

DIE BAUTECHNIK

16. Jahrgang

BERLIN, 2. September 1938

Heft 37

Alle Rechte vorbehalten.

Bau der Reichsstraßenüberführung in Freising bei München.

Von Dipl.-Ing. Rudolf Albrecht, Regierungsbaumeister.

(Schluß aus Heft 35.)

VI. Bauausführung.

a) 1. Bauabschnitt: Aushub der Baugruben und Herstellung des Kunstbaues (s. Abb. 4).

Gemäß den Untergrundverhältnissen (s. unter I) wurde bis auf festgelagerten Kies, der, in deutlich erkennbaren Schichten gelagert, als guter Baugrund anzusprechen ist, gegangen, und zwar bis auf Kote 442,760, d. h. 3,12 m unter Planie. Dem Grundwasser war man dadurch ausgewichen. Der anfallende Boden wurde teils in die dahinterliegende Dammstrecke gebreitet, teils zur späteren Hinterfüllung der Baugrube verwendet. Diese Arbeiten konnten beim südöstlichen Widerlager unter

anstrich behandelt werden. Diese Arbeiten wurden ausgeführt in mehr als 1500 Tagschichten mit einer durchschnittlichen Belegschaft von 25 bis 40 Arbeitern von dem Freisinger Baugeschäft A. Steinecker.

b) 2. Bauabschnitt: Aufstellung des Stahlüberbaues.

Die Werkbearbeitung, statische Berechnung und Werkmontage, der Stahlkonstruktion, sowie die Gesamtmontage lag in Händen der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN), Werk Gustavsburg. An der Zulieferung waren außer der Gutehoffnungshütte in der Hauptsache die Dortmunder Union, die Burbacher Hütte und Differdingen beteiligt.

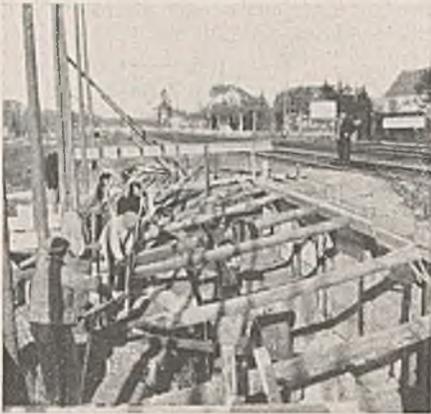


Abb. 16. Abbolzen der Baugrube.



Abb. 17.



Abb. 18. Zusammenbau der Joche.

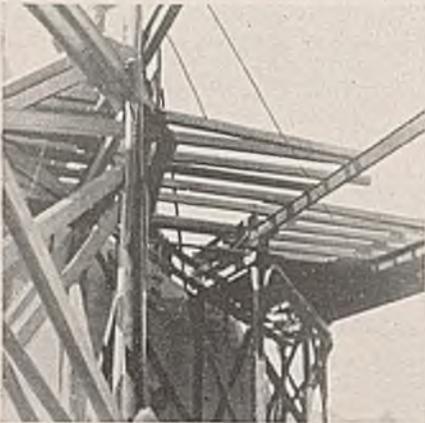


Abb. 19. Austeilen der Schwellen.

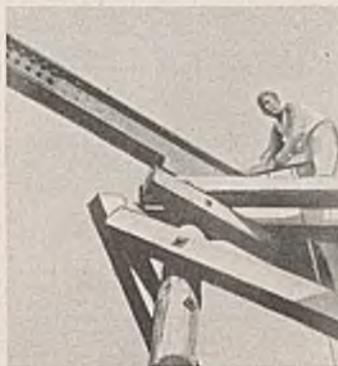


Abb. 20. Jochknotenpunkt.



Abb. 21. Montagegerüst.

günstigeren Verhältnissen durchgeführt werden als beim nordwestlichen, bei dem die höchstens 2,80 m tiefe Baugrube im ungünstigsten Falle nur 0,80 m vom Bahngleis entfernt zu liegen kam. Zur Sicherung des Betriebes mußten deshalb Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Die Baugrube selbst wurde nach Abb. 16 u. 17 ausreichend versteift, außerdem wurde auf die Dauer dieser Arbeit eine „Langsamfahrstelle“ eingerichtet. Weiterhin wurde vorgezogen, das Ausheben des Baugrundes sowie das Aufstellen der Schalung und Rüstung, ferner das Anbringen des Schutzanstriches und die Hinterfüllung in drei Abschnitte zu teilen. Die Erdbewegung betrug rd. 580 m³ und wurde im Handschacht ausgeführt.

Die beiden Widerlager, riesige Betonklötze mit einer überbauten Fläche von insgesamt 325 m², erhielten zu unterst 39,30 m (südöstliches Widerlager) bzw. 55,77 m Länge (nordwestliches Widerlager) und 6,2 m Breite. Rd. 2000 m³ Beton wurden verarbeitet. Die Sichtflächen blieben schalungsrauh. Die mit Erdreich in Berührung kommenden Betonflächen, ungefähr 1200 m², mußten mit einem kaltflüssigen bituminösen Voranstrich und zwei heiß zu verarbeitenden Bitumen-Deckaufstrichen (Emaillit) als Schutz-

Gleichzeitig mit der Einrichtung der Baustelle wurden die Änderungen an der elektrischen Streckenausrüstung durchgeführt: Alte Masten mußten abgebrochen, neue gesetzt werden; die Oberleitung, Fahrdraht und Tragseil waren tiefer zu legen. Auf beiden Streckengleisen mußte ferner, um das Aufbringen der Träger zu ermöglichen, stromloser Betrieb durchgeführt werden. Insgesamt 180 m waren im Schwung zu fahren. Nunmehr konnte mit dem Aufstellen des Montagegerüsts, das aus drei hölzernen Stützjochen und einer Aufzugöffnung bestand, begonnen werden (Abb. 18 bis 23). Verwendet wurden hierfür Rundhölzer von 30 cm Durchm. für die Pfosten und Hölzer 16/20 cm für sämtliche Zangen und Diagonalen. Die Montage der Brücke in einer höheren als der endgültigen Lage war wegen Freihaltung der elektrischen Fahrdrähte für die Bahn erforderlich. Etwa vier Wochen fielen für das Abbinden und Aufstellen des Gerüsts an, einschließlich der Abdeckung mit Belageisen und Schwellen, sowie Verlegen der Kransehnen, Montieren und Installieren des Kranwagens für 12 t Last und 15 m Stützweite. Mit Hilfe eines 10 m hohen Schwenkmastes von 7,5 bis 13,0 t Tragkraft wurde das Aufstellen der Joche, das

Herstellen der Rüstung, das Entladen sowie das Aufstellen des Montierwagens ohne besondere Schwierigkeit bewältigt. Die Stahlkonstruktion konnte sodann vom südöstlichen Widerlager her beginnend eingebracht werden. Die Träger- teile wurden dabei auf SS-Wagen der Reichsbahn verladen und zur Baustelle gefördert, mittels der erwähnten fahr- baren Montierwagen angehoben und in diesen Kranen hängend auf dem vorher erstellten Hilfsgerüst in die eigentliche Brückenöffnung eingefahren.

Es soll vorweggenommen werden, daß durch die unendlich langwierige Kleinarbeit des Zusammenbaues, dessen Schwierigkeit durch die schiefe Lage der Brücke in einer Krümmung von 150 m Halbmesser und des dadurch bedingten Quergefälles von 4‰ noch erhöht wurde, eine Überschreitung des Termins nicht zu vermeiden war. Besonders zeitraubend gestaltete sich die Fertigstellung der für die Baustelle außer- gewöhnlichen Schweißarbeiten. So wurde an den Hauptträgerstößen (im Montagezustande s. unter VII 2) nach folgendem Arbeitsplan geschweißt¹⁾:

1. am Untergurt zweite Lage Lamelle verschweißen,
2. am Obergurt Hauptlamelle verschweißen,
3. dann Oberfläche dieser Nähte gut abarbeiten, um eine einwandfreie Auflage der Lamellen-Einlagestücke (E) zu gewährleisten. Vor dem Einschweißen der Einlagestücke war an der jeweiligen Stoß- stelle ein Kupferblech zwischen Hauptlamelle und zweiter Lage Lamelle bzw. Einlagestück zu legen, um ein Aufschweißen auf die Hauptlamelle zu vermeiden.
4. Beim Einschweißen der Einlage mußte erst jeweils die Naht (a) ganz fertiggeschweißt werden, damit das Einlagestück der Schrumpfung folgen konnte (Pfeilrichtung). Ein leichtes Anspannen an die Lamelle vermied dabei ein Aufbiegen des Einlagestückes (Abb. 24).
5. Dann folgte Schweißung der zweiten Naht (b) des Einlagestückes.
6. Die eingelegten Kupferbleche wurden herausgenommen und die Schlitzschweißung an den Einlagestücken vorgenommen. Die Schlitz- e wurden mit Bitumen ausgegossen.
7. Dann wurden die Oberflächen der Stoßnähte abgearbeitet und die 1700 mm langen Laschenstücke ein- bzw. aufgeschweißt.

Es war stets darauf zu achten, daß zwischen den Stegblechstößen 2 bis 3 mm Spiel vorhanden war und während des Schweißens der Lamellenstöße der Stegblechstoß nur leicht (mit schwächeren Schrauben und Dornen) verschraubt und abgedornt war, damit sich der Träger infolge der Schrumpfung der Haupt- lamellenstoßnaht bewegen konnte.

Der Stoß der Steg- bleche selbst wurde beider- seits durch eine Lasche gedeckt und genietet.

Ebenso interessant ge- staltete sich der eigentliche Montagevorgang. Um bei der Montage eine Ver- windung der ganzen Brücke herzustellen (Abb. 25), die entgegengesetzt der spä- terhin auftretenden Verwin- dung infolge ständiger Last ist, wurden in einem Montage- zustande I (Zwischen- zustand) die Haupt- und die Querträger so montiert, daß die Auflagerpunkte 8 und 18 um 109 bzw. 86 mm höher liegen als im end- gültigen Zustande. Jetzt wurden sodann nur die Hauptträger, die normalen sowie die anormalen Quer-

¹⁾ Die Ausbildung der Lamellen- und Stoßlaschen- anschlüsse geschah nach den damaligen, heute über- holtten Grundsätzen.

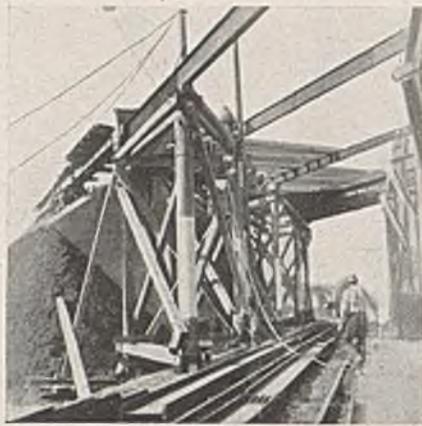


Abb. 22. Jochreihe am südöstlichen Widerlager mit Signal K 13.

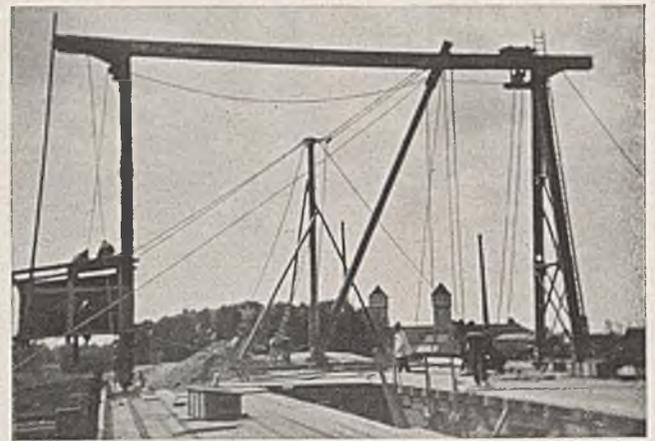


Abb. 23. Blick auf das Montagegerüst. Aufzugöffnung, Montierwagen, im Hintergrunde Schwenkmast.

träger in den Punkten 2, 12 und 11 zusammengebaut und vernietet, ebenso die Stöße der Hauptträger.

Nun folgte in einem Montagezustande II die Absenkung der Punkte 8 bzw. 18 um 109 bzw. 86 mm; anschließend wurden die schiefen End- querträger, die Längs- und Zwischenträger, sowie die Verbandstäbe montiert, vernietet bzw. geschweißt. Erst jetzt konnte die fertige Brücke mit Hilfe von Druckwasserkörpern, vier an der Zahl mit je 80 t Tragkraft, um rd. 1,30 m gleichmäßig auf ihre Lager abgesenkt werden (Abb. 25, 26, 7 u. 27). Die Hauptträger erhielten ferner eine Überhöhung von 60 bzw. 73 mm. Das Material hierfür sowie für die schiefen Endquerträger war St 52; für alle übrigen Konstruktionsteile St 37.12. Als Nietstahl wurde dementsprechend St 44 und St 34.13 verwendet. Für das Schweißen (Lichtbogenschweißverfahren) benutzte man hochwertigen ummantelten Schweißdraht E 52 h. Das Gesamtgewicht der reinen Stahlkonstruktion beträgt 124 t.

Abb. 28 zeigt die Brücke vor dem Absenken.

c) 3. Bauabschnitt: Fertigstellung der Fahrbahn.

Anschließend wurde mit dem Ausbetonieren der Fahrbahn bei kreuz- weiser Bewehrung begonnen. Rd. 10 t Rundeseisen von 14 mm Durchm. und etwa 60 m³ Beton unter Verwendung von Portlandzement mußten hierzu verarbeitet werden.

Die Abdichtung (320 m²) mittels Jutebahnen konnte trotz des plötzlichen Schneefalls und Kälteeinbruchs mit Hilfe von Flammenwerfern unter einem Schutzdach in wenigen Tagen einwandfrei aufgebracht werden. Nur dadurch war es möglich, die Betonunterlage genügend trocken zu machen.

Hierauf folgte die Pflasterung.

