot \frac{k_i}{k_j}$$

- Berechnung des hydrodynamischen Druckes in allen zu untersuchenden Schnitten in der Tiefe t_x unter der Baugrubensohle nach:

$$\Delta p_{d_x} = \gamma_w \cdot \varphi_x \cdot h_w$$

- Berechnung der wirksamen Spannungen für die einzelnen Schichten nach:

$$\bar{p}_i = \gamma'_i \cdot h_i$$

- Auftragen von Δp_{d_x} und der Summenkurve von \bar{p}_i
- Überprüfen der aufgetragenen Kurven, ob die Bedingung

$$\sum \bar{p}_i > \gamma_G \cdot \Delta p_{d_x}$$

erfüllt ist und Auftragen von γ_G als Funktion der inneren Einbindetiefe t_i .

Diese Berechnung wird zweckmäßigerweise in einem Schema (siehe Tabelle) und parallel dazu mit einer grafischen Konstruktion durchgeführt.

Tabelle: Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit in geschichtetem Baugrund

Schnitt Nr.	$h_{i,red}$	$\frac{k_i}{k_j}$	h_i	t_x	φ_x	Δp_{d_x}	γ'_i	\bar{p}_i	$\sum \bar{p}_i$	$\frac{\sum \bar{p}_i}{\Delta p_{d_x}} = \gamma_G$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Erläuterungen zur Tabelle:

- Spalte 1: Nr. - Bezeichnung des Schnittes x
- Spalte 2: $h_{i,red}$ - Reduzierte Mächtigkeit der Schichten in m
- Spalte 3: $\frac{k_i}{k_j}$ - Bezogene Durchlässigkeitsbeiwerte (Schicht j $\hat{=}$ Bezugsschiicht)
- Spalte 4: h_i - Mächtigkeiten der Schichten in m
- Spalte 5: t_x - Tiefe der Schicht unter Baugrubensohle in m
- Spalte 6: φ_x - Potentiale in den untersuchten Schnitten
- Spalte 7: Δp_{d_x} - Hydrodynamischer Druck in den untersuchten Schnitten in Mp/m^2

Spalte 8:	γ'_1	- Rohwichten unter Auftrieb in Mp/m^3
Spalte 9:	\bar{p}_1	- Wirksame Spannung aus der jeweiligen Schicht in Mp/m^2
Spalte 10:	$\sum \bar{p}_i$	- Summe der wirksamen Spannungen an der unteren Schichtgrenze in Mp/m^2
Spalte 11:	γ_G	- Hydraulische Grundbruchsicherheiten

Bild 1 zeigt die Untersuchungsmethode am Beispiel eines Fünf-Schicht-Systems (siehe Seite 5).

Die kleinste nachgewiesene Grundbruchsicherheit muß der Bedingung

$$\gamma_{G, \text{ vorh}} \geq \gamma_{G, \text{ zul}}$$

entsprechen. Wird diese Bedingung nicht erfüllt, dann ist die Einbindetiefe zu vergrößern und das Verfahren ist gegebenenfalls zu wiederholen.

Die hydraulische Grundbruchsicherheit ist entsprechend den Ausführungen in WAPRO 8.05./1, Abschnitt 5, nachzuweisen.

Beim Nachweis von γ_G für $t_x = 0$, also in Höhe der Baugrubensohle, ergibt sich ein unbestimmter Wert. Ist dieser Wert von der theoretischen Seite von Interesse, dann ist der Strömungsdruck an der Austrittsstelle gesondert, z. B. nach Tschugajew, zu ermitteln.

2.2. Realer Baugrund

Bei der Einschätzung des Einflusses der erdstoffphysikalischen Kennwerte auf die reibungsbedingte Erhöhung der kritischen hydraulischen Druckhöhen zeigte sich, daß die Erdstoffwichte unter Auftrieb γ'_i ; der Ungleichförmigkeitsgrad U und der wirksame Reibungswinkel Φ'_i von Einfluß sind. Für die Berücksichtigung dieses Einflusses in praktischen Berechnungen gelten die Ausführungen in WAPRO 8.05./1, Abschnitt 3. Hierbei ist aber die Schichtenlagerung, insbesondere die relative Durchlässigkeit der Deckschicht, von Bedeutung.

