

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Heidrich, Werner

Einige Ergebnisse von Messungen der Bodenschwingung bei Rüttelverdichtung

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106057>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heidrich, Werner (1964): Einige Ergebnisse von Messungen der Bodenschwingung bei Rüttelverdichtung. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 13. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 5-14.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



7/

DK 62K.138.22

Boden verd. hsg.
Rütteln

5-14

Einige Ergebnisse von Messungen der Bodenschwingung
bei Rüttelverdichtung

Dipl.-Math. Werner Heidrich

In der Zeit vom 16.5.1961 bis 6.7.1961 wurden auf der Baustelle Bräsinchen dynamische Messungen durchgeführt, um das Verhalten von Vibrationsverdichtungsgeräten zu überprüfen. Es wurden zu diesem Zwecke zunächst einige Versuchsmessungen gemacht, um die Funktionsfähigkeit der Meßapparatur zu kontrollieren. Diese bestand aus 6 Meßverstärkern M 60 der Firma Metra (Radebeul) mit den Nummern 146, 155, 159, 168, 180, 201 mit den Beschleunigungsmessern KD 2a, Nummer B 625, B 626, B 633, B 635, B 658, B 659 und zur Registrierung zwei 3-Schleifenoszillographen mit den Meßschleifen 8 T, Nr. 1721, 1723, 1730, 1731, 1752, 1757. Zur Anpassung der Schleifen an Meßverstärker wurden Zwischenwiderstände von ca. 600 Ohm verwendet, so daß der vorgeschriebene Abschluß der Verstärker gesichert war. Es waren noch einige Beschleunigungsmesser in Reserve, von denen der B 660 für Messungen auf den Vibrationsplatten verwendet werden sollte. Sämtliche Beschleunigungsmesser hatten 30 m Kabel, sie wurden in verschiedenen Tiefen im Boden eingebaut. Bereits die erste informatorische Messung zeigte einen wesentlichen Unterschied zwischen der Bewegung der Verdichtungsplatte (gemessen auf der Grundplatte) und der Bewegung des Bodens. Die Platte macht eine im wesentlichen sinusförmige Bewegung. Bei dieser liegt sie aber nur einen Bruchteil der Zeit auf dem Boden; dazwischen springt sie. Auch dem Boden wird diese Betriebsfrequenz der Maschine mit aufgeprägt, doch sind die Beschleunigungsamplituden dieser Frequenz klein gegen eine andere Schwingung, die durch das Aufschlagen der Platte auf den Boden hervorgerufen wird. So wird bei jedem Schlag auf den Boden in diesem ein harter Stoß registriert, der selbst Ausgang einer stark gedämpften Schwingung ist. Diese Schwingungen haben eine recht hohe Frequenz, die bei den verschiedenen Verdichtungsplatten unterschiedlich war; offensichtlich bestand aber keine direkte Abhängigkeit dieser Frequenz von der Betriebsfrequenz.

Nach den ersten Vorversuchen wurden die Beschleunigungsmesser im Boden eingebaut, und zwar drei Stück zur Anzeige vertikaler Schwingungen in 50, 100 und 150 cm Tiefe und drei zur Anzeige horizontaler Schwingungen in 50, 88 und 150 cm Tiefe. Hierzu wurden mit einem Stihlbohrgerät zwei Bohrungen (eine für vertikale und eine für horizontale Messung) dicht nebeneinander niedergebracht und die Beschleunigungsmesser in den entsprechenden Tiefen eingesetzt, wobei der Sand eingeschüttet und möglichst fest gestampft wurde. Anschließend wurde mit den vorhandenen Vibrationsverdichtern versucht, die Auffüllung möglichst gut zu verdichten und der Umgebung anzupassen.

