Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 4 (1936)

Artikel: Energiespeicherung durch Gewölbebildung in Erd- und Schüttmassen
Autor: Kögler, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5088

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

ENERGIESPEICHERUNG DURCH GEWÖLBEBILDUNG IN ERD- UND SCHÜTTMASSEN.

ACCUMULATION D'ENERGIE PAR LA FORMATION DE VOUTES DANS DES MASSES DE TERRE ET DANS DES REMBLAIS.

ACCUMULATION OF ENERGY THROUGH ARCH ACTION IN EARTHS AND OTHER LOOSE MATERIALS.

Prof. Dr. Ing. F. KÖGLER, Freiberg/Sa.

Erdstoffe und Schüttgüter besitzen bekanntlich die Eigenschaft, gegebenenfalls als eine Art Gewölbe stützend zu wirken und dadurch eine Lastübertragung zustande kommen zu lassen, die abweicht von der sonst üblichen Lastweitergabe lotrecht nach unten. Diese eigenartige Lastübertragung und Druckverteilung tritt ein, wenn die Schüttung irgendwo sich auf feste Punkte stützen kann, mögen diese nun in der unteren oder in der seitlichen Begrenzung der Schüttung liegen. Auf diese Eigenschaft stößt jeder, der z. B. (senkrechten oder waagerechten) Erddruck mit Meßdosen messen will: Sind die Dosen zu nachgiebig (zu weich), dann bildet sich über ihnen ein tragendes Gewölbe, der Druck geht an den Dosen vorbei. Die auf diese Weise von den Meßdosen angezeigten Drücke sind zu klein. Aus denselben Gründen geben zu harte Meßdosen zu große Drücke an, denn jetzt werden die zwischen den Dosen liegenden, etwas nachgiebigeren Teile der Schüttung überbrückt; auf die Dosen selbst wirken dann die Gewölbekämpferkräfte als zu große Drücke.

Aus der gleichen Eigenschaft der Erd- und Schüttstoffe erklärt sich ja auch die bekannte Tatsache, daß in engen und tiefen Silos schließlich überhaupt fast kein Bodendruck mehr herrscht, oder daß er mindestens sehr viel kleiner ist, als der Höhe der Schüttung entspricht; die Massen hängen sich durch die Reibung an den Seitenwänden des Silos auf und tragen ihr Gewicht durch Gewölbewirkung.

Wenn diese Eigenschaft der Erdstoffe, die Fähigkeit und Neigung zur Gewölbebildung, in Verbindung tritt mit einer zweiten Eigenschaft der Erdstoffe, nämlich ihrer Elastizität, d. h. dem Bestreben, sich nach Zusammendrückung wieder auszudehnen, so ergibt sich in bestimmten Fällen eine ganz eigenartige Erscheinung, die meines Wissens bisher noch nicht bekannt, jedenfalls nicht beachtet und noch nicht beschrieben und näher untersucht worden ist.

Sie sei an einem praktischen Fall dargelegt, der die Veranlassung zur Beobachtung und eingehenden Untersuchung dieser Erscheinung gegeben hat. Wenn Rohre in einem Rohrgraben verlegt sind, so stampft man die Massen ein, um möglichst geringe Nachsetzungen zu bekommen. Dabei können sich durch dieses Stampfen Belastungen der Rohre ergeben, die weit über das Gewicht der aufgeschütteten Erdmassen hinausgehen. Versuche haben das bestätigt. Die Erklärung und Be-

gründung ist im folgenden gegeben, und zwar der Einfachheit halber an dem Versuchsmodell, wobei dieses gleich mit erläutert wird. Der Kasten (Fig. 1) entspricht dem Rohrgraben und u. U. auch einem Silo (wenn es z. B. vorkommt, daß die Massen in einem Silo aus großer Höhe herabfallen und dadurch also gewissermaßen gestampft werden). Die Seitenwände des Kastens entsprechen den Wänden des Rohrgrabens oder des Silos, das Sohlbrett *B* des Versuchskastens der Oberfläche des in den Rohrgraben eingebauten Rohres oder dem Boden eines Silos.