2.2.1. Einzelwand und relativ durchlässige Deckschicht

Die kritische hydraulische Druckhöhe in einem allgemeinen n -Schicht-System ist bei relativ durchlässigen Deckschichten:

$$h_{wk}^* = h_{wk} + \frac{t_1}{\gamma_w \cdot 2} \sum_{i=1}^n (\gamma'_i \cdot \xi_{Bi}) \sum_{i=1}^n (U_i \cdot \xi_{Bi}) \cdot \tan \left(\sum_{i=1}^n \Phi'_i \cdot \xi_{Bi} \right)$$

Es bedeuten:

$\xi_{Bi} = \frac{h_{Bi}}{t_1}$	relative Mächtigkeit der i -ten Schicht
t_1	innere Einbindetiefe
h_{Bi}	baugrubenseitige Mächtigkeit der i -ten Schicht
h_{wk}^* (h _{wk})	kritische hydraulische Druckhöhe im realen (idealen) Baugrund.

Die Reibungskräfte werden überwiegend im unmittelbaren Bereich neben der Wandebene aktiviert, so daß nur die Schichten von der Baugrubensohle bis zum Wandfuß beachtet werden.

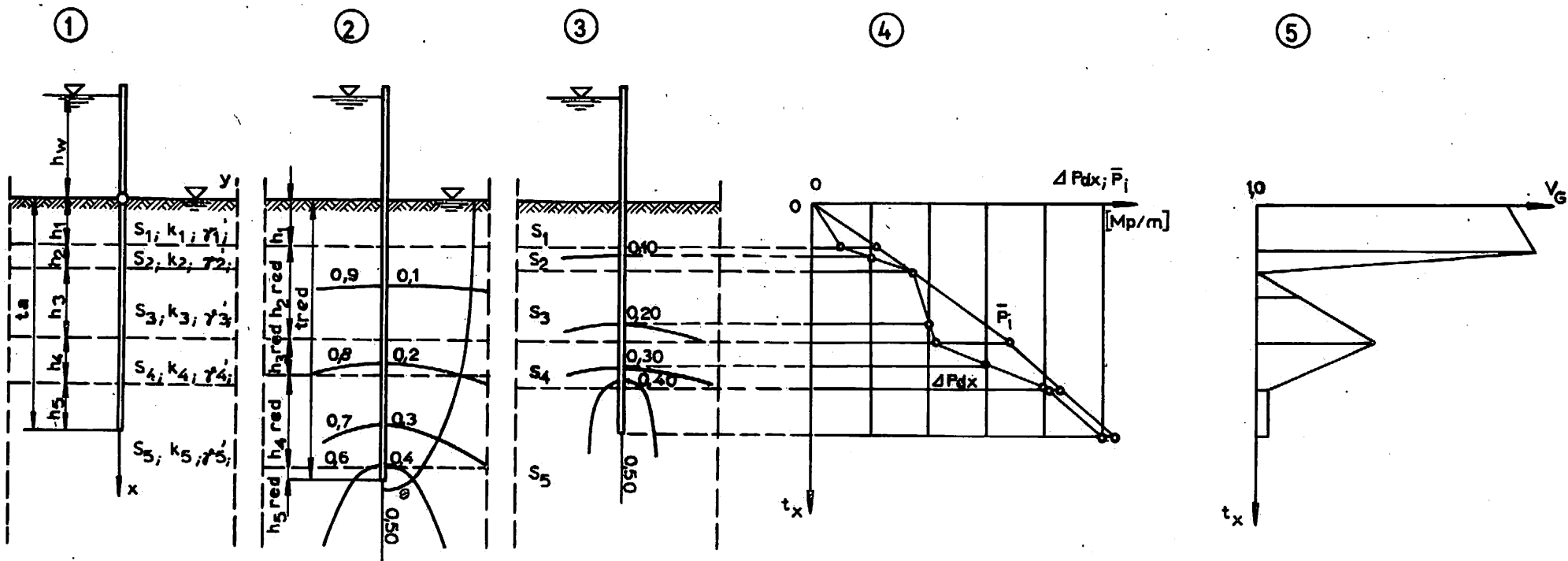


Bild 1 Graphisch-analytische Methode des Nachweises der Grundbruchsicherheit

- 1 Baugruben- und Untergrundsituation
- 2 Reduktion der Schichten und Eintragen der Potentiale
- 3 Übertragen der Potentiale ins Ursprungssystem
- 4 Relative Spannungskurven
- 5 Grundbruchsicherheit

2.2.2. Einzelwand und relativ dichte Deckschicht

Die experimentellen und theoretischen Betrachtungen des Grundbruchprozesses weisen aus, daß die Deckschicht bereits die Tragfähigkeit Null erreicht hat, ehe sich die darunterliegenden Schichten im kritischen Stadium befinden. In diesem Stadium können keine Reibungskräfte wirksam werden, da die Deckschicht eine praktisch reibungslose Erdstoff-Wasser-Flüssigkeit ist.

Die Reibungskräfte können erst beim Anheben des gesamten Aufbruchkörpers, und dann nur in den unteren relativ durchlässigen Erdschichten, aktiviert werden.