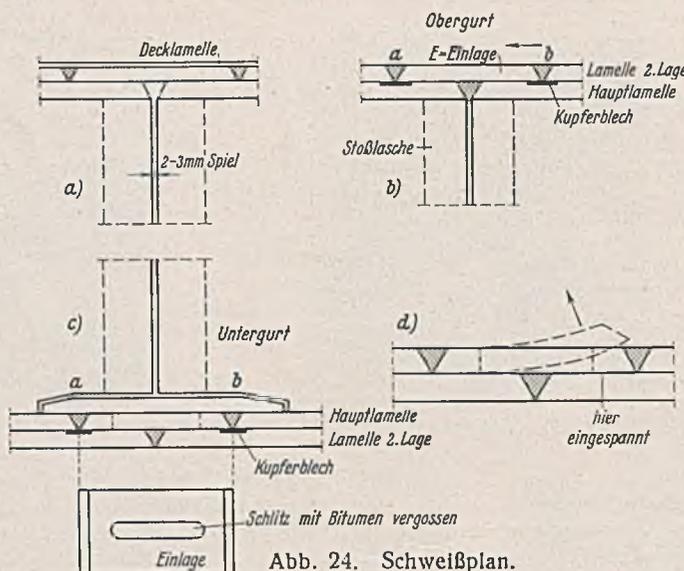


Abb. 24. Schweißplan.

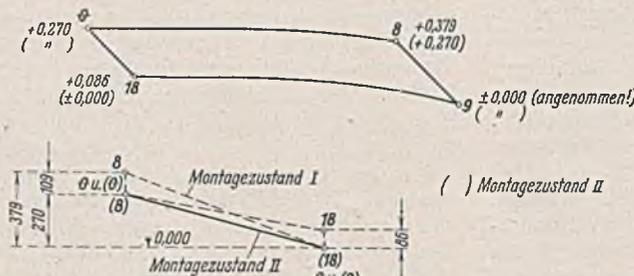


Abb. 25. Montagevorgang.

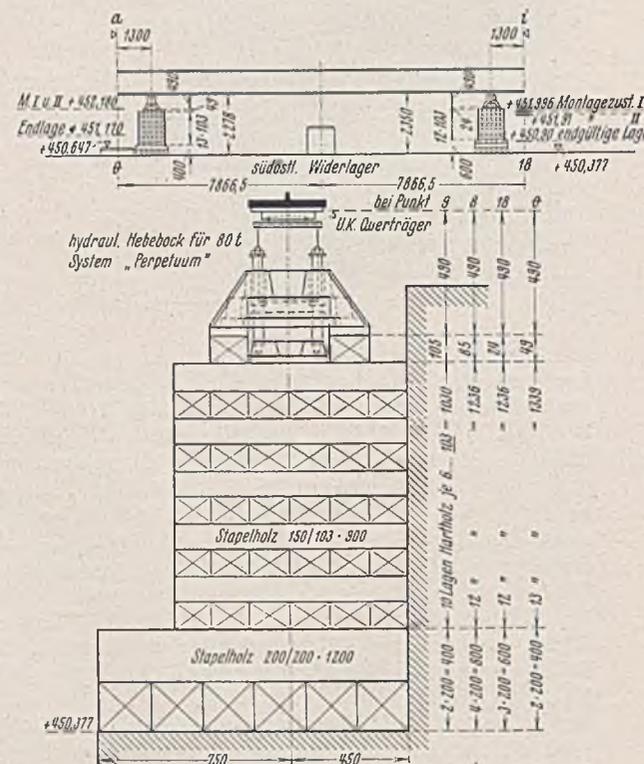


Abb. 26. Absenkvorrichtung.

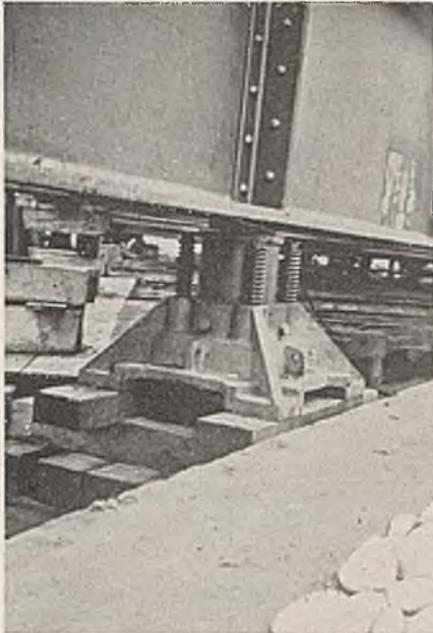


Abb. 27.
Preßkörper unter dem Endquerträger.

d) Herstellung der Zufahrtrampen und der Fahrleitung.

In der Zwischenzeit wurden auch die Dammanfüllungen für die Zufahrtsstraßen, deren Herstellung eine Bauvornahme für sich war, vollendet. Der Anschluß der alten Reichsstraße von Süden her an die neue Linie wurde durch eine Wendemöglichkeit, eine sogenannte Platte, hergestellt. Auf der Südostseite der Bahnlinie wurden für den Fußgängerverkehr in die Böschungen Fußwegrampen eingebaut, um den Fußgängerverkehr nach den anliegenden Siedlungen von der neuen Straße aus abzukürzen.

Bei der ungefähr 50 000 m³ betragenden Erdbewegung fanden bis 130 Mann Arbeit, unterstützt von 3 Diesel- und

3 Dampflokomotiven, 200 Kippwagen und 2 Walzen von 15 und 5 t Gewicht. Letztere besorgten das Einwalzen des in Lagen von 0,50 m geschütteten Materials. Zur Gewinnung und zum Beltransport des Auffüllungsmaterials mußten 8,5 km Gleis eingebaut werden. Zu gleicher Zeit wurden die Arbeiten für die Änderung an der elektrischen Streckenausrüstung, das Anbringen der Schutzglitter sowie die Herstellung eines Schutzgeländers aus Holz den Rampen entlang und die Aufstellung der Beleuchtungsmaste ausgeführt.

Nach nicht ganz einjähriger Dauer wurden die Hauptarbeiten ohne Unfall zu Ende geführt, und die Überführung wurde nach ausgeführter Probebelastung am 30. April 1936 dem Verkehr übergeben. Abb. 29 zeigt die Brücke vor der Vollendung.

e) Vornahme der Probebelastung.

Nach Fertigstellung der Arbeiten wurden mittels des Dr. Geigerschen Durchbiegungsmessers an den Gurtungen des inneren Hauptträgers Biegunsmessungen vorgenommen. Hierbei erzielte man folgende Ergebnisse:

- rd. 5 mm Durchbiegung, das sind 40% der errechneten, und
- 180 kg/cm² Spannung, das sind 12% der zulässigen Werte.

Ergebnisse der Biegunsmessungen.

Standort	Belastung	Seitliche waagerechte Biegungen		Lotrechte Biegungen	
		nach innen	nach außen	nach unten	nach oben
Obergurt — innere Faser — zwischen Punkt 15/14 und erster Steife	schwer beladener Lastkraft- wagen	1,2 mm	0,33 mm	—	—
Untergurt — äußere Faser — zwischen Punkt 15/14 und erster Steife	wie vor	0,22 mm	0,33 mm	—	—
Obergurt Standort wie bei 1	schwer beladener Lastkraft- wagen mit Anhänger	—	—	5,4 mm	0,56 mm

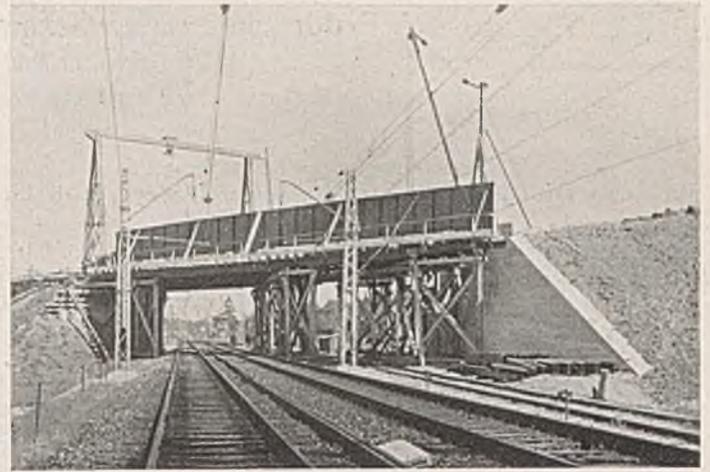


Abb. 28. Vor dem Absenken.

VII. Beteiligte Firmen und Behörden.

Trägerin der Bauarbeiten war die Stadt Freising, unterstützt von der Reichsbahn und der Staatsbauverwaltung (anteilige Kostentragung sowie Bauausführung).

Die Erd- und Betonarbeiten waren dem Baugeschäft A. Steinecker, Freising, übertragen, die Dammauffüllungen den Firmen Tibet und Riepl in Arbeitsgemeinschaft unter Leitung des Straßen- und Flußbauamtes München. Die Montagearbeiten führte die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN), Werk Gustavsburg, durch. Die Änderung an der elektrischen Streckenausrüstung wurde von der Firma Brown, Boveri & Cie. aus Betriebsgründen teilweise während der Nacht ausgeführt.



Abb. 29. Vor der Vollendung.

An sonstigen Arbeiten und Lieferungen waren noch beteiligt die Firma Büsscher & Hoffmann AG, München, für Brückenabdichtung, die Firma Max Fischer, München, für die Pflasterarbeiten.

Die Gesamtleitung hatte die Reichsbahndirektion München, Reichsbahnbetriebsamt München 2. Mit der Bauleitung war der Verfasser betraut.

Ein besonderes Lob gebührt der Arbeiterschaft, die auch bei dem überaus schlechten Wetter, das im letzten Bauabschnitt herrschte, in ihrem rastlosen Arbeitswillen und ihrer Arbeitskraft nicht erlahmte.

Die Gesamtkosten betragen nahezu 400 000 RM; rd. 1/4 dieses Betrages entfällt auf die Herstellung der Anschlußrampen und etwas mehr auf die Herstellung des eigentlichen Überführungsbauwerkes. Die restlichen Gelder mußten in der Hauptsache für Grunderwerb und Entschädigungen aufgewendet werden.

Die Brücke als Ganzes mit ihren begrünten und bepflanzten Böschungsflächen fügt sich harmonisch in die Landschaft ein. Als geschweißte Vollwandträgerkonstruktion steht sie mit ihren geradlinigen Formen und ihrem beruhigenden Anblick in Einklang mit den architektonischen Forderungen der Gegenwart und vermittelt den von der Münchener Straße her kommenden Reisenden einen überraschend schönen Rundblick auf die altehrwürdige Dreihügelstadt.

In Abb. 58 sind die Werte λ , $\frac{e'}{h}$ und φ_1 als Abhängige von $m = \operatorname{tg} \delta$ aufgezeichnet (mit vollen Linien). Die λ -Werte liegen durchweg höher als die Werte der vergleichsweise strichpunktiert eingetragenen λ -Linie für eine Drehung der Wand um den unteren Punkt. Der Angriffspunkt des Erddruckes liegt ungefähr in halber Höhe der Wand. Die Verteilung des Erddruckes längs der Wand ist deshalb annähernd parabolförmig anzunehmen, da die Erdspannung in Geländehöhe Null sein muß. Näheres siehe weiter unten.

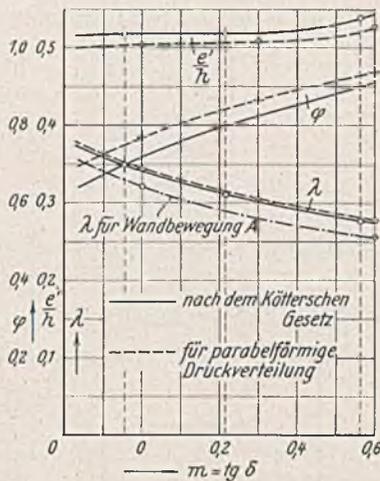


Abb. 58. Ergebnisse für Wandbewegung B.

Die Druckverteilung längs der Gleitfläche ist durch Gl. (64) gegeben, die man auch umformen kann in:

$$(64a) \quad \frac{v}{\gamma h} = \frac{1}{(1 + \mu^2)(1 + 4\mu^2) \sin \varphi_1} [(1 - 2\mu^2) \sin \varphi + 3\mu (\cos \varphi - e^{-2\mu \varphi})]$$

Hierin $\varphi = \varphi_1$ gesetzt, ergibt die Formel für $\frac{v}{\gamma h}$, nach der die entsprechenden Werte in der obigen Tabelle berechnet sind. — Um mit der jetzt folgenden Berechnung vergleichen zu können, entnehmen wir der Abb. 58 die Zahlenwerte für $m = 0,3$ (oder besser: wir berechnen sie durch parabolisches Zwischenschalten nach der Zahlentafel 4): $\varphi_1 = 0,8275$; $\lambda = 0,3013$; $e'/h = 0,5207$. Nach Gl. (64a) findet man weiter:

$$\frac{v}{\gamma h} = 0,1698 \quad 0,2722 \quad 0,3161 \quad 0,3100$$

für $\varphi = \frac{1}{4} \cdot \varphi_1 \quad \frac{1}{2} \cdot \varphi_1 \quad \frac{3}{4} \cdot \varphi_1 \quad \varphi_1$.

Mit Hilfe dieser Zahlen ist die Druckverteilung längs der Gleitfläche in Abb. 59 zeichnerisch dargestellt. —

Als Überleitung zu einer noch genaueren Berechnung sei unsere Aufgabe jetzt unter der Annahme parabolförmiger Spannungsverteilung längs der Gleitfläche und der Wand durchgerechnet. Es möge also gelten:

längs der Wand: (71a) $v = c_1 \gamma x - c_2 \gamma \frac{x^2}{h}$,
längs der Gleitfläche: (71b) $\bar{v} = \bar{c}_1 \gamma s - \bar{c}_2 \gamma \frac{s^2}{R}$.

