

Projekt B2 EINFLUSS EINER PULSIERENDEN STRÖMUNG AUF DIE EROSION EINES SEDIMENTBETTS

1. Beteiligte wissenschaftliche Mitarbeiter

Kobus, Helmut, Ph.D., Oberingenieur am Institut für Hydromechanik, Projektleiter
Westrich, Bernhard, Dipl.-Ing., Institut für Hydromechanik^{†)}

2. Berichtszeitraum

1. April 1970 bis 31. Oktober 1971

3. Problemstellung

Der Bewegungsbeginn und der Transport von Feststoffen hängt nicht nur von den zeitlichen Mittelwerten der Strömung ab, sondern wird auch entscheidend durch die Schwankungen um diese Mittelwerte beeinflusst. In der vorliegenden Arbeit soll am Beispiel eines vertikalen, turbulenten Strahles der Einfluß einer Pulsation der Strömung auf den Auskolkungsprozeß quantitativ ermittelt werden. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse haben praktische Bedeutung für das Problem der Sohlenerosion durch Schiffspropeller, für Bodenbeschädigung durch Hovercrafts oder das wirkungsvollere Saugbaggern festgepackter Sandböden.

4. Methoden

4.1 Experimenteller Teil

Der zeitliche Verlauf der Auskolkung durch einen vertikalen Strahl wird in Abhängigkeit von der Pulsationsfrequenz und Amplitude bei vorgegebenen geometrischen Verhältnissen, Sedimentgrößen und mittlerem Durchfluß experimentell bestimmt. Die Experimente bleiben zunächst auf das "äußere Problem" ohne örtliche Messungen im Strömungsfeld beschränkt. Der Pulsationseinfluß soll anhand der Erhöhung des Strömungswiderstandes einer Kugel bei harmonisch pulsierender Anströmung sowie der starken Nichtlinearität der Beziehung zwischen Auskolkrate und Angriffsgeschwindigkeit erklärt werden.

4.2 Analytischer Teil

Die analytische Behandlung geht aus von der Theorie der kontinuierlichen Wandstrahlen und den experimentell gewonnenen Kenntnissen über das Verhalten von Grenzschichten mit Außenströmungen, deren mittlerer Geschwindigkeit eine Oszillation überlagert ist. Mit den hierüber vorliegenden Literaturangaben kann die infolge des pulsierenden Strahls oszillierende Wandschubspannung in Abhängigkeit von den Ortskoordinaten und der Zeit sowie den geometrischen und kinematischen Parametern angegeben werden. Im hydraulisch glatten Bereich ist für den Bewegungsbeginn auf analytischem Weg nach [3] ein direkter Vergleich mit dem Shields'schen Diagramm möglich (quasistationäre Geschwindigkeits- und Wandschubspannungsverteilung bei Pulsation im hydraulisch glatten Bereich); im Übergangsbereich und im hydraulisch rauhen Bereich soll der Pulsationseinfluß ausgehend von einer dimensionsanalytischen Betrachtung experimentell bestimmt werden. Für den Auskolkungsprozeß soll mit Hilfe

†) Herr Westrich wurde für seine Tätigkeit als Sachbearbeiter des Projekts B2 ab 1. April 1971 von seinen Assistenten-Verpflichtungen freigestellt. An seiner Stelle wurde Dipl.-Ing. Otfried Arnold für 4 Monate aus SFB-Mitteln bezahlt (Ersatzstelle).

der von Ho [4] und Molerus [5] gewonnenen Beziehungen zwischen mittlerer Anströmgeschwindigkeit, Frequenz und Amplitude der Pulsation und dem Strömungswiderstand bzw. der Sinkgeschwindigkeit einer Kugel ein Zusammenhang zwischen den zeitabhängigen Kolkgrößen des kontinuierlichen und des pulsierenden Strahls gewonnen werden. Zum Vergleich des pulsierenden Strahls mit dem kontinuierlichen Strahl können als maßgebende Bezugsgrößen der mittlere Massen-, Impuls- oder Energiefluß betrachtet werden.

