

zahl μ für die Reibung an der Wand ist konstant (vgl. dazu die späteren Aussagen).

Alferow [4, 5] hat auch für Stroh mit einer für einen bestimmten Zustand einheitlichen Querszahl ν (= Querausdehnungszahl = reziproker Wert der Poisson'schen Zahl) gerechnet. Wie auch in der theoretischen Bodenmechanik bei homogen¹⁾ und isotrop²⁾ angenommenem Stoff angesetzt wird, gilt nach den Beziehungen der Elastizitätslehre für den Seitendruck nach allen Seiten des geschlossenen zylindrischen Topfes:

$$p_s = \frac{\nu}{1-\nu} p_x \quad (1).$$

Die Größe von ν ist durch das Material bedingt. Bei Stroh, Heu und dergleichen hat die Feuchtigkeit einen beträchtlichen Einfluß auf die Materialgrößen. Diese werden bei solchen Stoffen, je nach Pressungsgrad (dargestellt durch das Raumgewicht γ), verschieden sein können. Nach Alferow [5] ist für Krummstroh die Querszahl ν von der Größenordnung 0,35 und nicht sehr unterschiedlich erhalten worden für verschiedene Raumgewichte. Angegeben ist für Krummstroh von 12,7 % Feuchtigkeit (Streubereiche nicht angegeben)

für $\gamma = 80 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,30$ somit $p_s/p_x = 0,43$,

für $\gamma = 100 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,31$ somit $p_s/p_x = 0,45$,

für $\gamma = 150 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,37$ somit $p_s/p_x = 0,59$,

für $\gamma = 200 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,41$ somit $p_s/p_x = 0,695$

und bei 18,8 % Feuchtigkeit

für $\gamma = 80 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,33$ somit $p_s/p_x = 0,49$,

für $\gamma = 100 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,34$ somit $p_s/p_x = 0,515$,

für $\gamma = 150 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,35$ somit $p_s/p_x = 0,540$,

für $\gamma = 200 \text{ kg/m}^3$: $\nu = 0,365$ somit $p_s/p_x = 0,575$.

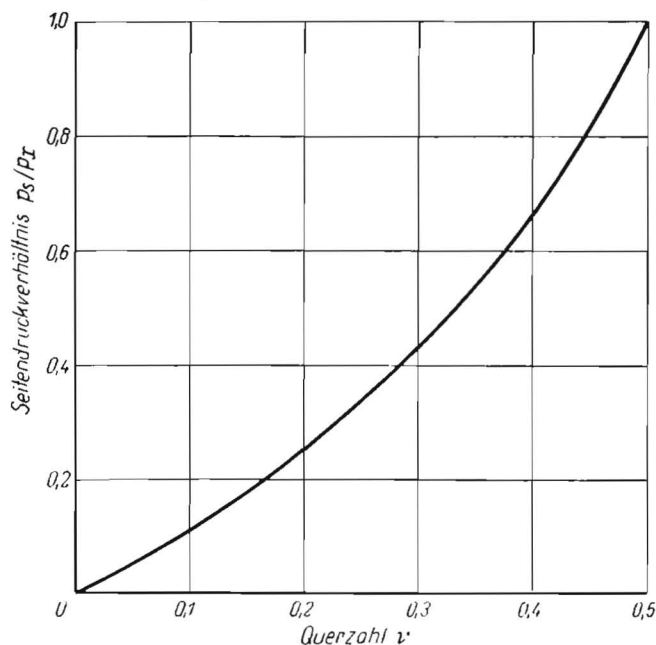


Abb. 2: Zusammenhang zwischen der Querszahl und dem Seitendruckverhältnis

Der Zusammenhang zwischen der Querszahl ν und dem Seitendruckverhältnis p_s/p_x ist in Abbildung 2 dargestellt. Aus dieser sowie aus den obigen Zahlenangaben ist zu ersehen, daß das Seitendruckverhältnis sich stärker ändert als die Querszahl.

Alferow hat auch für in einer Querrichtung parallel aufgeschichtetes Stroh die Querszahlen in gleicher Weise wie für das durcheinander gelagerte Stroh ermittelt [4, 5]. Ausgerichtetes Lang- oder Glattstroh ist aber anisotrop³⁾. Bei der Zusammendrückung der Strohhalme quer zu ihrer Halmrichtung wird kaum ein Druck in Halmrichtung auf die Wände ausgeübt werden:

$$p_z \approx 0 \quad (2).$$

¹⁾ Homogen heißt: in jedem (kleinsten) Teil gleichartig

²⁾ Isotrop ist ein Material, wenn es sich nach allen Richtungen hin gleich nachgiebig verhält

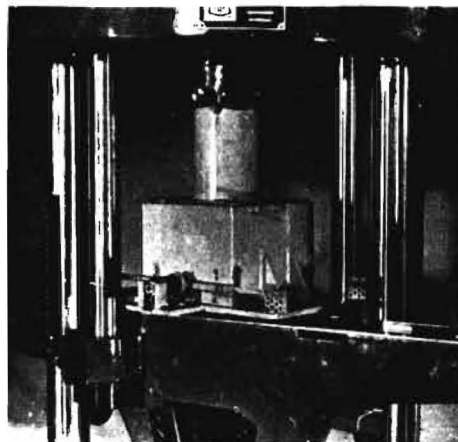


Abb. 3: Versuchseinrichtung zum Messen von Seitendrücken

Für viele Preßversuche (s. z. B. Bild 10 und 12 in [6]) wurde dieser Preßtöpf benutzt, der quadratische Querschnittsfläche mit einer Kantenlänge von 225 mm und eine Höhe von 177 mm hat. Bei der hier vorhandenen hydraulischen Preßeinrichtung (bis 35 t) konnten größere Preßtöpfe nicht eingesetzt werden. Die Kolbenplatte sitzt an dem aus dem Topf in der Mitte oben heraussehenden Rohr.