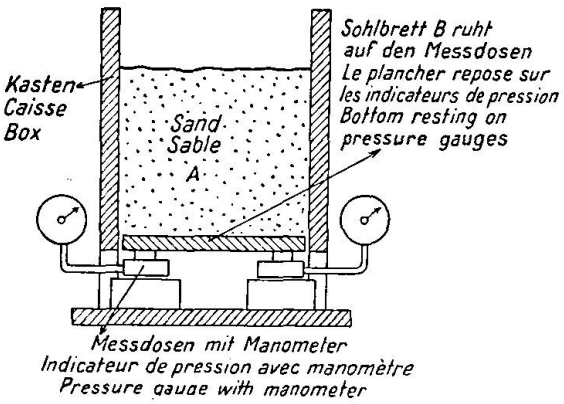

Fig. 1.

Die Versuchsanordnung ist folgende: Ein Kasten hat ein bewegliches Sohlbrett *B*, das durch Meßdosen getragen wird. Ihre Manometer zeigen die Kraft an, die die Aufschüttung *A* (Erdmassen im Rohrgraben) auf das Sohlbrett *B* (das ist die Oberfläche des im Rohrgraben verlegten Rohres, zum Zwecke der Versuchsvereinfachung eben ausgeführt) ausübt. Der Sand *A* wurde lose eingefüllt, eingerüttelt, leicht eingestampft und stark eingestampft.

Versuch I.

In einem Kasten von 14 cm lichter Weite und 110 cm Länge wurde feuchter Sand eingebracht und dann gestampft. Die große Länge des Kastens wurde gewählt, um die Verspannung des Sandes nur gegen die zwei Seitenwände wirksam werden zu lassen, wie es in Wirklichkeit bei Rohrgräben der Fall ist. Die Füllung betrug zunächst rd. 17 kg = 6 cm Höhe, dann rd. 44 kg = 11,5 cm Höhe und zum Schluß 50 kg = 17 cm Höhe.

Zur Messung der Druckkraft des Sandes auf die Sohle des Kastens dienten hydraulische Meßdosen, deren Nachgiebigkeit nahezu gleich Null ist. Die Sohle des Kastens konnte also so gut wie keine Bewegungen in der Stampfrichtung ausführen.

Die nachstehende Zahlentafel I zeigt das Ergebnis des Versuchs und erläutert es: Die Druckwirkung auf die Sohle infolge des Stampfens beträgt rd. 150% vom Sandgewicht.

Versuch II.

Da nach Vorversuchen anzunehmen war, daß die durch das Stampfen eintretende Verspannung wachsen wird, wenn die Unterlage, auf der der Sand ruht und gestampft wird, eine gewisse Nachgiebigkeit besitzt, so wurden beim Versuch II unter die Meßdosen der Reihe nach Gummiplatten von 9, 18, 27 und 36 mm Stärke gelegt mit Widerstandszahlen von rd. 80, 60, 40 und 20 kg/mm. Das Ergebnis dieser Versuchsreihen zeigt die Zahlentafel II. Sie bestätigt die obige Vermutung, wenn auch die Ergebnisse natürlich sehr von der Stärke des Stampfens abhängen. Immerhin zeigt sich ganz deutlich eine Zunahme der Druckwirkung des Sandes, wenn die Federung zunimmt. Diese Federung ist in der baulichen Wirklichkeit selbstverständlich auch vorhanden, da ja die einzubauenden Rohre eine gewisse Biegsamkeit besitzen und demgemäß Verbiegung erfahren können. Dieser Versuch II entspricht also am genauesten der Wirklichkeit. Die Druckwirkung des Sandes geht hier bis zum Doppelten des Sandgewichtes, ist so-

mit ganz beträchtlich. Das gleiche Ergebnis wurde auch bei einem ähnlichen Versuch in einem kleineren Kasten erzielt.

