

**VEB
Projektierung
Wasserwirtschaft**

**Erdstatische Berechnungsverfahren
Größe des Erddruckes**

WAPRO

8.06.

Verbindlich ab 1. 4. 1969

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Verwendete Bezeichnungen	2
2.	Allgemeines	3
2.1.	Aktiver Erddruck (E_a)	3
2.2.	Erdwiderstand oder passiver Erddruck (E_p)	3
2.3.	Ruhedruck (E_0)	3
2.4.	Grundwerte	5
3.	Aktiver Erddruck	5
3.1.	Ebenes Problem	5
3.1.1.	Starre Wand, Drehung um den Fußpunkt, kohäsionsloser Erdstoff	5
3.1.1.1.	Gleichmäßig verteilte Verkehrslast	5
3.1.1.2.	Rückliegende Auflast	5
3.1.1.3.	Beiderseits begrenzte Auflast	6
3.1.1.4.	Linien- und Punktlasten	7
3.1.1.5.	Unstetes Gelände und Verkehrslast	8
3.1.1.6.	Gebrochene Wandfläche	8
3.1.1.7.	Schichtung des Erdstoffes	9
3.1.1.8.	Erddruck bei Auftrieb	9
3.1.2.	Starre Wand, Drehung um den Kopfpunkt, kohäsionsloser Erdstoff	9
3.1.3.	Biegsame Wand	10
3.1.4.	Erdstoff mit Reibung und Kohäsion	10
3.1.5.	Erdstoff mit Kohäsion ohne Reibung	10
3.2.	Räumliches Problem	10
3.2.1.	Erddruck auf schmale Stützkörper	10
3.2.2.	Erddruck auf zylindrische Flächen	10
3.2.3.	Silodruck	10
3.3.	Sonderfälle	11
3.3.1.	Gekrümmte Wandfläche	11
3.3.2.	Verringerung des Erddruckes durch eine Pfahlreihe	11
3.3.3.	Einfluß von belasteten Pfählen	11
3.3.4.	Stelle Böschungen	11
3.3.5.	Stark unterschrittene Stützwände ($\alpha \leq -20^\circ$)	11
3.3.6.	Aufgelöste Stützmauern und sonstige Stützbauwerke	11
4.	Erdwiderstand (E_p)	11
4.1.	Ebenes Problem	11
4.1.1.	Gleitebenen	12
4.1.2.	Gekrümmte Gleitflächen	12
4.1.3.	Berücksichtigung von Kohäsion	12
4.1.4.	Erdstoff mit Kohäsion ohne Reibung	12

Fortsetzung Seite 2 bis 36

Bestätigt: 30. 1. 1969 , Direktor, Halle (Saale)

	Seite	
4.2.	Räumliches Problem	12
4.2.1.	Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen	12
4.2.1.1.	Reibungsböden mit Kohäsion	12
4.2.1.2.	Kohäsionsböden	13
4.2.2.	Erdwiderstand vor zylindrischen Druckflächen	13
4.2.3.	Erdwiderstand vor begrenzten, ebenen Flächen	13
5.	Erdruhedruck (E_0)	13
6.	Quellennachweis der Bilder	13
	Bild 16 - 38	16 bis 36

1. Verwendete Bezeichnungen

Baugrundmechanik (in Anlehnung an TGL 11459 Bl. 1, E 12.61)

Mit den Indizes h oder v bezeichnete Größen geben den waagerechten oder lotrechten Anteil der Größe an.

c	Kohäsionsbeiwert	Mp/m^2
E_a	aktiver Erddruck	Mp
E_{ar}	räumlicher, aktiver Erddruck	Mp
E_p	Erdwiderstand oder passiver Erddruck	Mp
E_{pr}	räumlicher Erdwiderstand	Mp
E_0	Ruhedruck	Mp
e_a	spezifischer aktiver Erddruck	Mp/m^2
e_p	spezifischer Erdwiderstand	Mp/m^2
e_0	spezifischer Ruhedruck	Mp/m^2
λ_a	Erddruckbeiwert des aktiven Erddruckes	-
$\lambda_{ar}, \lambda'_{ar}$	Beiwerte zur Bestimmung des räumlichen, aktiven Erddruckes	-
λ_p	Erddruckbeiwert des Erdwiderstandes	-
$\lambda_{pr}, \lambda'_{pr}, \lambda_R, \lambda'_R$	Beiwerte zur Bestimmung des räumlichen Erdwiderstandes	-
λ_0	Erddruckbeiwert des Ruhedruckes	-
y	Faktor zur Ermittlung des Einflusses einer rückliegenden oder beiderseits begrenzten Auflast	-
γ	Rohwichte des Erdstoffes	Mp/m^3
γ_a	Rohwichte des Erdstoffes unter Auftrieb	Mp/m^3
δ	Wandreibungswinkel	Grad
η_0	Sicherheitsbeiwert	-
β	Winkel der ebenen Gleitfläche zur Waagerechten	Grad
β_1	Winkel der gekrümmten Gleitfläche zur Waagerechten an der Erdoberfläche	Grad
β_2	Winkel der gekrümmten Gleitfläche zur Waagerechten an der Wand	Grad
τ_s	Scherkräfte	Mp/m^2
φ_s	innerer Reibungswinkel eines Erdstoffes	Grad
ω_R, ω_K	Beiwerte zur Ermittlung eines räumlichen Erdwiderstandes	-
Außere Belastungsgrößen		
P	Linien- oder Punktlast	Mp/m oder Mp
P_R	aus einer beiderseits begrenzten Auflast resultierende Linienlast	Mp/m
p	Flächenlast (gleichmäßig verteilte Verkehrs- oder Auflast)	Mp/m^2

Geometrische Größen

a	Abstand einer Last von einer Stützkonstruktion	m
b	verh. Breite einer Druckfläche (vgl. Bild 34, Schnitt A u. B)	m
b _{kr}	die Druckflächenbreite, bei deren Unterschreitung nicht mehr der volle Erdwiderstand erzwingen wird, weil die Druckfläche dann in den Erdstoff einschneidet	m
b _l	lichter Abstand von Druckflächen (Rammträger)	m
b _{lkr}	der lichte Abstand von Druckflächen, bei dessen Unterschreitung sich die Erdwiderstände vor den Einzeldruckflächen überschneiden	m
D	Durchmesser der kreisförmigen Grundrissfläche einer Silozelle	m
d	Dicke einer Druckfläche (Rammträger), siehe Bild 34	m
H	Höhe einer Silozelle	m
h	Höhe einer Erdschicht	m
K ₀	Verhältnis b/t	-
l _{max}	größere Seite der rechteckigen Grundrissfläche einer Silozelle	m
l	Länge einer begrenzten Auflast	m
s	Weggröße des Erddruckes	m
t	Rammtiefe oder Länge einer Druckfläche im Bereich des Erdstoffes	m
x _s	Abstand des Schwerpunktes des räumlichen Erdwiderstandes vor einer Druckfläche (Rammträger) von OK Gelände	m
z, \bar{z}	Ordinate für Tiefe unter einer Bezugsebene	
α	Neigungswinkel der Wandfläche einer Stützkonstruktion zur Lotrechten	Grad
β	Neigungswinkel des Geländes zur Waagerechten	Grad

2. Allgemeines

Unter Erddruck versteht man die Kraft, die in der Berührungsfläche zwischen einer Baukonstruktion und einer angrenzenden Erdmasse wirkt.

Die Größe des Erddruckes hängt von der Bewegungsmöglichkeit der Baukonstruktion (siehe hierzu Bild 1) und von den Grundwerten ab.

Einen Überblick über die anzuwendende Ermittlung des Erddruckes nach folgenden Abschnitten gibt für gebräuchliche Konstruktionen Bild 2.

2.1. Aktiver Erddruck (E_a)

Der aktive Erddruck wirkt, wenn die Beweglichkeit der Baukonstruktion - siehe hierzu [3, S. 20] und [12, Abschn. 1.3., S. 38] - eine auf die Konstruktion gerichtete Verschiebung der drückenden Erdmassen gewährleistet.

2.2. Erdwiderstand oder passiver Erddruck (E_p)

Der Erdwiderstand wirkt, wenn durch Zwangsbewegung der Baukonstruktion eine gegen die drückende Erdmasse gerichtete Verschiebung erzwungen wird.

2.3. Ruhedruck (E₀)

Der Erdruhedruck wirkt, wenn die unbewegliche Baukonstruktion eine Verschiebung der drückenden Erdmasse ausschließt.

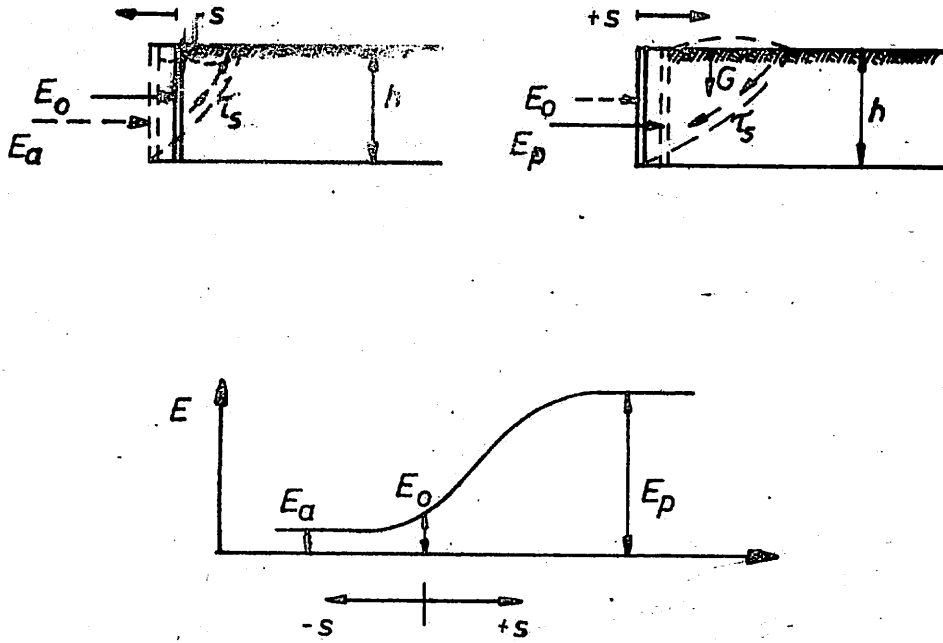


Bild 1

Druckverteilung in Abhängigkeit von der Verformungsmöglichkeit

Berechnung nach Abschnitt	Bauwerk Beispiel	Ausführungsart	Verformungs- bzw. Bewegungsmögl.	Druckverteilung (angenähert)
3.1.1.	Stützmauer		a) aktiv b) passiv	
3.1.2.	Rahmenwiderlager			
3.1.2.	Baugrubenaussteifung			
3.2.3.	Silo			
3.1.3.	Spundwand		Anker	

Bild 2

2.4. Grundwerte

Am Anfang jeder Erddruckberechnung steht die Festlegung folgender Grundwerte nach [1], [2] und [3], von deren richtiger Erfassung die Größe des Erddruckes mehr abhängt als von der Anwendung verfeinerter Erddrucktheorien. Diese Grundwerte sind:

- die Bohrwichte des Erdstoffes (γ)
- der Winkel der inneren Reibung (φ_s) und
- der Reibungswinkel zwischen Erdstoff und Stützkonstruktion (Wandreibungswinkel δ).

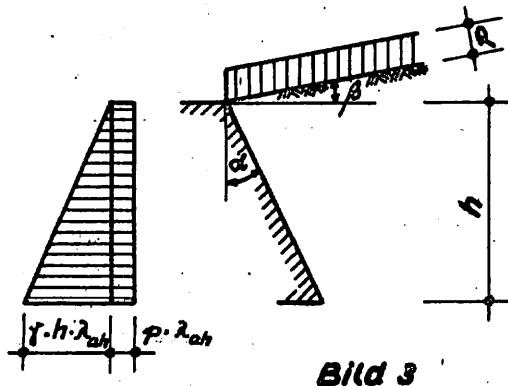
Um den Wandreibungswinkel δ weicht der Erddruck, der Bewegung des Erdreiches entgegengesetzt, von der Normalen zur Wand ab. Sein Richtungssinn wird nach Bild 16 und 28 festgelegt; seine Größe ist nach den entsprechenden Vorschriften - [3], [2] - zu bestimmen.

3. Aktiver Erddruck

3.1. Ebenes Problem

3.1.1. Starre Wand, Drehung um Fußpunkt, kohäsionsloser Erdstoff

3.1.1.1. Gleichmäßig verteilte Verkehrslast (Bild 3)



Bei gleichmäßig verteilten Verkehrs- oder Auflasten ergibt sich die Größe des Erddruckes E_{ah} zu:

$$E_{ah} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda_{ah} + p \cdot h \cdot \lambda_{ah}$$

Mit den Bezeichnungen und Vorzeichen nach Bild 16 ist

Bild 3

$$\lambda_{ah} = \frac{\cos^2 (\varphi_s - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin (\varphi_s + \delta) \cdot \sin (\varphi_s - \beta)}{\cos (\alpha + \delta) \cdot \cos (\beta - \alpha)}} \right]^2}$$

λ_{ah} kann Bild 16 bis 18 entnommen werden.

$$E_a = E_{ah} \cdot \cos^{-1} (\alpha + \delta); E_{av} = E_{ah} \cdot \tan (\alpha + \delta)$$

Die Erddruckverteilung aus Eigengewicht des Erdstoffes stellt ein Dreieck, die aus gleichmäßiger Auflast ein Rechteck dar.

Für waagerechte Gelände ($\beta = 0$), lotrechte Wand ($\alpha = 0$) und waagerechten Kraftangriff ($\delta = 0$) hat λ_a die Form

$$\lambda_{ah} = \lambda_a = \tan^2 (45^\circ - \varphi_s / 2)$$

3.1.1.2. Rückliegende Auflast

Es darf das Verfahren nach Bild 4 angewendet werden. Mit genügender Genauigkeit wird angenommen, daß der Einfluß der Auflast dort beginnt, wo die φ_s -Linie die Wandrückfläche schneidet und von diesem Punkt geradlinig bis zu seinem Maximalwert zunimmt.

Der Maximalwert beginnt dort, wo die Gleitfläche die Wandrückfläche unter dem Winkel ψ' berührt.

Winkel ψ' kann Bild 20 oder 21 entnommen werden.

Das exaktere Verfahren nach Ohde ist aufwendiger, wie der folgende Arbeitsgang zeigt.

Arbeitsgang:

- a) Erddruck E_a aus Eigengewicht des Erdstoffes nach Abschnitt 3.1.1.1. ermitteln, ergibt dreieckförmige Erddruckverteilung
- b) Der Einfluß der Auflast wird mit Hilfe des Bildes 19 ermittelt (siehe hierzu auch Bild 5).

b₁) Winkel ψ' nach Bild 20 oder 21 feststellen

b₂) Strecke \bar{z} unter Berücksichtigung der entsprechenden Vorzeichen von α und β nach Bild 16 ermitteln:

$$\bar{z} = a \cdot (1 + \tan \alpha \cdot \tan \beta) \cdot [(\tan \alpha + \tan^{-1} \psi')^{-1} - (\tan \alpha + \tan^{-1} \psi_s)^{-1}]$$

Für $\alpha = 0$; $\beta = 0$ oder $\beta \neq 0$ ist:

$$\bar{z} = a \cdot (\tan \psi' - \tan \psi_s)$$

Wenn $\alpha \neq 0$ ist es zweckmäßiger, \bar{z} auf graphischem Wege zu ermitteln.

b₃) Mit \bar{z} und $\frac{p}{\gamma \cdot a}$ aus Bild 19 Abminderungsfaktor y entnehmen.

y gibt an, um wieviel der asymptotische Endwert $\lambda_a \cdot p$ in der jeweiligen Tiefe $x \cdot \bar{z}$ abgemindert werden muß.

Daraus folgt: $\lambda_a(p) = y \cdot \lambda_a \cdot p$

Der obere Anfangspunkt des Einflußbereiches der Auflast ist durch die Skala der

$\frac{p}{\gamma \cdot a}$ - Werte im Bild 19 gegeben.

Die Auswertung erfolgt zweckmäßig in Tabellenform.