Der Einfluß auf die kritische hydraulische Druckhöhe kann demnach im allgemeinen vernachlässigt werden.

3. Hydraulische Grundbruchsicherheit schmaler Baugruben im idealen Baugrund

3.1. Darstellung des Berechnungsganges

Als Grenze zwischen den schmalen und breiten Baugruben kann das Grenzschlankheitsverhältnis $\beta = B/t_a = 5$ (siehe WAPRO 8.05./2, Abschnitt 1.) auch für den geschichteten Baugrund aufrechterhalten werden, da bei größeren Schlankheitsverhältnissen die gegenüberliegende Baugrubenwand die Potentialverteilung in Wandnähe nur noch unmerklich beeinflussen. Die Potentialverteilung ist in jedem Fall, wie bei den breiten Baugruben, entweder experimentell oder grafisch zu bestimmen.

Die kritische hydraulische Druckhöhe erhält man, indem für jede Kontaktfläche innerhalb des Aufströmungsbereiches zwischen den Wandebenen die Druckhöhe ermittelt wird, bei der der labile Gleichgewichtszustand eintritt. Die kleinste dieser Druckhöhen ist für das Gesamtsystem die kritische Druckhöhe.

Für schmale Baugruben bei geschichtetem Baugrund ist der Nachweis der Grundbruchsicherheit nach dem gleichen Prinzip, wie im Abschnitt 2. dargelegt, vorzunehmen.

3.2. Überschlägliche Berechnung

Der Nachweis der Grundbruchsicherheit kann bei schmalen Baugruben bei geschichtetem Baugrund für viele Fälle überschläglich auch ohne Potentialermittlung nach WAPRO 8.05./2 geführt werden.

Hierbei sind folgende Baugrundverhältnisse zu unterscheiden: (siehe auch Bild 2 - Seite 7)

3.2.1. Feinkörnige Schicht auf einer grobkörnigen (Bild 2a)

Bereich 1: Bei einer Tiefenlage der Kontaktfläche, die größer als die Tiefe des Wandfußes plus der Baugrubenbreite ist, kann die kritische Druckhöhe h_{wk} wie im homogenen Baugrund berechnet werden.

Bereich 2: Bei einer Tiefenlage zwischen Baugrubensohle und der für Bereich 1 definierten Grenze ist h_{wk} kleiner als die dem homogenen Baugrund entsprechende. Bei großen Durchlässigkeitsdifferenzen und kleinem Höhenunterschied zwischen Baugrubensohle und Kontaktfläche nähert sich h_{wk} dem Wert Null. Sicherheitshalber ist in diesen Fällen mit dem vollen hydrostatischen Druck in der Kontaktfläche zu rechnen.

Bereich 3: Bei einer Tiefenlage zwischen Gelände und Baugrubensohle ist h_{wk} größer als im homogenen System. Die Zwischenstadien des Baugrubenaushubes sind besonders zu beachten, da vor Erreichen der Kontaktfläche die für Bereich 2 zutreffenden Verhältnisse eintreten können.