5. Ergebnisse

5.1 Vorversuche

In Vorversuchen wurde der Bewegungsbeginn eines horizontalen gleichförmigen Sedimentbettes aus Glaskugeln infolge eines intermittierenden Strahles beobachtet. Mit Hilfe eines harmonisch bewegten zylindrischen Kolbens wurde im Austrittsquerschnitt einer vertikal nach unten gerichteten Düse (Durchmesser 19 mm) eine um den Nullwert harmonisch oszillierende Geschwindigkeit variabler Frequenz und Amplitude erzeugt. Der Abstand der Düse vom Sedimentbett wurde mit 60 mm zunächst konstant gehalten; als Sedimentgrößen wurden 0,85 mm und 2,35 mm gewählt, die spezifische Dichte betrug $2,45 \text{ gr/cm}^3$. Die Ergebnisse (Bild 2) zeigen für den kleineren Korndurchmesser eine deutliche Abhängigkeit des Kornbewegungsbeginns von der aufgeprägten Frequenz: Für eine bestimmte maximale Geschwindigkeit an der Düse existiert ein Frequenzbereich mit einer klar definierten unteren und oberen Grenze, innerhalb derer der kritische Zustand der Sohlkörner überschritten wird und Bewegungsbeginn eintritt. Die Untersuchungen mit dem ca. dreimal größeren Korndurchmesser zeigen dagegen keinerlei Frequenzabhängigkeit des Bewegungsbeginns im untersuchten Bereich. Die Erklärung hierfür besteht vermutlich darin, daß die der Bewegung entgegenwirkenden Trägheits- und Schwerkkräfte der kleinen Kugeln durch die frequenzabhängigen Beschleunigungskräfte der Strömung überwunden werden können, während dies bei den größeren Kugeln nicht der Fall ist.

In einer weiteren Versuchsreihe konnte durch Variation des Düsenabstandes festgestellt werden, daß sich der Bewegungsbeginn bei festen Korndurchmessern und Korndichten mit zunehmendem Düsenabstand erwartungsgemäß zu höheren Frequenzen verlagert. Überraschend ist hierbei, daß bei Abständen von 1 bis 3 Düsendurchmessern der Bewegungsbeginn stets bei der gleichen kritischen Frequenz erfolgt.

Die Voruntersuchung kann als Grenzfall eines pulsierenden Strahles mit verschwindendem mittlerem Durchfluß betrachtet werden mit der berechtigten Erwartung, daß auch bei pulsierenden Strahlen mit von Null verschiedenem mittlerem Durchfluß allein die periodische Schwankung der Austrittsgeschwindigkeit sowohl den Bewegungsbeginn als auch den Auskolkprozeß selbst beeinflusst.

5.2 Hauptversuchsstand

Die Konstruktionsarbeiten für den Hauptversuchsstand (Bild 1) sind abgeschlossen; mit der Eichung und Erprobung des Versuchsstandes wurde begonnen. Mit einem kontinuierlichen Strahl konnten bereits einige Untersuchungen durchgeführt werden. Für einen gewählten Sand (Korndurchmesser $1,0 \div 1,5 \text{ mm}$, spezifische Dichte $2,65 \text{ gr/cm}^3$) wurde bei vorgegebenem Düsendurchmesser für verschiedene Düsenabstände und mittlere Durchflüsse mit einem Spitzentaster der Kolkradius in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Die Ergebnisse sind in Bild 2 für zwei Düsenabstände dargestellt. Nach einer kurzen Anlaufphase wächst der Kolkradius proportional mit dem Logarithmus der Zeit, bis er schließlich asymptotisch einem Grenzwert zustrebt.

Die im Diagramm dargestellten Geraden mit Durchfluß und Düsenabstand als Parameter lassen weiterhin erkennen, daß der Kolkradius sowohl bei konstantem Düsenabstand mit wachsendem Durchfluß als auch bei konstantem Durchfluß mit wachsendem Düsenabstand zunimmt. Die Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit Literaturangaben [6,7]. Die Versuche haben gezeigt, daß die gewählten geometrischen Abmessungen, Sandkorngrößen und Durchflüsse bezüglich der geometrischen und kinematischen Verhältnisse geeignet sind, im Rahmen der Aufgabenstellung zuverlässige Ergebnisse zu liefern.