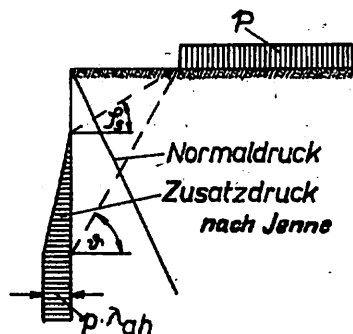


Bild 4

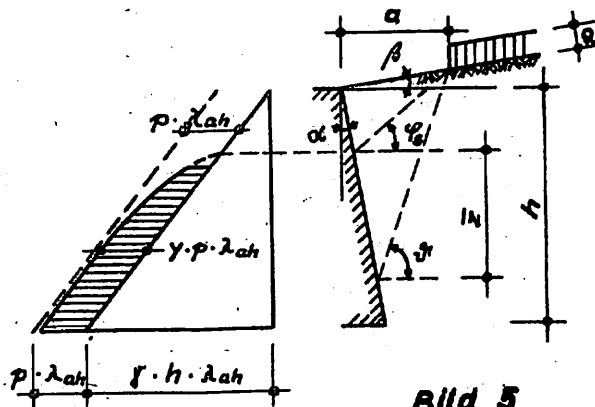


Bild 5

3.1.1.3. Beiderseits begrenzte Auflast (Bild 6)

Die Bestimmung des Erddruckes infolge beiderseits begrenzter, gleichmäßig verteilter Verkehrs- oder Auflasten erfolgt nach Abschnitt 3.1.1.2., wobei die untere Begrenzung des Einflusses der Auflast wie folgt ermittelt wird:

- a) Ermittlung des Winkels ψ' für unbelastetes Gelände ergibt Punkt b₂ (siehe Bild 6).
- b) Durch Punkt b₂ wird eine horizontale Gerade zum Schnitt mit der Erddrucklinie aus Auflast gebracht.
- c) Durch den sich aus b) ergebenden Schnittpunkt wird eine Lotrechte bis zur Erddruckverteilungslinie aus Eigengewicht des Erdstoffes geführt und mit dieser zum Schnitt gebracht.

Diese Lotrechte bildet im Bereich der Schnittpunkte nach b) und c) die untere Begrenzung für den Einfluss der Auflast.

Dieses Verfahren zur Ermittlung der unteren Begrenzung des Einflusses der Auflast stellt eine Näherung dar, die aber den Anforderungen in der Praxis im Normalfall genügt. Eine genauere Abhandlung hierzu ist in [17] nachzulesen.

Nach [3] kann eine beiderseits begrenzte Auflast auf eine Linienlast zurückgeführt und nach dem für Linienlasten unter Abschnitt 3.1.1.4. angegebenen Verfahren berechnet werden, wenn die resultierende Linienlast $P_R = 1 \cdot p < 10 \text{ Mp/m}$ ist. Da dieses Verfahren aber fast ebenso aufwendig ist, dürfte es zweckmäßig sein, ein Verfahren dieses Abschnittes anzuwenden.

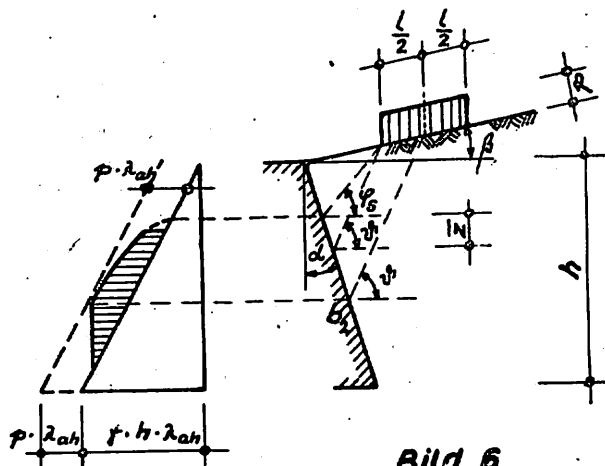


Bild 6

3.1.1.4. Linien- und Punktlasten (Bild 7)

Der Einfluß von Linienlasten ist zweckmäßig nach [12, Abschnitt 1.3., S. 54] zu bestimmen. Der Einfluß kleinerer Linienlasten in der Größenordnung bis etwa 2 Mp/m darf näherungsweise nach Ohde, siehe Bild 8, ermittelt werden.

Der Winkel γ^h ist aus Bild 20 oder Bild 21 ersichtlich. Die Größe des Einflusses der kleinen Linienlast läßt sich rechnerisch aus folgender Gleichung finden:

$$E_{a,P} \cdot \cos(\alpha + \delta) = \frac{P}{\sigma \tan(\gamma^h - \varphi_s) + \tan(\alpha + \delta)}$$

Punktlasten verteilt man auf eine Einflußbreite von $2 \cdot a$ nach Bild 9 und führt dann die Berechnung wie bei einer Linienlast durch.

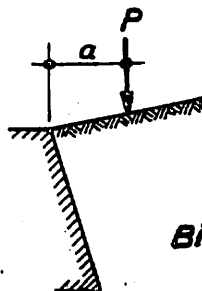


Bild 7

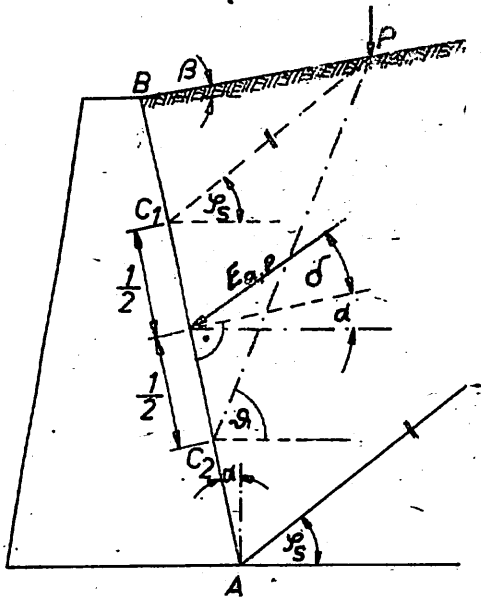


Bild 8

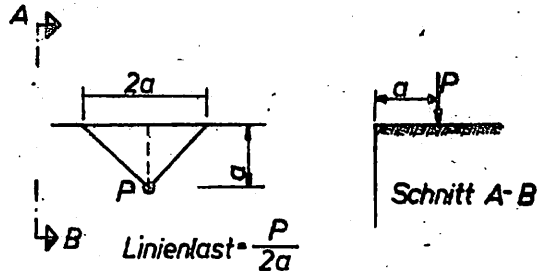


Bild 9

3.1.1.5. Unstetiges Gelände und unstete Verkehrslast (Bild 10)

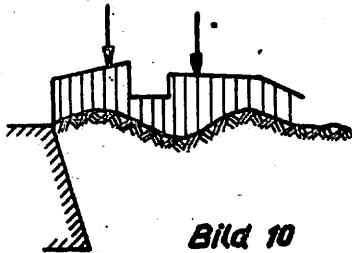


Bild 10

Zweckmäßig ist das Verfahren nach [12, Abschnitt 1.3., S. 51] anzuwenden. Bei gebrochener Geländeoberfläche darf auch näherungsweise das Verfahren nach Bild 11 benutzt werden, das schneller zum Ziele führt.

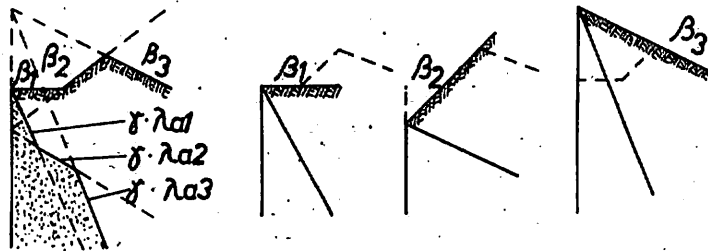


Bild 11

3.1.1.6. Gebrochene Wandfläche

Die Erddrücke werden an den Knickpunkten unter der Annahme ermittelt, daß die Teilflächen bis zur Geländelinie gehen. Aus den Druckfiguren (siehe Bild 12) entnimmt man die zu den Wandstücken gehörenden Teildrücke. Größe, Richtung und Angriffspunkt des resultierenden Erddruckes können auf graphischem oder analytischem Wege bestimmt werden.

Für Voruntersuchungen darf anstelle der mehrfachen Neigung eine mittlere Wandneigung angenommen werden.

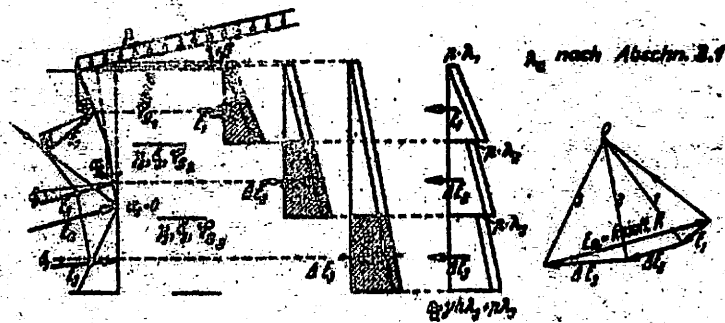


Bild 12

3.1.1.7. Schichtung des Erdstoffes

Sind mehrere waagerechte Schichten mit unterschiedlichen γ_g - und γ -Werten vorhanden (siehe Bild 13), dann betragen - da eine Auflast p eine Erddruckspannung $e_a = p \cdot \lambda_a$ erzeugt - die Erddruckspannungen $e_{an}^{(o)}$ und $e_{an}^{(u)}$ in der oberen und unteren Fläche der Schicht n , wenn man mit p die Auflast aus Verkehrslast und Erdstoff-Eigengewicht oberhalb der Schicht n bezeichnet:

$$e_{an}^{(o)} = p \cdot \lambda_{an} \quad \text{und}$$

$$e_{an}^{(u)} = e_{an}^{(o)} + h_n \cdot \gamma_n \cdot \lambda_{an} = \lambda_{an} \cdot (p + h_n \cdot \gamma_n)$$

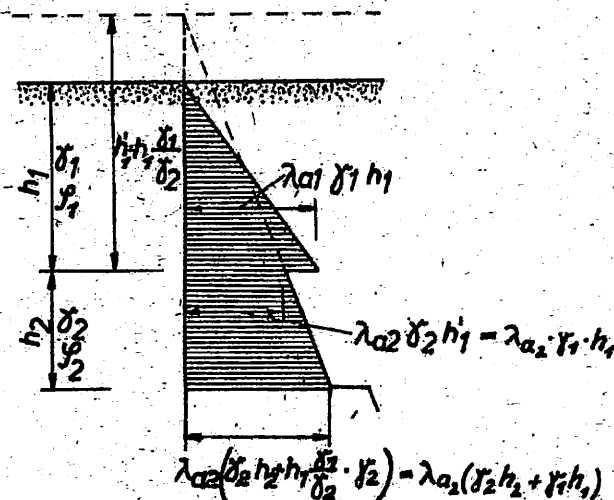


Bild 13

3.1.1.8. Erddruck bei Auftrieb

Befindet sich Erdreich im ruhenden Grundwasser, dann ist die verminderte Rohwichte des Erdstoffes zu berücksichtigen und sinngemäß Abschnitt 3.1.1.7. anzuwenden.

In der Erddruckfigur tritt dann innerhalb einer Schicht kein Sprung sondern ein Knick auf. Weitere Hinweise hierzu in [15, Bd. 1, Abschnitt 5, S. 375]. Bei strömendem Grundwasser ist nach [15, Bd. 1, Abschnitt 5, S. 375] oder [6, Bl. 1, Abschnitt 2.2.1., S. 7] zu verfahren.

3.1.2. Starre Wand, Drehung um den Kopfpunkt, kohäsionsloser Erdstoff

Die Gesamtgröße des aktiven Erddruckes entspricht etwa der nach Abschnitt 3.1.1., dem klassischen Erddruck nach Coulomb. Jedoch weicht die Erddruckverteilung von der klassischen dreieckförmigen ab. Die Verteilung ist nach Bild 22 und 23 oder nach Bild 24 anzunehmen.

3.1.3. Biegsame Wand

Es gilt sinngemäß Abschnitt 3.1.1. und 3.1.2.; siehe hierzu [6, Bl. 1, Abschnitt 2.2.2., S. 8].

3.1.4. Erdstoff mit Reibung und Kohäsion

Da die Kohäsion auf die Gleitflächenlage nicht von Einfluß ist, kann der Erddruck für den Reibungswinkel φ_s nach den für Reibungsböden gegebenen Verfahren (siehe Abschnitt 3.1.1.) ermittelt und die Kohäsionswirkung nach Bild 14 gesondert angesetzt werden.

Bei Berücksichtigung der Kohäsion sollte man beachten, daß diese keine konstante Größe, sondern erheblichen Schwankungen unterworfen ist. Es ist hierzu [3, Abschnitt 1.2., S. 2] zu beachten.

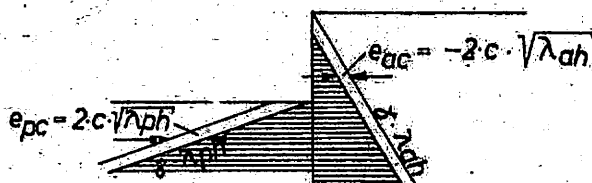


Bild 14

3.1.5. Erdstoff mit Kohäsion ohne Reibung

Die Ermittlung erfolgt nach [3, Abschnitt 5, S. 13] oder nach [12, Abschnitt 1.3., S. 72].

3.2. Räumliches Problem

3.2.1. Erddruck auf schmale Stützkörper

Die Ermittlung des Erddruckes eines nicht bindigen Erdstoffes auf die begrenzte, ebene Fläche eines starren Baukörpers mit der Bewegungsmöglichkeit nach Abschnitt 3.1.1. darf nach [18] erfolgen:

$$\eta_s \cdot E_{ax} = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot t^3 \cdot \lambda_{ar}$$

Der Beiwert λ_{ar} ist wie folgt zu ermitteln:

für $\alpha = \beta = 0$: λ_{ar} nach Bild 35

für $\alpha \neq 0$ und/oder $\beta \neq 0$: $\lambda_{ar} = \lambda'_{ar} + 1,5 \cdot k_0 \cdot \lambda_a$ mit λ'_{ar} aus Bild 36; λ_a wird nach Abschnitt 3.1.1.1. bestimmt.

Der Sicherheitsbeiwert η_s ist mit der zuständigen Prüfstelle der Staatlichen Bauaufsicht festzulegen.

3.2.2. Erddruck auf zylindrische Flächen

Siehe hierzu [12, Abschnitt 2.09, S. 569]

3.2.3. Silodruck

Bei hohen und schmalen Silozellen mit dem Kriterium

$$H > 1,5 \cdot D \quad \text{oder} \quad H > 1,5 \cdot l_{\max}$$

wird die Belastung infolge Füllung nach den für den Silobau entwickelten Verfahren, siehe [11] und [8], ermittelt.

Die Ermittlung des Erddruckes auf siloartige Wände darf nach [12, Abschnitt 1.3., S. 85] erfolgen.

3.3. Sonderfälle

3.3.1. Gekrümmte Wandfläche

Verwandlung in gebrochene Wandfläche durch Annahme von Wandtangenten und weiter nach Abschnitt 3.1.1.6.

3.3.2. Verringerung des aktiven Erddruckes durch eine Pfahlreihe

Verfahren siehe [12, Abschnitt 1.3., S. 86]

3.3.3. Einfluß von belasteten Pfählen

Verfahren siehe [9, Abschnitt 6.4.4., S. 299]

3.3.4. Steile Böschungen

Der Böschungswinkel β ist in der Natur oft größer als der rechnerische Reibungswinkel φ_s . In diesem Falle erfolgt die Ausmittlung der steilen Böschung durch eine unter dem Winkel φ_s zur Horizontalen geneigten Geraden (φ_s - Ersatzlinie) und die weitere Berechnung des Erddruckes unter Berücksichtigung der φ_s -Ersatzlinie - siehe Bild 15.

