

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 81/82 (1923)
Heft: 9

Artikel: Versuche zur Bestimmung des Seitendruckes von feuchtem Zementbeton
Autor: Noack, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-38962>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Versuche zur Bestimmung des Seitendruckes vom feuchten Zementbeton. — Der Stammheimer Bildersturm A. D. 1923. — Reformierte Gemeindebauten. — Elektrische Fussboden-Heizung. — Miscellanea: Erhöhung der Talsperre der Stadt Nordhausen. Automobilstrasse von 5300 km Länge zwischen New York und San Fran-

cisco. Dampfkessel mit umlaufenden Wasserrohren. Schweizer. Verein von Gas- und Wasserfachmännern. Wettervoraussage zur See. Hudson-Bai-Eisenbahn. — Konkurrenzen: Neuer Bahnhofplatz und Bahnhof Enge. — Literatur: Zwingli-Kalender 1924. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 82.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 9.

Versuche zur Bestimmung des Seitendruckes von feuchtem Zementbeton.

Von Dr.-Ing. Paul Noack, Halle a. S.

Beim Einbringen der feuchten Betonmasse werden die Schalungen nebst ihrer Absteifung in senkrechter Richtung durch das Eigengewicht des Beton und die Verkehrslasten, in seitlicher Richtung durch den Seitendruck des frischen Betons und durch Wind beansprucht.

Die senkrechten und Windkräfte, die der Rechnung leicht zugänglich sind, können hier ausser Betracht bleiben. Zur Bestimmung des Seitendruckes von feuchtem Zementbeton wurden vom Verfasser in den Jahren 1916/17 Versuche beim Bau der A. E. G.-Schnellbahn Gesundbrunnen-Neukölln in Berlin durchgeführt, deren Ergebnisse nachfolgend kurz mitgeteilt werden. In eingehender Weise ist das Problem des Beton-Seitendruckes in der Dissertation des Verfassers: „Ergebnisse neuerer Forscherarbeiten über die Eigenschaften des Zementbetons und Versuche zur Bestimmung seines Seitendruckes“ (Dresden 1919), behandelt.

Veröffentlichungen deutscher oder europäischer Versuche über den Seitendruck von Beton oder Angaben seiner Grösse und der zu beobachtenden Rechnungsgrundsätze liegen bisher nicht vor. Nur gelegentliche Hinweise auf die Notwendigkeit guter Versteifung der Schalung gegen den „im halbflüssigen Zustande stark drückenden Beton“ oder Meinungsverschiedenheiten über die Frage, ob Gussbeton eine stärkere oder schwächere Rüstung erfordert als Stampfbeton, finden sich in der vom Verfasser sorgfältig durchgesehenen Fachliteratur. Klarheit über die Art und Grösse der vom feuchten Beton entfalteten Seitenkräfte ist indessen nötig, um die Schalungen und Rüstungen, insbesondere bei der Anwendung der Gussbetonbauweise, sachgemäss und wirtschaftlich ausbilden zu können.

Die Versuche des Verfassers wurden mit erdfeuchtem, plastischem und flüssigem Beton aus einem Raumeil Rüdersdorfer Portlandzement und sechs Raumeilen Lößnitzer Kiessand durchgeführt. Die Lufttemperaturen schwankten zwischen + 16° und + 20° C. Aus der nachstehenden Tabelle gehen hervor: die Wasserzusätze (in Prozenten der Gewichte der Trockenmischungen), die beobachteten natürlichen Böschungswinkel und Abbindezeiten der Versuchsbeton, die Füllzeiten und lotrechten Füllgeschwindigkeiten, die Reibungszahlen zwischen Beton und rauher Holzschalung.

Steife des Betons	erdfeucht	plastisch	flüssig
Wasserzusatz %	6,7	10,0	13,0
Böschungswinkel tg φ	0,38	0,31	0,27
Abbindezeit h	12,0	13,0	13,5
Füllzeit min	130	100	55
Füllgeschwindigkeit m/h	1,22	1,58	2,88
Reibungszahlen tg φ'	0,85	0,70	0,64

Als Messkörper diente ein hölzerner Kasten von 1,97 m Länge, 0,62 m Breite und 2,64 m Höhe. Rück- und Querwände waren so kräftig ausgebildet, dass sie nennenswerte Formänderungen beim Einbringen des Beton nicht gestatteten. Die Vorderwand bestand aus 44 einzelnen kiefernen Latten von 20/60 mm Querschnitt. Während der Kastenfüllung wurden die Lattendurchbiegungen d fortlaufend gemessen, aus denen der Seitendruck p (nach vorheriger Bestimmung des Elastizitätsmoduls E der Latten) wie folgt errechnet wurde:

$$p \text{ (in t/m}^2\text{)} = 0,03583 \cdot d \text{ (in cm).}$$

Die grösste gemessene Durchbiegung d betrug 20,6 cm; zu einem Lattenbruche ist es nicht gekommen.