6. Weiterführung

Zur Eichung des Düsenstrahls wird im Düsenquerschnitt die Verteilung der (schwankenden) Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Rotationsgeschwindigkeit der Kreisscheibe und dem mittleren Durchfluß gemessen und in Beziehung gesetzt zur Anzeige einer Druckmeßdose in der Düsenkammer, die während der späteren Versuche als Referenzgröße dient. Außerdem werden in verschiedenen Abständen von der Düse die Pulsationen der Geschwindigkeit entlang der Strahlachse aufgenommen, um eventuelle Frequenzumlagerungen oder das Abklingen höherer harmonischer Schwingungsanteile feststellen zu können (Berücksichtigung im analytischen Ansatz).

Die Kolkprofile werden von einem elektronischen Tiefenmeßgerät (Widerstandsprinzip) aufgenommen und auf einem x-y-Schreiber (konstante Zeit) bzw. x-t-Schreiber (konstante Radialkoordinate) registriert. Bestätigt die Auswertung der Profile die Annahme, daß eine Profilähnlichkeit besteht, dann genügt es, in den nachfolgenden Versuchen nur noch den Kolkradius als repräsentative Größe des Kolks zu messen.

In der ersten Versuchsreihe wird für verschiedene Pulsationsfrequenzen die Kolkentwicklung studiert; später soll der Einfluß von Pulsationsamplitude, mittlerer Durchflußgeschwindigkeit, Korngröße, Düsendurchmesser und Düsenabstand untersucht werden. Insbesondere werden die einzelnen Phasen wie Bewegungsbeginn, Auskolkvorgang mit logarithmischem Gesetz und stationärer Endzustand zum Vergleich mit den entsprechenden Ergebnissen für den kontinuierlichen Strahl herangezogen.

7. Literatur

- 1 Detloff, T.: Diplomarbeit am Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe, 1969.
- 2 Sutherland, A.J.: "Proposed Mechanism for Sediment Entrainment by Turbulent Flows", Journal of Geophys. Research, Vol.72, no.24, December 1967.
- 3 Poreh, M., Hefez, E.: "Initial Scour and Sediment Motion Due to an Impinging Jet", Vol.3, Proc., 12th IAHR Congress, Fort Collins, 1967.
- 4 Ho, H.W.: "Fall Velocity of a Sphere in a Field of Oscillating Fluid", Ph.D. Thesis, University of Iowa, Iowa, 1964.
- 5 Molerus, O.: "Berechnung der Sinkbewegung kugeligter Teilchen in einem vertikal pulsierenden Strömungsfeld", Chem.-Ing. Technik, Jg.40, Heft 1, 1968.
- 6 Rouse, H. Ed.: "Engineering Hydraulics", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1946.
- 7 Laursen, E.M.: "On the Nature of Scour", Proc., Fifth Hydraulics Conference, University of Iowa, June 1952.

- 8 Gauntner, J.W., Livingood, N.B., Hrycak, P.: "Survey of Literature on Flow Characteristics of a Single Turbulent Jet Impinging on a Flat Plate", NASA Techn. Note D-5652, February 1970.