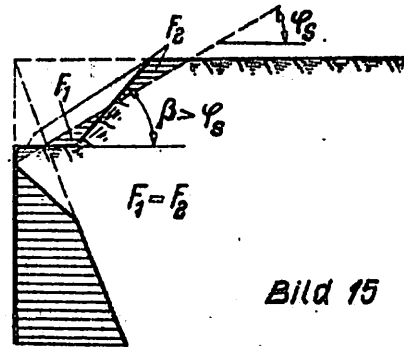


Bild 15

3.3.5. Stark unterschrittene Stützwände ($\alpha < -20^\circ$)

Bei stark unterschrittenen Stützmauern und nicht bindiger Hinterfüllung ist die Annahme ebener Gleitflächen nicht mehr zulässig. Die Erddruckbeiwerte werden nach Bild 25 oder 26 ermittelt. Kriterium zur Anwendung:

$$\psi_1 \text{ und } \psi_2 \text{ nach Bild 27 bestimmen. Wenn } \psi_1 - \psi_2 > 30^\circ$$

wird, sind die Erddruckbeiwerte nach Bild 25 oder 26 zu benutzen.

3.3.6. Aufgelöste Stützmauern und sonstige Stützbauwerke

Berechnungsverfahren für Winkelstützmauern mit und ohne Versteifungsrippen, Stützmauern mit Kragplatten, Konsolstützmauern, Pfeilerstützmauern, Brückenwiderlager und Flügelmauern siehe [3, Abschnitt 7, S. 15].

Ermittlung der Belastung für überschüttete Durchlaßbauwerke in Dämmen siehe [5].

4. Erdwiderstand (E_p)

Zur Erzielung des Erdwiderstandes werden relativ große Verschiebungen erforderlich.

4.1. Ebenes Problem

Ebene Gleitflächen liefern für den Erdwiderstand nur dann Kleinstwerte, wenn die Grenzbedingungen den Rankineschen Sonderfall ($E_p \parallel$ Gelände) entsprechen. Bei Abweichung hiervon muß der Erdwiderstand auf gekrümmten oder gebrochenen Gleitflächen bestimmt werden.

4.1.1. Gleitebenen

Mit den Bezeichnungen und Vorzeichen nach Bild 28 ist:

$$E_{ph} = \sqrt{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda_{ph}$$

$$\lambda_{ph} = \frac{\cos^2 (\varphi_s + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \left[1 - \frac{\sin (\varphi_s - \delta) \cdot \sin (\varphi_s + \beta)}{\cos (\alpha + \delta) \cdot \cos (-\alpha + \beta)} \right]^2}$$

$$E_p = E_{ph} \cdot \cos^{-1} (\alpha + \delta); \quad E_{pv} = E_{ph} \cdot \tan (\alpha + \delta)$$

λ_{ph} kann Bild 28 - 30 entnommen werden.

Für $\alpha = 0$, $\beta = 0$ und $\delta = 0$ erhält man

$$E_{ph} = E_p = \sqrt{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \tan^2 (45^\circ + \varphi_s/2)$$

4.1.2. Gekrümmte Gleitflächen

Die Erdwiderstandsbeiwerte λ_p dürfen aus Bild 31 oder 32 entnommen werden. Die Werte nach Bild 31 (Verfahren nach Ohde) liefern die kleinsten Werte der bisher bekannten Verfahren, wenn $\alpha = \beta = 0$ ist.

4.1.3. Berücksichtigung von Kohäsion (c)

Es gilt sinngemäß Abschnitt 3.1.4. - siehe Bild 14.

4.1.4. Erdstoff mit Kohäsion ohne Reibung

Die Ermittlung darf nach [12, Abschnitt 1.3., S. 76.] erfolgen.

4.2. Räumliches Problem

4.2.1. Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen (Ramträger)

Es darf nach [14] und [23] verfahren werden.

4.2.1.1. Reibungsböden mit Kohäsion

Der Erdwiderstand E_p vor einer schmalen Druckfläche, z.B. Ramträger, darf nach [14] ermittelt werden (vgl. Bild 34, Schnitt A und B):

$$\gamma_s \cdot E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \omega_R \cdot t^3 + 2 \cdot c \cdot \omega_K \cdot t^2 \quad (1)$$

Aus Bild 33 können die Beiwerte ω_R und ω_K sowie die angenäherte Weggröße unter Gebrauchslast abgelesen werden.

Voraussetzung für Gleichung (1) ist:

Verhinderte Vertikalbewegung, im Normalfall durch das Eigengewicht von Ramträger, Bohlen und Steifen gegeben; sowie der voll in die Rechnung eingehende Reibungswinkel zwischen Sand und Stahlträger von $\delta = 27,5^\circ$. Wegen der Verwendung dieses Reibungswinkels ist $\gamma_s = 2,0$ anzunehmen.

Liegt unbehinderte Vertikalbewegung vor und ist $\delta \neq 27,5^\circ$, ist der Erdwiderstand wie folgt zu ermitteln:

$$\gamma_s \cdot E_{pv} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \lambda_R \cdot t^2 \cdot (b + b_{s,R}) + 2 \cdot c \cdot \lambda_K \cdot t \cdot (b + b_{s,K}) \quad (2)$$

$$\text{mit } b_{s,R} = 0,6 \cdot t \cdot \tan \varphi_s,$$

$$b_{s,K} = 0,9 \cdot t \cdot (1 + \tan \varphi_s) \text{ und}$$

$$\lambda_R, \lambda_K \text{ aus Bild 37.}$$

In diesem Falle ist der rechnerische Reibungswinkel δ und der Sicherheitsbeiwert γ_s mit der zuständigen Prüfstelle der Staatlichen Bauaufsicht festzulegen.

Weiterhin ist folgendes zu beachten:

a) Wenn $b < b_{kr}$ dann $E_{pr} = \lambda_{pr} \cdot \sqrt{\frac{b}{b_{kr}}}$ mit $b_{kr} = 0,5 \cdot t$ und E_{kr} aus (1) oder (2), wobei statt b die kritische Breite b_{kr} eingesetzt werden muß.

b) Wenn $b_{1kr} \geq b_1$ mit $b_{1kr} = t/2$ im Falle unbehinderter oder $b_{1kr} = t$ im Falle behinderter Vertikalbewegung, dann darf die Summe der Finselwiderstände nicht größer sein, als der Erdwiderstand vor einer durchgehenden Wand. Der Teilwiderstand im Bereich von b_1 ist mit $\epsilon = 0$ zu ermitteln. Es ist anzustreben, daß $b_{1kr} < b_1$ wird.

4.2.1.2. Kohäsionsböden

Es darf das Verfahren nach Bild 34 angewendet werden.

4.2.2. Erdwiderstand vor zylindrischen Druckflächen

Es darf nach [12, Abschnitt 1.3., S. 83] oder [19] verfahren werden.

4.2.3. Erdwiderstand vor einer begrenzten, ebenen Fläche

Die Ermittlung des Erdwiderstandes eines nichtbindigen Erdstoffes vor der begrenzten, ebenen Fläche eines starren Baukörpers darf bei $b/t > 0,5$ nach [18] erfolgen:

$$\eta_s \cdot E_{pr} = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot t^3 \cdot \lambda_{pr}$$

Der Beiwert λ_{pr} ist wie folgt zu ermitteln:

für $\alpha = \beta = 0$: λ_{pr} nach Bild 38

für $\alpha \neq 0$ und/oder $\beta \neq 0$:

$$\lambda_{pr} = \lambda'_{pr} + 1,5 \cdot k_0 \cdot \lambda_p$$

mit λ'_{pr} aus Bild 36, λ_p wird nach Abschnitt 4.1. bestimmt.

Im Falle $b/t < 0,5$ ist das Verfahren nach Abschnitt 4.2.1. anzuwenden.

Der Sicherheitsbeiwert η_s ist mit der zuständigen Prüfstelle der Staatlichen Bauaufsicht festzulegen.

Bei Ankerwänden und -platten darf die Ermittlung des Erdwiderstandes nach [12, Abschnitt 1.3., S. 78] erfolgen.

Bei Krümmwiderlagern von Druckrohren ist nach [4] sowie [7] vorzugehen.

5. Erdrubedruck (E_0)

Die Ermittlung des Ruhedruckes ist nach [3, Abschnitt 6, S. 15] vorzunehmen.

6. Quellennachweis der Bilder

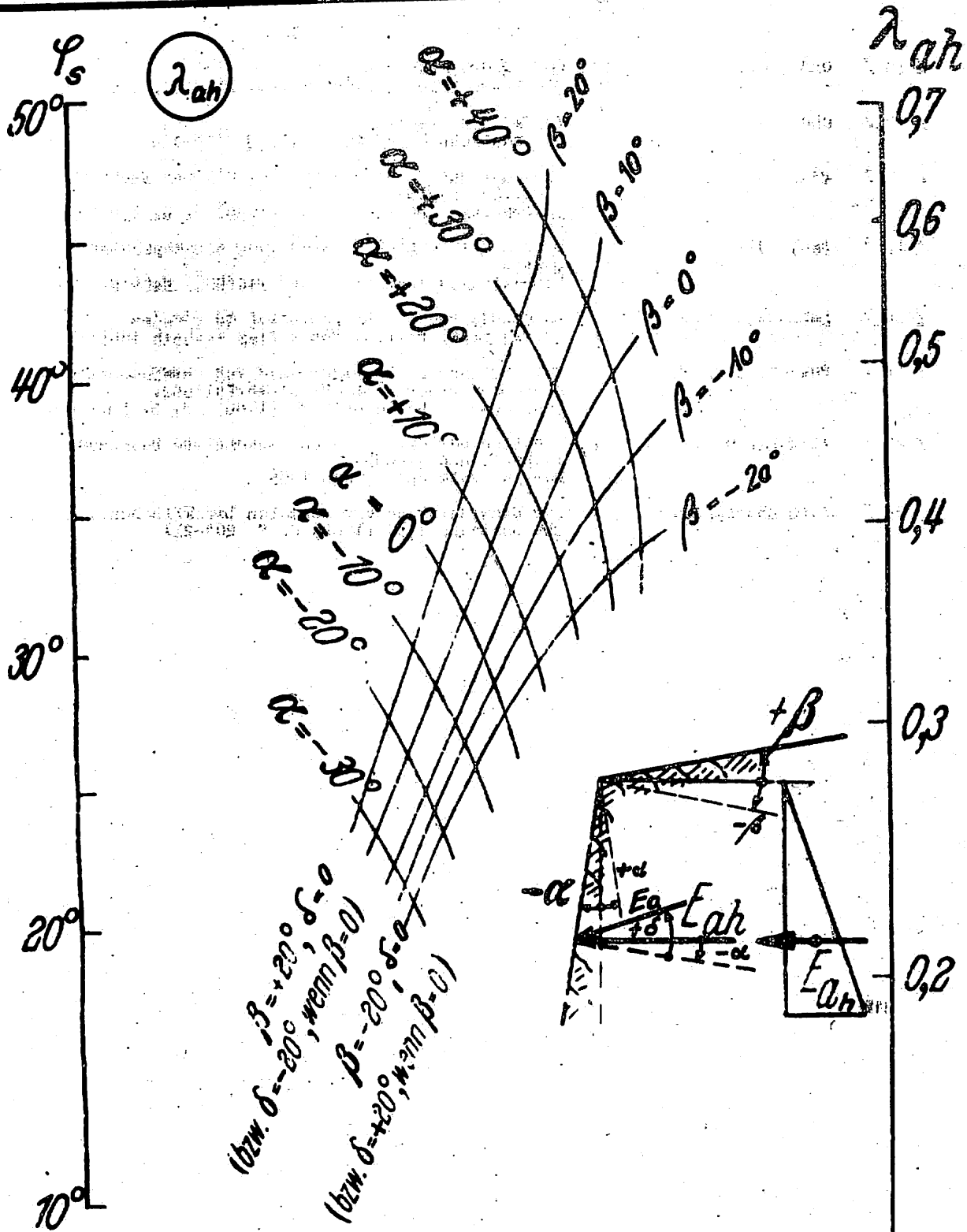
Bild 1	aus	[12, S. 37, Bild 1]
Bild 2	nach	[22, S. 21, Abb. 5. 121]
Bild 8	nach	[13]
Bild 9	nach	[9, S. 299, Bild 23]
Bild 11	aus	[9, S. 295, Abb. 16 u. 17]
Bild 12	aus	[12, S. 53, Bild 17]
Bild 15	aus	[9, S. 298, Abb. 21]
Bild 16	aus	[12, S. 47, Bild 12]
Bild 17	aus	[10, S. 51, Bild 42]
Bild 18	aus	[12, S. 49, Taf. 1]

Bild 19	aus	[20, S. 39, Abb. 27]
Bild 20	aus	[9, S. 361, Abb. 27]
Bild 21	aus	[16]
Bild 22	aus	[20, S. 56, Abb. 36 u. 37]
Bild 23	aus	
Bild 24	aus	[22, S. 24, Abb. 5.125]
Bild 25	aus	[21, Tab. 1 u. 2, S. 585 und Bild 4, S. 587]
Bild 26	aus	
Bild 27	aus	
Bild 28	aus	[12, S. 57, Bild 22]
Bild 29	aus	[10, S. 52, Bild 43]
Bild 30	aus	[12, S. 63, Taf. 2]
Bild 31	aus	[20, S. 36, Abb. 25]
Bild 32	aus	[10, S. 53, Bild 44]
Bild 33	aus	[23, S. 209, Bild 9 u. 10]
Bild 34	nach	[14, S. 33, Bild 5]
Bild 35	aus	[18, S. 432, Bild 5 u. 6]
Bild 36	aus	[18, S. 433, Tab. 1]
Bild 37	aus	[23, S. 207, Tab. II]
Bild 38	aus	[18, S. 433, Bild 7 - 10]

Hinweise

- [1] TGL 10712 Bl.2 5.63 Lastannahmen für Bauten, Rohwichte und Reibungswinkel für Erdstoffe
- [2] TGL 11464 Bl.3 (10.63) Erdstatische Berechnungsverfahren, Spundwände
- [3] TGL 11464 Bl.5 (6.68) Erdstatische Berechnungsverfahren, Stützbauwerke
- [4] TGL 92-046 Bl.1-5 11.65 Rohrwiderlager für erdverlegte Druckrohrleitungen
- [5] VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Arbeitsblatt 4.15. Bl.1 Überschüttete Durchlaßbauwerke in Dämmen, Belastungsannahmen
- [6] VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Arbeitsblatt 5.11. Bl.1 Erdstatische Berechnungsverfahren, Spundwände, Standsicherheitsnachweis
- [7] VEB Projektierung Wasserwirtschaft, WAFRO 5.03. Bl.4 Statik der Rohrleitungen, Krümmwiderlager für Druckrohrleitungen
- [8] Beton-Kalender 1968, II. Teil. Berlin: W. Ernst & Sohn 1968, S.147-184
- [9] Beton-Kalender 1962, II. Teil. Berlin: W. Ernst & Sohn 1962
- [10] Die Stahlsplundwand Hoesch. 6. Auflage, Dortmund: Eigenverlag Hoesch A.G., Westfalenhütte 1965
- [11] Fischer, W.: Silos und Bunker in Stahlbeton. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1966
- [12] Grundbau Taschenbuch Bnd. 1, Berlin: W. Ernst & Sohn 1955
- [13] "Hütte", des Ingenieurs Taschenbuch Bnd. III. 27. Auflage, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1951, S. 909, Abb. 13
- [14] Kärcher, K.: Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen, Modellversuche mit starren Trägern in bindigen Böden. Die Bautechnik 45 (1968) 1, S. 31-33
- [15] Kézdi, A.: Bodenmechanik Bnd. 1. Budapest: VEB Verlag für Bauwesen und Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften 1964

- [16] Ohde, J.: Zur Erddrucklehre.
Die Bautechnik 29 (1952) 8, S. 219-224, Abb. 68
- [17] Ohde, J.: Zur Erddrucklehre.
Die Bautechnik 29 (1952) 11, S. 315-318
- [18] Paul, O.: Erddruck und Erdwiderstand vor starren Baukörpern
endlicher Breite.
Bauplanung - Bautechnik 22 (1968) 9, S. 430-433
- [19] Paul, O.: Der räumliche Erdwiderstand vor eingespannten
Masten.
Mitteilungen Ingenieur- und Tiefbau, Heft 2, 1966
- [20] Schluttig, H.: Baugrundmechanik, 5. Lehrbrief TU Dresden,
II. Ausgabe, Berlin: VEB Verlag Technik 1961
- [21] Sowada, G.: Zur Berechnung des Erddruckes von unterschrittenen
Stützmauern mit rolliger Hinterfüllung.
Bauplanung - Bautechnik 20 (1966) 12, S. 582-587
- [22] Viering, G.: Tabellen für das Bauwesen, Abschnitte Baugrund-
mechanik und Grundbau.
Berlin; Volk und Wissen 1958
- [23] Weissenbach, A.: Der Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen.
Die Bautechnik 37 (1962) 6, S. 204-211