Die vordere und hintere Seitenwand konnten im unteren Teil durch Streifen (a) (s. a. Abb. 4) ersetzt werden, die selbst steif waren und durch seitlich herausragende dünne Blattstreifen (b) parallel geführt wurden. Andere Streifen (c) waren mit dem Kastengehäuse fest verbunden. An den beweglichen Streifen (a) in der Mitte waren geeichte Spiralfedern angelegt, deren Durchfederungen bei Belastungen der Seitenwandstreifen an Meßuhren (d) (in Abb. 3 nicht enthalten) abgelesen wurden.

Von den wegen der Höhenverstellbarkeit der beweglichen Leisten viele Löcher enthaltenden Befestigungsblöcken ist im Bild rechts auch ein hinterer zu sehen, an dem hier kein Führungstreifen befestigt ist. Auch die Meßuhr ist bei der Aufnahme nicht angebracht gewesen, da sie sonst die Meßfedern verdeckte.

während in der anderen Richtung gilt:

$$p_y = \nu p_x \quad (3).$$

Eine Versuchseinrichtung, mit der bei uns Seitendrücke gemessen wurden, ist in Abbildung 3 und 4 gezeigt (Beschrei-

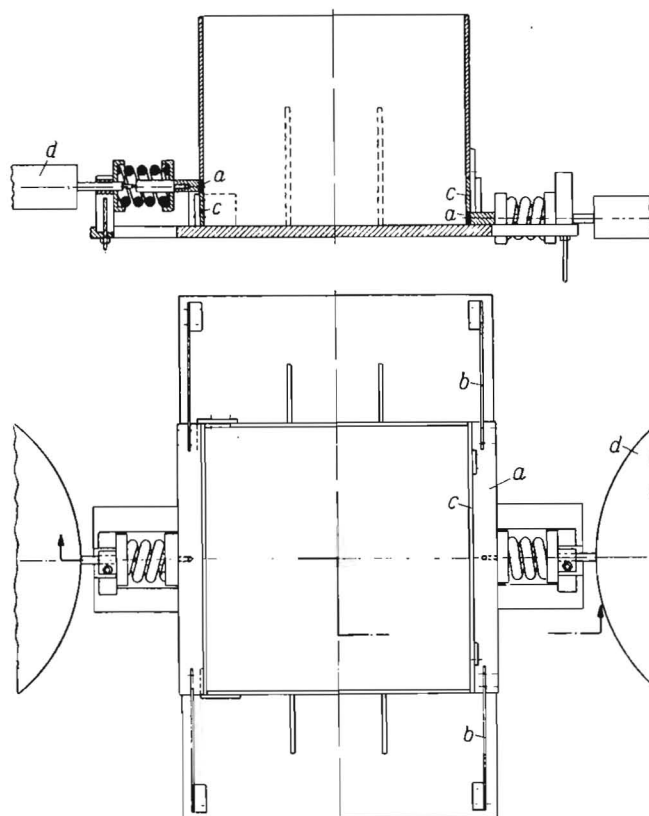


Abb. 4: Prinzipskizze der Seitendruckmeßeinrichtung

³⁾ Anisotrop heißt nicht isotrop, also nicht in allen Richtungen die gleichen Stoffwerte aufweisend. In diesem Falle hier wird als anisotroper Stoff ein Körper bezeichnet, der in einer bestimmten Richtung einerseits und den darauf senkrechten Richtungen andererseits die Kleinst- bzw. Größtwerte der Nachgiebigkeiten (bzw. Deformationswiderstände) hat. Nach [9] wäre dieser Stoff im Raum als hexagonales System zu werten

bung unter Abb. 3). Die Ergebnisse eines Versuchs mit 275 g trockenem Weizen-Langstroh in dem Kasten vom Querschnitt 225 x 225 mm² bei Messung vom Kolbendruck p_0 und einem mittleren Seitendruck p_{ij} an einem 10 mm hohen Wandstreifen über dem Topfboden sind in Abbildung 5 eingetragen. Man ersieht daraus, daß die Werte p_{ij}/p_0 in dem untersten Bereich der für Krummstroh angegebenen Werte liegen. Für Kolbendrücke von 1 bis 2 kg/cm² sind die Querszahlen größer als nach den Auswertungen von Alferow.

Es wird jetzt die Alferow'sche Methode zur Auswertung der Querszahlen besprochen. Gemessen wurden die Kräfte sowohl am Kolben als auch am Topfboden. Eine Einrichtung, mit der bei uns solche Messungen durchgeführt wurden, ist in Abbildung 6 und 7 gezeigt.

Um zu den Beziehungen für die Druckverteilungen zu gelangen, stellen wir die an einem Scheibenelement von der Stärke dx (s. Abb. 1) auftretenden Kräfte auf, und zwar zunächst für anisotropes Material (Langstroh). Durch Reibung an den Seitenflächen wird nach Abbildung 1 in Topflängsrichtung die Kraft

$$\mu p_{ij} 2b dx$$

auf die Scheibe des Preßguts übertragen. Von den Normalkräften auf die Flächen $F = ab$ ergibt sich die Differenzkraft

$$dp_x a b,$$

so daß aus Gleichgewichtsgründen für das Langstroh erhalten wird:

$$dp_x a b + \mu r p_r 2b dx = 0 \quad (4)$$

Daraus wird die Differentialgleichung erhalten:

$$\frac{dp_x}{dx} + 2 \mu r p_r/a = 0 \quad (5)$$

Für die Druckverteilung des gerichteten Materials wird danach erhalten:

$$\frac{p_x}{p_0} = e^{-2 \mu r x/a} \quad (6)$$

Bei Pressung von isotropem Material in einer nur auf zwei Seiten geschlossenen und auf zwei Seiten je von der Länge a offenen Preßvorrichtung ergibt sich ebenfalls die Beziehung (6). Bei isotropem Preßgut in einem allseits geschlossenen Kasten ist die Reibungskraft auf die Seitenflächen des Scheibenelements, wenn U die Umfangslänge ist:

$$\mu p_s U dx = \mu \frac{r}{1-r} p_x U dx.$$

Die Gleichgewichtsbedingung ergibt dann:

$$dp_x F + \mu \frac{r}{1-r} p_x U dx = 0 \quad (7)$$

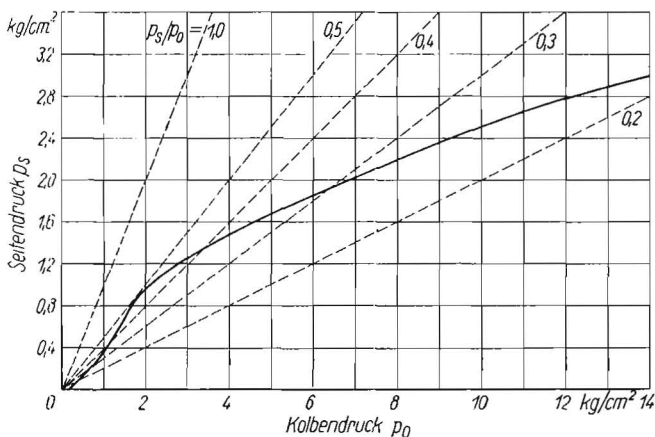


Abb. 5: Änderung des Seitendrucks mit dem Kolbendruck bei einem Versuch mit Glattstroh, das in einer Richtung senkrecht zu den gemessenen Drücken angeordnet ist

Daraus ergibt sich für den Druckverlauf:

$$\frac{p_x}{p_0} = e^{-\mu \frac{r}{1-r} \frac{U}{F} x} \quad (8)$$

Für den Druck am Boden wird mit der beeinflussten Seitenfläche

$$F_s = U l \quad (9)$$

bei einer jeweiligen Preßguthöhe

$$l = l_0 - s \quad (10)$$

erhalten:

$$p_b = p_0 e^{-\mu \frac{r}{1-r} \frac{F_s}{F}} \quad (11)$$

Für rechteckigen Querschnitt des Preßkastens ist

$$U = 2(a + b) \quad (12)$$

$$\frac{U}{F} = \frac{2(a + b)}{ab} = 2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (13)$$

Das ergibt für quadratischen Querschnitt

$$\frac{U}{F} = \frac{4}{a} \quad (14)$$

Die Gleichungen (8) ÷ (11) gelten auch für beliebige zylindrische Preßtöpfe. Für Kreisquerschnitte mit dem Durchmesser d ist

$$\frac{U}{F} = \frac{4}{d} \quad (15)$$

Zunächst folgen noch einige Zahlenbetrachtungen über den Druckabfall längs des Topfes. Unter Ansatz von

$$p_x = p_0 e^{-A x/a} \quad (16)$$

an Stelle von (6) oder (8) ergibt sich

$$-\frac{a}{p_x} \frac{dp_x}{dx} = A \quad (17)$$

Dieses ist für Gl. (6): $A = 2 \mu r$

und für (8) bei rechteckigem Querschnitt:

$$A = 2 \mu \frac{r}{1-r} \left(1 + \frac{a}{b} \right) \quad (19)$$

also für quadratischen Querschnitt:

$$A = 4 \mu \frac{r}{1-r} \quad (20)$$

und für $b \gg a$:

$$A \approx 2 \mu \frac{r}{1-r} \quad (21)$$

Für $\mu = 0,3$ und $r = 0,3$ ist $2 \mu r = 0,18$.

Für $\mu = 0,45$ und $r = 0,41$ ist $4 \mu \frac{r}{1-r} = 1,25$.

Nach (16) wird mit (10) für den Bodendruck erhalten:

$$p_b = p_0 e^{-A l/a} \quad (22)$$

folglich

$$\frac{p_0}{p_b} = e^{A l/a} \quad (23)$$

Für die oben angegebenen Extremwerte von A , nämlich 0,18 und 1,25 ergibt sich

bei $l/a = 1$: $p_0/p_b = 1,20$ bzw. 3,50

bei $l/a = 0,5$: $p_0/p_b = 1,10$ bzw. 1,87

bei $l/a = 0,1$: $p_0/p_b = 1,02$ bzw. 1,13

bei $l/a = 0,05$: $p_0/p_b = 1,01$ bzw. 1,07.

Von 1 stark verschiedene Verhältnisse der Druckwerte treten nur bei hinreichend großen Preßguthöhen auf (im Verhältnis zu den Querschnittsabmessungen der Preßkammer).

In Abbildung 8 sind einige Gesetzmäßigkeiten unter den Bezeichnungen nasses Krummstroh, Krummstroh und trockenes Glattstroh für p_0/p_b über l/a eingetragen, wobei für p_0/p_b ein logarithmischer Maßstab angewandt wurde. Wenig von 1 verschiedene Werte von p_0/p_b sind nach diesem Schaubild nicht gut ablesbar.

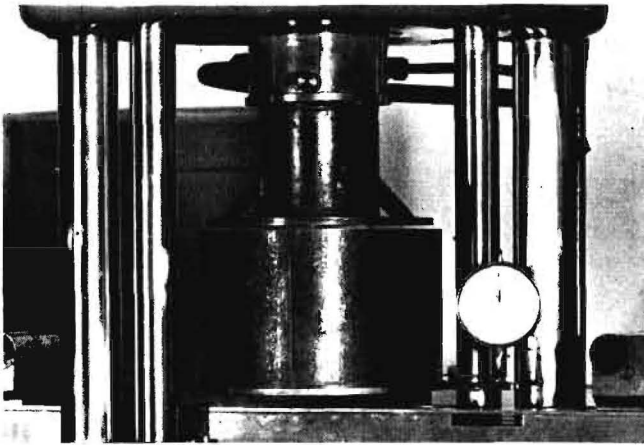


Abb. 6: Preßtopf mit Vorrichtung zur Messung der Bodendruckkraft
In dem zylindrischen Topf ist ein beweglicher Boden auf eine Tellerfeder aufgelegt. Die Bewegung des Bodens (Durchfederung der Feder) wird mit einem Hebel auf die Meßuhr übertragen.