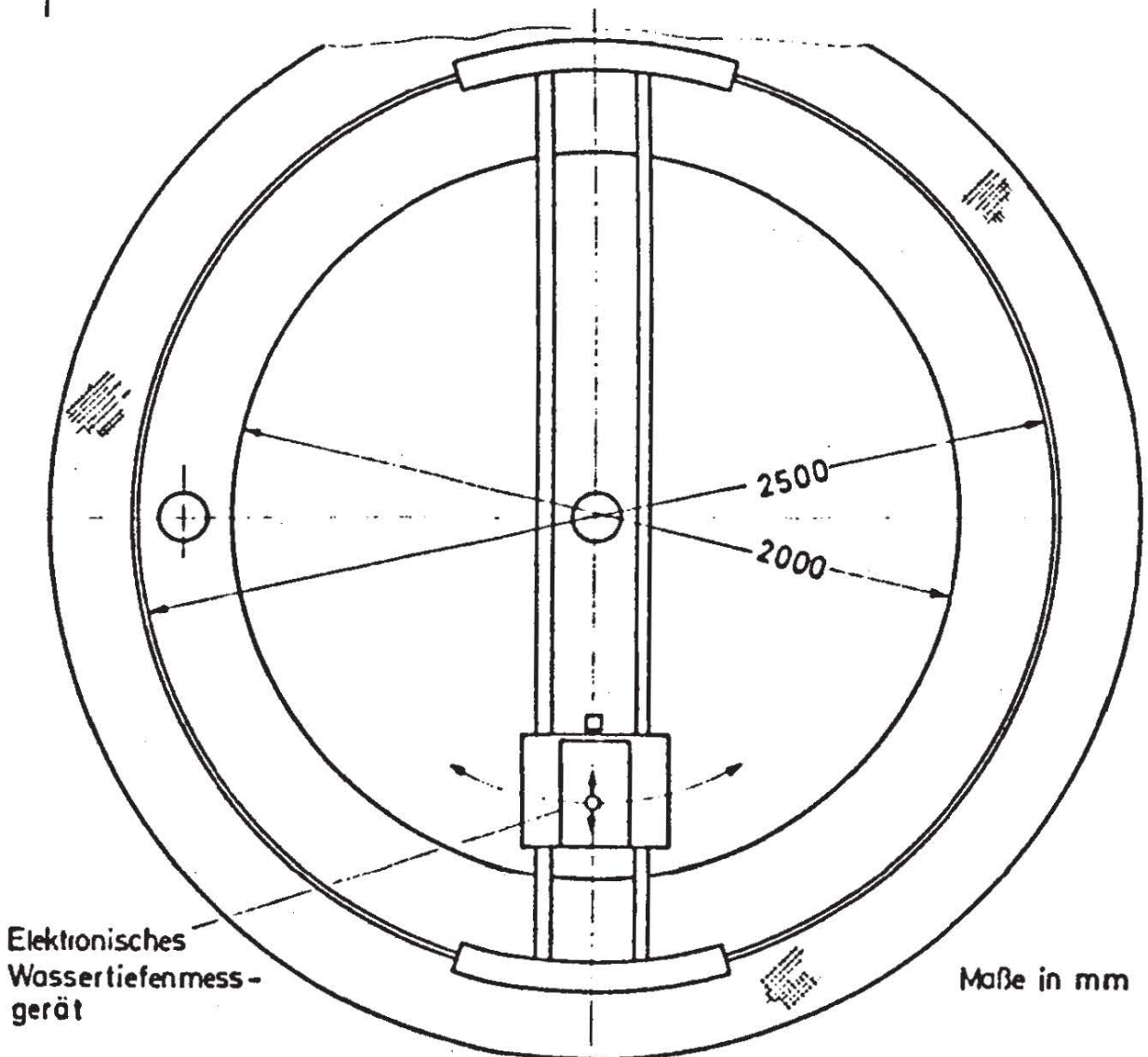
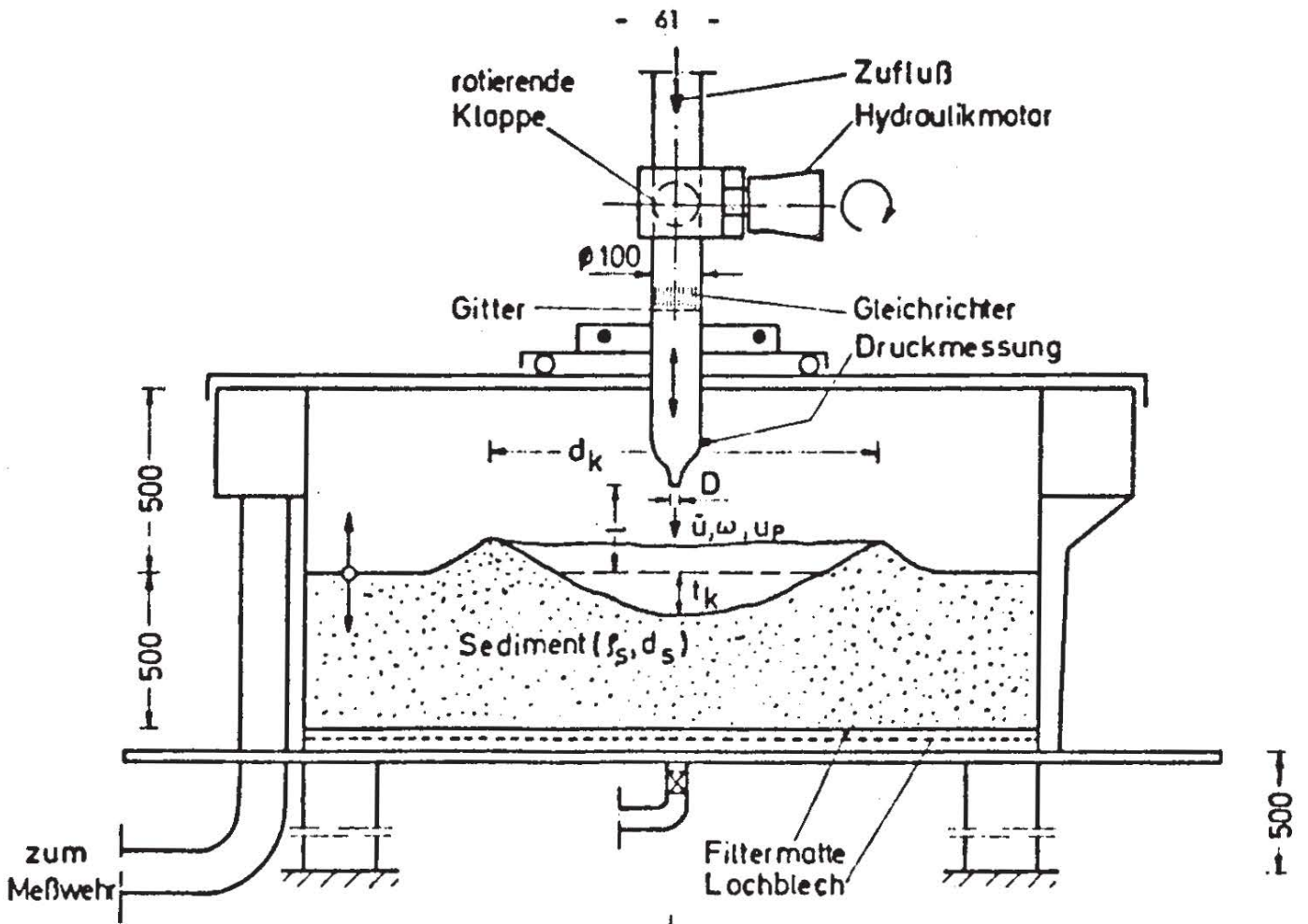
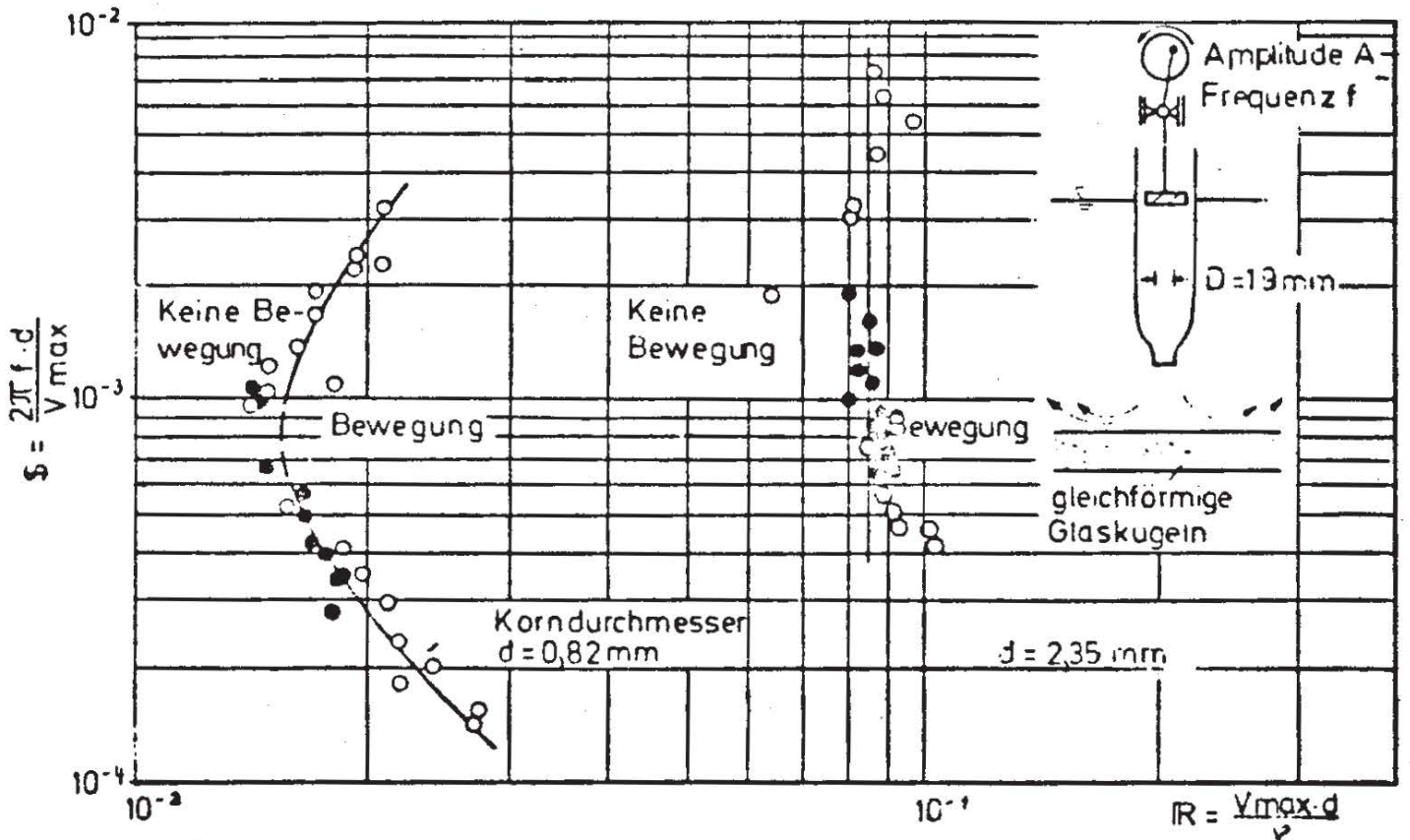