Auf Grund der eingehenden Bearbeitung der Versuchsunterlagen kam der Verfasser zu folgenden Ergebnissen: Die gefundenen Seitendruck-Kurven jeder der drei Reihen werden in durchaus befriedigender Weise von Hüll-Kurven umschlossen, die gesetzmässig einer logarithmischen Funktion (Formel 1) folgen. Diese Funktion wurde zuerst von H. A. Janssen in Bremen für den Getreidedruck in Silos aus Modellversuchen im Jahre 1895 abgeleitet. Spätere Getreidedruck-Versuche an Silozellen von Prante, Jameson, Bovey, Luft und Pleissner (1896 bis 1905) bestätigen die Richtigkeit der Rechnungsweise nach Janssen. Georg Lindner in Karlsruhe wies 1912 nach, dass die Theorie von Janssen allgemein auf Schüttgüter in hohen Behältern, wie Salz, Zement, Sand, Steinschlag, Kohle und Erz, die man gewöhnlich als „Halbflüssigkeiten“ bezeichnet, anwendbar ist. (Mitt. über Forschungs-Arbeiten, Heft 124.)

Aehnlich wie Getreide verschiedener Art gewisse Aenderungen der im Grundgesetz enthaltenen Koeffizienten bedingt, so drückt sich die unterschiedliche Beschaffenheit (Steife) des Betons in verschiedener Bezifferung der Koeffizienten aus. Das Druckgesetz der vollkommenen Flüssigkeiten ist auf Beton nicht anwendbar.

Bedeutet:

- p den Seitendruck des feuchten Beton in t/m^2 ,
- q den Bodendruck des feuchten Beton in t/m^2 ,
- γ das Raumbgewicht des gestampften, bzw. eingefüllten frischen Beton in t/m^3 (Mittelwert 2,1 t/m^3),
- U den Grundrissumfang der Schalzelle in m,
- F den wagerechten Zellenquerschnitt in m^2 ,
- c den Quotient $U:F$,
- e die Basis der nat. Logarithmen = 2,718 . . .
- $f = tg \phi'$ die Reibungszahl zwischen Beton und Schalwand,
- $k = f(p:q)$ eine Konstante und zwar

- für erdfeuchten Beton $k = 0,401$,
- für plastischen Beton $k = 0,380$,
- für flüssigen Beton $k = 0,375$,

h die Füll- oder Druckhöhe in der Zelle in m, so lautet das allgemeine Gesetz für den Seitendruck von feuchtem Beton:

$$p = \frac{\gamma}{f c} (1 - e^{-k c h}) \text{ für } c > 0 \text{ . . . (1)}$$

Wenn die Druckhöhe bis $h = \infty$ wächst, so erreicht der Seitendruck den Asymptotenwert

$$\max p = \frac{\gamma}{f c} \text{ für } h = \infty, c > 0 \text{ . . . (2)}$$

Von bestimmendem Einflusse auf den Verlauf der Kurven gemäss Formel (1) ist der Wert $c = U:F$. Mit wachsendem c sinkt der Seitendruck p , mit fallendem c nimmt er zu. Eine besondere Stellung beansprucht der Grenzwert $\lim c = 0$, der für unendlich grosse Zellen gilt. Man erhält hierfür den einfachen Ausdruck

$$\lim p = \gamma \frac{k}{f} h = \gamma' h \text{ für } c = 0 \text{ . . . (3)}$$

Formel (3) ist die Gleichung einer geraden Linie durch den Koordinatenanfang, die daselbst alle mit $c > 0$ konstruierten Seitendruck-Kurven als Tangente berührt. Mit den oben mitgeteilten Ziffern für k , f und γ ergeben sich folgende Grenzwerte des Seitendruckes:

- für erdfeuchten Beton $\lim p \text{ (in t/m}^2\text{)} = 0,99 \cdot h$,
- für plastischen Beton $\lim p \text{ (in t/m}^2\text{)} = 1,14 \cdot h$,
- für flüssigen Beton $\lim p \text{ (in t/m}^2\text{)} = 1,23 \cdot h$.