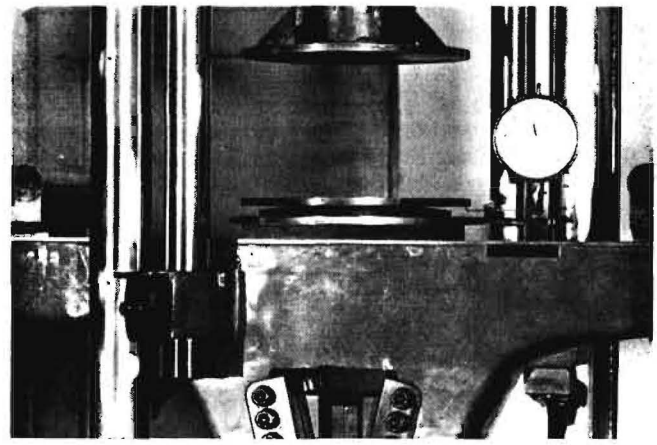


Abb. 7: Ansicht der Bodendruckmeßvorrichtung bei abgenommenem Zylinder. Hier ist die Tellerfeder und der bewegliche Boden mit der Übertragung zu sehen

Die Auswertung der Querzahlen aus Versuchen geschah nach der Beziehung (11)⁴), nachdem der Bodendruck außer dem Kolbendruck p_0 gemessen wurde und auch der Reibungsbeiwert μ des Preßgutes an der Preßkastenwand bekannt ist.

Für eine nach Messungen erhaltene Gesetzmäßigkeit für die Zunahme des Kolbendrucks p_0 mit dem Kolbenweg s ergeben sich nach obigen Rechnungen mit den genannten Voraussetzungen für die einzelnen Kolbenstellungen solche Verteilungen für die Längsdrücke im Preßgut, wie in Abbildung 9 gezeichnet. (Für Rückgang der Kolbenbelastungen p_0 gelten die gezeichneten Druckverteilungen $p_x = f(x)$ nicht.) Der Druckgradient ist um so größer, je größer die einzelnen Drücke sind. Der prozentuale Druckabfall nimmt mit der Preßguthöhe zu.

Es ist nun aber festzustellen, daß die Reibungszahl keine Konstante, selbst für einen bestimmten Stoff, ist. Sie ist nicht unabhängig von der Druckgröße sowie von der Geschwindigkeit. Sie wird bei dem inhomogenen Material von vielen Einzelheiten beeinflusst, so daß die Änderungsgesetzmäßigkeiten kaum eindeutig erfassbar sind. Bei Versuchen ergeben sich starke Streuungen.

Gesetzmäßigkeiten für das Raumgewicht der Preßgüter

Sicher besteht zwischen der örtlichen Längsspannung = dem Druck p_x und dem örtlichen Pressungsgrad oder Raumgewicht $\gamma_x = -\frac{dG}{dV}$ (G = Gewicht, V = Volumen) beim Belasten ein eindeutiger Zusammenhang für ein bestimmtes Preßgut. Also ist nach (16):

$$\gamma_x = f(x, p_0).$$

Das mittlere Raumgewicht γ wird dann eine Funktion von der Höhe l und p_0 . Bei Auswertungen aus Messungen von p_0 und γ sind danach Korrekturen zum Erhalt der allgemeinen Gesetzmäßigkeit $p_x = f(\gamma_x)$ vorzunehmen. Diese Gesetzmäßigkeit ist zunächst noch nicht allgemein bekannt. Es wurden daher verschiedene Ansätze ausprobiert.

¹⁾ Daraus ergibt sich

$$\frac{\gamma}{1-\nu} = \frac{F}{\mu F_s} \ln \frac{p_0}{p_1}$$

Wird definiert

$$n := \frac{F}{\mu F_s} \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (24)$$

dann wird (für isotropes Material in allseitig geschlossenen Kästen):

$$\nu = \frac{n}{1+n} \quad (25)$$

Bei Langstroh ist statt dessen nach Gl. (6) zu verwenden:

$$\frac{p_b}{p_0} = e^{-2 \mu \nu l/a} \quad (26)$$

Daraus ergibt sich

$$\nu = \frac{a}{2 \mu l} \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (27)$$

In Anlehnung an die von Skalweit [3] zuerst aufgestellte Gesetzmäßigkeit

$$p_0 = C \gamma^m \quad (28)$$

wird ausprobiert:

$$p_x = C_x \gamma_x^m \quad (29)$$

Damit wird

$$\gamma_x = \left(\frac{p_x}{C_x} \right)^{1/m} \quad (30)$$

und mit Gl. (16):

$$\gamma_x = \left(\frac{p_0}{C_x} \right)^{1/m} e^{-\frac{A}{m} \frac{x}{a}} \quad (31)$$

Das mittlere Raumgewicht ist

$$\gamma = \frac{1}{l} \int_0^l \gamma_x dx \quad (32)$$

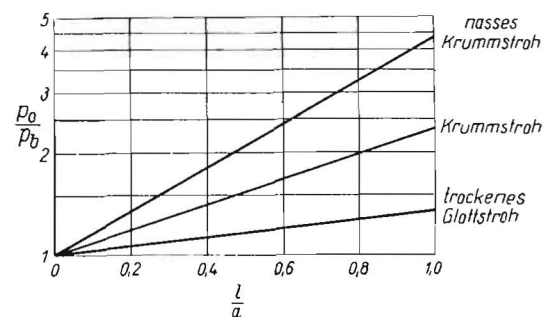


Abb. 8: Änderung des Verhältnisses von Kolbendruck zu Bodendruck mit dem Verhältnis von Preßguthöhe zu Seitenlänge des quadratischen geschlossenen Preßtopfes

Bei den angegebenen Stoffarten traten beträchtliche Streuungen auf, so daß das Schaubild nur Richtwerte liefert.

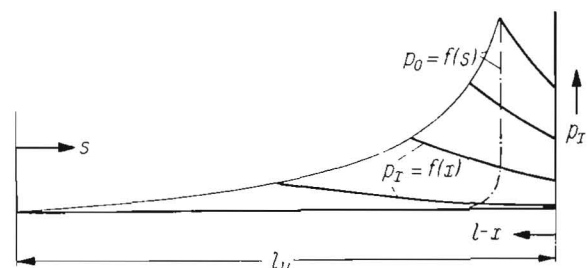


Abb. 9: Druckverteilungen bei verschiedenen Eindrückungen

Die Linie $p_0(s)$ gibt den nach Messungen festgestellten Druckverlauf am Kolben wieder.