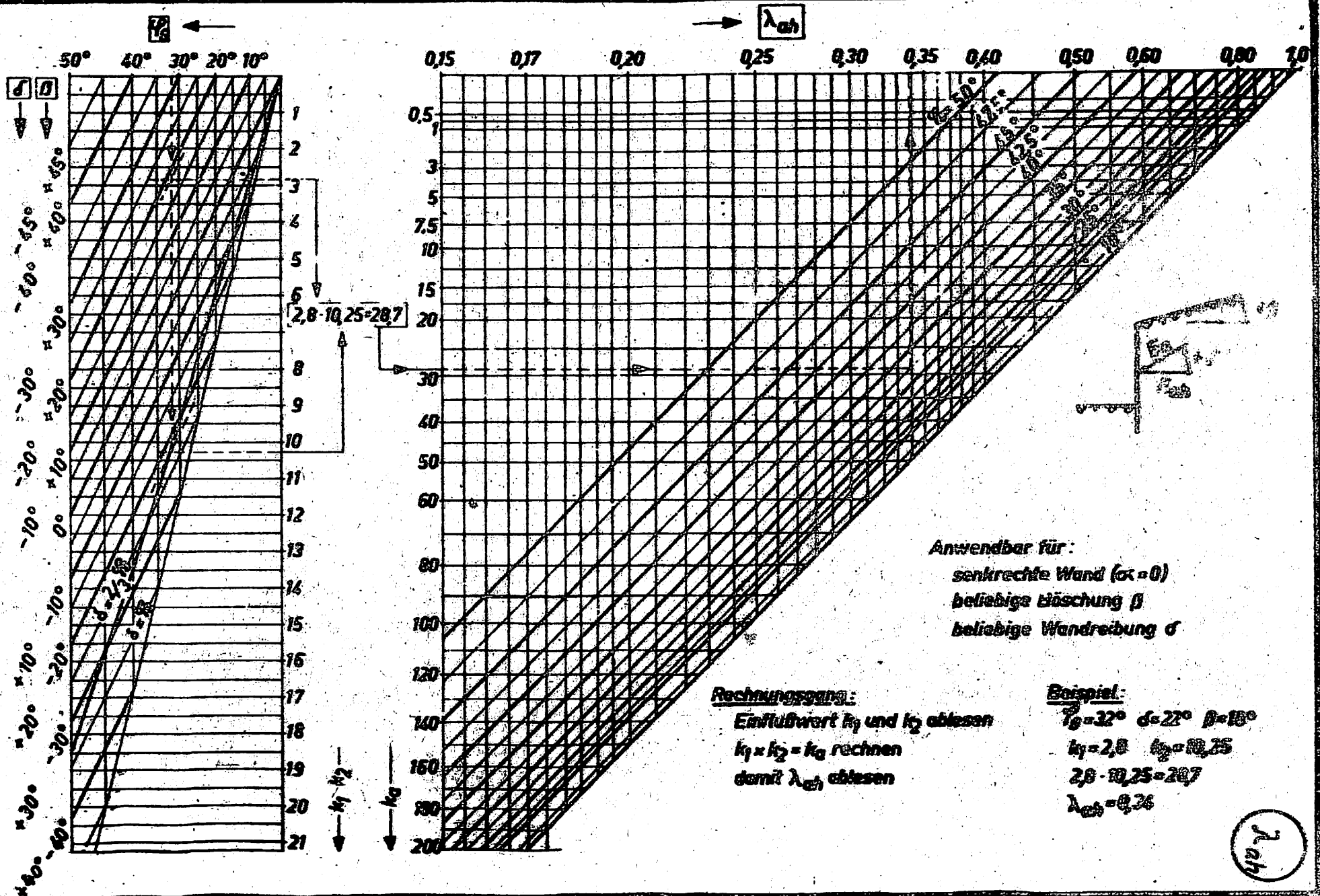


$$\lambda_{ah} = \frac{\cos^2(\varphi_s - \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_s + \delta) \cdot \sin(\varphi_s - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cdot \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2}$$

Netztafel gilt nicht für +β bzw. -δ > 1/3 φ_s
 β ≠ 0, wenn δ = 0 oder β = 0, wenn δ ≠ 0

Bild 16

Bild 17



Anwendbar für:
 senkrechte Wand ($\alpha = 0$)
 beliebige Böschung β
 beliebige Wandreibung δ

Rechnungsgang:
 Einflüßwert k_1 und k_2 ablesen
 $k_1 \cdot k_2 = k_0$ rechnen
 damit λ_{gh} ablesen

Beispiel:
 $\varphi = 32^\circ$ $c = 27$ $\beta = 15^\circ$
 $k_1 = 2.8$ $k_2 = 10.25$
 $2.8 \cdot 10.25 = 28.7$
 $\lambda_{gh} = 0.26$

λ_{gh}

λ_{ah}

α	β	20°					30°					40°					λ_{ah}
		-20°	-10°	0°	$+10^\circ$	$+20^\circ$	-20°	-10°	0°	$+10^\circ$	$+20^\circ$	-20°	-10°	0°	$+10^\circ$	$+20^\circ$	
+ 20°	+ 20°	1,132	1,132	1,132	1,132	1,132	708	708	646	595	547	555	488	454	416	380	
	- 10°	1,132	818	721	651	590	708	605	537	483	435	408	440	396	359	324	
	0°	1,132	721	609	532	470	646	537	468	414	367	454	396	353	316	283	
	- 10°	1,132	651	532	455	394	595	483	414	362	317	416	359	316	281	250	
	- 20°	1,132	590	470	394	335	547	435	367	317	275	380	324	283	250	220	
+ 10°	+ 20°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	661	598	530	502	468	426	385	355	329	306	
	- 10°	1,000	726	644	588	541	598	505	454	413	378	385	344	313	284	265	
	0°	1,000	644	551	489	440	539	454	402	361	326	355	318	283	259	237	
	- 10°	1,000	588	489	426	377	502	413	361	321	288	329	288	253	235	213	
	- 20°	1,000	541	440	377	330	468	378	326	288	256	306	265	237	213	193	
0°	+ 20°	883	883	883	883	883	532	477	441	413	380	315	287	267	250	235	
	- 10°	883	688	569	523	486	477	413	374	344	321	287	258	238	221	207	
	0°	883	569	490	440	401	441	374	333	304	279	267	238	217	201	187	
	- 10°	883	523	440	388	350	413	344	304	275	251	250	221	201	186	172	
	- 20°	883	486	401	350	311	389	321	279	251	227	235	207	187	172	159	
- 10°	+ 20°	773	773	773	773	773	421	375	348	327	311	219	200	187	177	169	
	- 10°	773	551	492	455	426	375	325	298	275	258	209	181	169	159	150	
	0°	773	492	426	385	355	348	296	268	245	228	187	169	156	146	138	
	- 10°	773	455	385	344	313	327	275	245	224	208	177	159	146	137	128	
	- 20°	773	426	355	313	283	311	258	228	208	191	169	150	138	128	121	
- 20°	+ 20°	665	665	665	665	665	312	277	258	244	233	135	124	117	112	108	
	- 10°	665	456	412	382	360	277	240	220	206	195	124	114	107	101	97	
	0°	665	412	357	325	302	258	220	199	185	174	117	107	100	95	90	
	- 10°	665	382	325	292	269	244	206	185	171	160	112	101	96	90	85	
	- 20°	665	360	302	269	246	233	195	174	160	150	108	97	90	85	81	

Bild 18

λ_{ah}

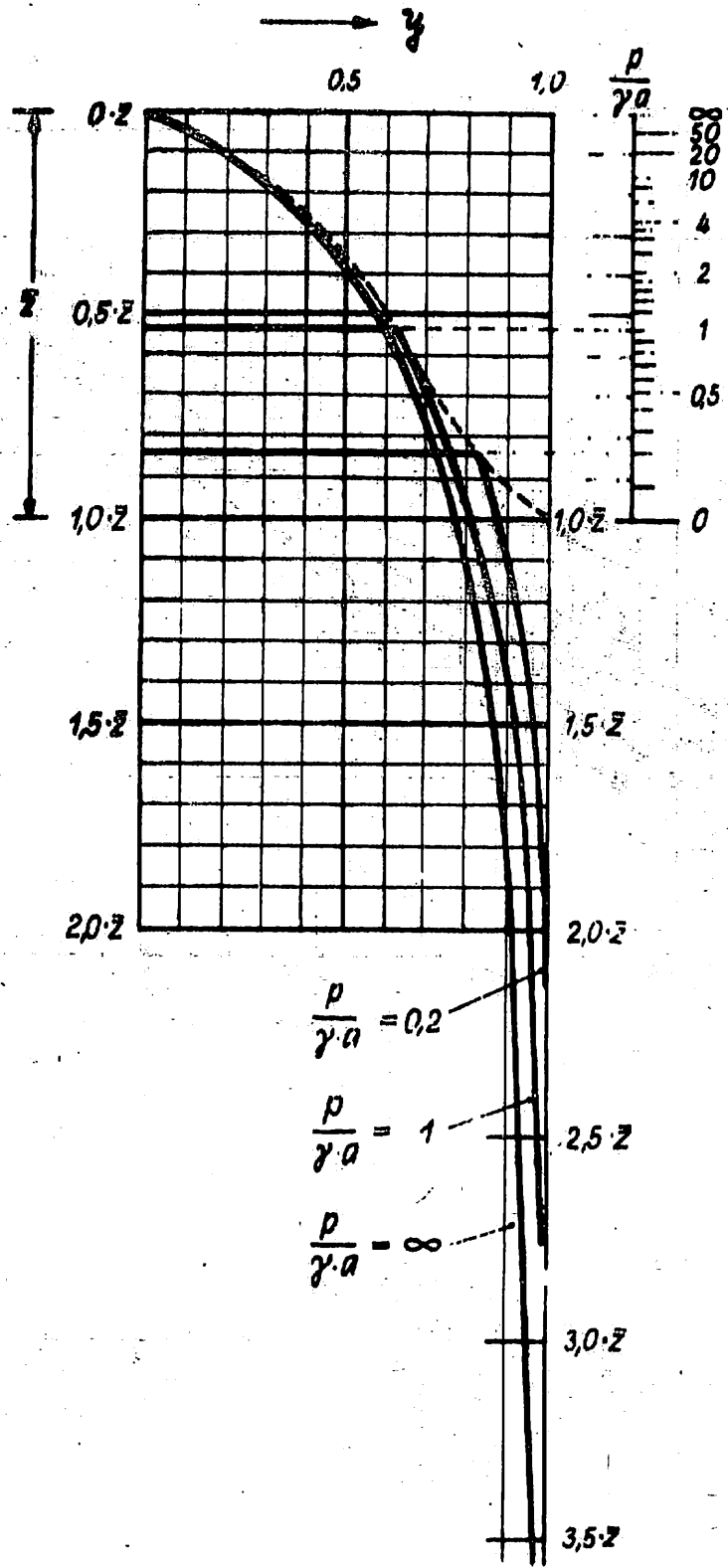


Bild 19

24

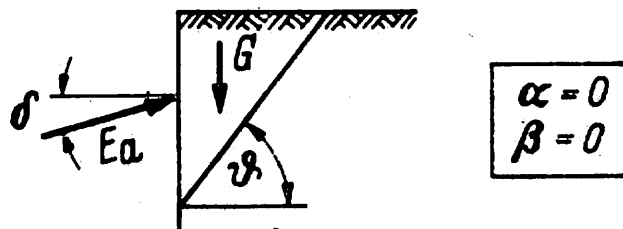
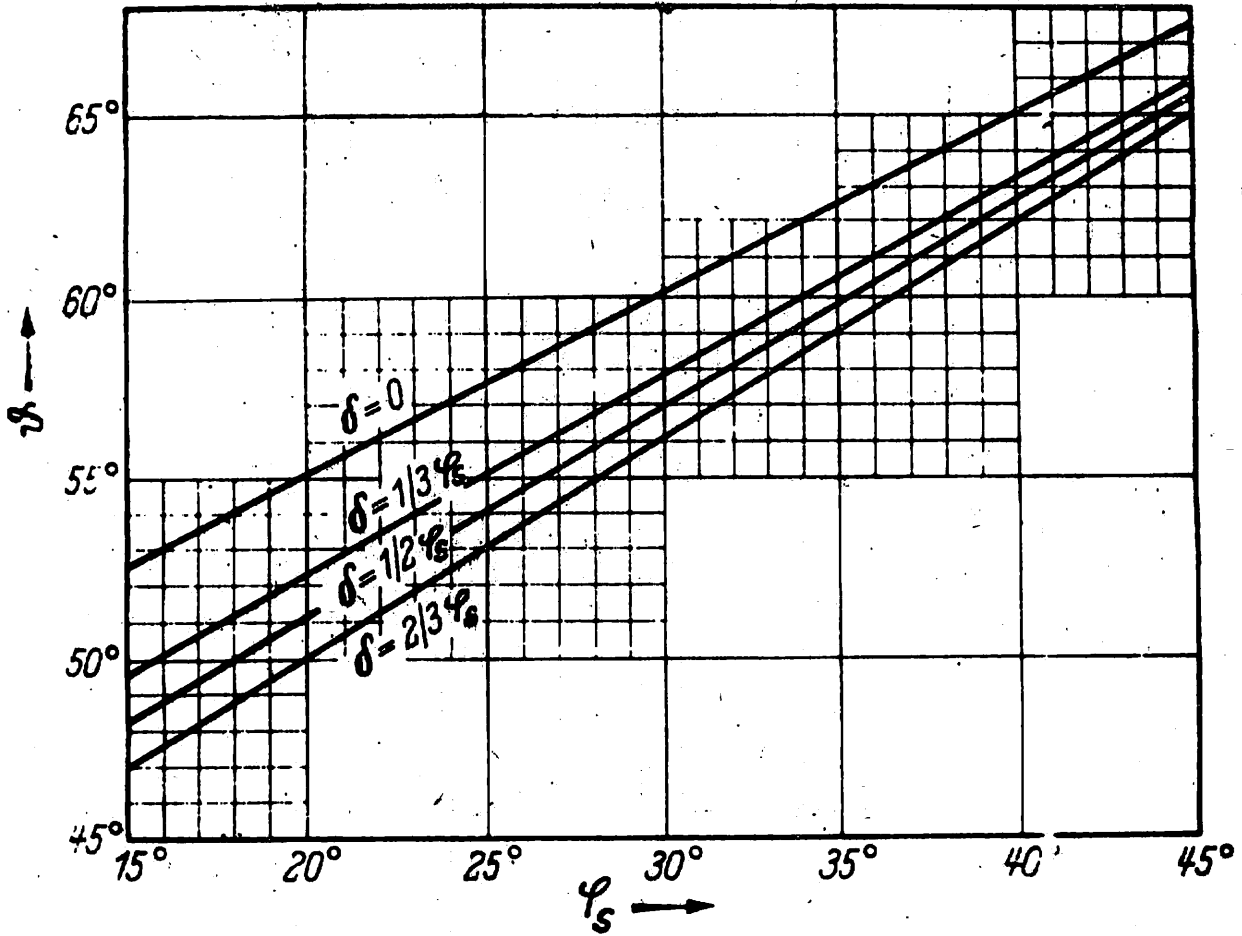
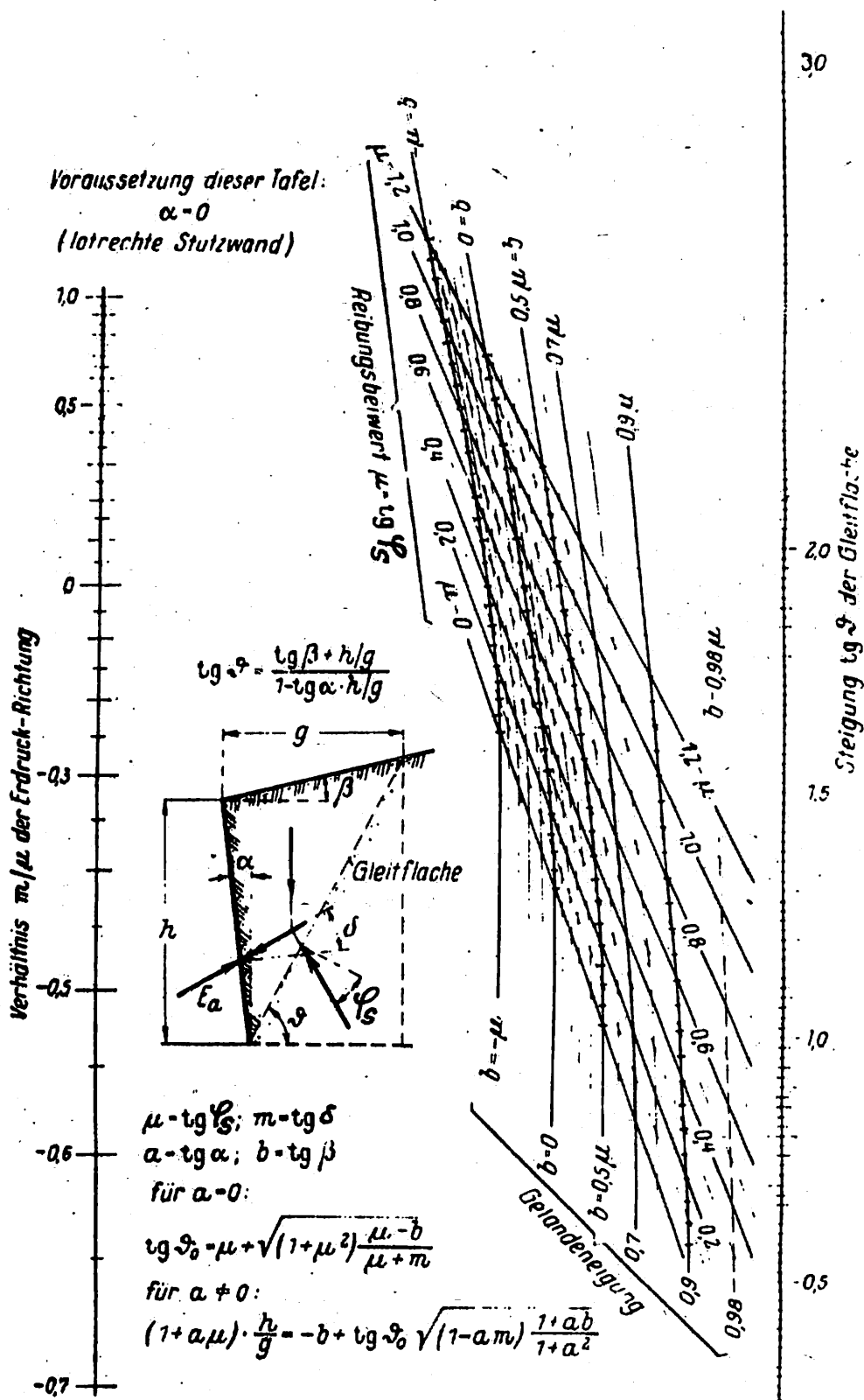
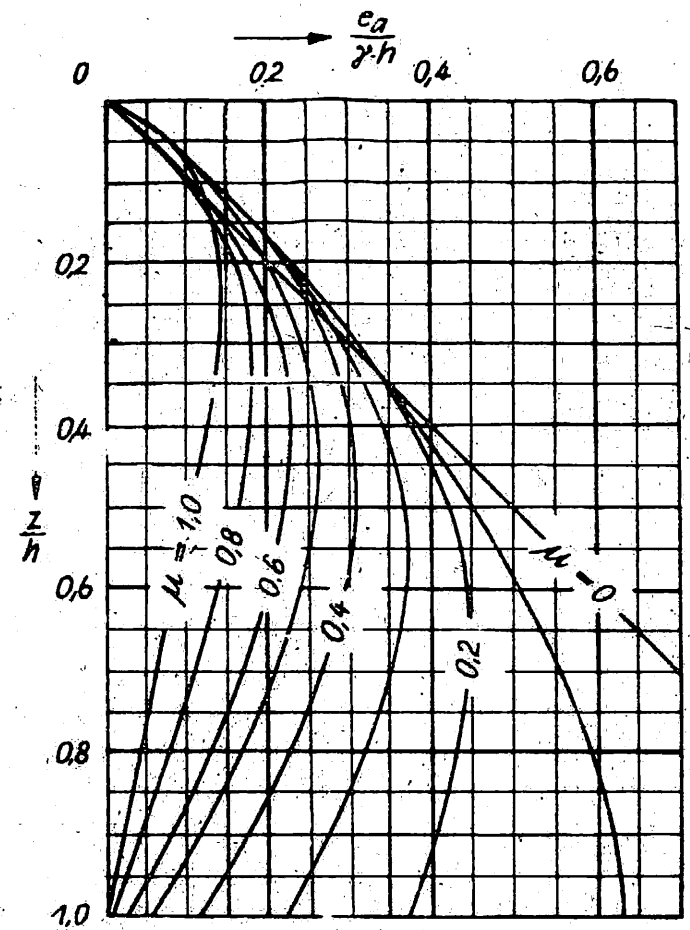