Um die Anwendung der etwas verwickelten Formel (1) in praktische Bahnen zu lenken, hat der Verfasser die Seitendruck-Kurven von erdfeuchtem, plastischem und flüssigem Beton für runde Werte von c (5,0 bis 0,1) und Druckhöhen bis zu 6,0 m ein für allemal berechnet und in graphischen Tafeln¹⁾ aufgetragen. Als Ordinaten sind die Druckhöhen h , als Abszissen die Seitendrucke p eingezeichnet. Jede Kurvenschar enthält die gemeinsame Tangente im Nullpunkt für den Grenzwert $c = 0$ sowie (punktirt) die Versuchskurve mit $c = 4,24$. Auch die Asymptoten sind in den Tafeln angegeben. Die Kurvenwerte können im Verhältnis der Koeffizienten c geradlinig interpoliert werden. Die Abb. 1 bis 3 geben die Tafeln in $1/6$ linearer Verkleinerung wieder.

Sehr wichtig ist die richtige Bemessung der Beton-Druckhöhe h im einzelnen Anwendungsfall. Unter den Halbflüssigkeiten nimmt feuchter Beton insofern eine Ausnahmestellung ein, als er nach Ablauf einer gewissen Zeit, der Abbindezeit t , zu einem festen Körper erstarrt, der keine Seitenkräfte mehr entfaltet. Die Schichten, die bis zur Vollendung des Abbindeprozesses zusammenhängend in die Schalung eingefüllt werden, wirken in ihrer Gesamtheit, mit der Druckhöhe $max h$, als weiche Masse und erzeugen am Fusspunkt von h den der Grundformel (1) entsprechenden Einheitsdruck.

Der Abbindevorgang in einem Betonbauteil vollzieht sich während des lotrechten Arbeitsfortschrittes allmählich von unten nach oben. Der Fusspunkt der Druckhöhe $max h$ rückt in demselben Zeitverhältnis nach oben, bis

¹⁾ Abzüge der Tafeln (Lichtpausen) können vom Verfasser gegen Erstattung der Kosten bezogen werden.

die volle Bauhöhe H erreicht ist. Die Abbindezeit t des Beton hängt ab von der Abbindezeit des reinen Zementes (für deutsche Portlandzemente 6 bis 12 Stunden), vom Mischungsverhältnis, Wasserszusatz, Feuchtigkeitsgehalt der Luft und von der Temperatur der Luft und des Wassers.

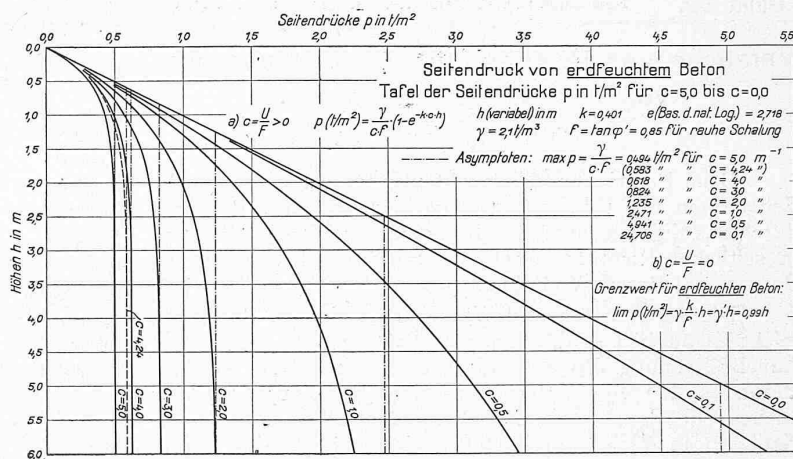


Abbildung 1.

Im grossen Durchschnitt darf man damit rechnen, dass flüssige Betongemische 1 : 4 bis 1 : 8 spätestens nach Ablauf von 12 bis 16 Stunden vollständig abgedunden haben, sofern die Temperatur nicht wesentlich von + 15° C abweicht.