Die strichpunktierte Linie entspricht einem Verlauf des Kolbenweges bei Entlastung nach Messungen des Verfassers.

l_u ist die Preßtopfänge,

s ist der Weg des Kolbens,

$l = l_u - s$ ist die jeweilige Preßguthöhe,

x ist die Entfernung der jeweils untersuchten Stelle im Preßgut, vom Kolben aus,

$p_c(x)$ sind gerechnete Verläufe bei gemessenen p_0 .

Durch Integration wird erhalten:

$$\gamma = \left(\frac{p_0}{C_x}\right)^{1/m} \frac{1 - e^{-B}}{B} \quad (33)$$

mit

$$B = \frac{A l}{m a} \quad (34)$$

Unter Einführung von (28) in (33) ergibt sich

$$C = C_x \left(\frac{B}{1 - e^{-B}}\right)^m \quad (35)$$

Mit dem Kolbenweg s ändert sich die Preßraumhöhe l , also auch B , das nach (35) in die Beziehung für C , den Faktor in der Gleichung für den Kolbendruck (28), eingeht. Für kleine Werte von B ($\ll 1$) wird zweckmäßig die Reihenentwicklung benutzt:

$$e^{-B} = 1 - \frac{B}{1!} + \frac{B^2}{2!} - + \dots \quad (36)$$

also

$$\frac{1 - e^{-B}}{B} = 1 - \frac{B}{2!} + \frac{B^2}{3!} - + \dots \quad (37)$$

Für hinreichend kleine B ist näherungsweise

$$\frac{1 - e^{-B}}{B} \approx 1 - \frac{1}{2} B \quad (38)$$

$$\left(\frac{1 - e^{-B}}{B}\right)^m \approx 1 - \frac{m}{2} B \quad (39)$$

$$\frac{B}{1 - e^{-B}} \approx 1 + \frac{1}{2} B \quad (40)$$

$$\left(\frac{B}{1 - e^{-B}}\right)^m \approx 1 + \frac{m}{2} B \quad (41)$$

Dann ist nach (35) und (34) für hinreichend kleine B -Werte:

$$C_x/C \approx 1 - \frac{A}{2} \frac{l}{a} \quad (42)$$

$$C/C_x \approx 1 + \frac{A}{2} \frac{l}{a} \quad (43)$$

Bei letzteren ist m herausgefallen. Es bleibt C/C_x eine Funktion von der Preßguthöhe $l = l_u - s$, also von dem jeweiligen Kolbenweg.

Der Ansatz (29) stimmt sicher nicht für kleine s , denn bei $p = 0$ ist $\gamma = \gamma_u$. Deshalb wird jetzt noch der Ansatz untersucht:

$$p_x = C_x (\gamma_x - \gamma_u)^m \quad (44)$$

Daraus ergibt sich

$$\gamma_x = \gamma_u + \left(\frac{p_x}{C_x}\right)^{1/m} \quad (45)$$

Die Integration (32) ergibt mit (45), der Gesetzmäßigkeit (16) sowie mit (34) die Beziehung:

$$\gamma = \gamma_u + \left(\frac{p_0}{C_x}\right)^{1/m} \frac{1 - e^{-B}}{B} \quad (46)$$

$$p_0 = \left(\frac{B}{1 - e^{-B}}\right)^m C_x (\gamma - \gamma_u)^m \quad (47)$$

und mit $p_0 = C (\gamma - \gamma_u)^m$:

$$C = \left(\frac{B}{1 - e^{-B}}\right)^m C_x \quad (35),$$

so daß bei Vertauschung von γ mit γ_x auch geschrieben werden kann:

$$p_0 \approx \frac{C}{C_x} p_x \quad (49)$$

$$p_x \approx \frac{C_x}{C} p_0 \quad (50)$$

Aus Messungen von p_0 und γ werden daher jeweils die Druckwerte p_x mit C_x/C nach obigen Beziehungen (35) bzw. (42) multipliziert werden. Damit werden allgemeine Gesetzmäßigkeiten $p_x = f(\gamma_x)$ (unabhängig von $l_u - s$) ermittelt.

Bei den Beispielen, die jetzt untersucht werden, war $a = b = 225$ mm.

Für die Auswertung eines Versuchs mit trockenem Glattstroh verwendet: $\mu = 0,375$ und $\nu = 0,4$. Dann ist nach (18): $A = 0,3$. Definiert wird

$$c = \frac{a}{A} \quad (51)$$

Dieses beträgt in dem Beispiel 750 mm. Aus Abbildung 10 wurde ein Exponent $m = 2,7$ (= Anstieg im Diagramm mit logarithmischen Teilungen auf beiden Achsen) herausgelesen. Definiert wird weiterhin

$$k = m c \quad (52)$$

Dieses ist im Beispiel 2025 mm. Es wird damit

$$m B = l/c \quad (53)$$

und für kleine B

$$C_x/C \approx 1 - l/k \quad (54)$$

Die folgende Tafel zeigt bei diesem Beispiel gemessene Werte mit ihrer Umrechnung.