Für Q_w , Q_l und M_R hat man:

$$(72) \quad \begin{cases} Q_w = \gamma R^2 \int_0^{\varphi_1} (c_1 \gamma - c_2 \gamma \varphi^2) \cos \varphi d\varphi - \gamma R^2 \int_0^{\varphi_1} (c_1 \gamma - c_2 \gamma \varphi^2) \sin \varphi d\varphi \\ Q_l = \gamma R^2 \int_0^{\varphi_1} (c_1 \gamma - c_2 \gamma \varphi^2) \sin \varphi d\varphi + \gamma R^2 \int_0^{\varphi_1} (c_1 \gamma - c_2 \gamma \varphi^2) \cos \varphi d\varphi \\ M_R = R \mu \int_0^{\varphi_1} v R d\varphi = \gamma R^3 \int_0^{\varphi_1} (c_1 \gamma - c_2 \gamma \varphi^2) d\varphi \end{cases}$$

oder nach leichter Zwischenrechnung:

$$(73a) \quad \begin{cases} \frac{Q_w}{\gamma R^2} = W_1 c_1 - W_2 c_2 \\ \frac{Q_l}{\gamma R^2} = L_1 c_1 - L_2 c_2 \\ \frac{M_R}{\gamma R^3} = \frac{\mu \varphi_1^2}{2} \left(c_1 - \frac{2}{3} c_2 \varphi_1 \right) \end{cases}$$

mit

$$(73b) \quad \begin{cases} W_1 = (\varphi_1 - \mu) \sin \varphi_1 + (1 + \mu \varphi_1) \cos \varphi_1 - 1 \\ L_1 = -(\varphi_1 - \mu) \cos \varphi_1 + (1 + \mu \varphi_1) \sin \varphi_1 - \mu \\ W_2 = [2(\varphi_1 - \mu) + \mu \varphi_1^2] \cos \varphi_1 - [2(1 + \mu \varphi_1) - \varphi_1^2] \sin \varphi_1 + 2\mu \\ L_2 = [2(\varphi_1 - \mu) + \mu \varphi_1^2] \sin \varphi_1 + [2(1 + \mu \varphi_1) - \varphi_1^2] \cos \varphi_1 - 2. \end{cases}$$

Gl. (73a) in Gl. (65) eingesetzt, ergeben unter Beachtung der Gl. (67), wenn man die ersten beiden Gleichungen durch γR^2 und die letzte durch γh^3 teilt:

$$(74) \quad \begin{cases} W_1 c_1 - W_2 c_2 = \frac{1}{2} \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \lambda \\ L_1 c_1 - L_2 c_2 = \frac{1}{2} (\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1) - \frac{1}{2} \cdot m \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \lambda \\ \frac{\mu \varphi_1^2}{2 \cdot \sin^3 \varphi_1} \left(c_1 - \frac{2}{3} c_2 \varphi_1 \right) = \frac{1}{3} - \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{e'}{h} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot \cotg \varphi_1 \cdot \lambda. \end{cases}$$

Nach kurzer Zwischenrechnung erhält man hieraus die gesuchten Größen:

$$(75) \quad \begin{cases} \lambda \left(m + \frac{L_2}{W_2} \right) = (1 + \cotg^2 \varphi_1) \left[\varphi_1 + 2 c_1 \left(W_1 \cdot \frac{L_2}{W_2} - L_1 \right) \right] - \cotg \varphi_1 \\ c_2 (L_2 + m W_2) = \bar{c}_1 (L_1 + m W_1) - \frac{1}{2} (\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1) \\ \frac{e'}{h} = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{2}{3} - \frac{\mu \varphi_1^2}{\sin^3 \varphi_1} \left(c_1 - \frac{2}{3} c_2 \varphi_1 \right) \right] - m \cdot \cotg \varphi_1. \end{cases}$$

In diesen Formeln ist der Wert \bar{c}_1 als bekannt anzusehen, denn in der Nähe der Oberfläche gilt: $v = \bar{c}_1 \gamma s$, nach den Darlegungen unter III aber auch: $v = \frac{1}{1 + \mu^2} \cdot \gamma s$, so daß

$$\bar{c}_1 = \frac{1}{1 + \mu^2}$$

Dagegen ist die Lage der Gleitfläche (φ_1) nicht von vornherein bekannt. Die Gleitfläche wird sich dort ausbilden, wo der Neigungswinkel der Erdspannungen seinen größten Wert erreicht, d. i. (nach Rebhann) dort, wo sich der Größtwert des Erddruckes ergibt (unter der Annahme voller Erdreibung in jeder untersuchten Gleitfläche). Es bleibt also nichts weiter übrig, als die Rechnung mit mehreren Gleitflächen durchzuführen, um dadurch den Größtwert von E_{aw} bzw. λ zu finden. — Ich habe die Zahlenrechnung für 4 φ_1 -Werte durchgeführt; das Ergebnis dieser Berechnung bringt die Tabelle 5 ($\bar{c}_1 = \frac{1}{1 + 0,6^2} = 0,73529$).

Tabelle 5.

$\varphi_1 =$	0,60	0,70	0,80	0,90	
λ für	$m = 0,6$	0,2388	0,2572	0,2699	0,2762
	$m = 0,3$	0,2780	0,2938	0,3025	0,3038
	$m = 0$	0,3327	0,3425	0,3441	0,3375
$\frac{e'}{h}$ für	$m = 0,6$	0,5053	0,5239	0,5318	0,5299
	$m = 0,3$	0,5125	0,5187	0,5151	0,5020
	$m = 0$	0,5198	0,5134	0,4984	0,4740
\bar{c}_2 für	$m = 0,6$	1,1369	0,8962	0,7193	0,5846
	$m = 0,3$	1,0001	0,7774	0,6168	0,4972
	$m = 0$	0,8095	0,6192	0,4862	0,3903

Den Größtwert von λ wie auch die sich darauf stützenden anderen Werte (z. B. φ_1 und $\frac{e'}{h}$) ermitteln wir nach den Interpolationsformeln von Newton oder Gauß⁶⁷⁾. Z. B. erhält man für $m = 0,3$ mit den Zahlen der Tabelle 5.

$$\lambda = 0,3025 + 0,0505 (\varphi_1 - 0,8) - 0,37 (\varphi_1 - 0,8)^2 - 0,05 (\varphi_1 - 0,8)^3$$

Der Größtwert von λ tritt auf für

$$\frac{d\lambda}{d\varphi_1} = 0,0505 - 0,74 (\varphi_1 - 0,8) - 0,15 (\varphi_1 - 0,8)^2 = 0$$

oder für $\varphi_1 = 0,8673$ und beträgt:

$$\lambda_m = 0,3025 + 0,0505 \cdot 0,0673 - 0,37 \cdot 0,0673^2 - 0,05 \cdot 0,0673^3 = 0,3042$$

Mit Hilfe der Interpolationsformeln erhält man weiter für $\varphi_1 = 0,8673$: $\frac{e'}{h} = 0,5074$; $\bar{c}_2 = 0,5331$. Schließlich liefert Gl. (71b) noch folgende Spannungswerte längs der Gleitfläche:

$$\frac{v}{\gamma h} \approx 0,1763 \quad 0,2867 \quad 0,3314 \quad 0,3104$$

für $\varphi = \frac{1}{4} \cdot \varphi_1 \quad \frac{1}{2} \cdot \varphi_1 \quad \frac{3}{4} \cdot \varphi_1 \quad \varphi$.

Diese Zahlenwerte einschl. der zugehörigen Gleitfläche sind in Abb. 59 gestrichelt eingetragen, um einen Vergleich mit der Durchrechnung auf Grund des Kötterschen Gesetzes zu haben. In derselben Weise wie für $m = 0,3$ kann man auch für $m = 0,6$ und $m = 0$ die Werte φ , λ , $\frac{e'}{h}$ und \bar{c}_2 ermitteln (s. Tabelle 7 für $n = 2$). Die gestrichelten Linien in Abb. 58 geben den Verlauf dieser Werte an. Man sieht, daß der Unterschied beider Berechnungsarten nur unbedeutend ist.

Nimmt man vorläufig auch für den Erddruck längs der Wand parabolförmige Verteilung [nach Gl. (71a)] an, so hat man die beiden Gleichgewichtsbedingungen:

$$E_{aw} \left(= \lambda \cdot \gamma \frac{h^2}{2} \right) = \int_0^h r d x = \gamma \int_0^h \left(c_1 x - c_2 \cdot \frac{x^2}{h} \right) d x = \gamma \left(c_1 \cdot \frac{h^2}{2} - c_2 \cdot \frac{h^2}{3} \right)$$

⁶⁷⁾ S. z. B. Fr. A. Willers, Methoden der praktischen Analysis, S. 75 bis 78. Berlin und Leipzig 1928.

$$e' \cdot E_{a_w} \left(= e' \cdot \lambda \cdot \gamma \frac{h^2}{2} \right) = \int_0^h \nu dx x = \gamma \int_0^h \left(c_1 x^2 - c_2 \frac{x^3}{h} \right) dx$$

$$= \gamma \left(c_1 \cdot \frac{h^3}{3} - c_2 \cdot \frac{h^3}{4} \right)$$

woraus folgt:

$$(76) \quad \begin{cases} c_1 = 3 \lambda \left(3 - 4 \cdot \frac{e'}{h} \right), \\ c_2 = 6 \lambda \left(2 - 3 \cdot \frac{e'}{h} \right). \end{cases}$$

Zahlenmäßig erhält man für $m=0,3$: $c_1 = 0,8856$ und $c_2 = 0,8721$, als Gleichung der parabelförmigen Druckverteilung also

$$\frac{\nu}{\gamma h} = 0,8856 \cdot \frac{x}{h} - 0,8721 \cdot \frac{x^2}{h^2}$$

Ebenso erhält man für $m=0,3$ nach der ersten mit Hilfe des Kötterschen Gesetzes durchgeführten Berechnung:

$$\frac{\nu}{\gamma h} = 0,8290 \cdot \frac{x}{h} - 0,7916 \cdot \frac{x^2}{h^2}$$

Die hiernach leicht zu berechnenden Verteilungslinien des Erddruckes längs der Wand sind in Abb. 59 eingetragen. — Im ganzen dürften Abb. 58 u. 59 zeigen, daß die Durchrechnung mit Hilfe des Kötterschen Gesetzes und die Berechnung mit parabelförmig angenommener Druckverteilung für kreisförmige Gleitflächen ungefähr übereinstimmen.

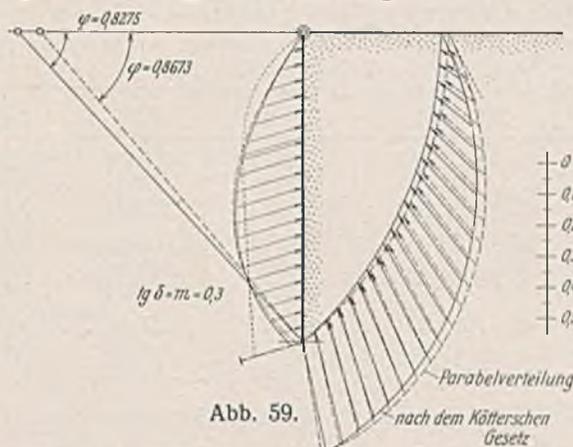


Abb. 59.

Abb. 59 läßt jedoch eine Unstimmigkeit erkennen, die nicht übergangen werden kann: im untersten Wandpunkt ist die Erddruckspannung gegenüber dem Gleitflächendruck viel zu klein, als daß auch nur annähernd das aus der Spannungselipse folgende Verhältnis erfüllt sein könnte; denn nach den Gesetzen des Gleichgewichts kleiner Elemente müßte der Erddruck im untersten Punkt etwa die in Abb. 59 strichpunktiert eingetragene Ordinate haben (Nachweis siehe weiter unten mit Hilfe von Tabelle 8). Nun wird man einwenden können, der Erddruck brauche nicht unbedingt, wie angenommen, parabelförmig verteilt zu sein, wodurch sich für den untersten Wanddruck andere Werte ergeben könnten. Jedoch ist es auch mit anderen Druckverteilungskurven nicht möglich, die Unstimmigkeit im untersten Wandpunkt zu beseitigen, wenigstens so lange nicht, als man es mit einsinnig gekrümmten Kurven (ohne Wendepunkt) versucht, was bei einer starren Wand doch wohl gefordert werden muß. Der äußerste Fall, der (für $\lambda = 0,3013$ und $\frac{e'}{h} = 0,5207$) noch möglich wäre, ist in Abb. 59 punktiert eingetragen (berechnet nach weiter unten gegebenen Formeln). — Man wird aus dieser Unstimmigkeit den Schluß zu ziehen haben, daß die Gleitfläche nicht genau kreisförmig sein kann.

Hält man der einfachen Rechnung halber an der Kreisform der Gleitfläche fest, so kann man nach den obigen Ausführungen nicht eine annähernd parabelförmige Druckverteilung erwarten und muß aus denselben Gründen auch das Köttersche Gesetz für die Druckverteilung fallen lassen. Daß letzteres zulässig ist, haben wir schon unter IV angedeutet. Das Köttersche Gesetz gilt streng nur für die genaue Form der Gleitfläche und ist deshalb für kreisförmige Gleitflächen eben auch nur eine Näherung.

Die nachstehend gezeigte genauere Berechnung ist nun einfach eine Erweiterung der Rechnung für parabelförmige Verteilung, indem die Druckverteilung nach der Gleichung

$$(77) \quad \nu = c_1 \gamma s - c_n \gamma \cdot \frac{s^n}{R^{n-1}}$$

angenommen und die Zahlenrechnung für die Werte $\bar{n} = 3$ und $\bar{n} = 4$ in derselben Weise durchgeführt wird wie für $\bar{n} = 2$. Es ist dann durch Interpolieren möglich, einen oder mehrere \bar{n} -Werte herauszufinden, für die die Unstimmigkeit im untersten Wandpunkte nicht vorhanden ist. Von diesen \bar{n} -Werten wird dann wiederum der den größten Erddruck liefernde ausgewählt.