Die Grundsätze, die bei der Berechnung des Betondruckes aus der Druckhöhe zu beachten sind, können folgendermassen zusammengefasst werden:

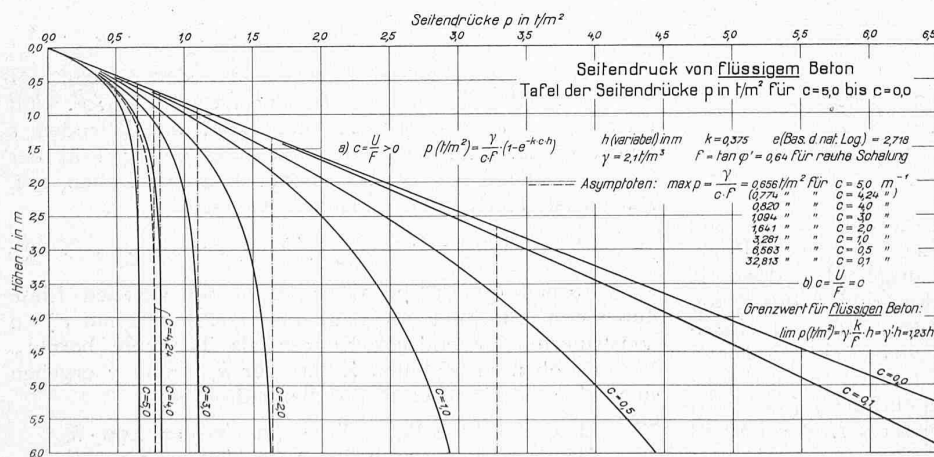
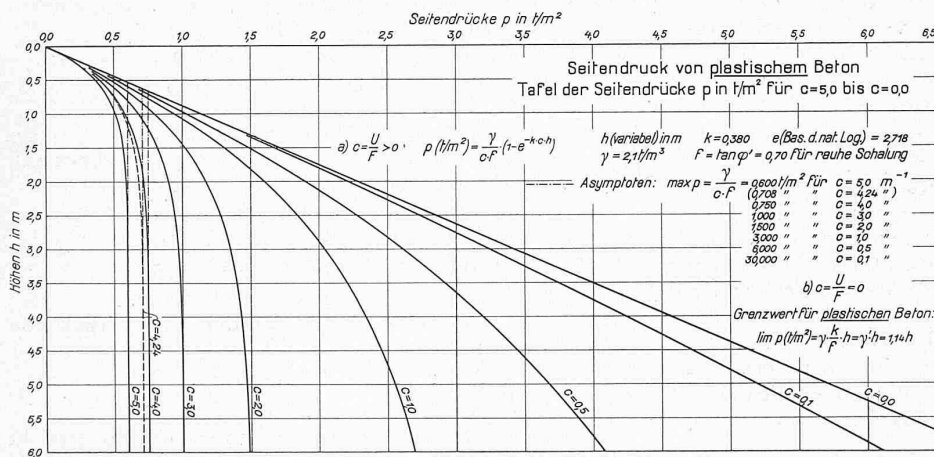
1. Unter der Betondruckhöhe h ist die Höhe zusammenhängender Gruppen von Schichten zu verstehen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt noch nicht völlig abgedundenen Beton aufweisen.

2. Die grösste Betondruckhöhe $max h$ umfasst die Summe der Schichten, die innerhalb der Abbindezeit t mit der mittleren Füllgeschwindigkeit v günstigsten Falles eingebracht werden können; sie ist entweder kleiner als die Bauwerkhöhe H oder höchstens gleich dieser

$$\left. \begin{aligned} \max h \text{ (in m)} &= tv \\ &= t \frac{L}{F} \leq H \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Hierin ist: t die Abbindezeit des Beton in Stunden, $v = L : F$ die mittlere Füllgeschwindigkeit in m/h, L die Leistung der Misch- und Förderanlage in m³/h, F die mittlere Grundrissfläche des Bauteiles in m², H die Bauwerkhöhe in m.

Ein einfaches Beispiel möge den Rechnungsgang erläutern. Es sei ein rechteckiger Pfeiler von 10,00 m Länge, 2,50 m Breite und 8,00 m Höhe aus flüssigem Beton 1 : 8 in ununterbrochenem Betriebe mit 15,0 m³ stündlicher Leistung bei einer Temperatur von + 20° C herzustellen. Die Abbindezeit des Beton sei durch Vorversuche ermittelt zu $t = 10,0$ Stunden. Gesucht werden die Einheitsdrücke des Beton in verschiedenen Tiefen unter Bauwerkoberkante.



Abbildungen 2 und 3.

Es ist: $c = U : F = 25,0 : 25,0 = 1,0 \text{ m}^{-1}$
 $v = L : F = 15,0 : 25,0 = 0,60 \text{ m/h}$
 $\max h = tv = 10,0 \cdot 0,60 = 6,0 \text{ m}$.