s [mm]	l [mm]	γ' [kg/m ³]	mB	C_x/C	p_0 [kg/cm ²]	$p_0 C_x/C$ [kg/cm ²]
0	112,0	26,7	0,150	0,925	0	0
35,0	77,0	38,8	0,103	0,948	0,0199	0,0189
41,7	70,3	42,5	0,094	0,953	0,0398	0,0379
48,4	63,6	47,0	0,085	0,957	0,0597	0,0571
53,5	58,5	51,0	0,078	0,961	0,0796	0,0765
57,2	54,8	54,6	0,073	0,963	0,0995	0,096
59,8	52,2	57,3	0,070	0,965	0,119	0,115
65,0	47,0	63,6	0,063	0,969	0,159	0,154
68,4	43,6	68,6	0,058	0,971	0,199	0,193
71,2	40,8	73,3	0,054	0,973	0,239	0,233
74,4	37,6	79,5	0,050	0,975	0,299	0,291
78,7	33,3	89,5	0,044	0,978	0,398	0,390
83,8	28,2	106,0	0,038	0,981	0,597	0,588
87,0	25,0	119,6	0,033	0,984	0,796	0,785
89,1	22,9	130,6	0,030	0,985	0,995	0,980
90,7	21,3	140,4	0,028	0,986	1,194	1,19
92,7	19,3	155,0	0,026	0,987	1,592	1,57
94,0	18,0	166,2	0,024	0,988	1,99	1,96
95,0	17,0	176,0	0,023	0,989	2,39	2,36
95,8	16,2	184,7	0,022	0,989	2,79	2,75
96,5	15,5	193,0	0,021	0,990	3,18	3,15
97,1	14,9	200,7	0,020	0,990	3,58	3,54
97,6	14,4	207,8	0,019	0,991	3,98	3,93
98,7	13,3	224,9	0,018	0,991	4,98	4,93
99,5	12,5	239,2	0,017	0,992	5,97	5,92
100,2	11,8	253,4	0,016	0,992	6,97	6,92

Bei diesem Versuch waren die Werte B für alle Versuchspunkte mit Belastung ($p > 0$) ziemlich klein. Es wird nun noch ein anderer Versuch besprochen, bei dem auch größere Werte B vorkamen.

Für einen Versuch mit Krummstroh wird benutzt: $\mu = 0,40$; $\nu = 0,35$ und $m = 1,7$ (nach Abb. 11). Dann ist nach (20):

$$A = 0,86, \text{ also nach (51): } c = \frac{225}{0,86} = 262 \text{ mm und } k = 445 \text{ mm.}$$

Dafür gelten folgende Werte:

s [mm]	l [mm]	γ' [kg/m ³]	mB	B	e^{-B}	$\frac{1 - e^{-B}}{B}$	$\frac{(1 - e^{-B})^m}{B} = C_x/C$	p_0 [kg/cm ²]	$p_0 C_x/C$ [kg/cm ²]
0	191,0	15,6	0,730	0,430	0,650	0,813	0,705	0	0
11,3	179,7	16,6	0,686	0,404	0,667	0,823	0,718	0,0199	0,0143
27,8	163,2	18,3	0,623	0,367	0,693	0,836	0,740	0,0398	0,0295
44,3	146,7	20,3	0,560	0,330	0,719	0,852	0,762	0,0597	0,0455
56,8	134,2	22,2	0,513	0,302	0,740	0,862	0,778	0,0796	0,0620
65,7	125,3	23,8	0,479	0,282	0,755	0,769	0,789	0,0995	0,0785
78,1	112,9	26,4	0,427	0,252	0,778	0,881	0,805	0,119	0,096
100,5	90,5	32,9	0,346	0,204	0,815	0,906	0,848	0,159	0,135
113,7	77,3	38,6	0,295	0,174	0,840	0,920	0,868	0,199	0,173
123,7	67,3	44,3	0,257	0,151	0,860	0,927	0,880	0,239	0,210
136,1	54,9	54,3	0,209	0,123	0,885	0,935	0,890	0,319	0,284
144,0	47,0	63,4	0,180	0,106	0,900	0,943	0,906	0,398	0,360
157,1	33,9	87,9	0,130				0,935	0,597	0,558
163,2	27,8	107,2	0,106				0,947	0,796	0,754
166,7	24,3	122,7	0,093				0,954	0,995	0,950
168,9	22,1	134,9	0,084				0,958	1,193	1,143
172,3	18,7	154,4	0,072				0,964	1,590	0,532
175,6	16,4	177,4	0,063				0,969	1,988	1,928
177,5	13,9	214,4	0,053				0,974	2,981	2,91
178,7	12,3	242,4	0,047				0,977	3,972	3,88
180,8	10,2	292,2	0,039				0,981	5,960	5,85

In den Abbildungen 10 und 11 ist jeweils der gemessene Verlauf p_0 und der korrigierte $p_0 C_x/C$ über γ aufgetragen. Die letztere Kurve entspricht $p_c = f(\gamma)$. Die Unterschiede sind unbedeutend beziehungsweise lassen bei den Gesetzmäßigkeiten keine Änderungen erkennen, die aus dem Rahmen der auftretenden Streuungen herausfallen. Daraus erklärt sich auch der bei Versuchen mit unterschiedlicher Menge des Preßgutes festgestellte Befund, daß die Meßergebnisse für die Gesetzmäßigkeiten $p_0 = f(\gamma)$ von der in dem Preßtopf eingelagerten Menge unabhängig waren. Aus Versuchen war jedenfalls nicht eine gesicherte eindeutige Tendenz zu erkennen, denn schon bei gleichen Mengen traten bei den einzelnen Füllungen Streuungen auf [6].

Unterschiedliches Verhalten beim Be- und Entlasten

Beim Entlasten des Stempels gilt eine andere Gesetzmäßigkeit als beim Belasten. Zunächst bleibt beim Entlasten bis auf etwa $\frac{1}{2}$ der vorherigen Höchstbelastung das Raumgewicht des Strohes unverändert. In dem Preßgut treten Klebekräfte auf. Der Zusammenhang zwischen den örtlichen Werten der Drücke und des Raumgewichts, der beim Belasten festgestellt wurde, gilt dann nicht mehr. Sobald die elastischen Spannungen im Material die von außen auf das Material aufgebrachten Drücke übertreffen, ist die Reibung an den Kanalwänden umgekehrt gerichtet als bei dem Belastungsvorgang. Kleine Entlastungen am Kolben wirken sich noch nicht auf die entfernteren Teile des Preßgutes aus.