An Stelle der Gl. (73a) müssen wir jetzt anschreiben:

$$(78) \quad \begin{cases} \frac{Q_w}{\gamma R^2} = W_1 c_1 - W_n c_n \\ \frac{Q_l}{\gamma R^2} = L_1 c_1 - L_n c_n \\ \frac{M_R}{\gamma R^3} = \frac{\mu \varphi_1^2}{2} \left(c_1 - \frac{2}{n+1} \cdot c_n \varphi_1^{n-1} \right). \end{cases}$$

Da an Hand der Gl. (72) u. (73) ohne weiteres ersichtlich ist, in welcher Weise die Werte W_n und L_n ($n = 2, 3, 4 \dots$) zu finden sind, so seien hier gleich die fertigen Formeln gegeben:

$$(79) \quad \begin{cases} W_3 = - \left\{ 3 \left(2(\varphi_1 - \mu) + \mu \varphi_1^2 \right) - \varphi_1^3 \right\} \sin \varphi_1 \\ \quad - \left\{ 3 \left(2(1 + \mu \varphi_1) - \varphi_1^2 \right) - \mu \varphi_1^3 \right\} \cos \varphi_1 + 6 \\ L_3 = \left\{ 3 \left(2(\varphi_1 - \mu) + \mu \varphi_1^2 \right) - \varphi_1^3 \right\} \cos \varphi_1 \\ \quad - \left\{ 3 \left(2(1 + \mu \varphi_1) - \varphi_1^2 \right) - \mu \varphi_1^3 \right\} \sin \varphi_1 + 6 \mu \\ W_4 = - \left\{ 4 \left[3 \left(2(\varphi_1 - \mu) + \mu \varphi_1^2 \right) - \varphi_1^3 \right] - \mu \varphi_1^4 \right\} \cos \varphi_1 \\ \quad + \left\{ 4 \left[3 \left(2(1 + \mu \varphi_1) - \varphi_1^2 \right) - \mu \varphi_1^3 \right] + \varphi_1^4 \right\} \sin \varphi_1 - 24 \mu \\ L_4 = - \left\{ 4 \left[3 \left(2(\varphi_1 - \mu) + \mu \varphi_1^2 \right) - \varphi_1^3 \right] - \mu \varphi_1^4 \right\} \sin \varphi_1 \\ \quad - \left\{ 4 \left[3 \left(2(1 + \mu \varphi_1) - \varphi_1^2 \right) - \mu \varphi_1^3 \right] + \varphi_1^4 \right\} \cos \varphi_1 + 24. \end{cases}$$

An Stelle der Gl. (74b) erhält man:

$$(80) \quad \begin{cases} \lambda \left(m + \frac{L_n}{W_n} \right) = (1 + \cotg^2 \varphi_1) \left[\varphi_1 + 2 c_1 \left(W_1 \cdot \frac{L_n}{W_n} - L_1 \right) \right] \\ \quad - \cotg \varphi_1 \\ c_2 (L_n + m W_n) = c_1 (L_1 + m W_1) - \frac{1}{2} (\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1) \\ \frac{e'}{h} = \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{2}{3} - \frac{\mu \varphi_1^2}{\sin^3 \varphi_1} \left(c_1 - \frac{2}{n+1} \cdot c_n \varphi_1^{n-1} \right) \right\} - m \cdot \cotg \varphi_1. \end{cases}$$

Die zahlenmäßige Auswertung der Gl. (79) u. (80) für $\mu = 0,60$ bringt die nachstehende Tabelle 6:

Tabelle 6.

$\varphi_1 =$	0,70	0,80	0,90	1,00
λ für $\begin{cases} m = 0,6 \\ m = 0,3 \\ m = 0 \end{cases}$	0,2742 0,3105 0,3579	0,2892 0,3209 0,3604	0,2971 0,3232 0,3542	0,2983 0,3179 0,3402
$\frac{e'}{h}$ für $\begin{cases} m = 0,6 \\ m = 0,3 \\ m = 0 \end{cases}$	0,4463 0,4597 0,4731	0,4606 0,4606 0,4607	0,4651 0,4519 0,4387	0,4553 0,4288 0,4023
c_3 für $\begin{cases} m = 0,6 \\ m = 0,3 \\ m = 0 \end{cases}$	1,7059 1,4669 1,1551	1,2016 1,0200 0,7938	0,8705 0,7320 0,5670	0,6446 0,5389 0,4184
λ für $\begin{cases} m = 0,6 \\ m = 0,3 \\ m = 0 \end{cases}$	0,2852 0,3212 0,3675	0,3009 0,3319 0,3699	0,3110 0,3358 0,3648	0,3142 0,3319 0,3517
$\frac{e'}{h}$ für $\begin{cases} m = 0,6 \\ m = 0,3 \\ m = 0 \end{cases}$	0,3983 0,4232 0,4482	0,4234 0,4321 0,4409	0,4283 0,4234 0,4185	0,4207 0,4017 0,3826
c_4 für $\begin{cases} m = 0,6 \\ m = 0,3 \\ m = 0 \end{cases}$	3,0400 2,5995 2,0321	1,8819 1,5879 1,2265	1,2145 1,0138 0,7783	0,8119 0,6729 0,5173

Aus diesen Zahlen lassen sich wieder mit Hilfe von Interpolationsformeln die Erddruck-Größtwerte λ_m ermitteln (wie es oben in dem Beispiel $n=2$ und $m=0,3$ angedeutet ist). Man erhält die in Tabelle 7 gegebenen Werte:

Tabelle 7.

$n =$	$m = 0,6$			$m = 0,3$			$m = 0$		
	2	3	4	2	3	4	2	3	4
$\varphi_1 =$	0,9395	0,9683	0,9916	0,8673	0,8791	0,9021	0,7695	0,7773	0,7830
$\lambda_m =$	0,2769	0,2986	0,3142	0,3042	0,3234	0,3358	0,3445	0,3606	0,3700
$\frac{e'}{h} =$	0,5266	0,4602	0,4216	0,5074	0,4547	0,4231	0,5039	0,4642	0,4433
$c_n =$	0,5383	0,7089	0,8411	0,5331	0,7822	1,0050	0,5219	0,7974	1,3336
$\frac{\nu_n}{\gamma h} =$	0,2672	0,0830	-0,1005	0,3104	0,1493	-0,0029	0,3690	0,2810	0,1056
$\frac{\nu_u}{\gamma h} =$	0,2672	0,0830	-0,1005	0,1983	0,0949	-0,0018	0,2086	0,1582	0,0592

Die Berechnung der Druckverteilung längs der Gleitfläche erfolgt nach Gl. (77). Man kann diese Gleichung leicht umformen in:

$$(77a) \quad \frac{v'}{\gamma h} = \frac{\varphi}{\sin \varphi_1} (\bar{c}_1 - \bar{c}_n \varphi^{n-1}).$$

Für $\varphi = \varphi_1$ erhält man hieraus die Formel, nach der die $\frac{v'_n}{\gamma h}$ -Werte der obigen Tabelle berechnet sind.

In der Tabelle sind noch die Werte v'_u für die Endspannung im untersten Punkt der Wand angegeben, wie sie nach den Gesetzen der Spannungsellipse gefordert werden muß. Da der Wandwinkel φ_1 für die durchgerechneten kreisförmigen Gleitflächen willkürlich angenommen ist, infolgedessen im allgemeinen nicht mit der nach der Spannungsellipse zu fordernden Gleitrichtung übereinstimmt, so lassen sich auch die Verhältniszahlen

$$\zeta = \bar{v}_u : v'_u \quad \text{und} \quad \zeta' = \bar{\sigma}_u : \sigma'_u$$

in diesem Falle nicht eindeutig berechnen. Man kann nur zwei Grenzen ζ_1 und ζ_2 angeben, zwischen denen ζ liegen muß. Um trotzdem mit eindeutigen Werten rechnen zu können, machen wir die naheliegende Annahme:

$$\zeta \approx \sqrt{\zeta_1 \zeta_2}.$$

Die Grenzwerte findet man nach II wie folgt:

1. Geht man von der Erddruckrichtung δ aus, so ist die Neigung i der Spannungsellipse gegen die Wand nach Gl. (22) gegeben und das Verhältnis $\sigma : \sigma_1$ nach Gl. (6) zu berechnen. Das Verhältnis $\sigma : \sigma_1$ erhält man ebenfalls aus Gl. (6) mit $i' = 90^\circ - (\rho - i + \varphi_1)$ nach Abb. 60a.

Im ganzen ist

$$(81a) \quad \zeta_1' = n \sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 i}{n^2 + \text{tg}^2 i} \cdot \frac{1 + \text{tg}^2 (\rho - i + \varphi_1)}{n^2 + \text{tg}^2 (\rho - i + \varphi_1)}}.$$

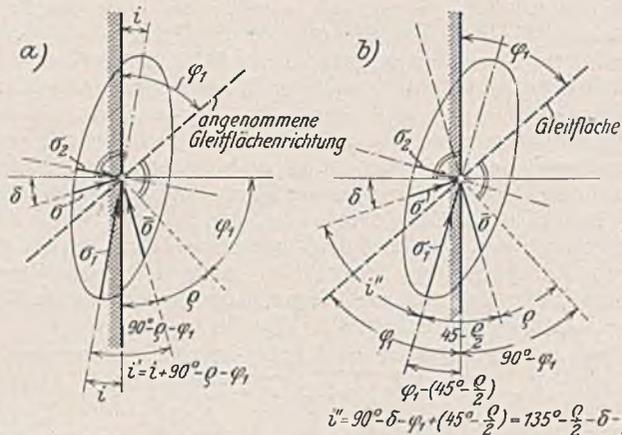


Abb. 60.

2. Geht man hingegen von der angenommenen Gleitflächenrichtung aus, so ist nach Gl. (29a): $\sigma = \sigma_1 : \sqrt{n}$. Der Winkel i' zwischen σ und der großen Ellipsenachse ist nach Abb. 60b: $i' = 135^\circ - \frac{\rho}{2} - \delta - \varphi_1$, mithin unter Beachtung von Gl. (6):

$$(81b) \quad \zeta_2' = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1 + n^2 \cdot \text{tg}^2 \left(135^\circ - \frac{\rho}{2} - \delta - \varphi_1\right)}{1 + \text{tg}^2 \left(135^\circ - \frac{\rho}{2} - \delta - \varphi_1\right)}}.$$

Im ganzen hat man schließlich:

$$(81c) \quad \zeta = \frac{\sigma \cdot \cos \rho}{\sigma_1 \cdot \cos \delta} = \zeta' \cdot \frac{\cos \rho}{\cos \delta} = \frac{\cos \rho}{\cos \delta} \sqrt{\zeta_1' \zeta_2'}.$$

Für $m = \mu (\delta = \rho)$ ist in Übereinstimmung mit der genauen Forderung: $\zeta' = \zeta = 1,0$.

Man erhält für $\mu = 0,60$ die Zahlen der Tabelle 8, mit denen die v'_u -Werte der Tabelle 7 berechnet sind.

Tabelle 8.

$\varphi_1 =$		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
für						
$m = 0,6$	$\zeta =$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$m = 0,3$	$\zeta_1' =$	1,497	1,684	1,920	2,206	2,518
	$\zeta_2' =$	1,656	1,591	1,513	1,422	1,321
	$\zeta =$	1,410	1,465	1,525	1,585	1,632
$m = 0$	$\zeta_1' =$	1,965	2,252	2,586	2,912	3,108
	$\zeta_2' =$	1,760	1,739	1,702	1,651	1,585
	$\zeta =$	1,595	1,696	1,800	1,880	1,902
	$\zeta =$					

Im weiteren Verlauf der Rechnung müssen wir für die Erddruckverteilung eine ähnliche Annahme machen wie für die Druckverteilung längs der Gleitfläche (s. Gl. 77a) und dann die n -Werte suchen, die für den untersten Wandpunkt gerade die Verhältniswerte ζ der Tabelle 8 liefern. Es liegt also nahe, von der Gleichung

$$\frac{v'}{\gamma h} = c_1 \cdot \frac{x}{h} - c \left(\frac{x}{h}\right)^\omega$$

auszugehen, die man auch in der Form

$$(82) \quad \frac{v'}{\gamma h} = \frac{v_1}{\gamma h} + \frac{v_\omega}{\gamma h} = c_1' \cdot \frac{x}{h} + c \cdot \frac{x}{h} \left[1 - \left(\frac{x}{h}\right)^{\omega-1}\right]$$

schreiben kann, wodurch die in Abb. 61a veranschaulichte Zweitteilung der Druckverteilungslinie zum Ausdruck kommt. Mit den Bezeichnungen dieser Abbildung gilt für den Inhalt und die Schwerpunktlage der durch die Kurve begrenzten Fläche mit den Ordinaten v_ω :

$$(83) \quad \begin{cases} E_\omega = \int_0^h v_\omega dx = \gamma c \left[\int_0^h x dx - \frac{1}{h^{\omega-1}} \int_0^h x^\omega dx \right] \\ = \gamma c \left(\frac{h^2}{2} - \frac{h^2}{\omega+1} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega-1}{\omega+1} \cdot c \gamma h^2 \\ e_\omega' E_\omega = \int_0^h v_\omega dx x = \gamma c \left[\int_0^h x^2 dx - \frac{1}{h^{\omega-1}} \int_0^h x^{\omega+1} dx \right] \\ = \gamma c \left(\frac{h^3}{3} - \frac{h^3}{\omega+2} \right) = \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega-1}{\omega+2} \cdot c \gamma h^3 \end{cases}$$

Für $v_u = 0$ ($c_1' = 0$) wäre $E_{a_\omega} = E_\omega = \lambda \cdot \gamma \frac{h^2}{2}$ und nach Gl. (83):

$$(84a) \quad \lambda = \frac{\omega-1}{\omega+1} \cdot c \quad \text{und} \quad e_\omega' \lambda = \frac{2}{3} \cdot \frac{\omega-1}{\omega+2} \cdot c h$$

oder:

$$(84b) \quad \frac{e_\omega'}{h} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\omega+1}{\omega+2}.$$

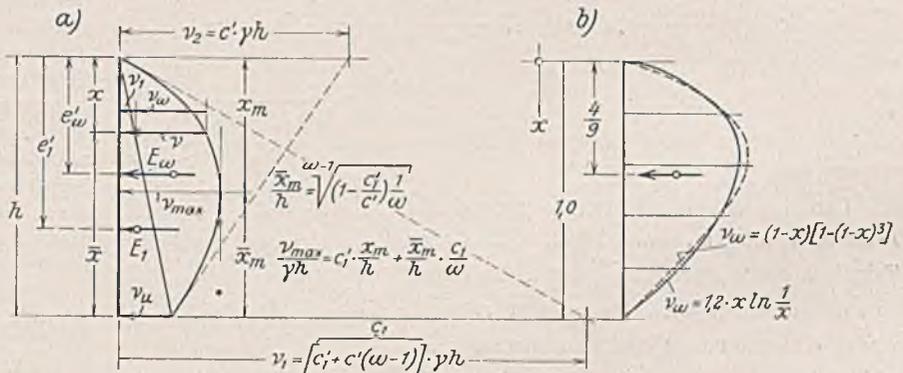


Abb. 61.