Von der Pfeilerkrone bis zu 6,0 m Tiefe verläuft die Seitendruck-Kurve wie die Tafelkurve für $c = 1,0$ in Abbildung 3. In 6,0 m Tiefe erreicht der Seitendruck seinen Grösstwert; bis zu 8,0 m Tiefe bleibt er mit diesem Werte konstant. Im einzelnen ergeben sich für die Tiefen h unter Pfeilerkrone folgende Ziffern:

$h = 1,00 \quad 2,00 \quad 3,00 \quad 4,00 \quad 5,00 \quad 6,00 \quad 8,00 \text{ m}$
 $p = 1,03 \quad 1,73 \quad 2,22 \quad 2,55 \quad 2,78 \quad 2,94 \quad 2,94 \text{ t/m}^2$.

Von den amerikanischen Ingenieuren Cullough, Shunk, Ashley und Germain wurden in den Jahren 1894 bis 1913 Versuche über den Seitendruck flüssigen Beton ausgeführt, über die die amerikanischen Zeitschriften Eng. News 1909, 1910, 1913 und Eng. Record 1910 berichten. Eine eingehende Besprechung des ganzen Stoffes findet sich in der oben genannten Dissertation des Verfassers. Jeder der vier Amerikaner benutzte eine andere Messungsart und andere Vorrichtungen. Cullough bestimmte den Seitendruck aus der Bruchfestigkeit von Brettern, Shunk verwendete bewegliche Kolben mit Gewichtshebeln, Ashley hydraulische Pressen und Germain barometerähnliche Apparate. Shunk und Germain berechneten den Seitendruck des Beton nach der Theorie der vollkommenen Flüssigkeiten, Cullough und Ashley gelangten zu Versuchswerten, die der Theorie der Halbflüssigkeiten entsprechen. Bei weitem am umfangreichsten sind die Versuche von Shunk, doch begegneten die von ihm gefundenen Druckzahlen wegen ihrer ausserordentlichen Höhe in amerikanischen Fachkreisen lebhaftem Widerspruche.

Die Ergebnisse der vier Versuchsreihen, in deutsche Masseinheiten übersetzt und in der Zeitfolge ihrer Entstehung geordnet, sind folgende (vergl. auch Abbildung 4):

Vergleichsweise seien hier die Werte der wagrechten Seitendrucke verschiedener Halbflüssigkeiten angefügt, die nach Mörsch und Gottschalk unter der Voraussetzung wagrecht abgeglichenen Oberfläche des Füllgutes ohne Berücksichtigung der Wandreibung gelten (grossträumige Silos). Die Höhe h ist in m einzusetzen.

Bezeichnung des Füllgutes	Raumgewicht in t/m^3	Seitendruck in t/m^2
Koks	0,60	$0,103 \cdot h$
Gaskohle	0,85	$0,146 \cdot h$
Hafer	0,45	$0,160 \cdot h$
Braunkohle	0,80	$0,220 \cdot h$
Malz	0,53	$0,240 \cdot h$
Steinsalz	1,25	$0,272 \cdot h$
Mais	0,70	$0,280 \cdot h$
Sand, feucht	1,50	$0,290 \cdot h$
Steinschlag	1,60	$0,290 \cdot h$
Zement	1,40	$0,305 \cdot h$
Erz (Minette)	1,80	$0,309 \cdot h$
Steinkohle	0,84	$0,315 \cdot h$
Weizen	0,82	$0,333 \cdot h$
Sand, trocken	1,70	$0,400 \cdot h$

Der Stammheimer Bildersturm A. D. 1923.

Angesichts der grundsätzlichen Bedeutung des jüngsten sogenannten „Stammheimer Bildersturms“ können wir nicht umhin, den Sachverhalt hier wiederzugeben und zu ewigem Gedächtnis festzuhalten. Wir gehen dabei aus von einer redaktionellen Aeusserung der „N. Z. Z.“ (in Nr. 1017, vom 26. Juli d. J.), der wir die Einsendung eines Kunstverständigen im gleichen Blatte (Nr. 1068 vom 6. Aug. d. J.) folgen lassen. Die Vorlage zum beigefügten Bild danken wir Herrn Kantonsbaumeister H. Fietz in Zürich, der sich seit Jahren um die Erhaltung und Wiederherstellung alter Kirchen und ihrer Ausmalung mit schönem Erfolg bemüht. Die beiden Aeusserungen lauten wie folgt:

„Im Chor der Pfarrkirche von Unter-Stammheim (Kanton Zürich) wurden vor einigen Monaten bei Restaurationsarbeiten am Gewölbe zum Teil sehr gut erhaltene Malereien aus dem XVI. Jahrhundert entdeckt. Um die drei

Schlusssteine des schön gerippten Gewölbes gruppieren sich aus Füllhörnern heraus wachsende musizierende Putten, die in Verbindung mit pflanzlichem Schmuck eine ungemein reizvolle und keineswegs alltägliche Ornamentik darstellen. Auf acht Gewölbesegmente verteilt, kommen die Brustbilder der vier Kirchenväter und die vier Evangelistensymbole dazu, ebenfalls tüchtige Malereien. Unten, wo die Rippen zum Schwung ins Gewölbe hinauf ansetzen, geben ihnen leichte pflanzliche Verzierungen das Geleit. Diese Deckenmalereien stellen wie die Wandmalereien in der Kapelle des benachbarten Waltalingen und die der St. Galluskapelle in Ober-Stammheim seltene Kulturdokumente dar, deren Erhaltung im Interesse des ganzen Landes liegt. [Vergl. Seite 113. Red.]

Begreiflich, dass sich der Vorstand der Antiquarischen Gesellschaft in Zürich als Vorstand des Historischen Vereins des Kantons Zürich um diese Arbeiten interessierte, sich vollends mit allen

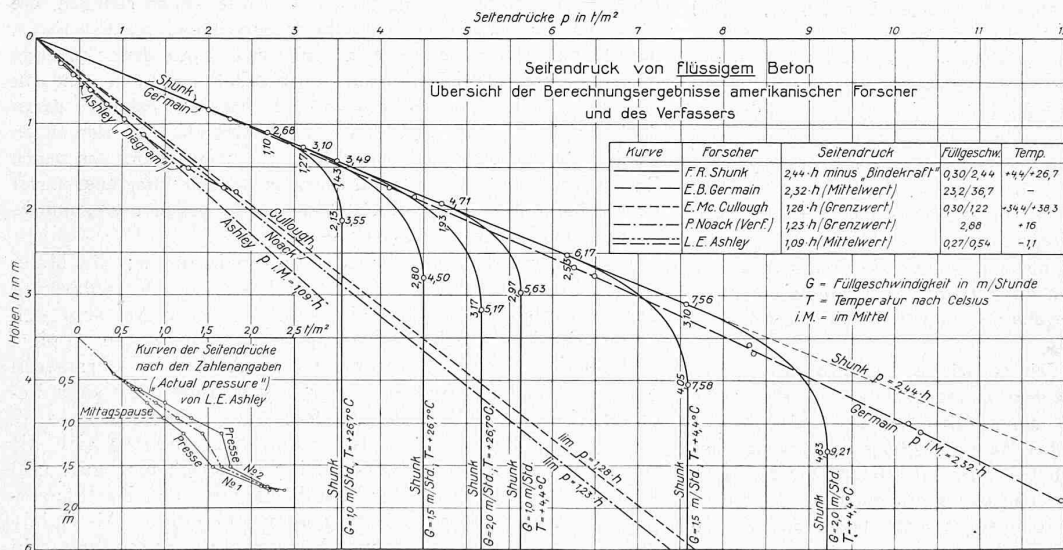


Abbildung 4.

1. E. Mc. Cullough, Chicago, 1894.

$\lim p$ (in t/m^2) = $1,28 \cdot h$; h in m.

2. Francis R. Shunk, Mankato, 1908.

$\lim p$ (in t/m^2) = $2,44 \cdot h$ minus „Bindekraft“; h in m.

$v = 0,61$	1,22	1,83	2,44	m/h	Temperatur
$p = 3,86$	6,54	8,69	10,55	t/m^2	+ 4° C
$p = 3,32$	5,52	7,23	8,50	t/m^2	+ 10° C
$p = 2,93$	4,79	6,10	7,03	t/m^2	+ 16° C
$p = 2,73$	4,25	5,32	6,05	t/m^2	+ 21° C
$p = 2,59$	4,00	4,98	5,52	t/m^2	+ 27° C

3. L. E. Ashley, Illinois, 1910.

p (in t/m^2) = $1,09 \cdot h$; h in m.

4. E. B. Germain, Boston, 1913.

p (in t/m^2) = $2,32 \cdot h$; h in m.