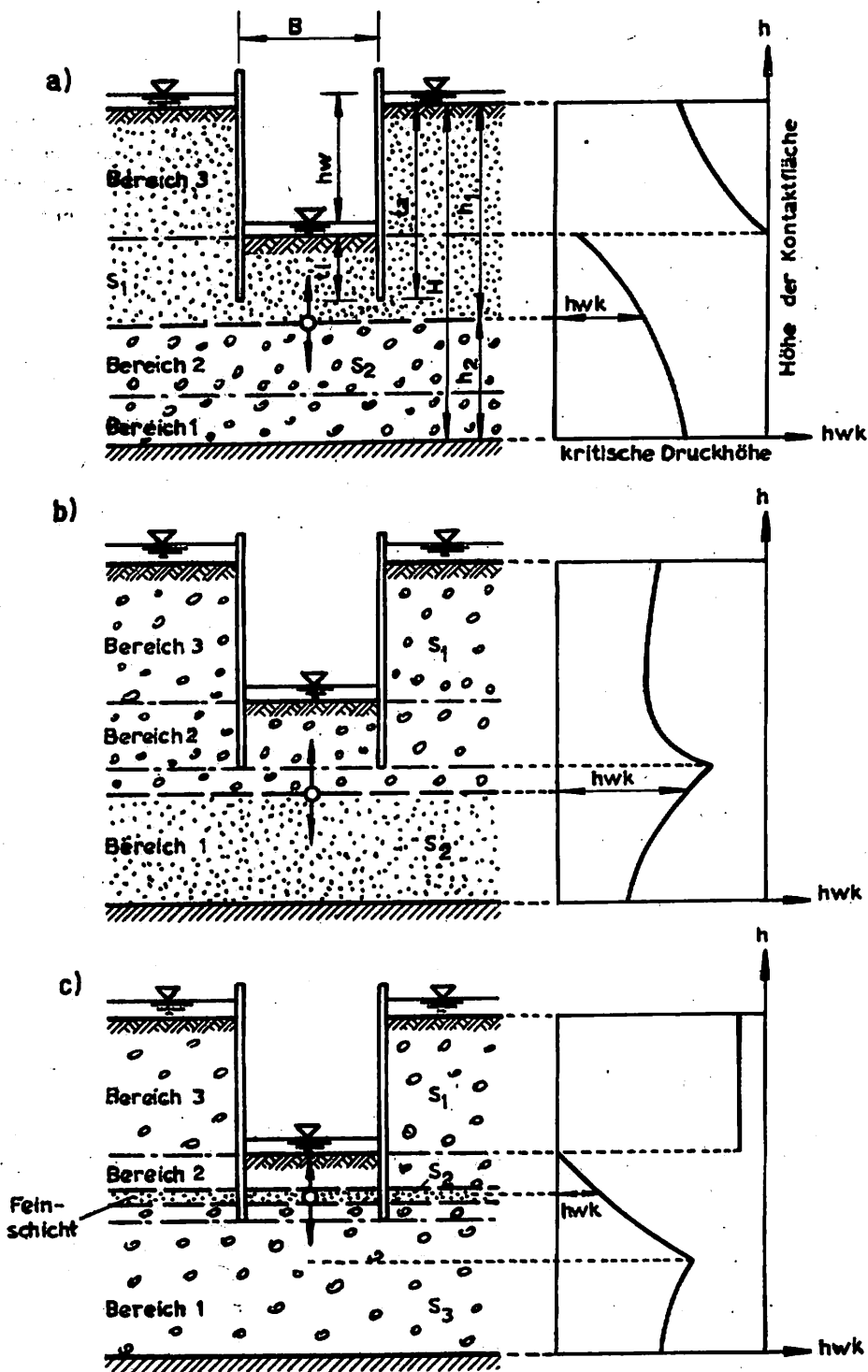


Bild 2 Kritische hydraulische Druckhöhe als Funktion der Lage der Kontaktfläche

- a) Feinkörnige über grobkörniger Schicht
- b) Grobkörnige über feinkörniger Schicht
- d) Feinkörnige dichte Zwischenschicht

3.2.2. Grobkörnige Schicht auf einer feinkörnigen (Bild 2b)

Bereich 1: Bei einer Tiefenlage der Kontaktfläche zwischen Wandfuß und undurchlässiger Schicht kann h_{wk} als Mittel aus den Werten angenommen werden, die sich aus den Berechnungen ergeben, wenn erstens die vorhandene Schichtung in 2 Bereichen als homogenes System und zweitens die Kontaktfläche als undurchlässige Schicht betrachtet wird.

Bereich 2: Bei einer Tiefenlage zwischen Baugrubensohle und Wandfuß ergibt die Berechnung für ein homogenes Gesamtsystem sichere Werte.

Bereich 3: Bei einer Tiefenlage zwischen Gelände und Baugrubensohle kann die grobkörnige Schicht vernachlässigt werden, wenn die Deckschicht mehr als etwa die zehnfache Durchlässigkeit gegenüber der unteren Schicht aufweist. Die Berechnung wird dann ohne die obere Schicht für das sich so ergebende homogene System durchgeführt. Bei geringeren Durchlässigkeitsdifferenzen liegt h_{wk} zwischen der dem eben erwähnten System entsprechenden und derjenigen, die sich bei Betrachtung des Gesamtsystems als homogenes System ergibt.

3.2.3. Feinkörnige Zwischenschicht (Bild 2c)

Die Lage und Durchlässigkeit einer dünnen feinkörnigen Schicht in einem homogenen relativ stark durchlässigen Untergrund beeinflussen die Filterströmung und damit die kritische Druckhöhe wesentlich.

Bereich 1: In größerer Tiefe wirkt eine feinkörnige Zwischenschicht als undurchlässige Schicht, so daß die Beziehungen für ein entsprechendes homogenes System gelten. Bei geringer Tiefe unter dem Wandfuß wird die Zwischenschicht durch den Strömungsdruck gestört, und h_{wk} wird bei Annäherung der Schicht an den Wandfuß zunehmend kleiner.

Bereich 2

und 3: Für eine Kontaktfläche zwischen Wandfuß und Gelände gelten prinzipiell die Feststellungen in Abschnitt 3.2.1. zu den Bereichen 2 und 3.