Bild 20



Gleitflächen-Tafel für senkrechte Stützwände.

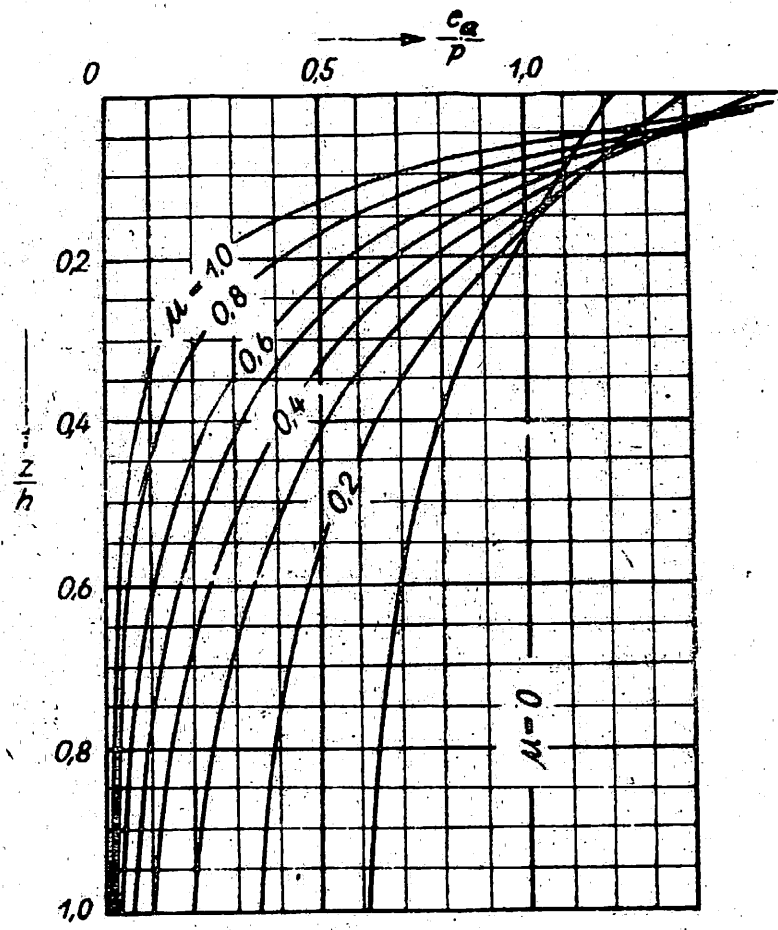
Bild 21



$\mu = \tan \varphi_s$

Erddruckverteilung für Eigengewicht

Bild 22



$\mu = \tan \varphi_s$

Erddruckverteilung für Auflast

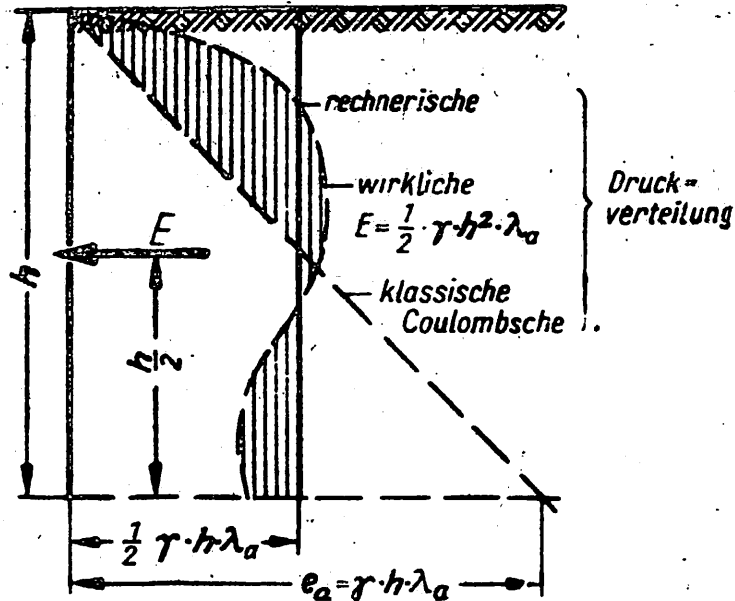
Bild 23

Erddruckverteilung aus Verlagerungsdrücken für die Praxis der Baugrubenaussteifung

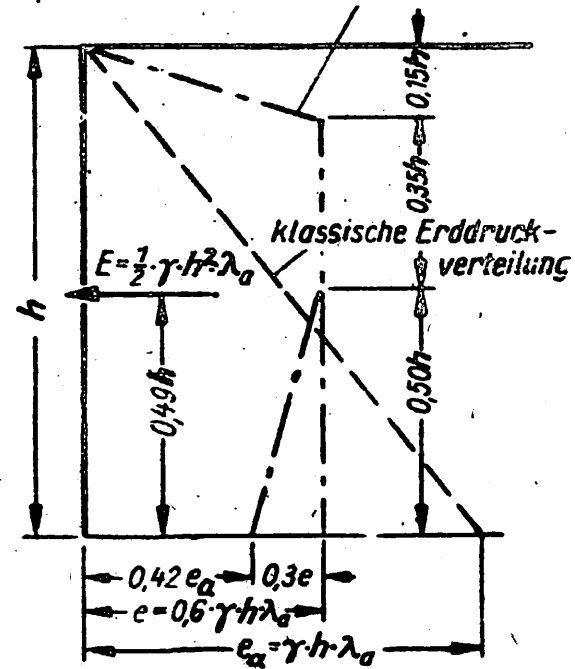
Vereinfachte Druckverteilung nach Klenner

Erddruckverteilung (für tiefere Aushübe) nach Lehmann

Bild 24



Erddruckverteilung für Berechnung



e_a



$\delta = 0$	$\frac{p}{\rho g}$	20°	25°	30°	35°	40°
$\beta = \infty$	-20°	0,682	0,580	0,478	0,379	0,285
	-25°	0,317	0,508	0,403	0,305	0,217
	-30°	0,553	0,439	0,334	0,239	0,158
	-35°	0,491	0,374	0,269	0,179	0,106
	-40°	0,443	0,308	0,208	0,124	0,083
-45°	0,339	0,246	0,149	0,075	0,027	
$\beta = 0,8 \text{ vs}$	-20°	0,480	0,377	0,287	0,212	0,148
	-25°	0,434	0,330	0,242	0,170	0,118
	-30°	0,323	0,264	0,199	0,132	0,091
	-35°	0,342	0,239	0,159	0,098	0,054
	-40°	0,265	0,195	0,120	0,067	0,031
-45°	0,248	0,151	0,084	0,038	0,013	
$\beta = 0,6 \text{ vs}$	-20°	0,431	0,333	0,251	0,183	0,129
	-25°	0,391	0,292	0,213	0,149	0,099
	-30°	0,350	0,253	0,177	0,117	0,073
	-35°	0,310	0,215	0,142	0,083	0,050
	-40°	0,269	0,176	0,103	0,061	0,030
-45°	0,228	0,137	0,076	0,033	0,014	
$\beta = 0,4 \text{ vs}$	-20°	0,402	0,309	0,231	0,169	0,119
	-25°	0,366	0,273	0,198	0,139	0,094
	-30°	0,330	0,237	0,165	0,110	0,070
	-35°	0,292	0,201	0,134	0,084	0,050
	-40°	0,255	0,167	0,104	0,059	0,031
-45°	0,215	0,133	0,078	0,040	0,017	
$\beta = 0,2 \text{ vs}$	-20°	0,383	0,292	0,218	0,160	0,113
	-25°	0,349	0,259	0,188	0,132	0,089
	-30°	0,315	0,226	0,159	0,106	0,068
	-35°	0,281	0,194	0,129	0,082	0,049
	-40°	0,245	0,162	0,102	0,060	0,031
-45°	0,208	0,130	0,075	0,040	0,017	
$\beta = 0$	-20°	0,367	0,280	0,210	0,153	0,109
	-25°	0,337	0,249	0,181	0,128	0,087
	-30°	0,308	0,219	0,154	0,104	0,067
	-35°	0,273	0,189	0,127	0,081	0,049
	-40°	0,240	0,159	0,101	0,059	0,031
-45°	0,205	0,129	0,075	0,040	0,017	
$\beta = -0,2 \text{ vs}$	-15°	0,384	0,298	0,229	0,173	0,128
	-20°	0,355	0,270	0,202	0,148	0,108
	-25°	0,327	0,242	0,176	0,125	0,085
	-30°	0,297	0,214	0,150	0,102	0,066
	-35°	0,267	0,186	0,125	0,081	0,048
-40°	0,235	0,157	0,099	0,060	0,033	
-45°	0,202	0,127	0,075	0,041	0,018	
$\beta = -0,4 \text{ vs}$	-15°	0,373	0,289	0,222	0,166	0,124
	-20°	0,346	0,263	0,197	0,145	0,103
	-25°	0,319	0,238	0,172	0,121	0,084
	-30°	0,291	0,209	0,147	0,099	0,065
	-35°	0,261	0,182	0,123	0,079	0,048
-40°	0,231	0,154	0,099	0,060	0,033	
-45°	0,199	0,126	0,075	0,041	0,018	
$\beta = -0,6 \text{ vs}$	-15°	0,363	0,281	0,215	0,164	0,120
	-20°	0,338	0,256	0,192	0,142	0,101
	-25°	0,312	0,231	0,168	0,119	0,083
	-30°	0,285	0,206	0,144	0,099	0,065
	-35°	0,258	0,179	0,121	0,078	0,048
-40°	0,229	0,153	0,098	0,060	0,033	
-45°	0,197	0,124	0,075	0,041	0,018	
$\beta = -0,8 \text{ vs}$	-10°	0,373	0,296	0,231	0,179	0,136
	-15°	0,355	0,274	0,210	0,158	0,117
	-20°	0,332	0,251	0,187	0,138	0,099
	-25°	0,307	0,227	0,166	0,118	0,082
	-30°	0,281	0,202	0,143	0,098	0,064
-35°	0,254	0,177	0,120	0,078	0,048	
-40°	0,225	0,150	0,097	0,059	0,031	
-45°	0,194	0,123	0,074	0,040	0,017	
$\beta = -\infty$	-10°	0,376	0,294	0,229	0,178	0,135
	-15°	0,354	0,273	0,210	0,159	0,118
	-20°	0,332	0,252	0,189	0,139	0,101
	-25°	0,309	0,230	0,168	0,120	0,084
	-30°	0,283	0,204	0,148	0,100	0,066
-35°	0,256	0,178	0,122	0,082	0,049	
-40°	0,228	0,153	0,099	0,064	0,033	
-45°	0,197	0,126	0,075	0,041	0,017	