Bei fortschreitender Entlastung werden dann immer weitere Zonen des Preßgutes Verminderungen des inneren Druckes erfahren. Ausdehnungen treten in den Teilen erst dann auf, wenn der Druck dort unter einen Grenzwert kommt. Das trifft zuerst für die beim Kolben liegenden Preßgutschichten

zu. Bei Wegnahme des Kolbendruckes ist der Anstieg des Druckes mit dem Abstand vom freien Ende, wie aus den Messungen von Franke [1] (dort Abb. 10) hervorgeht, sehr stark. Der Anstieg kann nur durch Wandreibung allein bewirkt werden. Es gehen die Seitendrucke nicht im gleichen Maße wie die Längsdrucke bei der Entlastung des plastischen Materials zurück.

Bei voller Entlastung wird der Kolben im Preßtopf etwas zurückgeschoben. Für den Druck-Weg-Verlauf sind in [6] Beispiele angegeben. Die Ausdehnungen des Preßgutes sind hauptsächlich in den Schichten, die zum Kolben hin liegen, enthalten. Durch kleine Kräfte, die durch Spannen von Bindegarnen aufgebracht werden können, lassen sich die Ausdehnungen im wesentlichen rückgängig machen. Wenn es gelänge, vor voller Entlastung des Preßgutes die Bindegarne zu spannen, könnte das meiste an den Rückdehnungen verhindert werden.

Solange bei der Entlastung kein Rückgang des Kolbens auftritt, sollte angenommen werden, daß die Drücke auf den Kolben an allen Stellen gleichmäßig absinken. Wenn dann später der Kolben allmählich zurückgeht, ist anzunehmen, daß die Teilchen am Rande der Preßkammer durch die Wandreibung zurückgehalten werden, am Kolbenrand also die Drücke auf Null abfallen, während im inneren Teil der Kolbenfläche noch Drücke vorhanden sind. Es ist bei Versuchen auch zu beobachten, daß die oberen Teile an den Rändern der Preßkammer nach Abheben des Kolbens nicht so weit zurückfedern wie weiter innen befindliche. Solche Ungleichmäßigkeiten gelten aber nur für Entlastungsvorgänge in den Pressen.

Nach Beobachtungen der Verlagerungen der einzelnen Halme von Glattstroh in Preßtöpfen mit glatten Kolbenböden (nach

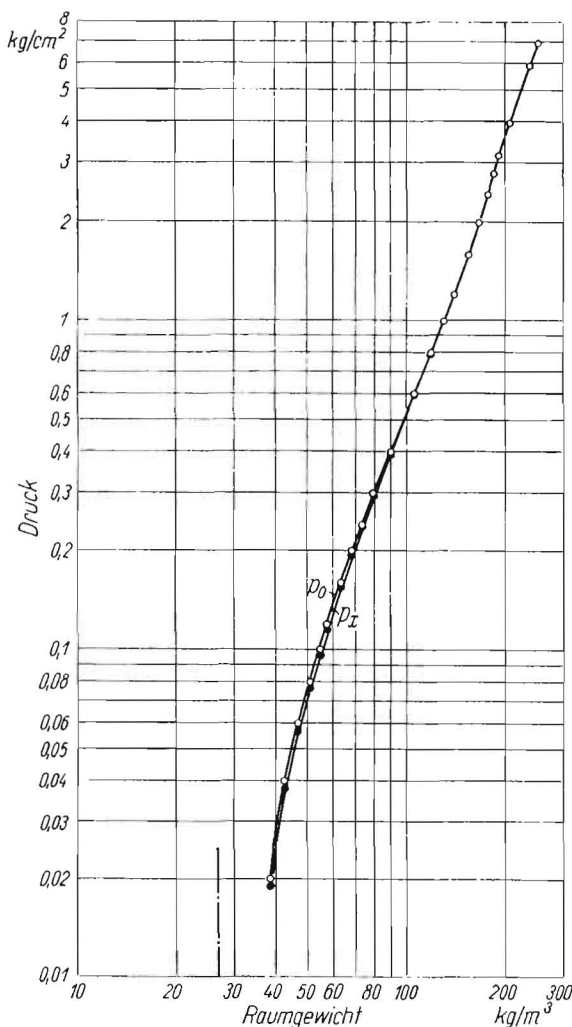


Abb. 10: Gemessener und umgerechneter Zusammenhang zwischen Längsdruck und Dichte für einen Versuch mit Glattstroh

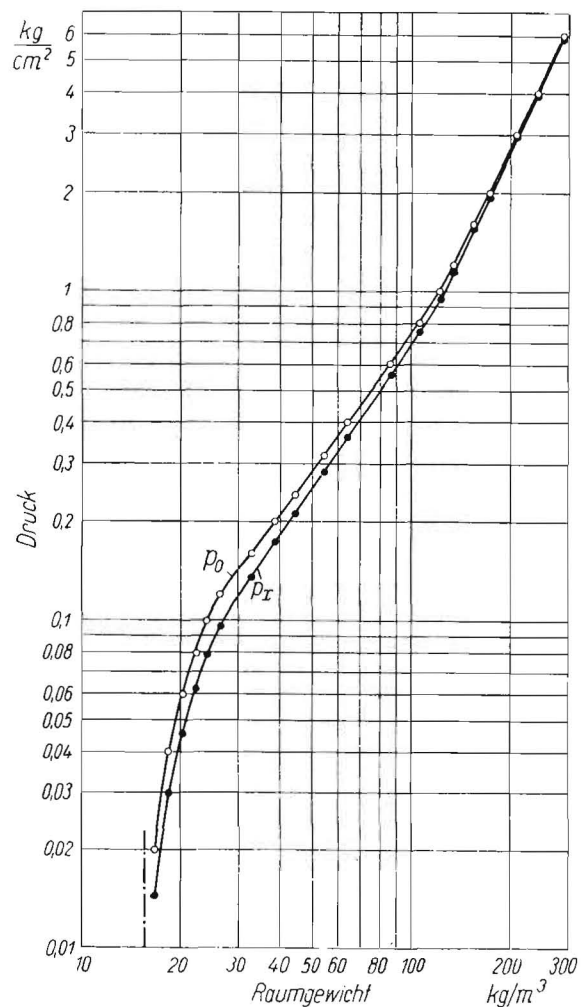


Abb. 11: Gemessener und umgerechneter Zusammenhang zwischen Längsdruck und Dichte für einen Versuch mit Krummstroh