4. Hydraulische Grundbruchsicherheit an Baugrubenecken

In den Baugrubenecken treten Potentialkonzentrationen auf, die auf eine hohe hydrodynamische Beanspruchung des Erdstoffgerüsts in diesem Bereich hindeuten (siehe WAPRO 8.05./1, Abschnitt 4.). Die kritischen Eckvertiefungen $\epsilon_k = t_E/t_a$ liegen bei Zweischichtsystemen in Abhängigkeit von den geometrischen Relationen bei Durchlässigkeitsverhältnissen $\mathcal{X} = k_2/k_1 = 0,50$ bis 2,00 zwischen 1,50 und 1,75.

Mit zunehmenden Durchlässigkeitsverhältnis \mathcal{X} , also mit dichter werdender Deckschicht, werden die Werte für ϵ_k größer.

Bei $\mathcal{X} \gg 1$ ist die Vergrößerung der Einbindetiefe in der Baugrubenecke kein geeignetes Verfahren mehr, um die erhöhte Grundbruchgefahr zu eliminieren, da die in diesem Bereich zu verzeichnende Konzentration der Potentiale nur unwesentlich durch die Einbindetiefe der Umschließung in die stark durchlässige untere Schicht vermindert werden kann. In diesem Fall ist es zweckmäßiger, einen Baugrundaustausch vorzunehmen oder einen Belastungsfilter aufzubringen, wobei WAPRO 4.04./2 bis 5 zu beachten sind.

Bei relativ stark durchlässigen Deckschichten, also $\mathcal{X} \ll 1$, sind die kritischen Eckvertiefungen ϵ_k kleiner als die oben angegebenen Werte. Bei genügend großem Durchlässigkeitsunterschied kann, solange die untere Schicht noch nicht als undurchlässig anzusehen und die Einbindetiefe in die untere Schicht nicht zu klein ist, die für den homogenen Untergrund gültige kritische Eckvertiefung auf die untere, dichte Schicht bezogen werden, da in der sehr durchlässigen Deckschicht die Strömungsdrücke infolge des kleinen Filtergefälles nur unbedeutend sind. In diesem Fall gilt für die Einbindetiefe t_E in der Baugrubenecke:

$$t_E = t_1 + \epsilon_k \cdot t_2$$

Die Länge der Eckvertiefung ist nach WAPRO 8.05./ 1, Abschnitt 4. zu ermitteln.

5. Berechnungsbeispiele

5.1. Beispiel einer breiten Baugrube mit relativ dichter Deckschicht

Die Umschließung einer breiten Baugrube ist beim Vorhandensein von 2 Schichten so tief zu gründen, daß die hydraulische Grundbruchsicherheit $\gamma_G = 1,75$ beträgt.

Geometrische Werte siehe Bild 3

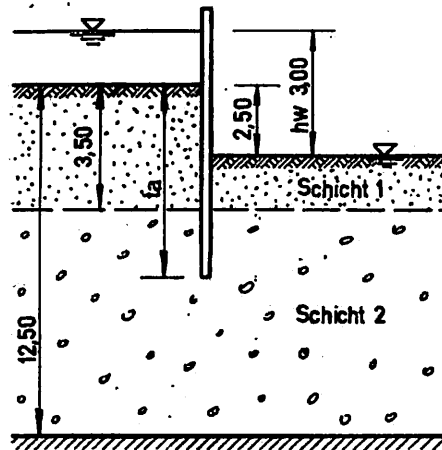


Bild 3 Baugrubensituation zu Beispiel 1

Erdstoffkennwerte:

$$\begin{array}{llll} \gamma'_1 = 0,962 & U_1 = 1,31 & \Phi'_1 = 32,9^\circ & k_1 = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m/s} \\ \gamma'_2 = 1,005 & U_2 = 1,73 & \Phi'_2 = 34,3^\circ & k_2 = 4,5 \times 10^{-4} \text{ m/s} \end{array}$$

Die Einbindetiefe ist mit $t_a = 5,00$ m gegeben. Für die grafische Ermittlung der Potentialverteilung wird das Zweischichtsystem (siehe Bild 4a) in ein homogenes reduziert. Als Bezugsschicht wird die Schicht 1 gewählt. Es ergeben sich für die Schicht 2 folgende reduzierte Größen:

$$h_{2,\text{red}} = h_2 \cdot \frac{k_1}{k_2} = h_2 \cdot \frac{1}{3} = 9,00 \cdot \frac{1}{3,00} = 3,00 \text{ m}$$

$$h_{2,\text{red}}^i = h_2^i \cdot \frac{1}{3} = 1,50 \cdot \frac{1}{3,00} = 0,50 \text{ m}$$

Die Potentialverteilung wird nun im homogenen System (siehe Bild 4b) ermittelt und in das Ursprungssystem durch Interpolation übertragen (siehe Bild 4c).