Nun ist $\left(\frac{e_\omega'}{h}\right)_{\omega=\infty} = \frac{2}{3}$ und $\left(\frac{e_\omega'}{h}\right)_{\omega=1} = \frac{4}{9} \approx 0,444$.

Das besagt, daß Gl. (82) nur zu verwenden ist, wenn der Angriffspunkt des Erddruckes innerhalb der Grenzen $e' \approx 0,667 h$ und $e' \approx 0,444 h$ liegt. Im ersten Fall ($\omega = \infty$) liefert Gl. (82) ein Dreieck, im zweiten Grenzfall ($\omega = 1$) die Kurve $\frac{v'}{\gamma h} = C \cdot \frac{x}{h} \cdot \ln \frac{h}{x}$, die in Abb. 61b dargestellt ist. — In der Tabelle 7 sind e' -Werte bis zu $0,42 h$ aufgeführt. Gl. (82) ist deshalb nicht immer brauchbar. Wohl aber kommen wir zum Ziel, wenn wir x vom unteren Wandpunkt aus nach oben zählen, also setzen $x = h - x$, denn dadurch lassen sich e' -Werte bis zu $0,333 h$ erfassen. Wir nehmen für die Erddruckverteilung daher endgültig an:

$$(85) \quad \frac{v}{\gamma h} = c_1' \cdot \frac{x}{h} + c' \cdot \frac{x}{h} \left[1 - \left(\frac{x}{h}\right)^{\omega-1}\right] = c_1' \cdot \frac{x}{h} + c' \left(1 - \frac{x}{h}\right) \left[1 - \left(1 - \frac{x}{h}\right)^{\omega-1}\right].$$

Unter Beachtung von Gl. (84b) ist damit

$$(84c) \quad \frac{e_\omega'}{h} = 1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{\omega+1}{\omega+2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega+4}{\omega+2}.$$

Für $\frac{e_\omega'}{h} = \frac{4}{9}$ erhält man z. B. $\omega = 4$. In Abb. 61b sind die Kurven

$$v_\omega = (1-x) - (1-x)^\omega \quad \text{und} \quad v_\omega = \frac{6}{5} \cdot x \cdot \ln \frac{1}{x}$$

für $x=0$ bis $x=1$ verglichen, die beide gleichen Inhalt und gleiche Schwerpunktlage haben.

Für die Druckverteilung nach Gl. (85) gilt im Hinblick auf Abb. 61a und unter Beachtung von Gl. (83) u. (84c):

$$E_{a_w} \left(= \lambda \cdot \gamma \frac{h^2}{2} \right) = E_1 + E_w = c_1' \gamma \cdot \frac{h^2}{2} + c' \cdot \frac{\omega - 1}{\omega + 1} \cdot \gamma \cdot \frac{h^2}{2}$$

$$e' \cdot E_{a_w} \left(= c' \cdot \lambda \cdot \gamma \frac{h^2}{2} \right) = E_1 e_1' + E_w e_w' = c_1' \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot h + c' \cdot \frac{\omega - 1}{\omega + 1} \cdot \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega + 4}{\omega + 2}$$

Die Auflösung nach c_1' und c' liefert

$$(86) \quad \begin{cases} c' = \frac{\omega + 1}{\omega - 1} \cdot \frac{\omega + 2}{\omega} \left(2 - 3 \cdot \frac{e'}{h} \right) \lambda \\ c_1' = \left[1 - \frac{\omega + 2}{\omega} \left(2 - 3 \cdot \frac{e'}{h} \right) \right] \lambda \end{cases}$$

Um die Druckverteilungslinie bequem auftragen zu können, sind in Abb. 61a noch Formeln für v_{max} und die Tangentenrichtungen angegeben.

Bei der Berechnung der Erddruckverteilung nach Gl. (85) u. (86) kann man für ω im allgemeinen verschiedene Werte einsetzen. Jedoch muß ω innerhalb zweier Grenzen ω_1 und ω_{II} liegen, die aus folgenden zwei Bedingungen hervorgehen:

I. Die Erdspannung v_u im untersten Wandpunkt darf nicht negativ werden und

II. Im oberen Teil darf der Wanddruck nicht den Erdwiderstand überschreiten.

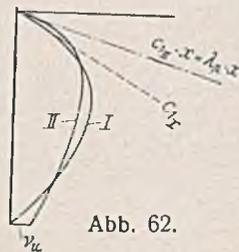
Der ersten Bedingung genügen wir durch Nullsetzen von c_1' in Gl. (86), also durch:

$$(87a) \quad \omega = (\omega + 2) \left(2 - 3 \cdot \frac{e'}{h} \right); \quad \omega_1 = 2 \cdot \frac{2 - 3 \cdot \frac{e'}{h}}{3 \cdot \frac{e'}{h} - 1}$$

Der zweite Grenzfall ist erreicht für $c_1 = \lambda_p$, wenn λ_p die Verhältniszahl des waagerechten Teils des Erdwiderstandes bedeutet. Nach Abb. 61a und Gl. (86) ist:

$$\lambda_p = c_1 = c_1' + (\omega - 1)c' = \lambda \left[1 + \frac{\omega + 2}{\omega} \left(2 - 3 \cdot \frac{e'}{h} \right) (\omega + 1) \right]$$

$$(87b) \quad \omega_{II} = \frac{\lambda_p - 1}{2 - 3 \cdot \frac{e'}{h}} - 2$$



Den beiden Grenzwerten ω mögen die \bar{n} -Werte \bar{n}_I und \bar{n}_{II} entsprechen. Da nach Tabelle 7 die Spannungen v_u mit \bar{n} abnehmen, so sind größere \bar{n} -Werte als \bar{n}_I nicht zulässig, wenn die unterste Gleitflächenspannung v_u nicht negativ werden soll. Es muß daher stets $\bar{n}_{II} < \bar{n}_I$ sein. Aus Abb. 62, die die beiden Grenzkurven der Druckverteilung schematisch zeigt, kann man noch ablesen: $\omega_{II} > \omega_1$ oder auch $c_1 < \lambda_p$. Zwischen \bar{n}_I und \bar{n}_{II} oder ω_1 und ω_{II} besteht die Möglichkeit, jeden \bar{n} - oder ω -Wert mit der ζ -Bedingung für den untersten Wandpunkt in Einklang zu bringen. Der maßgebende \bar{n} -Wert ist dann der den Großwert von λ liefernde, wodurch die Mehrdeutigkeit der Lösung wieder verschwindet.

Zahlenrechnung für $m=0,6$.

Es sei zuerst der Grenzfall I untersucht. Nach den Zahlen der Tabelle 7 erhält man mit Hilfe von Interpolationsformeln:

$$\frac{v_u}{\gamma h} = 0,0830 - 0,18385(\bar{n} - 3) + 0,00035(\bar{n} - 3)^2 = 0; \quad \bar{n}_I = 3,451$$

Ebenso für λ_m :

$$\lambda_m = 0,2986 + 0,01865(\bar{n} - 3) - 0,00305(\bar{n} - 3)^2$$

$$\lambda_{max} \text{ tritt auf für } \frac{d\lambda}{d\bar{n}} = 0 = 0,01865 - 0,0061(\bar{n} - 3) \text{ oder } \bar{n} \approx 6,06$$

Da \bar{n} jedoch $< 3,451$ sein muß, so kommt λ_{max} nicht in Frage. Mit $\bar{n}_{II} < \bar{n}_I$ ist im vorliegenden Beispiel auch $\lambda_{II} < \lambda_I$, so daß unter den möglichen λ -Werten λ_I den größten Wert hat. Der Wert $\bar{n} = 3,451$ kommt also für die weitere Rechnung allein in Betracht. Durch Interpolieren findet man hierfür: $\gamma_1 = 0,9795$; $\lambda = 0,3064$; $\frac{e'}{h} = 0,4398$; $\bar{c}_n = 0,7733$ und nach Gl. (87a) u. (86): $\omega_1 = 4,26$ und $c' = 0,495$, so daß also die Gleichung der Druckverteilung lautet:

$$\frac{v}{\gamma h} = 0,495 \cdot \frac{x}{h} \left[1 - \left(\frac{x}{h} \right)^{3,26} \right]$$

Diese Kurve ist in Abb. 63a strichpunktiert eingetragen. Nach Abb. 61a ist $c_1 = 0,495 \cdot 3,26 = 1,615$. Nun ergibt sich jedoch für λ_p nach Gl. (47d):

$$\lambda_p = \frac{1}{1 + 0,6^2} \approx 0,735$$

so daß die oben erwähnte Ungleichung $c_1 < \lambda_p$ nicht erfüllt ist. Damit im Zusammenhang stehend, findet man auch $\bar{n}_{II} > \bar{n}_I$, was ebenfalls nicht sein darf. Daraus ist zunächst zu schließen, daß der Grenzfall II unter keinen Umständen möglich ist. Aber auch der Grenzfall I ist nicht so ohne weiteres möglich. Tragen wir nämlich die Linie des Erdwiderstandes $v = 0,735 \gamma x$ in Abb. 63a ein, so sehen wir, daß sie von der oben berechneten Druckverteilungskurve ein Stück abschneidet, das offenbar nicht vorhanden sein darf, weil der Erdwiderstand nicht überschritten werden kann. Es bleibt daher nichts weiter übrig, als die Druckverteilung so umzuändern, wie es in Abb. 63a durch die voll ausgezogene Verteilungslinie geschehen ist (s. auch weiter unten). Dabei müssen die Inhalte und Momente der einzelnen Flächenteile sich gegenseitig aufheben. — Daß in der Tat im oberen Teil der „rauen“ Wand der Erdwiderstand erreicht wird, zeigt auch der Versuch nach Abb. 34 (Teil III) durch die kurze Aufbiegung der Schichtlinien in der Nähe der Wand. Man muß dabei bedenken, daß die Neigung der Gleitflächen in der Nähe von $m = -\mu$ sehr steil ist [vgl. Gl. (27)].

Die Zahlenrechnung für $m=0,3$ ist in derselben Weise durchzuführen wie für $m=0,6$. Man erhält: $\bar{n}_I = 3,9804$; $\gamma_1 = 0,9015$; $\lambda = 0,3356$; $\frac{e'}{h} = 0,4235$; $\bar{c}_n = 1,0009$ und als Gleichung der Druckverteilung:

$$\frac{v}{\gamma h} = 0,489 \cdot \frac{x}{h} \left[1 - \left(\frac{x}{h} \right)^{4,39} \right] \text{ (s. Abb. 63b)}$$

$$\text{Obere Tangente: } c_1 = 0,489 \cdot 4,39 = 2,15$$

Nach Gl. (47c) erhält man für $\mu = 0,6$ und $m = -0,3$; $\lambda_p \approx 1,816$. Da jedoch mit Hilfe ebener Gleitflächen ein etwas zu hoher Wert erhalten

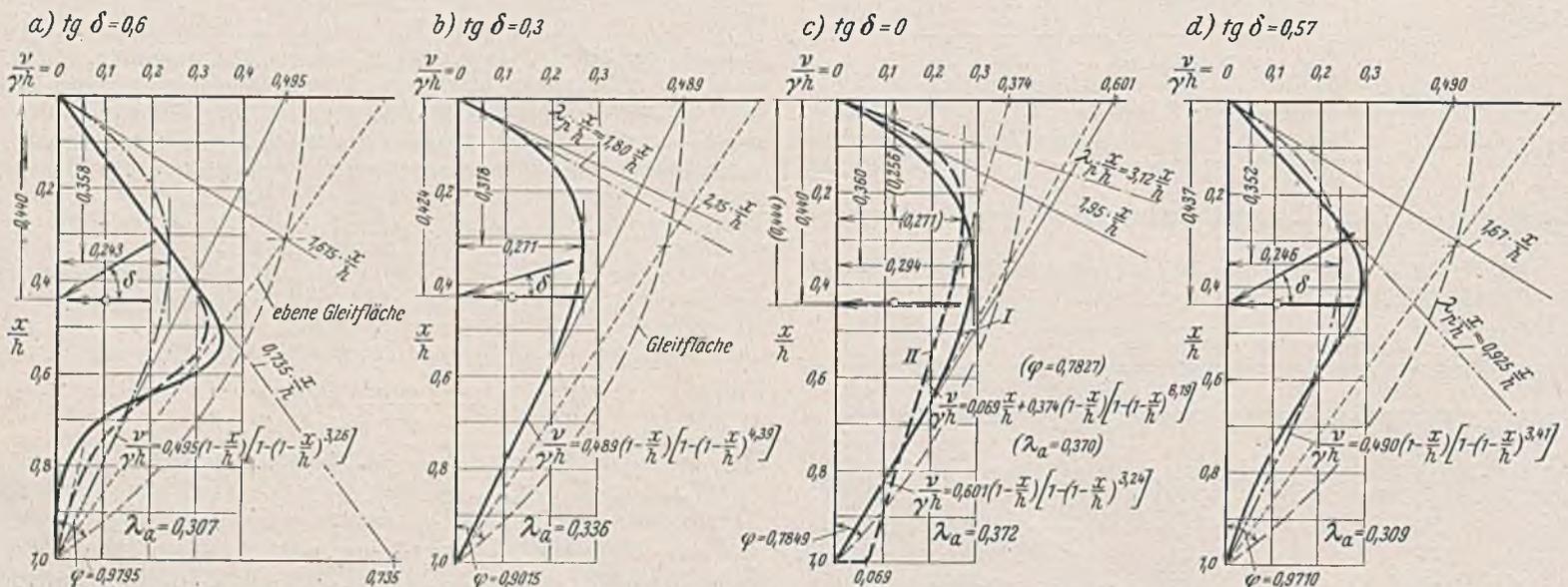


Abb. 63. Erddruckverteilung und Gleitflächenlage bei einer Drehung der Wand um den oberen Punkt und annähernd voller Bodenreibung ($\mu = 0,60$).

wird, nehmen wir an: $\lambda_p \approx 1,80$. Auch hier ist $c_1 > \lambda_p$. Die Eintragung der λ_p -Linie in Abb. 63b (strichpunktiert) zeigt aber, daß sich eine Umänderung der Druckverteilungskurve im Sinne der vorigen Rechnung nicht lohnt, so daß die errechnete Kurve genau genug als richtig angesehen werden kann.