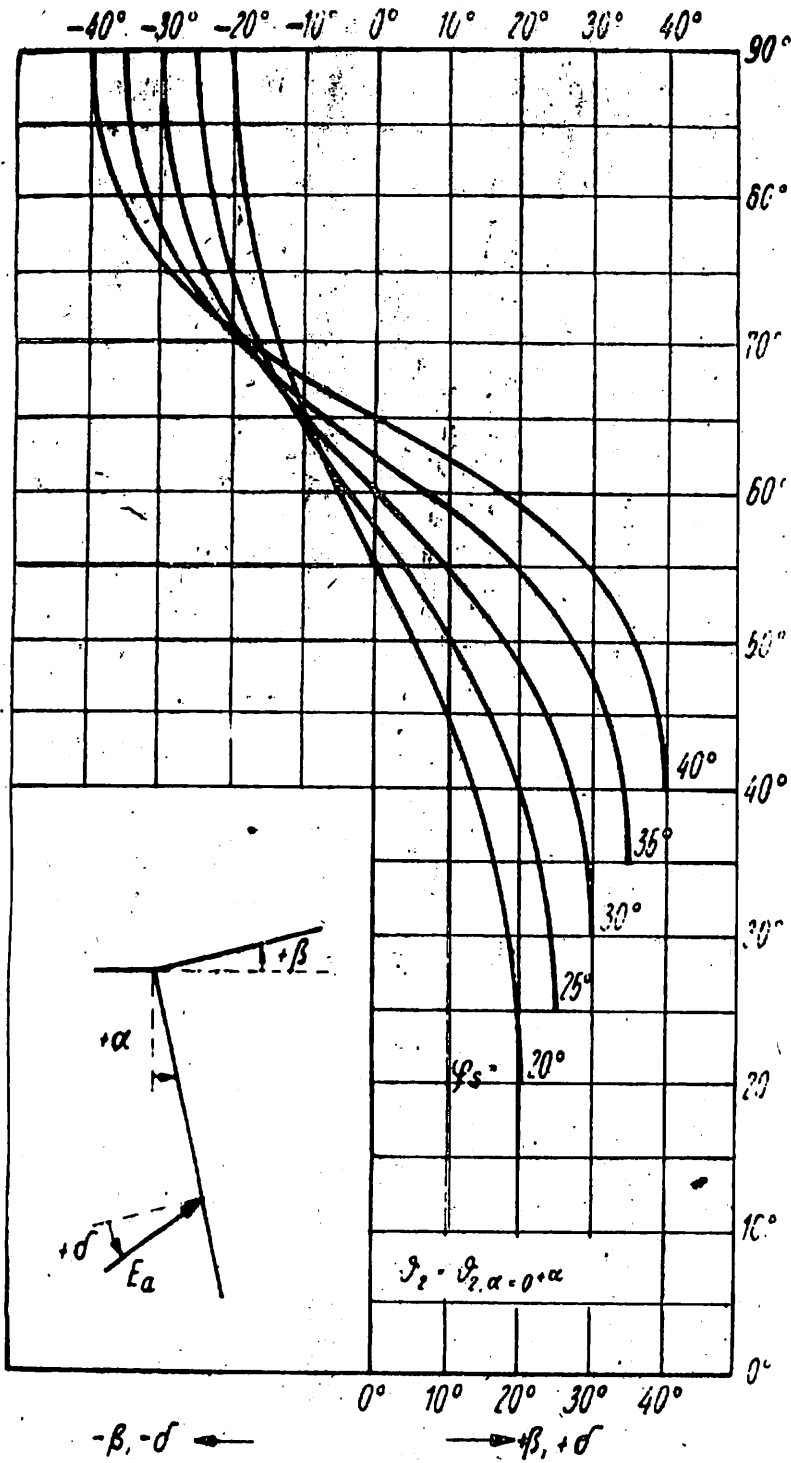
Bild 25

λ_{ah}

$\alpha = \frac{D}{s} \cdot \frac{1}{\nu_s}$	$\alpha \cdot \frac{1}{\nu_s}$	20°	25°	30°	35°	40°
$\beta = \nu_s$	-20°	0,665	0,566	0,465	0,373	0,284
	-25°	0,609	0,505	0,402	0,308	0,222
	-30°	0,556	0,444	0,340	0,245	0,165
	-35°	0,500	0,384	0,279	0,188	0,115
	-40°	0,445	0,324	0,219	0,134	0,068
	-45°	0,393	0,261	0,160	0,084	0,030
$\beta = 0,9 \nu_s$	-20°	0,484	0,395	0,271	0,199	0,141
	-25°	0,415	0,318	0,230	0,163	0,110
	-30°	0,375	0,273	0,193	0,128	0,090
	-35°	0,333	0,234	0,155	0,098	0,064
	-40°	0,290	0,193	0,118	0,067	0,031
	-45°	0,248	0,151	0,083	0,041	0,013
$\beta = 0,8 \nu_s$	-20°	0,402	0,308	0,233	0,171	0,120
	-25°	0,355	0,276	0,200	0,141	0,095
	-30°	0,333	0,241	0,168	0,112	0,072
	-35°	0,297	0,207	0,135	0,086	0,050
	-40°	0,250	0,172	0,107	0,062	0,031
	-45°	0,220	0,138	0,078	0,039	0,015
$\beta = 0,4 \nu_s$	-20°	0,373	0,283	0,213	0,156	0,110
	-25°	0,342	0,254	0,184	0,130	0,089
	-30°	0,310	0,225	0,157	0,108	0,068
	-35°	0,278	0,194	0,129	0,081	0,0-8
	-40°	0,244	0,161	0,102	0,060	0,031
	-45°	0,208	0,130	0,078	0,039	0,015
$\beta = 0,2 \nu_s$	-20°	0,352	0,267	0,199	0,147	0,104
	-25°	0,324	0,239	0,174	0,124	0,085
	-30°	0,295	0,213	0,150	0,102	0,065
	-35°	0,266	0,184	0,124	0,080	0,047
	-40°	0,234	0,155	0,100	0,058	0,031
	-45°	0,201	0,127	0,074	0,039	0,017
$\beta = 0$	-20°	0,337	0,255	0,180	0,140	0,100
	-25°	0,310	0,229	0,167	0,119	0,082
	-30°	0,284	0,203	0,145	0,088	0,064
	-35°	0,257	0,178	0,121	0,078	0,047
	-40°	0,227	0,152	0,098	0,058	0,031
	-45°	0,188	0,123	0,074	0,041	0,017
$\beta = -0,2 \nu_s$	-15°	0,346	0,267	0,204	0,153	0,115
	-20°	0,323	0,245	0,182	0,135	0,096
	-25°	0,300	0,222	0,161	0,116	0,080
	-30°	0,275	0,198	0,139	0,098	0,064
	-35°	0,248	0,174	0,118	0,077	0,047
	-40°	0,221	0,149	0,096	0,058	0,031
-45°	0,191	0,121	0,074	0,041	0,017	
$\beta = -0,4 \nu_s$	-15°	0,333	0,256	0,185	0,148	0,111
	-20°	0,313	0,236	0,177	0,130	0,094
	-25°	0,290	0,215	0,156	0,112	0,078
	-30°	0,267	0,192	0,137	0,094	0,063
	-35°	0,243	0,168	0,115	0,078	0,047
	-40°	0,215	0,145	0,095	0,057	0,031
-45°	0,187	0,120	0,073	0,041	0,017	
$\beta = -0,6 \nu_s$	-15°	0,323	0,248	0,180	0,143	0,106
	-20°	0,303	0,229	0,172	0,127	0,091
	-25°	0,282	0,209	0,151	0,110	0,077
	-30°	0,260	0,187	0,130	0,092	0,061
	-35°	0,235	0,165	0,111	0,074	0,046
	-40°	0,210	0,140	0,093	0,057	0,031
-45°	0,182	0,118	0,073	0,039	0,017	
$\beta = -0,8 \nu_s$	-10°	0,331	0,258	0,200	0,155	0,119
	-15°	0,313	0,240	0,182	0,138	0,103
	-20°	0,295	0,222	0,165	0,123	0,089
	-25°	0,274	0,203	0,148	0,107	0,074
	-30°	0,253	0,182	0,130	0,090	0,060
	-35°	0,230	0,161	0,111	0,073	0,046
-40°	0,206	0,138	0,089	0,058	0,030	
-45°	0,177	0,114	0,069	0,037	0,015	
$\beta = -\nu_s$	-10°	0,325	0,252	0,197	0,152	0,117
	-15°	0,309	0,236	0,180	0,137	0,102
	-20°	0,291	0,220	0,164	0,122	0,089
	-25°	0,272	0,201	0,148	0,107	0,074
	-30°	0,252	0,182	0,130	0,090	0,060
	-35°	0,229	0,159	0,111	0,073	0,046
-40°	0,204	0,138	0,089	0,058	0,030	
-45°	0,177	0,113	0,069	0,037	0,015	

Bild 26

$\vartheta_{1,2}$



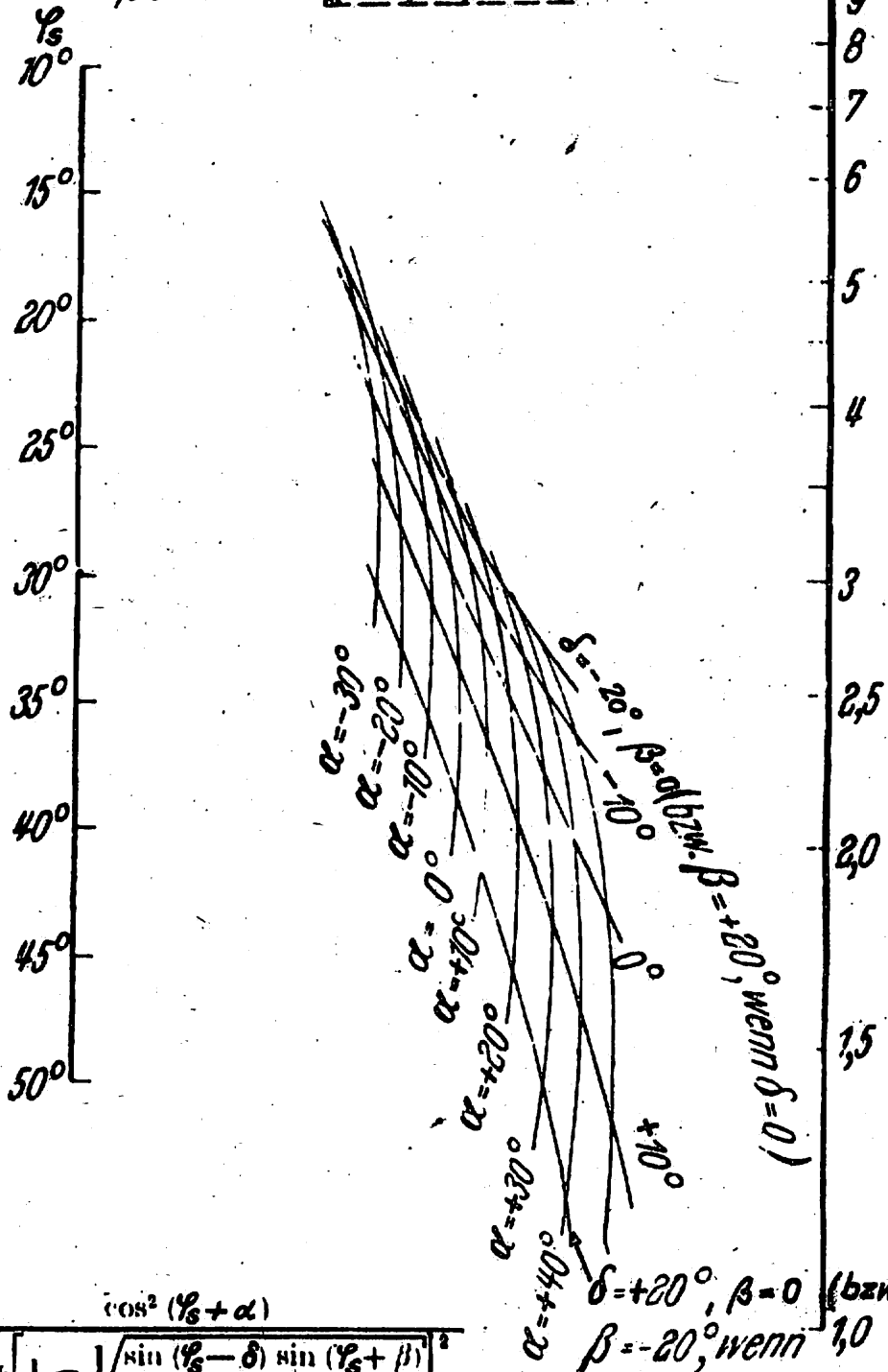
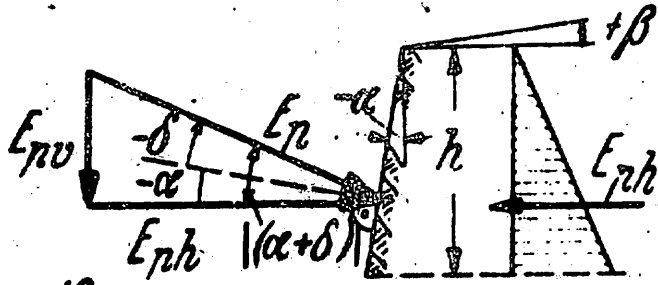
Ermittlung d. ϑ -Werte:

ϑ_1 : Kurve ϑ_s mit Abszisse β zum Schnitt bringen, auf der Ordinate ϑ_1 ablesen

ϑ_2 : Kurve ϑ_s mit Abszisse δ zum Schnitt bringen, auf der Ordinate $\vartheta_{2,\alpha=0}$ ablesen,
 $\vartheta_2 = \vartheta_{2,\alpha=0} + \alpha$

Bild 27

λ_{ph}

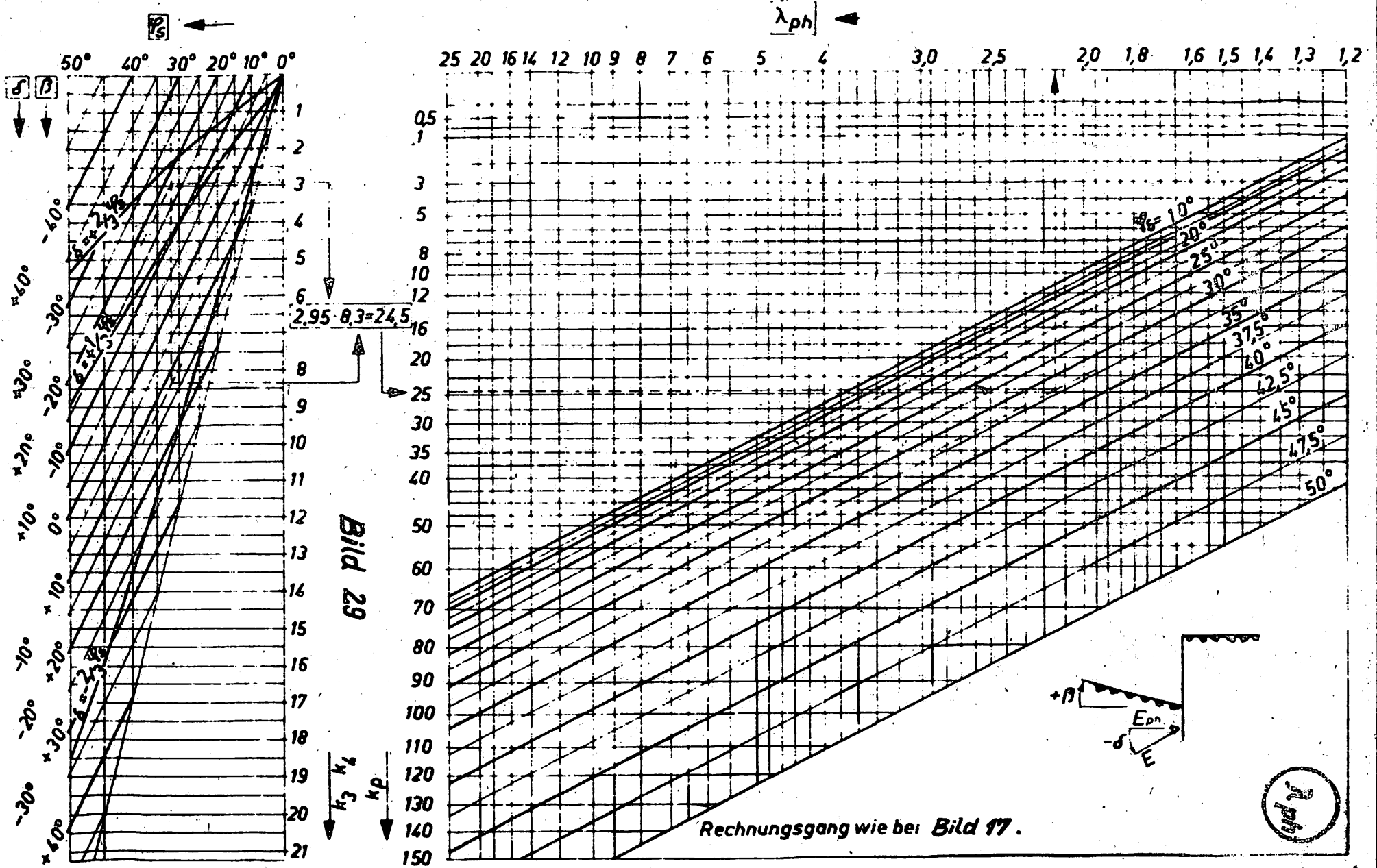


$$\lambda_{ph} = \frac{\cos^2(\gamma_s + \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\gamma_s - \delta) \sin(\gamma_s + \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(-\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Netztafel gilt nicht für $-\beta$ bzw. $+\delta > \frac{1}{2} \gamma_s$