Die weitere Untersuchung wird entsprechend Tabelle vorgenommen.

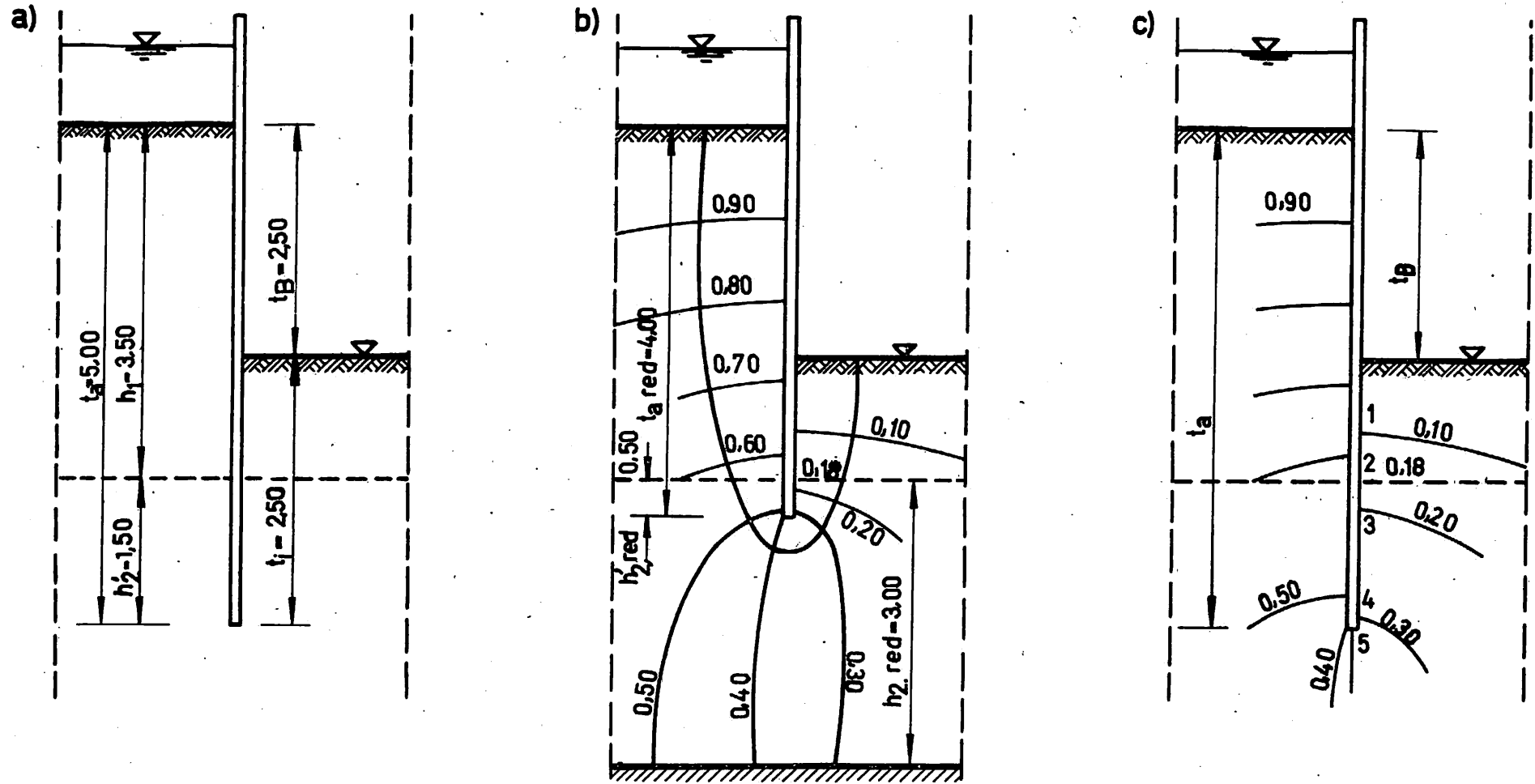


Bild 4 Potentialdarstellung zu Beispiel 1

- a) Baugrubensituation
- b) Reduziertes homogenes System mit Potentialnetz
- c) Ursprungssystem mit Potentialverteilung entlang der Wandebene

Schnitt Nr.	$h_{i,red}$	$\frac{k_i}{k_j}$	h_i	t_x	φ_x	$\Delta p_{d,x}$	γ'_1	\bar{p}_i	$\sum \bar{p}_i$	$\frac{\sum \bar{p}_i}{p_{d,x}} = \gamma_G$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,60	1,00	0,60	0,60	0,10	0,30	0,962	0,58	0,58	1,93
2	0,40		0,40	1,00	0,18	0,54		0,38	0,96	1,78
3	0,10	3,00	0,30	1,30	0,20	0,60	1,005	0,30	1,26	2,11
4	0,30		0,90	2,20	0,30	0,90		0,91	2,17	2,41
5	0,10		0,30	2,50	0,39	1,17		0,30	2,47	2,11
	1,50		2,50							

Die kleinste Grundbruchsicherheit ist an der Kontaktfläche zwischen der relativ dichten Deckschicht und der darunterliegenden Schicht mit $\gamma_G = 1,78$ vorhanden. Reibungskräfte werden nicht aktiviert.