Zahlenrechnung für $m=0$.

Zunächst erhält man: $n_1 = 4,443$ und $n = 4,904$ für λ_{max} , so daß auch hier wieder n_1 maßgebend ist. Für n_1 ist weiter: $\varphi_1 = 0,7849$; $\lambda = 0,3720$; $\frac{e'}{h} = 0,4401$; $\bar{c}_n = 1,6033$; $\omega_1 = 4,244$; $c' = 0,601$ und als Gleichung der Druckverteilung:

$$\frac{v}{\gamma h} = 0,601 \cdot \frac{x}{h} \left[1 - \left(\frac{x}{h} \right)^{3,24} \right]$$

Siehe die voll ausgezeichnete Kurve in Abb. 63c.

Obere Tangente: $c_1 = 1,95$.

Für $\mu = 0,6$ und $m = 0$ ist $\lambda_p = (\sqrt{1,36 + 0,6})^2 \approx 3,12$. Die Bedingung $c_1 < \lambda_p$ ist demnach erfüllt, so daß auch der Grenzfall II noch möglich ist, wenn er des kleineren Erddruckes halber auch nicht die gleiche Wahrscheinlichkeit für sich hat wie der Grenzfall I.

Die Durchrechnung des Grenzfall II sei hier nur angedeutet. Nach den Formeln (87b) und (86) erhält man z. B. für $\bar{n} = 2$: $\omega_{II} = 14,50$ und $c_1' = \frac{v_u}{\gamma h} = 0,1531$. Nun ist nach Tabelle 7: $\frac{v_u'}{\gamma h} = 0,2086$; folglich der

Unterschied der $\frac{v_u}{\gamma h}$ -Werte: $U = 0,2086 - 0,1531 = 0,0555$. Ebenso

verfährt man für $\bar{n} = 3$ und $\bar{n} = 4$ und findet dann aus der Bedingung $U = 0$: $n_{II} = 3,927$, wofür weiter: $\varphi_1 = 0,7827$; $\lambda = 0,3695$; $\left(\frac{0,3695}{0,3720} = 0,993 \right)$; $\frac{e'}{h} = 0,4442$; $\bar{c}_n = 0,6978$, $c_1' = 0,0692$. Aus der Umkehrung der letzten der Gl. (86) ist dann noch:

$$\omega_{II} = 2 \cdot \frac{2 - 3 \cdot \frac{e'}{h}}{3 \cdot \frac{e'}{h} - c_1' - 1} = 9,19$$

und nach der ersten Gl. (86): $c' = 0,374$, so daß die Druckverteilung für den Grenzfall II lautet:

$$\frac{v}{\gamma h} = 0,069 \cdot \frac{x}{h} + 0,374 \cdot \frac{x}{h} \left[1 - \left(\frac{x}{h} \right)^{8,19} \right]$$

die der in Abb. 63c gestrichelt eingetragenen Kurve entspricht.

In Abb. 63d ist noch die durch parabolische Interpolation erhaltene Druckverteilung für $m = 0,57$ aufgezeichnet, um zu zeigen, daß die in Abb. 63a dargestellte Abweichung der Druckverteilung von Gl. (85) nur in der Nähe von $m = \mu$ vorhanden ist und mit kleinerem m schnell abklingt. Um die Ergebnisse der genaueren Berechnung mit Abb. 59 vergleichen zu können, ist in Abb. 64 die Druckverteilung für $m = 0,3$ dargestellt (voll ausgezogene Linien).

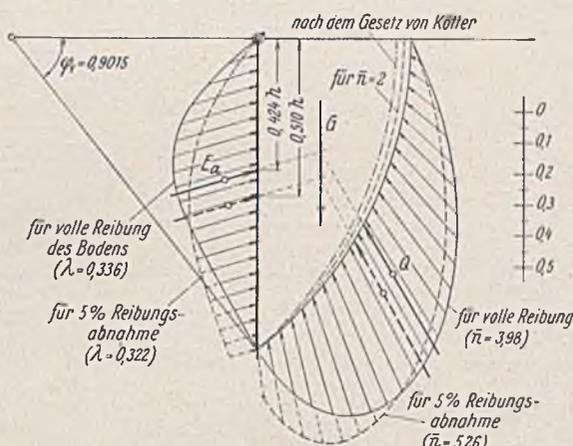


Abb. 64. Druckverteilung für eine Wanddrehung um den oberen Punkt. $\mu = 0,60$; $\text{tg } \delta = m 0,30$.

Am Schluß dieser Zahlenrechnungen sei noch auf eine Ungenauigkeit im gewählten Rechnungsgang hingewiesen, die sich allerdings kaum mehr als ein Schönheitsfehler auswirkt. Genau genommen hätten wir nämlich zuerst für jeden Wert $n = 2,3$ und 4 den λ - bzw. φ -Wert ermitteln müssen, für den die ξ -Bedingung im untersten Wandpunkt erfüllt ist, um dann aus den so erhaltenen λ -Werten den Größtwert zu berechnen. Der einfacheren Zahlenrechnung halber sind wir den umgekehrten Weg gegangen. Dadurch nimmt E nicht genau seinen größten Wert an, wie an Hand der räumlichen Darstellung nach Abb. 65 gezeigt

sei. Die gestrichelte λ_m -Kurve folge den Größtwerten der Kurven $\lambda = f(\varphi_1)$, während die strichpunktierte Linie der ξ -Bedingung entsprechen möge. Die bisher berechneten endgültigen λ -Werte entsprechen dann dem λ_K im Schnittpunkt K der beiden besonderen Kurven. Man liest aus Abb. 65 ohne weiteres ab, daß λ_{max} der ξ -Kurve nicht mit λ_K identisch ist, solange λ_K nicht dem Größtwert der λ_m -Kurve entspricht oder aber, solange die Projektion der ξ -Kurve im Grundriß nicht gleichlaufend der φ_1 -Richtung ist.

Da die vorstehenden Berechnungen mit ziemlicher Sicherheit gezeigt haben, daß für $0,6 > m > 0$ überall der Grenzfall I maßgebend ist, so ist die Berichtigung der aufgezeigten Ungenauigkeit unschwer durchzuführen; sie sei hier aber aus Raumgründen übergangen. In Tabelle 9 sind die verbesserten Werte zusammengestellt.

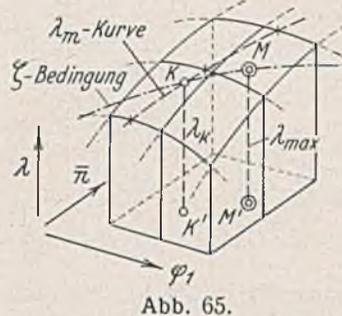


Abb. 65.

Tabelle 9.

für $m =$	0,6	0,3	0,0
λ_{max}	0,3078	0,3363	0,3721
$\frac{e'}{h}$	0,426	0,413	0,438
\bar{n}	3,621	4,125	4,481
$\varphi_1 \approx$	1,013	0,926	0,800
$\bar{c}_n \approx$	0,711	0,935	1,60

Aus weiter unten angedeuteten Gründen verzichte ich darauf, die in Abb. 63 gezeigten Verteilungslinien nach den Zahlen der Tabelle 9 zu berichtigen. Nur sei noch darauf hingewiesen, daß für $m = 0,6$ eine Konstruktion der Druckverteilungslinie in ähnlicher Art und Weise wie in Abb. 63a kaum noch gelingt. Der Rutschkörper wird sozusagen in seinem oberen Teil so stark durch die Bodenreibung gehalten, daß in dem unteren Teil kein Druck mehr entsteht. Die Folge davon wird ein Herunterfallen oder wenigstens eine Auflockerung und Streckung des Sandes im unteren Teil des Rutschkörpers sein, was in der Tat auch bei dem in Abb. 34 (Teil III) gezeigten Versuch mit rauher Wand durch die verschiedene Größe der Bewegungspfeile zu erkennen ist.

Hinsichtlich der Druckverteilung im unteren Wandteile der Abb. 63a ist allerdings zu bemerken, daß der Wanddruck hier mindestens einen unteren Wert erreichen muß, und zwar ist dieser Mindest-Erddruck „umgekehrt-dreieckförmig“ verteilt, wie Abb. 66 zeigt. Das würde eine Umänderung der Druckverteilungslinie in Abb. 63a etwa nach der gestrichelten Kurve erforderlich machen, wodurch die Momentenbedingung $\Sigma M = 0$ nicht mehr erfüllt ist. Wahrscheinlich ist die angenommene Form der Gleitfläche für den Grenzfall $m = \mu$ nicht mehr genügend genau; doch sei mit Rücksicht auf den Vergleich von Abb. 63a u. 63d auf diesen Punkt nicht weiter eingegangen.

Nach den bisherigen Ausführungen und Berechnungen könnte man meinen, die gestellte Aufgabe wäre — wenigstens im Rahmen der Näherung — vollkommen gelöst. Das ist jedoch nicht der Fall, wie

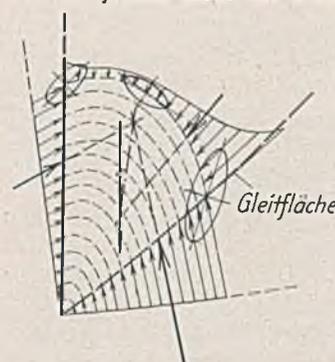


Abb. 66.

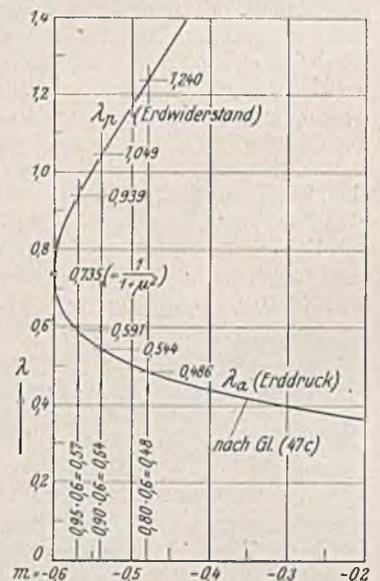


Abb. 67.

man sehr bald erkennt, wenn man die Auswirkung des (von der Größe der Wandbewegung abhängigen) Abnehmens der inneren Reibung auf die Größe des c_1 -Wertes in Betracht zieht. Zu diesem Zweck sind die λ -Werte nach Gl. (47c) für $\mu = 0,60$ in Abb. 67 als Abhängige von m aufgetragen. Der bisher benutzte Wert $\bar{c}_1 = \frac{1}{1 + \mu}$ hat das Vorliegen des Grenzfall $m = -\mu$ zur Voraussetzung (vgl. Teil III). Nach dem Verhalten der λ -Kurve in Abb. 67 darf $|m|$ auch nicht um ein Geringes kleiner sein als μ , weil dann sofort λ_a wesentlich kleiner und λ_p wesent-

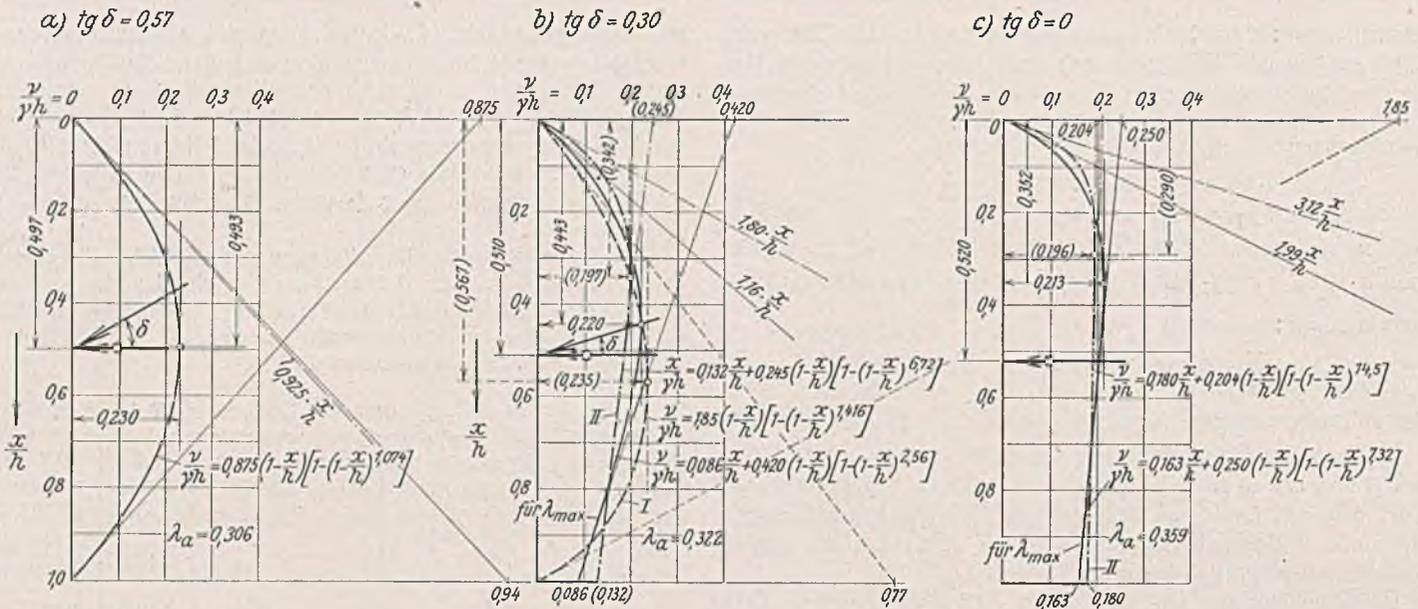


Abb. 68. Erddruckverteilung bei einer Drehung der Wand um den oberen Punkt und 5% Reibungsabfall ($\mu = 0,95 \cdot 0,60 = 0,57$).

lich größer wäre als $\frac{1}{1 + \mu^2}$. Diese Forderung ist jedoch vielfach nicht erfüllt, wofür zwei Ursachen in Betracht kommen:

1. die nicht ganz gleichmäßige Größe der inneren Reibung des Bodens (diese wird je nach dem Orte etwas verschieden sein, d. h. um einen mittleren Wert herum innerhalb bestimmter Grenzen streuen) und
2. der Abfall der inneren Reibung mit der Länge des Gleitweges (entsprechend der Abb. 5 im Teil I).