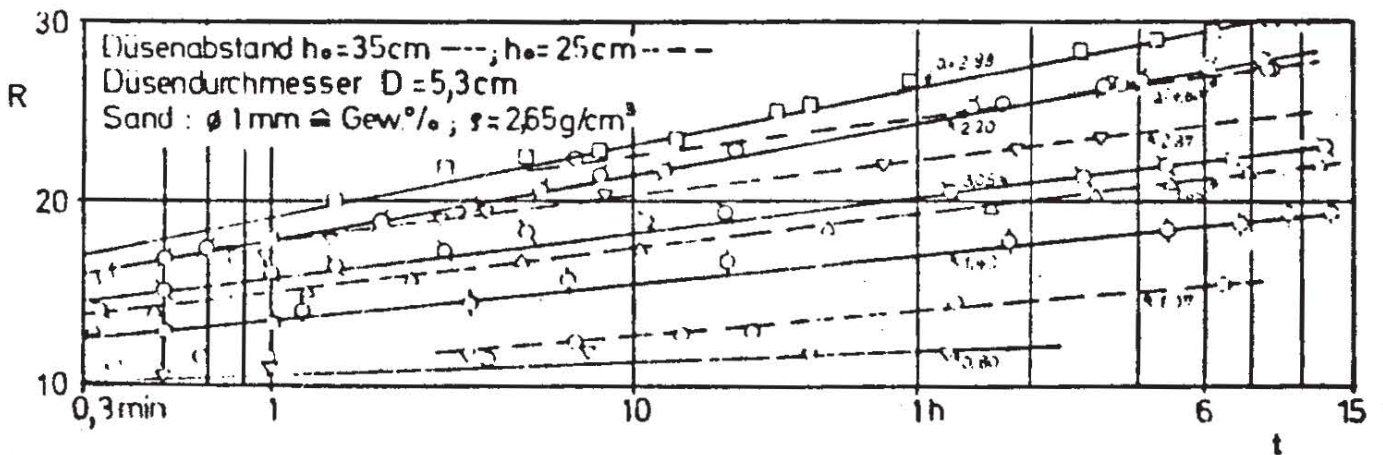


Bild 1 Versuchsstand



(a) Bewegungsbeginn einer gleichförmigen Glaskugelschüttung infolge eines intermittierenden Strahles



(b) Zeitliche Entwicklung des Kolkradius durch einen kontinuierlichen Strahl bei natürlichem Sandbett

Bild 2 Versuchsergebnisse