Die Kabel wurden locker mit einigen S-Kurven bzw. Spiralen im Bohrloch hochgeführt; sie wurden dann in etwa 30 - 50 cm unter der Oberfläche zum Meßgerät geführt, um eine Beschädigung durch darüberfahrende Walzen bzw. Platten zu verhindern. Die Gefahr, daß elastische Wellen durch das Kabel geführt oder durch die Auffüllung im Bohrrohr etwas verfälscht werden, mußte in Kauf genommen werden. Meßtechnisch günstiger wäre eine horizontale Zuführung der Kabel zum Beschleunigungsmesser gewesen; dies hätte aber beim Aufbau ganz enorme Schwierigkeiten hervorgerufen, und eventuell wären hierdurch andere Fehler entstanden, die durch die schlechtere Verdichtungsmöglichkeit der Verfüllung hervorgerufen werden können. Die einzige Möglichkeit, die Idealanordnung zu realisieren, ist der Einbau der Meßgeräte in einer Schüttung während des Schüttens mit horizontaler Kabelzuführung bei laufendem Verdichten der eingebrachten Sandmassen.

Die Messungen wurden dann so durchgeführt, daß die Verdichtungsplatten über die eingebauten Beschleunigungsmesser hinwegliefen, und von 3 m vorher bis 3 m hinterher alle Meter eine Meßregistrierung vorgenommen wurde; hierbei wurde die Mitte der Platte als Bezugspunkt benutzt. Besondere Aufmerksamkeit wurde bei der Auswertung der Messung in 50 cm Tiefe im Falle der Stellung 0 für vertikale Anregung gewidmet, denn hier ist gut zu erkennen, welche Bewegungen vom Boden selbst übernommen werden. In der Tabelle 1 sind die festgestellten Hauptfrequenzen und die Beschleunigungsamplituden zusammen mit den scheinbaren Betriebsfrequenzen zusammengestellt. Zu dieser Zusammenstellung ist zu bemerken:

bei einigen Geräten (z.B. SVP 24; SVP 31,5; SVP 63) ist keine direkte Wiederholung des Schwingungsbildes bei jedem Stoß festzustellen, sondern es folgen sich regelmäßig ein starker und ein schwacher Stoß. Das zeigt an, daß die Platte ungleichmäßig mit dem Boden zusammenarbeitet, daß sie wahrscheinlich einmal in Phase mit der Bodenbewegung, also schwach aufsetzt und einmal gegenphasig, also stark. Auffällig war, daß alle Platten, die mit Frequenzen zwischen 45 und 55 Hz arbeiten, diese Erscheinung nicht zeigen, und daß auch der AT 5000, der mit 17 Hz Betriebsfrequenz eine dritte harmonische von 51 Hz besitzt, recht gleichmäßig arbeitet. Bei einer Betriebsfrequenz von 40 Hz dagegen traten diese Ungleichmäßigkeiten sehr stark in Erscheinung. Offensichtlich war der Frequenzbereich von 45 bis 55 Hz in diesem Falle besonders günstig. Es ist allerdings daraus noch nicht abzuleiten, daß dies für alle rolligen Erdarten gilt; so könnte es z.B. von der wirksamen Korngröße und der Kornverteilung abhängen. Fest steht aber, daß in diesem Falle bei den Plat-

ten, die mit 40 Hz arbeiten, ein beträchtlicher Teil der aufgewandten Energie nutzlos vertan wurde, und daß daher die Frequenz erhöht werden sollte.