Beide Ursachen wirken sich in gleicher Weise aus: Der Reibungswert in der Gleitfläche wird etwas kleiner sein als der Reibungsbeiwert des der Gleitfläche benachbarten Bodens, was nach Abb. 67 ein merklich kleineres $\lambda_a = c_1$ zur Folge hat. Unter der Voraussetzung einer, wenn auch noch so geringen Ungleichmäßigkeit des Bodens scheint demnach die Erreichung des Zustandes $m = -\mu$ niemals gänzlich möglich zu sein. Aus diesem Grunde sind die oben errechneten und in Abb. 63 dargestellten Druckverteilungskurven (annähernd) als eine obere Grenze anzusehen, die wahrscheinlich in den meisten Fällen nicht ganz erreicht wird. Aus diesem Grunde habe ich darauf verzichtet, die in Tabelle 8 gegebenen äußersten Werte als Verteilungskurven aufzutragen, da sie praktisch wohl nicht vorkommen.

An Hand der Abb. 35 (Teil III) wurde gezeigt, daß für den Fall $m = -\mu$ die Gleitfläche im Erdkörper nicht mehr mit der Wand zusammenfällt. Es muß daher erwartet werden, daß sich in der erdseitigen Nachbarschaft des oberen Teiles der kreisförmigen Gleitfläche noch sekundäre Gleitflächen ausbilden, die zwar auch noch ziemlich steil, aber nicht mehr ganz lotrecht verlaufen, was Abb. 33 u. 34 auch erkennen lassen. Damit sich die sekundären Gleitflächen ausbilden können, muß der eigentliche Rutschkörper während der Bewegung ein wenig in waagerechter Richtung nachgeben, was nur möglich ist, wenn die eigentliche Gleitfläche im Geländepunkt nicht genau lotrecht, sondern ein wenig nach vorn überhängend geneigt ist.

Es liegt natürlich nichts im Wege, die oben abgeleiteten Formeln auch für andere c_1 -Werte durchzurechnen⁶⁸⁾. Im folgenden werden die für 5% Reibungsabnahme ($\tau_\infty = 0,95 \cdot 0,6 \nu = 0,570$) berechneten Ergebnisse wiedergegeben. Für die Lage der Gleitfläche ist dabei derselbe γ_1 -Wert eingesetzt, der früher für die maßgebende Gleitfläche erhalten wurde (s. Abb. 63), weil die einmal ausgebildete Gleitfläche des Reibungsabfalles wegen ihre Lage nicht mehr wesentlich ändert.

Für $m = -0,57$ und $\mu = 0,60$ gilt nach Gl. (47c) (ebene Gleitflächen): $\lambda_a = 0,5914$ und $\lambda_p = 0,939$, die genaueren Werte seien daraufhin zu $\lambda_a = c_1 \approx 0,60$ und $\lambda_p \approx 0,925$ geschätzt. Die weiteren Berechnungsergebnisse bringt die nebenstehende Tabelle 10.

In der Tabelle 10 geben die unterstrichenen Größtwerte von λ den maßgebenden Fall an, für $m = 0,57$ den Fall I und für $m = 0,3$ und Null den Fall λ_{max} . Der Vergleich der Zahlenwerte für λ_{II} und λ_{max} zeigt aber bereits, daß für negatives m sehr bald Grenzfall II maßgebend wird. — In Abb. 68 sind die mitgeteilten Ergebnisse aufgetragen.

Der Vergleich der Abb. 63 u. 68 zeigt, in welcher Weise Größe und Verteilung des Erddruckes durch die Abnahme der Reibung beeinflusst werden. Während die Größe des Erddruckes ziemlich unverändert bleibt — sie nimmt nur um etwa 3% ab⁶⁹⁾ — liegt der Angriffspunkt des Erd-

Tabelle 10.

$m =$	0,57	0,3	0	
$\gamma_1 =$	0,9795	0,9015	0,7849	
λ für	$\bar{n} = 2$	0,2775	0,3022	0,3462
	$\bar{n} = 3$	0,2871	0,3124	0,3535
	$\bar{n} = 4$	0,2955	0,3189	0,3578
$\frac{e'}{h}$ für	$\bar{n} = 2$	0,5742	0,5615	0,5510
	$\bar{n} = 3$	0,5438	0,5322	0,5323
	$\bar{n} = 4$	0,5226	0,5149	0,5219
c_n für	$\bar{n} = 2$	0,2761	0,2616	0,2323
	$\bar{n} = 3$	0,3781	0,3842	0,3862
	$\bar{n} = 4$	0,4850	0,5310	0,6074
$\frac{r_u}{\gamma h}$ für	$\bar{n} = 2$	0,3888	0,4186	0,4638
	$\bar{n} = 3$	0,2799	0,3308	0,4021
	$\bar{n} = 4$	0,1701	0,2425	0,3401
$\zeta =$	1,0	1,532	1,734	
$\frac{r_u'}{\gamma h}$ für	$\bar{n} = 2$	0,3888	0,2731	0,2676
	$\bar{n} = 3$	0,2799	0,2158	0,2320
	$\bar{n} = 4$	0,1701	0,1582	0,1962
für Fall I	$\bar{n}_1 =$	5,546	6,718	
	$\bar{\lambda}_1 =$	0,3056	0,3179	
	$\frac{e'}{h} =$	0,4970	0,5285	
	$\omega_1 =$	2,074	1,416	
	$c' =$	0,875	1,845	
für Fall II	$\lambda_p =$		1,80	3,119
	$n_{II} =$		4,467	4,450
	$\lambda_{II} =$		0,3207	0,3588
	$\frac{e'}{h} =$		0,5109	0,5199
	$\omega_{II} =$		7,72	15,33
	$c' =$		0,2450	0,2035
	$c'_1 =$		0,1320	0,1802
für λ_{max}	$\bar{n} =$		5,257	4,933
	$\lambda =$		0,3218	0,3591
	$\frac{e'}{h} =$		0,5102	0,5197
	$\frac{r_u}{\gamma h} =$		0,1316	0,2820
	$c'_1 =$		0,0859	0,1627
	$\omega =$		3,560	8,317
	$c' =$		0,420	0,2500

⁶⁸⁾ Die Köttersche Gleichung versagt hier.

⁶⁹⁾ Im Gegensatz zu dem Erddrucke für Wandbewegung A, der selbstverständlich für eine Reibungsabnahme um 5% (z. B. nach Formel 47c) größer ist als für noch voll vorhandene Reibung (etwa um 6% größer).

druckes merklich tiefer: i. M. auf $e' = 0,51 h$ gegenüber $0,43 h$. Man könnte nun meinen, bei einem Reibungsabfall, der bedeutend größer als 5% ist, würde auch der Angriffspunkt des Erddruckes wiederum noch bedeutend tiefer als $0,51 h$ liegen, so daß auf diese Weise vielleicht auch wieder die dreieckförmige Erddruckverteilung ($e' = 0,667 h$) erreicht werden könnte. Das trifft jedoch nicht so ohne weiteres zu, da die Wanderung des Angriffspunktes von F_a — wie man aus dem Bau der Formeln (80) erkennt — etwa linear mit c_1 zunimmt, der c_1 -Wert jedoch (nach Abb. 67) bei größerem Unterschied zwischen $|m|$ und μ nur noch langsam mit dem $|m|$ -Wert fällt. Außerdem ist zu bedenken, daß die Abnahme der Reibung sehr bald auch in den sekundären Gleitflächen auftritt, wodurch ebenfalls eine schnelle Näherung an ein konstantes c_1 eintritt. — Sorgfältig durchgeführte Versuchsmessungen werden in der angeschnittenen Frage wohl das letzte Wort haben müssen⁷⁰⁾.

Noch ein Einwand muß hinsichtlich der Ergebnisse in Abb. 63 genannt werden: Da in einigen Fällen (schätzungsweise für $m > 0,4$) im

⁷⁰⁾ Die Forderung nach genauer Beachtung aller wichtigen Einflüsse (z. B. Wandbewegung, Lagerungsdichte des Versuchsbodens, sein Reibungsabfall usw.) muß bei solchen Versuchen nachdrücklich erhoben werden. Mir schweben Versuche vor mit möglichst feinem (nicht lehmigem) Sand und nicht zu großer Wandhöhe (etwa 50 cm), jedoch mit größerer Länge der Wand (2,5 bis 3 m) und Abböschung des Sandes an den beiden Enden, um den schwer zu bestimmenden Einfluß der Seitenwände des Versuchskastens auszuschalten.

Vermischtes.

Neue Vorschriften über die Berücksichtigung der Windlast bei der Berechnung von Bauwerken (DIN 1055, Blatt 4)¹⁾ sind mit Rundschreiben des Reichsarbeitsministers vom 18. 6. 1938 — IV 2, Nr. 9602/3 — als Richtlinien für die Baupolizei eingeführt und durch Runderlaß des Preußischen Finanzministers vom 2. 8. 1938 — Bau $\frac{2111}{8}$ /18. 6. — vom 1. 9. 1938 ab für Preußen als verbindlich erklärt worden, nachdem die langen, wegen der Schwierigkeit des Gegenstandes nicht ganz einfachen Verhandlungen über verschiedene vorausgegangene Entwürfe zum Abschluß gebracht worden waren.

Neueren Anschauungen gemäß wird die auf die Flächeneinheit entfallende Windlast w in Vielfachen des sog. Staudrucks $q = \frac{v^2}{16}$ (kg/m²) gemessen, und für irgendeine Stelle des Bauwerks gilt allgemein die Beziehung $w = c \cdot \frac{v^2}{16} = c q$, worin für v die beobachteten Höchstwerte der Windgeschwindigkeit v zu setzen sind und c einen Beiwert bedeutet, der aus Versuchen mit Bauwerkmodellen gewonnen ist. Auf dieser Unterlage sind die neuen Vorschriften aufgebaut. Die Vereinigung der Überdruck- und Sogwerte soll zur Erleichterung der Rechnung als Regel gelten, doch ist die getrennte Berücksichtigung der beiden freigestellt.

Neu ist auch die gleichzeitige Berücksichtigung von Wind- und Schneelast.

Die preußischen Bestimmungen über die bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen usw. vom 24. 12. 1919, Abschn. C, c, Winddruck, sind vom 1. 9. 1938 ab aufgehoben; damit werden dann die Bestimmungen vom 24. 12. 1919 insgesamt ungültig werden.

Die neuen Winddruckbestimmungen bedeuten einen wichtigen Fortschritt auf dem Gebiete der Baustatik und müssen selbstverständlich von jedem Bauingenieur sorgfältig beachtet und angewendet werden. Ls.

Technische Bestimmungen für Zulassung neuer Bauweisen (DIN 4110). Mit Rundschreiben des Reichsarbeitsministers vom 12. 7. 1938 — IV 2, Nr. 9600/6 — sind diese neuen Bestimmungen im gesamten Reichsgebiete, ausgenommen in Oesterreich, eingeführt und durch einen Runderlaß des Preuß. Finanzministers vom 2. 8. 1938 — Bau 2940/12. 7. — im Ztrbl. d. Bauv. 1938, Beilage zu Heft 32²⁾ veröffentlicht worden. Die genannten Bestimmungen werden zukünftig der Behandlung der Anträge auf allgemeine baupolizeiliche Zulassung von neuen Baustoffen und neuer Bauarten zugrundegelegt werden. Mit dem angeführten Erlaß des Preuß. Finanzministers wird zugleich dessen Runderlaß vom 6. 9. 1934 — V 19, 6300/21 — aufgehoben, so daß nunmehr die Zulassung neuer Baustoffe und neuer Bauarten vollständig auf das Reich übergegangen ist.

Der Veröffentlichung der Bestimmungen im Ztrbl. d. Bauv. ist ein längerer erläuternder Aufsatz von Oberregierungs- u. -baurat Wedler vorgelegt, dessen Studium allen Bauingenieuren und Bauunternehmern ganz besonders zu empfehlen ist. Ls.

Eine Wanderversammlung des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten E. V. findet am 12. u. 13. September 1938 in Wien statt. Sonntag, den 11. September 18.30 Uhr: Begrüßungsabend im Kursalon der Stadt Wien, Stadtpark, Parkring 1. Tagesordnung der

¹⁾ Erschienen als 10. Beilage zum Ztrbl. d. Bauv. 1938, Heft 33, mit einer Einführung von Ministerialrat I. R. Busch. Verlag von Wilh. Ernst & Sohn, Berlin W 9. Preis 0,50 RM, Partierpreise billiger.