Zahlentafel I.

Art der Schüttung und ihrer Verdichtung	Größe der Kraftwirkung auf die Unterlage	Erläuterungen
A. *Sandhöhe rd. 6 cm.*		
1. 17,3 kg feuchter Sand lose eingefüllt	13,1 kg = 76 %	Das Gewicht der eingefüllten Masse überträgt sich noch nicht voll auf die Sohle, sondern hängt durch Reibung noch etwas an den Seitenwänden.
2. Der Kasten wurde etwas gerüttelt	15,6 kg = 90 %	Wie vor.
3. Der Sand wurde leicht gestampft	20,8 kg = 120 %	Die Reibung an den Seitenwänden ist überwunden; die Druckwirkung auf die Sohle ist schon größer als das Gewicht der Massen, weil durch das Stampfen schon etwas Verspannung eingetreten ist.
4. Der Sand wurde stark gestampft	24,8 kg = 114 %	Die Verspannung des Sandes gegen die Seitenwände macht sich stark bemerkbar; sie beträgt schon fast 50 % vom Sandgewicht.
B. *Sandhöhe 11,5 cm.*		
5. Weitere 16,35 kg Sand eingefüllt; *zusammen 33,65 kg*	29,3 kg = 87 %	Wie zu A, 1.
6. Leicht gestampft	35,3 kg = 105 %	Wie zu A, 3. Die Verspannung beginnt.
7. Stark gestampft	44,3 kg = 131 %	Die Verspannung wächst.
8 Der Sand wurde am Rande des Kastens leicht eingestampft, in der Mitte gegen Hochquellen gehalten	48,6 kg = 145 %	Desgleichen.
9. Dasselbe noch einmal	52,8 kg = 157 %	Wie zu A, 4. Die Verspannung des Sandes beträgt über 50 % vom Sandgewicht.
C. *Sandhöhe 17 cm.*		
10. Weitere 16,3 kg Sand lose eingefüllt; *zusammen 49,45 kg*	54,0 kg = 108 %	Wie zu A, 3.
11. Leicht gestampft	55,3 kg = 110 %	
12. Stark gestampft	61,8 kg = 123 %	
13. Nochmals stark gestampft	68,7 kg = 138 %	Wie zu A, 4.
14. Desgleichen	73,9 kg = 148 %	

Beachtlich ist noch die folgende Feststellung: Die größte Druckwirkung des Sandes auf die Sohle zeigt sich bei der Reihe B mit 157 %, gegenüber den Reihen A mit 144 % und C mit 148 %. An sich kann das die Auswirkung eines verschieden starken Stampfens sein. Es ist aber auch die Vermutung nicht von der Hand zu weisen, daß die Sandhöhe beim Versuch B besonders günstig ist im Vergleich zur Kastenbreite. Das würde dann heißen: Beim Versuch A ist die Höhe des Sandes im Vergleich zur Kastenbreite noch nicht groß genug, um die volle Verspannung wirksam werden zu lassen. Die Sandgewölbe sind nicht stark genug; sie zerdrücken sich. — Beim Versuch C würde die Deutung die sein, daß die Sandhöhe schon wieder zu groß ist, sodaß hier das Stampfen nicht mehr durch die ganze Sandhöhe hindurch so stark wirkt.

Zahlentafel II.