$\delta = +20^\circ, \beta = 0$ (bzw. $\beta = -20^\circ$, wenn $\delta = 0$)

Bild 28

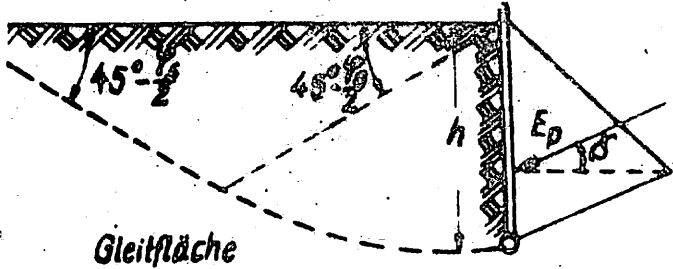


β	δ	20°					30°					40°				
		-20°	-10°	0°	+10°	+20°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°
		(2.7h)														
+20°	+20°	5,205	3,616	2,492	1,618	0,665	8,545	5,453	3,578	2,310	1,375	15,768	8,807	5,338	3,300	1,981
	-10°	3,616	2,742	2,045	1,434	0,665	5,453	3,880	2,773	1,970	1,235	8,807	5,340	3,870	2,603	1,679
	0°	2,492	2,045	1,643	1,248	0,665	3,578	2,773	2,137	1,595	1,098	5,338	3,870	2,837	2,050	1,414
	-10°	1,618	1,434	1,218	1,040	0,665	2,310	1,930	1,595	1,278	0,952	3,300	2,603	2,050	1,585	1,168
	-20°	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665	1,375	1,235	1,098	0,952	0,782	1,981	1,679	1,414	1,168	0,924
+10°	+20°	6,415	4,208	2,816	1,816	0,773	12,254	7,052	4,381	2,763	1,653	29,291	13,252	7,251	4,266	2,526
	+10°	4,208	3,093	2,272	1,597	0,773	7,052	4,742	3,292	2,269	1,472	13,252	7,780	4,966	3,258	2,104
	0°	2,816	2,272	1,815	1,387	0,773	4,381	3,292	2,496	1,861	1,305	7,251	4,966	3,534	2,526	1,757
	-10°	1,816	1,597	1,387	1,194	0,773	2,763	2,269	1,861	1,496	1,136	4,266	3,258	2,526	1,946	1,452
	-20°	0,773	0,773	0,773	0,773	0,773	1,653	1,472	1,305	1,136	0,946	2,526	2,104	1,757	1,452	1,164
0°	+20°	8,849	5,275	3,311	2,073	0,883	21,931	10,242	5,736	3,426	2,003	65,461	24,967	11,063	5,876	3,312
	+10°	5,275	3,644	2,594	1,799	0,883	10,242	6,221	4,081	2,731	1,760	24,967	11,895	6,839	4,249	2,680
	0°	3,311	2,594	2,040	1,551	0,883	5,736	4,081	3,000	2,203	1,548	11,063	6,839	4,599	3,193	2,200
	-10°	2,073	1,799	1,551	1,301	0,883	3,426	2,731	2,203	1,760	1,345	5,876	4,249	3,193	2,421	1,805
	-20°	0,883	0,883	0,883	0,883	0,883	2,003	1,760	1,548	1,345	1,128	3,312	2,680	2,200	1,805	1,451
-10°	+20°	15,047	7,242	4,125	2,435	1,000	68,252	18,458	8,366	4,496	2,488	∞	82,022	20,978	9,978	4,585
	+10°	7,242	4,563	3,077	2,065	1,000	18,458	9,124	5,398	3,414	2,137	82,022	22,645	10,569	5,915	3,553
	0°	4,125	3,077	2,347	1,757	1,000	8,366	5,398	3,757	2,675	1,854	20,978	10,569	6,415	4,203	2,816
	-10°	2,435	2,065	1,757	1,465	1,000	4,496	3,414	2,675	2,103	1,600	9,014	5,915	4,203	3,093	2,272
	-20°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,488	2,137	1,854	1,600	1,341	4,585	3,533	2,816	2,272	1,815
-20°	+20°	41,801	12,263	5,658	2,992	1,133	→∞	57,257	14,999	6,511	3,227	∞	∞	68,756	17,019	6,995
	+10°	12,263	6,338	3,860	2,444	1,133	57,257	16,526	7,954	4,530	2,673	∞	74,961	20,273	9,194	4,938
	0°	5,658	3,860	2,800	2,031	1,133	14,999	7,954	5,017	3,379	2,267	68,765	20,278	10,021	5,929	3,750
	-10°	2,992	2,444	2,031	1,169	1,133	6,511	4,530	3,379	2,578	1,930	17,019	9,194	5,929	4,126	2,938
	-20°	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	3,227	2,673	2,267	1,930	1,608	6,995	4,938	3,750	2,938	2,310

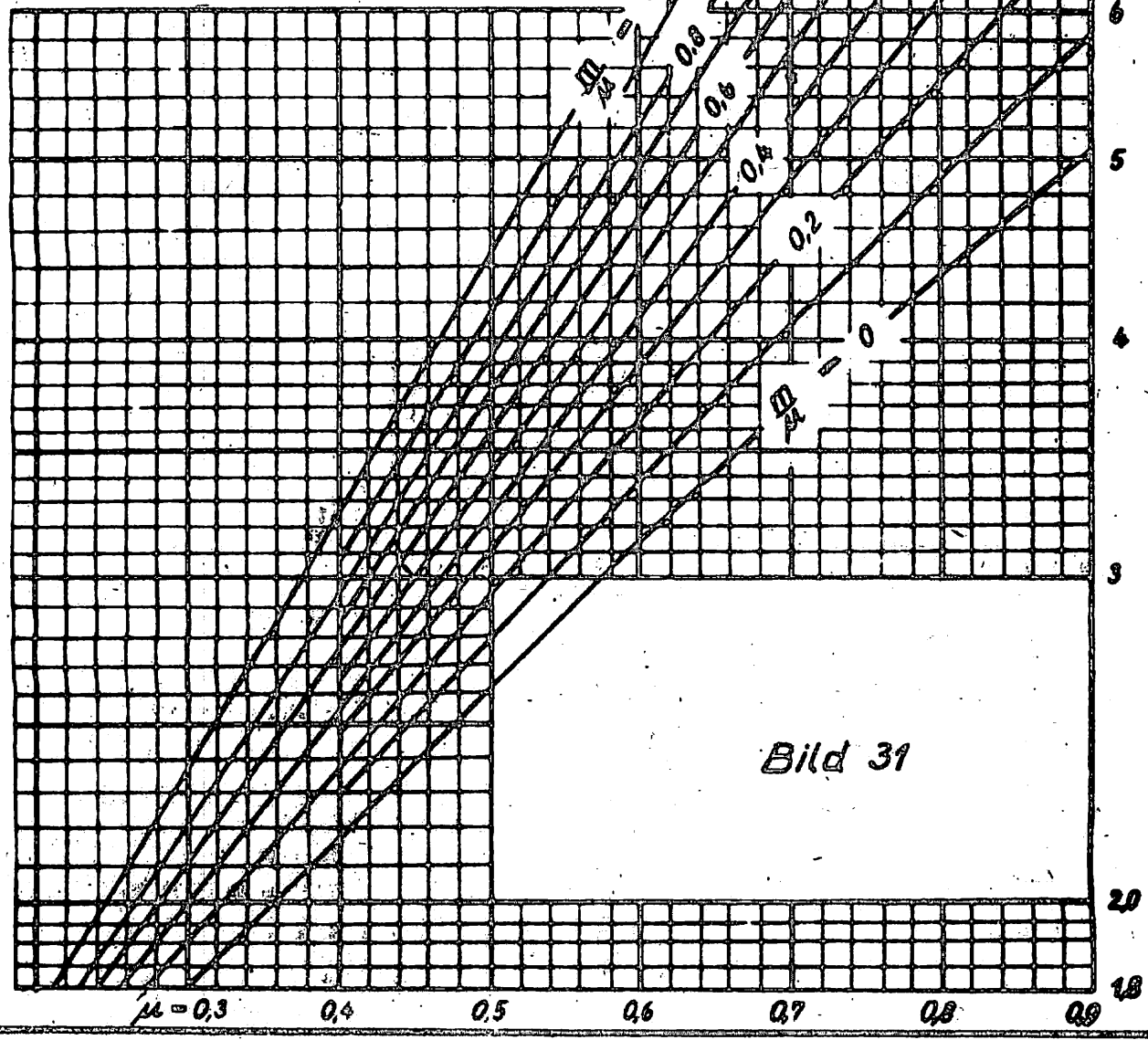
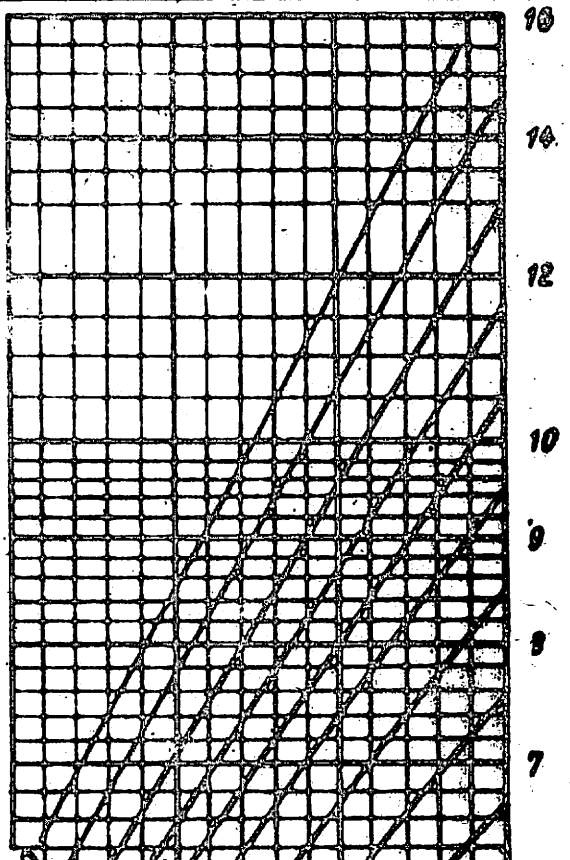
Bild 30

WAPRO 8.06. Seite 29

λ_p



$m = \tan \delta$
 $\mu = \tan \varphi_s$



Verhältnisziffer λ_p

Bild 31

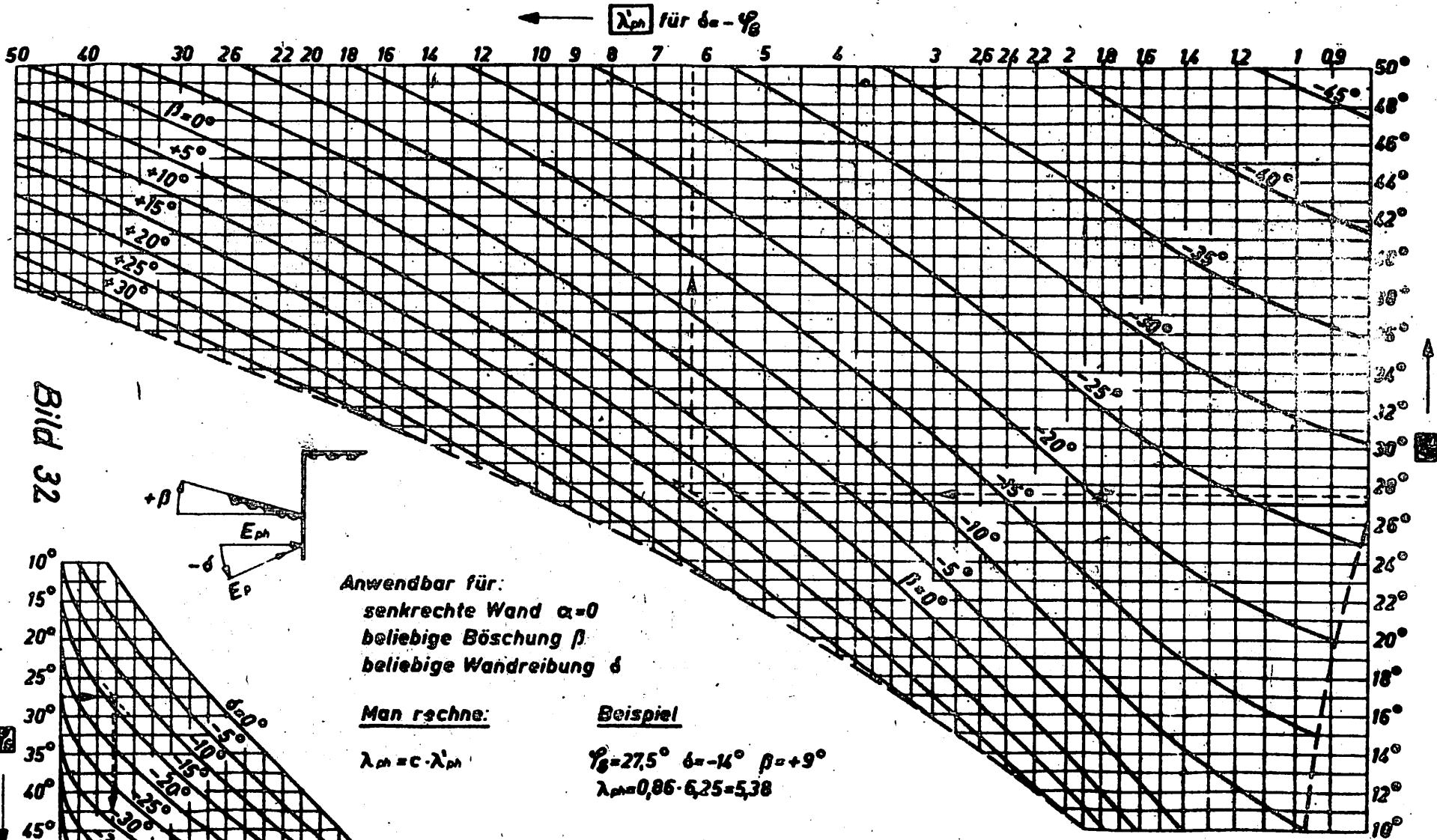
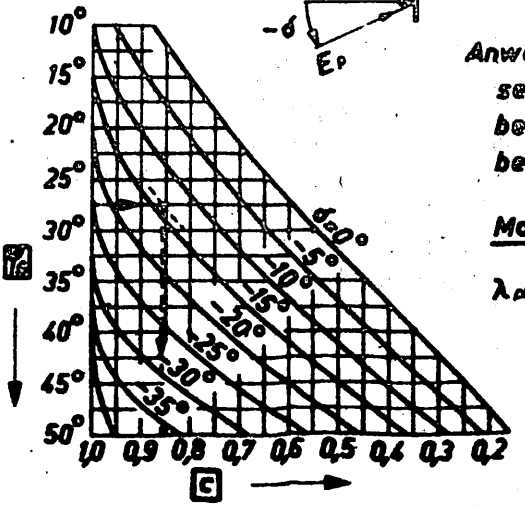


Bild 32



Anwendbar für:
 senkrechte Wand $\alpha=0$
 beliebige Böschung β
 beliebige Wandreibung δ

Man rechne:

$\lambda_{ph} = c \cdot \lambda_{ph}$

Beispiel

$\varphi_B = 27,5^\circ$ $\delta = -14^\circ$ $\beta = +9^\circ$
 $\lambda_{ph} = 0,86 \cdot 6,25 = 5,38$