²⁾ Zu beziehen vom Verlage Wilh. Ernst & Sohn, Berlin W 9, zum Einzelpreise von 0,80 RM; Partierpreise billiger.

oberen Wandteil der Erdwiderstand erreicht ist, sich infolgedessen hier Gleitflächen ausbilden, die zwar ziemlich steil, aber nicht mehr ganz lotrecht verlaufen, so liegt in diesen Fällen auch kein Zwang mehr vor für die lotrechte Richtung der eigentlichen Gleitfläche in Geländenehe, sondern nur noch der Zwang für die Anpassung an die Richtung der Gleitflächen des Erdwiderstandes. Tatsächlich zeigen auch Abb. 33 u. 34 eine nicht ganz lotrechte Richtung der Rutschkörperbewegung in der Nähe der Oberfläche (nach Abb. 33: $\vartheta \approx 82^\circ$). Diese Abweichung von der Voraussetzung der Rechnung wirkt sich jedoch nicht sehr stark aus. Z. B. erhält man für $\vartheta = 82^\circ$ nach der Kotterschen Gleichung

$$\bar{\sigma} = \gamma \cdot \sin(82^\circ - 31^\circ) s$$

oder

$$\bar{c}_1 \approx \sin 51^\circ \cdot \frac{\cos(31^\circ - 8^\circ)}{\cos 8^\circ} = 0,722$$

gegenüber 0,735 der Zahlenrechnung für volle Reibung und 0,60 der Berechnung für 5% Reibungsabnahme.

Im ganzen lassen die Ausführungen im Verein mit der Durchrechnung für $\mu = 0,60$ erkennen, daß der Erddruck für eine Wanddrehung um den oberen Punkt nicht unerheblich größer ausfällt als der Erddruck für eine Wanddrehung um den unteren Punkt (für $m = 0,6$ rd. 20% und für $m = 0$ rd. 15%), und daß die halbwegs parabelförmige Druckverteilung u. a. eine Funktion der Wandbewegung oder, genauer gesagt, eine Funktion des Unterschiedes der Reibungszahlen in der Nähe der Gleitfläche ist. (Fortsetzung folgt.)

Technisch-wissenschaftlichen Tagung im Festsale des Industriehauses, Schwarzenbergplatz 4. Montag, den 12. September, Prof. Dr. Roman Grengg, Wien: „Die Bodenschätze der Ostmark“. — Direktor Ing. Georg Beurle, Linz: „Der Ausbau der Wasserkräfte in der Ostmark“. — Regierungsbaumeister a. D. Bornemann, Berlin: „Neuere Verfahren im Eisenbetonbau“. Dienstag, den 13. September, Prof. Dr. Wilhelm Eitel, Berlin-Dahlem: „Bestimmung der Abbindewärme des Zementes“. — Dr.-Ing. Büssem, Abteilungsleiter am Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung, Berlin-Dahlem: „Röntgenuntersuchungen an Zement“. — Direktor Dr. Curt Prüssing, Hemmoor a. Oste: „Bericht über die Tätigkeit des Forschungsausschusses“. — Dr. G. Haegermann, Berlin-Karlshorst: „Neuere Erkenntnisse über das Schwinden von Portland-Zement“. Anmeldungen tunlichst bis zum 28. August an den Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten, Misburg bei Hannover, erbeten.

Neuere Walzen für den Straßenbau. Für den Straßenbau standen ursprünglich zwei Walzenarten zur Verfügung, von denen die 15 bis 20 t schwere Dreiradwalze zum Verdichten von sandgebundenem Steinschlag und die mittelschwere Tandemwalze zum Abwalzen von Asphaltbelagen in Betracht kam. Der Straßenbau ist jedoch sehr vielseitig geworden. Heute gibt es außer der sandgebundenen Steinschlagstraße die gleiche Bauart mit voller oder halber Innenfränkung, die Walzschotter- und Gußasphaltdecken, die Zementschotter- und die Traßkalkdecken, die Steinschlagstraßen aus vorbehandeltem Gestein, die Teerbetonstraßen, die Dammandecken, Teer- und Bitumenbauarten nach dem Kalt- und Heißverfahren und die Oberflächenbehandlungen. Bei der Verschiedenheit

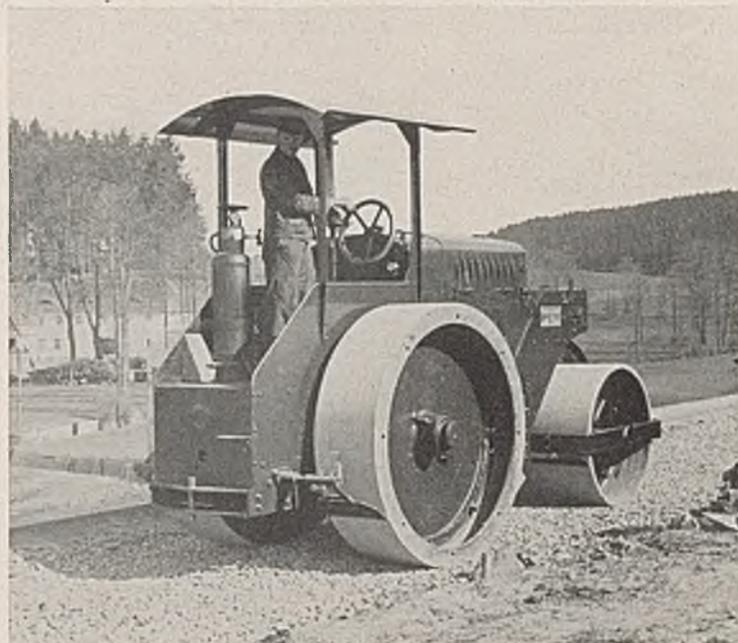


Abb. 1. Dreiradwalze mit veränderlichem Druck durch in die Räder einsetzbare Gußgewichte.

Bauart Orenstein & Koppel AG.



Abb. 2. Dreiradwalze mit veränderlichem Druck durch Wasser- oder Sandfüllungen in den Rädern.
Bauart Orenstein & Koppel AG.

der Bauarten soll mit den Walzen eine gute und haltbare Verdichtung geschaffen werden. Außerdem sollen die Walzen zum Herstellen des Planums und zum Verdichten der Schüttungen auf den Autobahnen dienen, wobei teilweise flüchtiges Gut, gemischtkörniger Boden und schwerer Lehm in Frage kommen.

Wenn auch für viele Bauweisen der erforderliche Verdichtungsdruck gleich ist, so müßten dennoch für die zahlreichen Arbeiten mehrere verschieden schwere Walzen eingestellt werden. Es sind daher von Orenstein & Koppel AG Walzarten entwickelt worden, bei denen in einer Walze das vereinigt ist, was sonst zwei bis drei Walzen verschiedener Gewichte leisten können. Die Frage ob zum Verdichten die Dreirad- oder Tandemwalze besser geeignet ist, wurde für die Dreiradwalze entschieden, da sich bei der Dreiradwalze der Schwerpunkt tief legen und der Rad-durchmesser vergrößern läßt. Dabei ist die Art des Antriebes, ob durch Dampfmaschine oder Rohölmotor, weniger von Bedeutung. Für den Rohölmotor sprechen nur wirtschaftliche Gründe (stete Betriebsbereitschaft, kein Brennstoffverbrauch in Arbeitspausen u. dgl.).

An den Walzen können am Gestell bis zu drei verschieden schwere, für das Gewicht passend breite Räder angesetzt werden. Außerdem lassen sich die Walzenräder durch Gußgewichte (Abb. 1) oder durch Wasser- und Sandfüllungen (Abb. 2) belasten. Ferner besteht die Möglichkeit, durch Anbringen von Verbreiterungsringen den spezifischen Druck unter den hinteren Walzenrädern bei den einzelnen Bauarten zu vergrößern (Abb. 3). Auf diese Weise ergeben sich an den schweren Walzen Gewichtsveränderungen zwischen 10 und 18 t, an mittleren Maschinen zwischen 6,5 und 12 t und an kleinen Walzen zwischen 3,1 und 4,8 t. Zum Anpassen an gewölbte Walzquerschnitte können die Hinterräder an Kippachsen laufen, wobei ein Durchfedern der Räder nach unten möglich ist.



Abb. 3. Dreiradwalze mit Verbreiterungsringen und Greifern an den Hinterrädern zum Verringern des spezifischen Druckes.
Bauart Orenstein & Koppel AG.

Die Leistungen der Antriebmotoren sind für das größte Walzen-gewicht bemessen. Arbeitet eine Walze mit leichteren Rädern, dann stellt ein Regler die Motordrehzahl selbsttätig so ein, daß die Walzgeschwindigkeit gleich bleibt. Das Ausgleichgetriebe im Antriebe der Hinterräder kann gesperrt werden, wenn kleine Kurven gewalzt werden sollen. Der Antriebs-motor ist genau so gebaut wie an den kleineren Löffelbaggern, Motor-lokomotiven oder Straßenzugmaschinen desselben Ursprunges. Da die Bauteile der Motoren innerhalb weiter Grenzen untereinander austauschbar sind, nimmt das Ersatzteillager einen geringeren Umfang an als bei Motoren verschiedener Herkunft. Ferner wird das Anlernen des Bedienungs-personals vereinfacht, das dann bei den verschiedenen Geräten auf einer Baustelle nur eine Motorenbauart zu bedienen braucht.

Eine Übersicht über die Dreiradwalzen enthält die folgende Zu-sammenstellung:

Gewicht t	10,9 bis 18	6,5 bis 12	6,3 bis 9,5	3,1 bis 4,8
Spez. Druck				
vorn kg/cm ²	29 bis 47	19 bis 38	21 bis 30	12 bis 21
hinten kg/cm ²	70 bis 100	52 bis 71	44 bis 62	26 bis 38
Motorleistung . . . PS	40 bis 48	22 oder 33	18 bis 20	11
Brennstoffverbrauch				
bei 1/2 bis 2/3 Belastung . . . kg/h	4,25 bis 5,65	2,15 bis 3,75	2 bis 2,75	1 bis 1,25
Schmierölverbrauch				
bei 1/2 bis 2/3 Belastung . . . kg/h	0,22	0,16	0,16	0,05

Patentschau.

Lagerbock für einsetzbare und herausnehmbare Wehrklappen. (Kl. 84a, Nr. 624 827 vom 17. 7. 34 von Sté Française des Constructions Babcock & Wilcox in Paris.) Um das Einsetzen und Herausnehmen der Wehrklappen nicht nur bequem, sondern rasch und wirtschaftlich zu gestalten und alle Arbeiten vom Brückenstege aus ohne einen Taucher auszuführen, wird ein Lagerbock 7 verwendet, der aus der Schwellenplatte 8 und einem Bogenstück 9 besteht, gegen das sich das untere Ende der Wehrklappe 1 stützt.

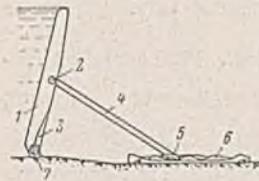


Abb. 1.

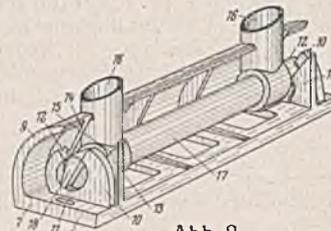


Abb. 2.

Die Platte 8 trägt einen Lagerhalter 10 mit Bohrung 11, in die die Enden der Achse 17 des Stützgestells 3 eingreifen können. Die Lagerhalter sind bei 12 ausgeschnitten. Die Klappe 1 des Wehres ist bei 2 drehbar an einem Stütz-gestell 3 befestigt und wird durch eine Halte-stütze 4, deren Fuß bei 5 in einer Zahnschiene 6 Halt findet, gestützt. Der Lagerbock 7 trägt Rippen 13 mit Führungsschlitz 14, 15. Das Stützgestell besteht aus Rohren oder Ständern 16, die an der unteren Achse 17 befestigt sind, die keilförmige Stirnzapfen 18 besitzt. Um die Wehr-klappe 1 an den Lagerbock 7 festzu-machen, senkt man das Stützgestell 3 senkrecht oder nahezu senkrecht. Ist es genügend herabgelassen, so tritt die Achse 17 in den Führungsschlitz 14, 15 und gleitet bei weiterem Senken in diesem abwärts. Die Stirnzapfen 18 gehen durch die Öffnungen 12 der Lagerhalter 10 hindurch, bis die Achse 17 auf dem Grunde der Bohrungen 11 angelangt ist. Nunmehr neigt man die Wehrklappe in die gewünschte Staustellung, wobei die Zapfen 18 aus dem Bereich der Ausschnitte 12 heraustreten und in den Bereich der Bohrungen 11 hineintreten, wodurch die Wehrklappe sicher verriegelt wird.

Personalmeldungen.

Bayern. Ernannt: die Regierungsbauassessoren Walter Keina th beim Landbauamt Bamberg, Außenstelle Coburg, Edgar Luther beim Landbau-amt Ansbach, und Dr.-Ing. Richard Neger beim Straßen- und Flußbau-amt Traunstein unter Berufung in das Beamtenverhältnis auf Lebenszeit zu Regierungsbauräten.

Versetzt: die Regierungsbaurat des Straßen- und Flußbauamtes Ansbach Karl Kraus in gleicher Diensteseigenschaft an das Straßen- und Flußbauamt München.

In den Ruhestand versetzt: Regierungsoberbaurat und Vorstand des Landbauamtes Würzburg Konrad Friedrich auf eigenen Antrag.

INHALT: Bau der Reichsstraßenüberführung in Freising bei München. (Schluß.) — Zur Theorie des Erddruckes unter besonderer Berücksichtigung der Erddruckverteilung. (Fortsetzung.) — Vermischtes: Neue Vorschriften über die Berücksichtigung der Windlast. — Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen (DIN 4110). — Eine Wanderversammlung des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten E. V. — Neuere Walzen für den Straßenbau. — Patentschau. — Personalmeldungen.