Die Druckkraft, die der Sand auf seine Unterlage ausübt (in Vomhundertteilen seines Gewichtes angegeben), wächst mit dem Maß der Federung der Unterlage. Unter den Meßdosen liegen Gummiplatten in einer Stärke von

	0	9	18	27	36 mm
entsprechend einem Widerstand von		80	60	40	20 kg/mm
1. Sand, lose eingefüllt, rund 16 kg	76	94	84	112 *)	102 %
2. Sand, leicht gestampft	120	131	122	137	122 „
3. Sand, stark eingestampft	144	153	173	162	173 „
4. Sand, an den beiden Rändern nochmals gründlich eingestampft	—	—	221	269	223 „
5. weiterer Sand, lose eingefüllt im ganzen nunmehr rd. 34 kg	87	110	110	126	110 „
6. Sand, leicht gestampft	105	118	133	130	132 „
7. Sand, stark gestampft	131	147	?	174	191 „
8. Sand, an den beiden Rändern nochmals gründlich eingestampft	145	178	194	215	207 „
9. Dasselbe noch einmal	157	?	?	220	230 „

*) Bei diesem Versuch wurde der Sand nicht nur lose eingefüllt, sondern auch etwas eingerüttelt, deshalb sind die Zahlen dieser Reihe stellenweise etwas zu hoch.

Versuch III.

Ein gleicher Versuch wurde im selben Kasten mit 5,5 kg Sägespänen durchgeführt. Allerdings saß bei diesem Versuch das Sohlbrett nicht auf Meßdosen, wie bei Versuch I und II, sondern auf acht Stahlfedern, von 18 kg/cm Federwiderstand. Dadurch war die Nachgiebigkeit des Sohlbrettes beträchtlich. Die Druckwirkung der Sägespäne auf das Sohlbrett betrug, nachdem sie mehrmals leicht gestampft und dann noch mit den Händen eingedrückt waren, nach Wegnahme der Last das 5,7-fache ihres Gewichtes. Die Verspannung der Massen gegen die Seitenwand ist hier also ganz gewaltig. Das Eigengewicht der Massen spielt gegenüber den durch das Stampfen und Drücken aufgespeicherten Kräften überhaupt fast gar keine Rolle mehr.

Ergebnis der Versuche.

Zusammenfassend kann man als übereinstimmendes Ergebnis aller Versuche folgendes feststellen:

1. Bei losem Einfüllen zeigen die Meßdosen noch nicht das ganze Gewicht der Füllmassen an. Erklärung: Ein Teil des Gewichtes wird durch die Reibung des Sandes an den Seitenwänden des Kastens (Rohrgraben, Silo) getragen.

2. Nach kräftigem Rütteln des Tisches, auf dem der Versuchskasten stand, zeigen die Meßdosen ungefähr richtig das Gewicht der eingefüllten Massen an.

3. Nach leichtem bis mittlerem Stampfen ergibt die Anzeige der Meßdosen eine Kraft, die rd. 50 % höher ist, als das Gewicht der aufgeschütteten Sandmassen.

4. Nach starkem Stampfen erreicht diese Kraftanzeige einen Wert bis zu dem Doppelten der Sandlast. Sie geht bei sehr starkem Stampfen sogar noch etwas darüber hinaus.

Diese Erscheinung wird am klarsten durch folgendes Gleichnis beschrieben: Wenn man eine Feder durch Stoß von oben zusammendrückt und durch irgendein Hilfsmittel in ihrer unteren Lage festhält, so ist in ihr Energie

aufgespeichert. Die angesammelte Energie kann man dadurch noch weiter anwachsen lassen, daß man den Stoß wiederholt und die Feder jedesmal wieder in der neuen Lage festhält. Die Speicherungsfähigkeit findet ihre obere Grenze entweder in der Festigkeit der Feder oder in der Aufnahmefähigkeit der Haltevorrichtung.

Ersetzt man die Feder durch Erdstoff mit einer gewissen Elastizität, bezw. durch einen solchen, die auf einer elastischen Unterlage ruht, und tritt an Stelle der Haltevorrichtung die Gewölbebildung im Erdstoff, sowie die Reibung, die an den Seitenwänden eines Kastens aus Holz oder dergl. (bezw. eines Rohrgrabens oder Silos) zwischen Erdstoff und Wand wirkt, so kann auch mit diesem System Energie aufgespeichert werden.