5.2. Beispiel einer schmalen Baugrube beim Vorhandensein von 3 Schichten

Die Umschließung einer schmalen Baugrube ist so tief zu gründen, daß die hydraulische Grundbruchsicherheit $\gamma_G = 1,75$ beträgt.

Geometrische Werte siehe Bild 5.

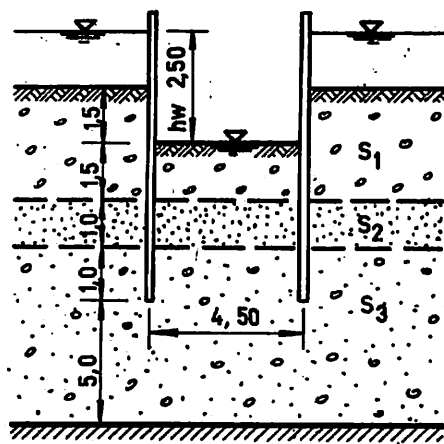


Bild 5 Baugrubensituation zu Beispiel 2

Erdstoffkennwerte:

$$\begin{array}{llll}
 \gamma'_1 = 0,970 & U_1 = 2,50 & \Phi'_1 = 34,5^\circ & k_1 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \\
 \gamma'_2 = 1,015 & U_2 = 3,15 & \Phi'_2 = 36,0^\circ & k_2 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \\
 \gamma'_3 = 0,985 & U_3 = 1,80 & \Phi'_3 = 33,0^\circ & k_3 = 6,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}
 \end{array}$$

Die Einbindetiefe ist mit $t_g = 5,0$ m gegeben.

Für die grafische Ermittlung der Potentialverteilung wird das Dreischichtsystem in ein homogenes reduziert. Als Bezugsschicht wird die Schicht 1 gewählt. Es ergeben sich folgende reduzierte Größen:

$$h_{2,red} = h_2 \cdot \frac{k_1}{k_2} = 1,0 \cdot \frac{1,00}{0,22} = 4,55 \text{ m}$$

$$h_{3,red} = h_3 \cdot \frac{k_1}{k_3} = 1,0 \cdot \frac{1,00}{0,60} = 1,67 \text{ m}$$

$$t_{1,red} = 1,50 + 4,55 + 1,67 = 7,72 \text{ m}$$

Nachweis der Grundbruchsicherheit (siehe Bild 6):