λ_{ph}

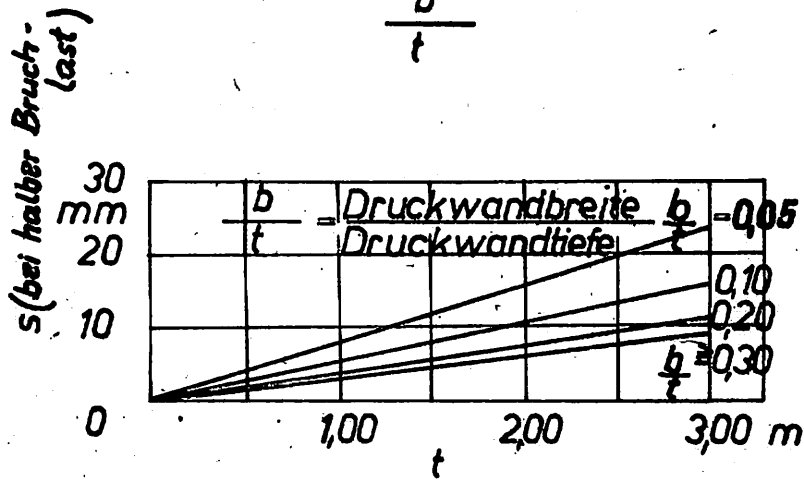
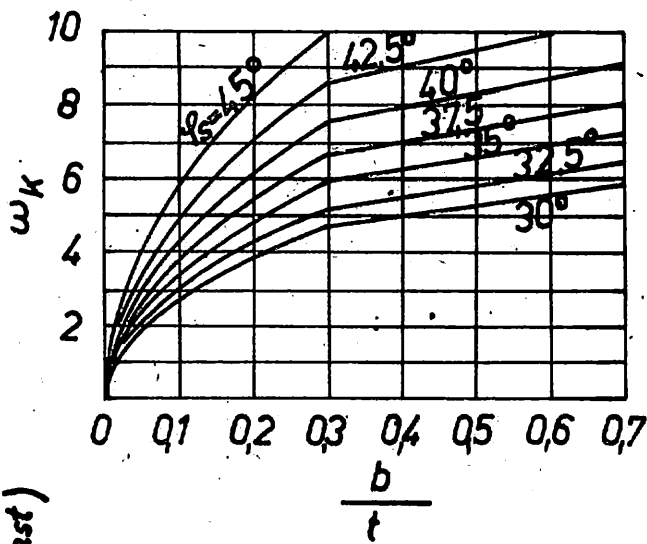
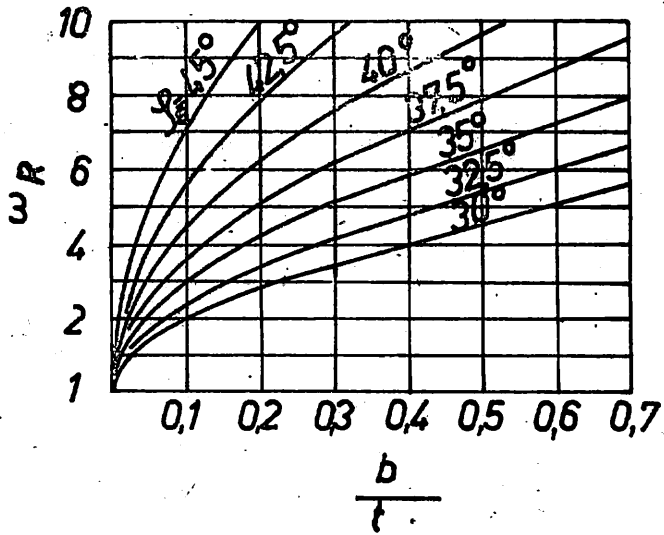
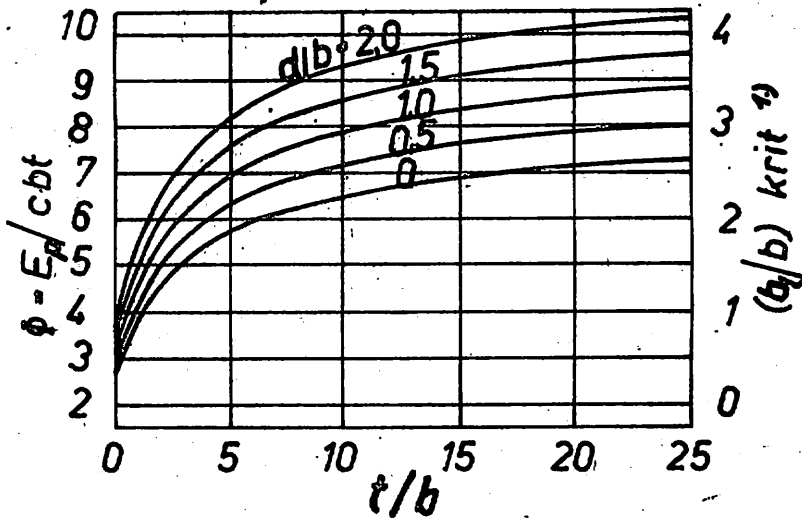


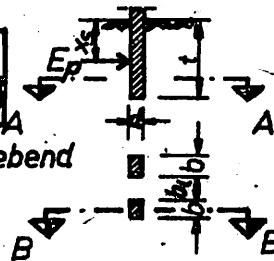
Bild 33



$$E_p = \begin{cases} c \cdot b \cdot t \cdot \phi \\ c \cdot b \cdot t \cdot 2 \left(\frac{b_1}{b} + 1 \right) \end{cases}$$

der kleinere Wert ist maßgebend

$$x_{S1}/t \approx 0,53$$



Schnitt B-B

Schnitt A-A

1.) Wenn $b_1/b = (b_1/b)_{krit.}$ ist sinngemäß nach Abschnitt 4.2.1.1b) zu verfahren.

Bild 34

λ_{ar}

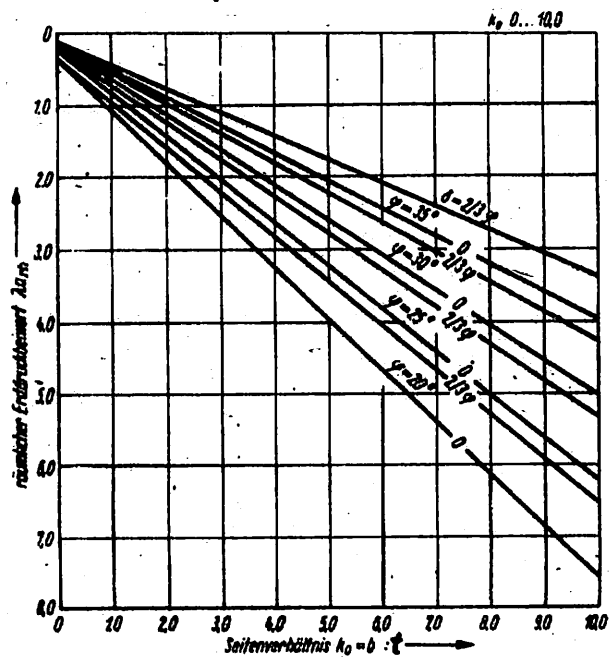
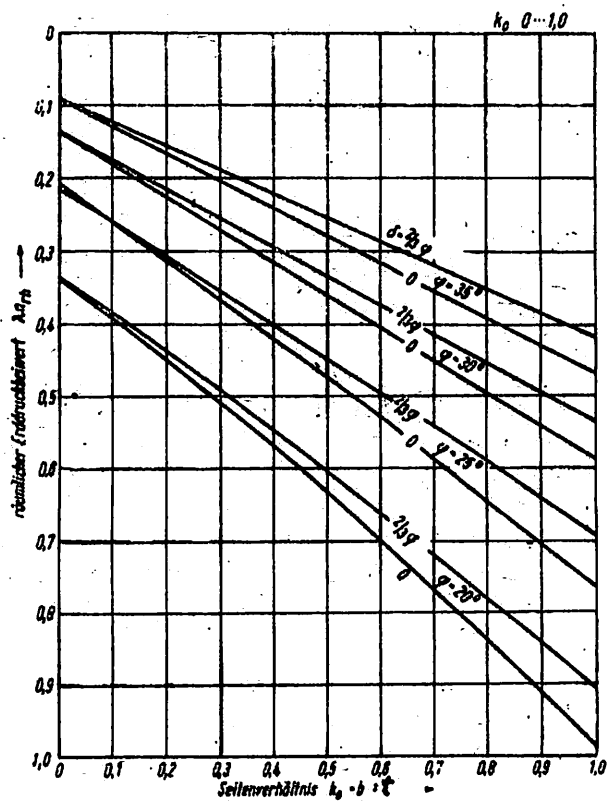


Bild 35



Beiwerte λ_R

$\delta \backslash \varphi$	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50
0	1,70	1,86	2,04	2,24	2,47	2,71	3,00	3,32	3,70	4,11	4,60	5,16	5,82	6,62	7,55
5	1,87	2,05	2,28	2,51	2,79	3,08	3,45	3,86	4,31	4,86	5,48	6,22	7,09	8,10	9,43
10	2,01	2,22	2,48	2,75	3,08	3,43	3,87	4,35	4,91	5,59	6,36	7,28	8,40	9,70	11,5
15	2,25	2,38	2,67	2,98	3,35	3,76	4,27	4,83	5,50	6,31	7,24	8,38	9,77	11,5	13,6
17,5		2,63	2,77	3,09	3,48	3,92	4,46	5,07	5,80	6,67	7,69	8,95	10,5	12,4	14,7
20			3,11	3,23	3,62	4,08	4,66	5,31	6,10	7,03	8,15	9,83	11,2	13,3	15,9
22,5				3,70	3,81	4,27	4,86	5,56	6,41	7,41	8,62	10,1	12,0	14,3	17,2
25					4,40	4,51	5,11	5,84	6,72	7,82	9,12	10,7	12,8	15,3	18,5
27,5						5,24	5,46	6,15	7,12	8,27	9,64	11,4	13,6	16,4	19,9
30							6,75	6,65	7,57	8,77	10,2	12,1	14,5	17,5	21,5
32,5								8,55	8,25	9,46	11,0	13,0	15,6	18,9	23,2
35									11,2	10,5	12,0	14,1	16,9	20,6	25,3
37,5										15,1	13,6	15,7	18,5	22,5	27,9
40											21,2	18,3	21,0	25,4	31,1
42,5												31,9	25,5	29,8	36,0
45													53,1		43,9

Beiwerte λ_K

$\delta \backslash \varphi$	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50
0	1,30	1,36	1,43	1,50	1,57	1,65	1,73	1,82	1,92	2,03	2,14	2,27	2,41	2,57	2,75
5	1,44	1,52	1,60	1,68	1,77	1,87	1,98	2,09	2,23	2,38	2,54	2,71	2,92	3,15	3,41
10	1,58	1,65	1,74	1,84	1,95	2,07	2,20	2,34	2,52	2,70	2,91	3,13	3,40	3,70	4,05
15	1,79	1,77	1,86	1,97	2,10	2,24	2,39	2,56	2,76	2,98	3,23	3,51	3,84	4,22	4,65
17,5		1,92	1,92	2,03	2,16	2,31	2,47	2,66	2,87	3,11	3,38	3,69	4,05	4,46	4,94
20			2,08	2,09	2,22	2,37	2,55	2,75	2,97	3,23	3,52	3,86	4,25	4,70	5,22
22,5				2,27	2,29	2,43	2,62	2,82	3,06	3,34	3,65	4,02	4,43	4,84	5,49
25					2,48	2,50	2,69	2,89	3,15	3,45	3,77	4,16	4,61	5,14	5,75
27,5						2,73	2,77	2,96	3,23	3,54	3,88	4,29	4,77	5,34	6,00
30							3,03	3,05	3,32	3,63	3,99	4,41	4,93	5,54	6,24
32,5								3,39	3,42	3,73	4,11	4,54	5,08	5,73	6,48
35									3,87	3,87	4,24	4,68	5,24	5,93	6,72
37,5										4,48	4,42	4,86	5,42	6,14	6,98
40											5,30	5,12	5,67	6,42	7,29
42,5												6,45	6,08	6,78	7,68
45													8,28		8,29

Bild 37

φ	15°	20°	25°	30°	35°	40°
λ'_{ar}	0,535	0,333	0,216	0,140	0,094	0,055
λ'_{pr}	1,152	1,827	2,801	4,262	6,543	10,274

Bild 36

λ_{pr}

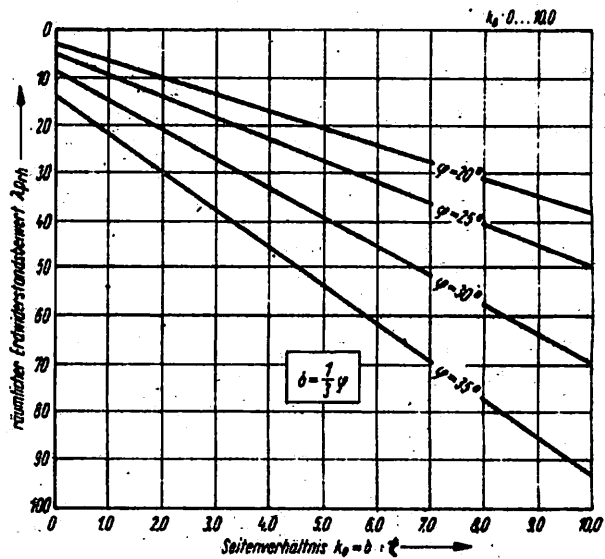
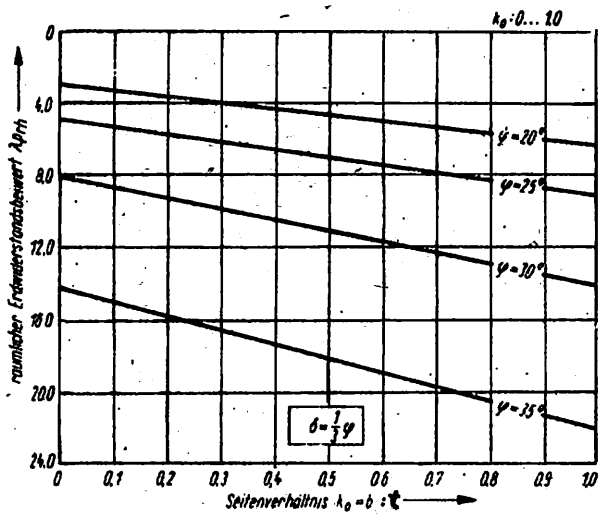
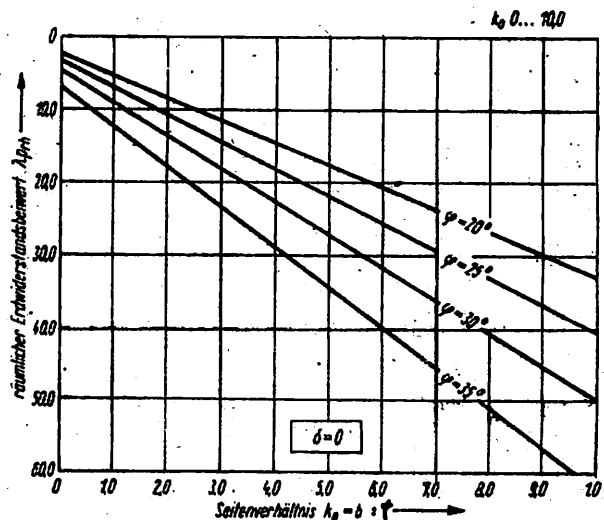
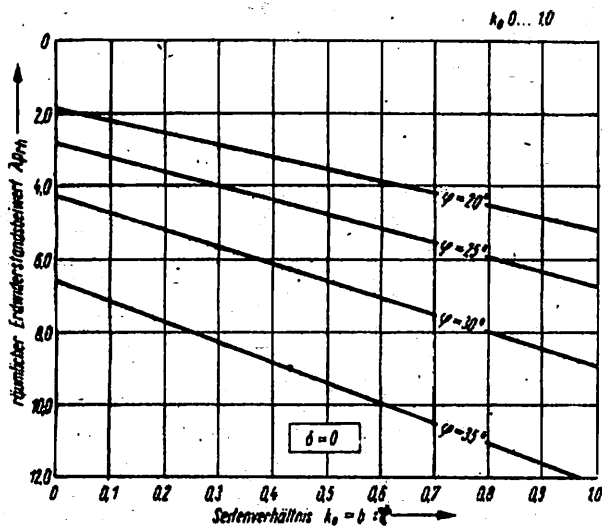


Bild 38