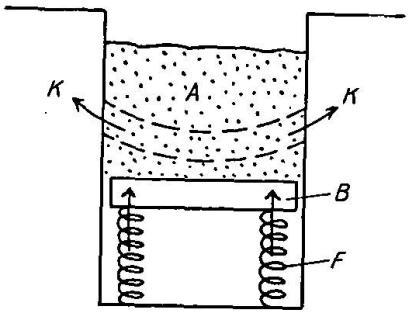

Fig. 2.

Zur Erklärung der durch die Versuche erwiesenen Energieaufspeicherung ist im einzelnen noch folgendes zu sagen: Gegenüber dem Einstampfen der Erdmassen erzeugt das Sohlbrett bezw. die unter ihm sitzenden Meßdosen einen Gegendruck, der den Sand von unten her belastet, also nach oben heben will (Fig. 2). Der Sand verspannt sich dabei gegen die Seitenwand des Kastens (des Rohrgrabens), weil er dort festen Widerstand gegen seitliches Ausweichen, wie auch Reibung gegen eine Bewegung nach oben findet. Es bilden sich im eingestampften Sand gewissermaßen umgekehrte Gewölbe, die von unten her belastet werden und deren Kämpferkräfte in der Richtung der Pfeile *K* verlaufen und sich gegen den gewachsenen Boden abstützen. Diese Spannung im Sandgewölbe tritt natürlich nur ein, wenn die Meßdosen bezw. die Federn, die das Sohlbrett *B* tragen, in Spannung versetzt werden und damit eine Gewölbebelastung erzeugen. Das geschieht durch das Stampfen. Ob das Verspannen des Sandes einerseits gegen die Seitenwände des Grabens und andererseits gegen das Sohlbrett des Versuchskastens (das eingelegte Rohr im Baufall) nun zustande kommt durch eine Nachgiebigkeit des Sohlbrettes und der Meßdosen, oder durch eine elastische Zusammendrückbarkeit des Sandes in sich, ist einerlei; jedes von beiden hat für das Zustandekommen der Verspannung dieselbe Wirkung. Daß mindestens eines von beiden eintritt, ist Voraussetzung dafür.

Diese Erscheinung stellt den umgekehrten Fall dar von folgenden Beobachtungen:

a) In Silos, deren lichte Weite gering ist im Vergleich zu ihrer Höhe, bleiben die eingefüllten Massen, besonders wenn sie große innere Reibung haben, wie Koks und dergl., leicht an den Wänden hängen und lassen sich unten an der Entleerungsöffnung nicht abziehen.

b) Das Gleiche kommt vor, wenn man Glasröhren mit Sand füllen will.

c) Es ist auch praktisch im Großen aufgetreten, als man einen Bergwerksschacht von 400 m Tiefe verfüllen wollte. Infolge noch vorhandener Einstriche setzten sich die Füllmassen fest und bildeten ein Traggewölbe, sodaß der Schacht bis zur Tagesoberfläche verfüllt werden konnte, während in ihm noch gewaltige Hohlräume vorhanden waren. Die erwähnten Einstriche hätten die Last der eingefüllten Massen bei weitem nicht tragen können; sie gaben nur den Anlaß zum ersten Festsetzen der Massen und zur Gewölbebildung in ihnen.

Das Wichtigste an der ganzen Erscheinung ist die Tatsache, daß die Erdgewölbe bei der Vorwärts- und Abwärtsbewegung des Sandes infolge Belastung oder Stoßwirkung mitgehen, indem die plastische Erdmasse sich beim Stampfen und Nachgeben immer wieder neu lagert, die Gewölbe sich dabei also immer wieder in einer neuen Lage bilden, und zwar in einer solchen Lage, wie sie der weiteren neuen Zusammendrückung entspricht. Die Erdgewölbe und die Reibung an den Wänden bilden gewissermaßen eine Bremse oder Sperre gegen die Rückwärtsbewegung, die aber ein Vorwärtsbewegen zuläßt. Die Verspannung kann sich nur bilden, wenn der eingefüllte Boden durch Stampfen eine gewisse Festigkeit erlangt und wenn die Seitenwände des Rohrgrabens fest genug stehen, um die Kämpferkräfte der Erdgewölbe aufzunehmen, ohne daß sie nachgeben. Das letztere könnte z. B. bei lockerem Boden eintreten oder wenn der Graben nur geringe Tiefe besitzt.