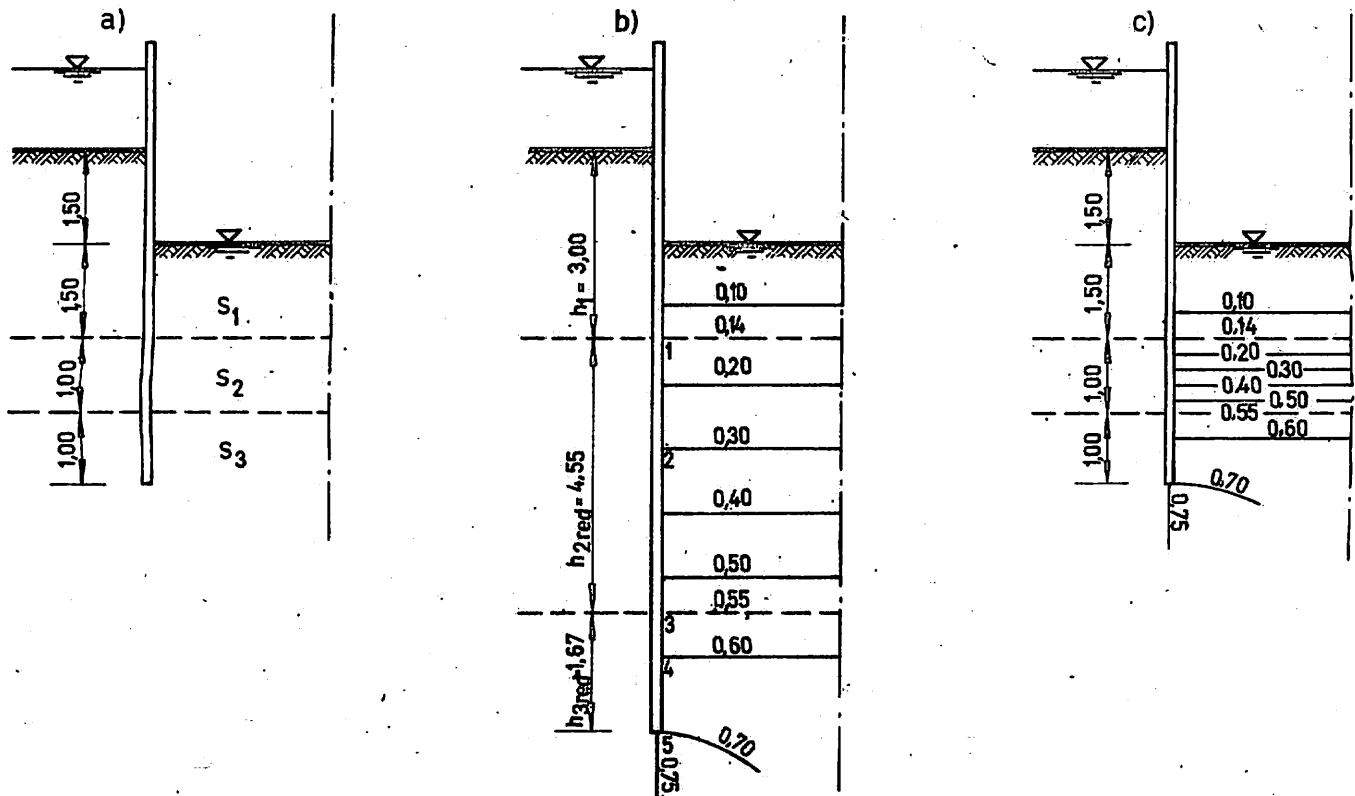


Bild 6 Potentialverteilung zu Beispiel 2

- a) Baugrubensituation
- b) Reduziertes homogenes System mit Potentialnetz im Aufströmungsbereich
- c) Ursprungssystem mit Potentialverteilung im Aufströmungsbereich

Schnitt Nr.	$h_{i,red}$	$\frac{k_i}{k_j}$	h_i	t_x	φ_x	Δp_{d_x}	γ'_i	\bar{p}_i	$\sum \bar{p}_i$	$\frac{\sum \bar{p}_i}{\Delta p_{d_x}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,50	1,00	1,50	1,50	0,14	0,35	0,970	1,45	1,45	4,14
2	1,80	0,22	0,40	1,90	0,30	0,75	1,015	0,41	1,86	2,48
3	2,75		0,60	2,50	0,55	1,375		0,61	2,47	1,79
4	0,55	0,60	0,33	2,83	0,60	1,50	0,985	0,32	2,79	1,86
5	1,12		0,67	3,50	0,75	1,875		0,66	3,45	1,84
5	1,12									
	7,72									

Die Berechnung in der vorstehenden Tabelle zeigt, daß die kritische Schnittfläche an der Unterkante der dicht gelagerten Schicht 2 liegt. Die ausgewiesene Sicherheit $\gamma'_G = 1,79$ entspricht der geforderten Sicherheit. Die Potentialverteilung zeigt, daß im Aufströmungsbereich Parallelströmung vorherrscht, so daß keine reibungsbedingte Vergrößerung der kritischen hydraulischen Druckhöhe zu berechnen ist.

Hinweise

WAPRO 4.04./2	10.70	Nachweis der Beständigkeit von Erdstoffen gegenüber der Einwirkung der Sickerwasserströmung; Suffosion nichtbindiger Erdstoffe
WAPRO 4.04./3	10.70	-; Kontakterosion Typ 1/1, 1/3 und 3/1 sowie Durchlässigkeitsregeln für Filter aus nichtbindigen Erdstoffen; Hinweise für die Konstruktion von Wasserbaufiltern
WAPRO 4.04./4	1.69	-; Kontakterosion Typ 2/2, 3/2, 2/3 und 3/3 bei nichtbindigem Erdstoff
WAPRO 4.04./5	1.70	-; Kontakterosion bindiger Erdstoffe
WAPRO 8.05./1	11.69	Hydraulischer Grundbruch; breite Baugruben
WAPRO 8.05./2	1.69	-; schmale Baugruben

[1] Knaupe, W.: Aushub umschlossener Baugruben unter besonderer Berücksichtigung des hydraulischen Grundbruches im schichtweise gelagerten Baugrund.
Forschungsbericht, Hochschule für Bauwesen, Leipzig, 1972.

[2] Knaupe, W.: Hydraulischer Grundbruch an Baugrubenumschließungen im schichtweise gelagerten Baugrund.
Bauplanung - Bautechnik 26 (1972) 9, Seite 428 bis 431.