Selbstverständlich kann die Schwingungsmessung keine Aussagen über die Güte der Verdichtungsleistungen machen, sondern es war Ziel der Untersuchungen, aus den auf anderem Wege gewonnenen Aussagen über die Verdichtungsleistungen der einzelnen Maschinen und den Schwingungsmessungen eine Verbindung herzustellen. Zu diesem Zwecke wurden in Besprechungen mit den an den Arbeiten beteiligten Kollegen der anderen Institutionen (besonders FEK und Verkehrshochschule) entsprechende Verknüpfungspunkte gesucht. Dabei wurde generell festgestellt, daß die Wirkung all der Maschinen als gut zu bezeichnen war, die im Boden Schwingungen von mehr als 150 Hz hervorrufen. Hier spielte die Frequenz anscheinend eine wichtigere Rolle als die Beschleunigungsamplitude. Durch die Messungen nicht geklärt ist dabei allerdings, weshalb im Boden derartig verschiedene Frequenzen auftreten. Offensichtlich ist hier wohl die Aufschlaghärtigkeit maßgeblich; dies würde bedeuten, daß auch hierfür die Phasenlage von Boden- und Plattenbewegung einerseits und die Relativgeschwindigkeit der beiden gegeneinander andererseits entscheidenden Einfluß ausüben. Das bedeutet, daß eine große Amplitude der Vibrationsplatte für gute Verdichtungsarbeit zwar notwendig aber noch nicht hinreichend ist, und daß die Betriebsfrequenz teilweise schon durch eine Veränderung um wenige Hz eine wesentliche Veränderung der Leistung bringen kann.

Aus dem bisher gesagten folgen logisch die Ergebnisse für die Vibrationswalzen. Diese können ja nicht vom Boden abheben, so daß eine Erregung höherer Frequenzen nicht möglich ist. Daraus folgt automatisch, daß auch die Verdichtungsleistung geringer werden muß, daß allerdings die Reichweite dieser Wellen geringerer Frequenz größer wird, also bei geringerer erreichter Dichte evtl. größere Tiefenwirkung zu erzielen ist. Selbstverständlich gelten die hier abgeleiteten Gedanken nur für Sande, die etwa den in Bränsinchen anstehenden Erdstoffen entsprechen, bei Grobkies, Schotter oder auch Schluff können die Verhältnisse durchaus anders liegen.

Ein weiteres Ziel der Untersuchungen war es, die Ausbreitung der elastischen Wellen im Boden zu messen. Es soll hier zunächst betont werden, daß diese Messungen nur ein erster Anfang sind, um an dieses Problem heranzukommen, und daß sie zur Zeit keinen weiteren Einfluß auf die Entwicklung der Vibrationsverdichtungsmaschine nehmen können. Dies liegt daran, daß auf dem Meßgelände mit sehr star-

ken Reflexionen vom Grundwasserspiegel her zu rechnen ist, die natürlich eine Energieverteilung im Boden hervorrufen, die nur in diesem Spezialfall gültig ist. Generell wird das Abklingen der Amplituden mit der Entfernung durch das Auftreten von Reflexionen aus dem Untergrund verringert, wenn dies auch im Einzelfall nicht immer zuzutreffen braucht. Außerdem handelt es sich bei diesen Messungen nicht um ein stationäres Wellenfeld, sondern um dauernde Einzelstöße mit Ausklingvorgang, so daß hier eine genaue Ablesung der wahren Beschleunigungsamplituden nicht mehr garantiert werden kann. Es sollen deshalb auch aus diesen Messungen keine Schlußfolgerungen gezogen werden, sondern nur einige Meßergebnisse dargestellt werden (Tabelle 2).

Tabelle 1

Die hauptsächlich in den Boden übertragenen Schwingungen

Gerät	m/s^2	Hz	Betriebsfrequenz (Hz), Bemerkungen
PV 40	128	250	45, scharfe Einzelstöße
PV 25	41	135	50
SVP 12	27,4	200	55, scharfer Stoß, dann Ausklingen
SVP 24	57,5	300	55, jeder zweite Stoß etwas schwächer
SVP 31,5	55	150	39, sehr unterschiedlich, jeder zweite Stoß schwach
SVP 63	110	125	20, dazwischen schwache Sprünge außermittig, tatsächliche Frequenz anscheinend 40 Hz
BSD 30	36,6	50	20, jeder zweite Stoß abgeflacht
AT 5000	87	330	17
Walzen			
ABG	20	31	31, sin-Kurve mit leichten Spitzen
Gattersl.	16,5	38,5	38,5 leicht verzerrte sin-Kurve

Bei allen Platten ist ein reicher Anteil an Oberwellen der verschiedensten Frequenzen festzustellen. Dagegen sind die Meßkurven der Walzen verhältnismäßig arm an Oberwellen. Die Angaben wurden in 50 cm Tiefe direkt unter den Verdichtungsgeräten gewonnen und beziehen sich auf die vertikale Schwingungskomponente.