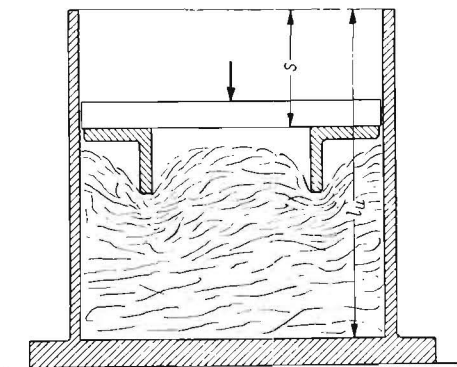


Abb. 12: Versuchsanordnung mit Rippen am Kolben

Abbildungen entsprechend Abb. 1 oder 7) bleiben Strangquerschnitte beim Pressen ziemlich durchgehend eben, und es treten auch keine (wesentlichen) seitlichen Verlagerungen bei den Teilen auf. Die Drücke können daher beim Pressen mit glatten Kolbenböden als über die Querschnitte gleichmäßig verteilt angesehen werden.

Es wurden hier nur die Verhältnisse bei glatten Kolbenböden behandelt. Über die Einflüsse von Rippen siehe [4] (dort Fig. 4). In Preßtöpfen mit gerippten Kolbenböden auf Krummstroh oder sonstigen isotrop anzusehenden Materialien zu drücken, hat nach unseren Erfahrungen keinen Sinn. Denn es treten dann, wenn unter den Rippen sehr große Drücke übertragen werden, in dem neben den Rippen liegenden Material (s. Abb. 12) nur geringe Pressungen auf, so daß keine hohen mittleren Raumgewichte erreicht wurden. Das uneinheitlich gepreßte Stroh federte bei Rücknahme des Druckes stark zurück.

Schrifttum:

- [1] Franke, Rudolf: Untersuchung des Preßvorganges bei Strohpressen in der Landwirtschaft. Diss. TH Berlin 1933
 - [2] Kanafojski, Czeslaw: Beitrag zum Erkennen der beim Dreschen mit einer Schlagleistentrommel vorkommenden Erscheinungen (polnisch). Habilitationsschrift Warschau 1934
 - [3] Skalweit, Helmut: Kräfte und Beanspruchungen in Strohpressen. In: 4. Konstrukteur-Kursus. Berlin 1938, S. 30/35 (RKTL-Schriften Heft 88)
 - [4] Alferow, S. A.: Gesetzmäßigkeiten beim Strohpressen (russisch). Selchozmašina 1957, Nr. 3, S. 6/10
 - [5] Alferow, S. A.: Der Widerstand der Kanäle und Führungen für Ballen in Strohpressen (russisch). Selchozmašina 1957, Nr. 4, S. 15/19
 - [6] Mewes, Ernst: Kraftmessungen in Strohpressen. In: 15. Konstrukteurheft (Grundlag. d. Landtehn. Heft 10), Düsseldorf 1958, S. 18/35
 - [7] Chrapatsch, E. J.: Festigkeitsberechnung der Preßkammer von Heupressen (russisch). Traktory i Selchozmašiny 1958, Nr. 1, S. 19/22
 - [8] Selzerman, I. M.: Untersuchungen über die Spannungen in den Bauteilen der Pick-up-Pressen P.P.V — 1,6 (russisch). Traktory i Selchozmašiny 1958, Nr. 10, S. 27/31
 - [9] Sneddon & Berry: The Classical Theory of Elasticity. In: Handbuch der Physik (herausgeg. v. S. Flügge) Bd. VI. Berlin 1958, S. 22
- Übersetzungen der polnischen und russischen Arbeiten liegen in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft vor und können beim Institut für Landtechnische Grundlagenforschung bestellt werden.

Résumé:

Dr.-Ing. E. Mewes: „Zum Verhalten von Preßgütern in Preßtöpfen.“

Für Stroh, Heu und dergl. werden nach analytischen und experimentellen Untersuchungen die Druckverteilungen beim Pressen in Gefäßen mit feststehenden Böden aufgestellt. Für den Druckabfall längs des Topfes maßgebliche Stoffgrößen sind eine Querausdehnungszahl des Preßguts und der Beiwert der Reibung an den Wänden. Auf die Beziehungen zwischen dem Kolbendruck und dem mittleren Raumgewicht wirkt sich der Druckabfall bei den ausgewerteten Preßtopfversuchen wenig aus.

Dr.-Ing. E. Mewes: „On the Behaviour of Agricultural Materials in Compaction Cylinders.“

Pressure distributions in straw, hay a.s.o., compressed in prismatic pots with fixed bottom and movable piston, are quoted according to analytical and some experimental investigations. The slope of the pressure magnitude along the pot axis depends from the Poisson's ratio of the compressed material and the coefficient of friction on gliding at the walls. The slope of the pressure influences the relations between pressure on the piston and average specific weight only in small amounts.

Dr.-Ing. E. Mewes:

«Le comportement des produits à comprimer dans les récipients de compression.»

On a déterminé la répartition de la pression lors de la densification de la paille, du foin ou d'autres produits dans des récipients de compression à fond fixe par des recherches analytiques et expérimentales. Le coefficient de dilatation transversale du produit à comprimer et le coefficient de frottement aux parois sont des facteurs qui déterminent la chute de pression dans le récipient. Les essais entrepris ont montré que la rapport «pression du piston/densité moyenne» est peu influencé par la chute de pression.

Ing. Dr. E. Mewes: «El comportamiento de materiales prensados en cilindros de compresión.»

Después de investigaciones analíticas y experimentales de paja, heno y productos parecidos se establece el reparto de las presiones que se producen al comprimirlos en recipientes de fondo fijo. Los valores determinantes del decrecimiento de presión a lo largo del recipiente se dan como coeficiente de expansión transversal del material y el valor secundario de la fricción en las paredes. En los ensayos de compresión que se hicieron, el decrecimiento de presión tenía poco efecto en la relación entre la presión del pistón y el peso medio cúbico.