Obwohl es sich um Versuche in zunächst nur verhältnismäßig kleinem Maßstabe handelt, so ist doch kein Zweifel, daß die Erscheinung in der baulichen Wirklichkeit genau so auftreten wird. Denn grundsätzlich liegen dort die Verhältnisse genau so, wie beim Versuch. Leider ist eine zahlenmäßige Übertragung der Modellversuche auf den praktischen Baufall nicht möglich, da sowohl Kraft-, wie auch Arbeitsgrößen in die Rechnung hineinspielen, und die Maßstabverhältnisse dadurch besonders schwierig werden.

Inwieweit die im Vorstehenden mitgeteilten Zahlen auf praktische Baufälle übertragen werden können, soll durch weitere Versuche geklärt werden.

Die gleiche oder ähnliche Wirkung kann zustande kommen, wenn die Erd- oder Schüttmassen nicht gestampft werden, sondern aus einer gewissen Höhe herabfallen, was z. B. bei einem Einfüllen in einen Silo denkbar ist. Allerdings ist dabei wahrscheinlich fraglich, ob eine so feste Lagerung zustande kommt, daß die Gewölbebildung sich herausbildet. Ganz sicher kommt aber die gleiche Wirkung zustande, wenn Erdmassen irgendwo trocken eingestampft werden und dann durch Feuchtigkeitsaufnahme quellen: Es entstehen dabei sehr erhebliche Kräfte; diese wirken nach unten hin, wenn beim Einstampfen schon die geschilderte Gewölbewirkung zustande gekommen ist und damit eine Stützung vorhanden und die Art und Richtung der Kraftübertragung festgelegt ist. Vielleicht ist mancher Rohrbruch auf diese Art zu erklären.

Zusammenfassung.

Der Verfasser untersucht in diesem Beitrag die Gewölbewirkung in Schüttmassen. Bei Erddruckmessungen ist diese je nach der Art der Meßdosen zu berücksichtigen. Diese Gewölbe treten beim Einfüllen und besonders beim Einstampfen von Rohrgräben in umgekehrter Richtung auf und erzeugen auf den Rohren infolge der Elastizität größere Drücke als nur von der Überschüttung her. Die Größenordnungen derselben werden an einfachen Versuchen ermittelt, die beschrieben und deren Ergebnisse bekannt gegeben werden.

Résumé.

Dans ce mémoire, l'auteur étudie l'effet de voûte dans les terrains rapportés. Il faut tenir compte de cet effet lors de mesures de poussée des terres, il varie suivant le type des indicateurs de pression. Ces voûtes se produisent

en sens inverse lors du remplissage des tranchées pour conduites et spécialement lors du damage; par suite de l'élasticité, elles provoquent sur les tuyaux des pressions plus grandes que celles résultant du remplissage seul. Leur ordre de grandeur est déterminé par de simples essais, qui sont décrits et dont les résultats sont donnés.

Summary.

In his treatise the author examines the arch action of loose deposits (earths, etc.). The measurements of earth pressure can be influenced by arch action according to the nature and type of measuring gauges used. The filling-in and ramming of pipe trenches produces inverted arches (crown downwards) and on account of the elasticity often cause much higher pressures on pipes than would be exerted by the mere dead weight of the filling. The values of such pressures are determined by simple experiments, which are described in the article.

Leere Seite
Blank page
Page vide