Tabelle 2

Verteilung der Schwingungen im Boden in der Umgebung
der Verdichtungsgeräte

Angaben in m/s^2 für die bei jeder Maschine angegebene Hauptfrequenz							
	+3 m	+2 m	+1 m	0 m	-1 m	-2 m	-3 m
PV 40 (250 Hz)							
50 cm		5,8	11,5	82	-,8	1,3	1,3
100 cm	1,7	6,3	14,2	63	3,6	3,1	2,3
150 cm	2,1	9,2	18,4	26,6	12	2,5	2,9
PV 25 (135 Hz)							
50 cm	0,18	0,9	3,6	41	8,2	0,8	2,3
100 cm	0,9	3,1	4,5	16	4,1	1,3	0,9
150 cm	1,1	2,9	7,5	12,5	9,3	1,5	0,8
SVP 12 (200 Hz)							
50 cm	3,23	0,87	3,2	27,4	3,6	1,15	0,27
100 cm	0,27	1,7	5,1	13,5	4,5	2,14	0,45
150 cm	0,34	1,3	3,5	10	5,9	2,64	0,5
SVP 24 (300 Hz)							
50 cm		0,72	1,8	57,5	11	2,6	0,86
100 cm	0,13	1,15	4,5	28	12,5	3,7	1,4
150 cm	0,3	1,05	2,1	20	13,5	4,0	1,35
SVP 31,5 (150 Hz)							
50 cm	0,36	0,9	1,8	55	6,4	1,0	0,15
100 cm	0,57	3,2	9,9	21	9,9	1,4	0,43
150 cm	1,05	3,5	8,4	21	13,5	4,0	0,66
SVP 63 (125 Hz)							
50 cm		0,91	23	110	7,3	1,8	0,6
100 cm	0,57	2,7	11,7	63	8,1	2,7	0,85
150 cm	0,53	3,8	10	45	12,6	5,9	3,14
BSD 30 (50 Hz)							
50 cm	2,6	2,7	7,3	41	18,2	4,5	3,2
100 cm	3,1	3,6	6,3	36	12,6	5,0	3,4
150 cm	0,53	2,1	2,1	25	12,6	2,5	1,1
AT 5000 (330 Hz)							
50 cm	2,0	0,9	9,1	87	13,7	3,2	2,3
100 cm	2,6	4,3	7,1	57	27	4,5	4,7
150 cm	6,6	5,0	13,5	40	25	5,1	8,0

	+3 m	+2 m	+1 m	0 m	-1 m	-2 m	-3 m
Walze ABG (31 Hz)							
50 cm	3,16	5,9	10	17,3	8,2	6,4	4,1
100 cm	5,4	5,9	10	18,5	7,65	5,85	4,0
150 cm	2,66	2,52	3,76	8,0	3,8	2,5	1,86
Walze Gattersleben (38,5 Hz)							
50 cm	2,30	5,46	15,5	15,5	8,2	5,9	3,62
100 cm	4,26	5,86	14,8	14,8	7,65	6,3	3,6
150 cm	1,86	2,52	5,87	5,87	3,37	2,3	1,6

In der Darstellung ist die Verteilung der Beschleunigungsamplitude in der Weise erfolgt, daß die mit positivem Vorzeichen versehenen Meßpunkte bereits von dem Verdichtungsgerät überquert sind, die mit negativem liegen noch vor dem Gerät. In der Spalte links außen ist die jeweilige Tiefe des Meßgerätes angegeben.

