

## I. VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG

Brückenpfeiler in einem Fließgewässer verursachen immer eine Störung des Strömungsbildes, in Folge dessen es im Nahbereich des Brückenbauwerkes zu einer vermehrten Erosionsintensität kommt und lokale Kolke an den Pfeilern entstehen, vgl. Abb. 1. Diese Kolke können in Extremfällen zum Einsturz des Brückenbauwerkes führen. Noch immer ist es nicht möglich, maximale Kolk-tiefen an Brückenpfeilern vorauszusagen. In der nationalen und internationalen Literatur gibt es dazu sehr unterschiedliche, teils widersprüchliche Aussagen. Vor allem der Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf den Kolkprozess ist bisher nicht hinreichend untersucht worden.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, den Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf den Kolkprozess zu untersuchen. Vor allem hohe Fließgeschwindigkeiten, die bei einem Hochwasser, dem maßgeblichen Bemessungsereignis, auftreten, sollen mit Laborversuchen nachgestellt werden. Im Ergebnis wird eine Berechnungsgleichung entwickelt, mit Hilfe derer eine Vorhersage über maximal mögliche Kolk-tiefen an Brückenpfeilern möglich ist und somit Mindestgründungstiefen ermittelt werden können.



Abb.1: Beispiel für Auskolkungen an Brückenpfeilern (Melville & Coleman, 2000)

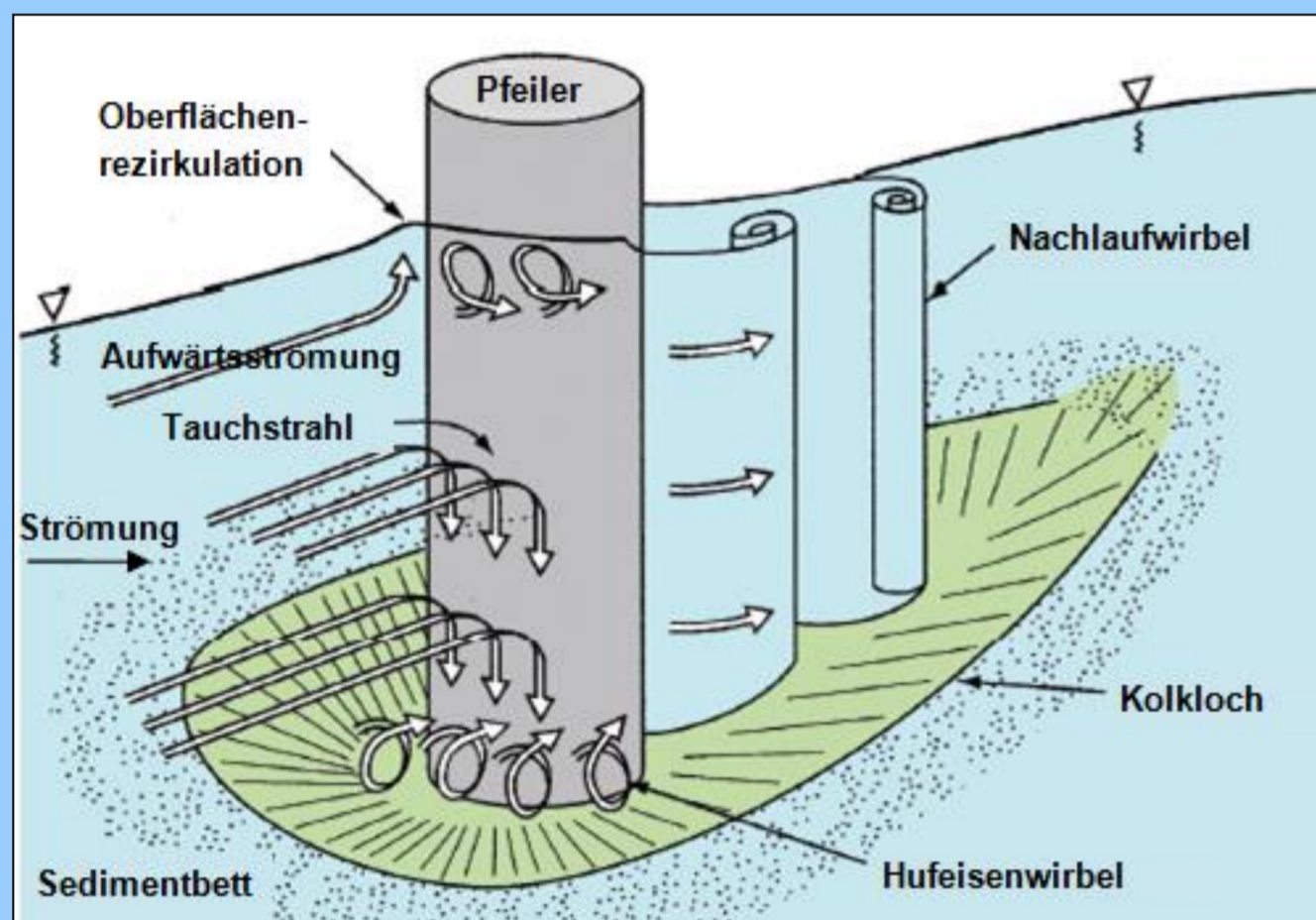


Abb.2: Prinzipielle Umströmung von kreiszylindrischen Brückenpfeilern (Unger, 2006), verändert

## II. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Ein im Wasser stehender Brückenpfeiler stört das ihn umgebende Strömungsbild. Dabei entstehen am Pfeiler verschiedene Wirbelzonen, die für die Bildung des Kolkes verantwortlich sind, vgl. Abb. 2. Zu ihnen gehören der direkt vor dem Pfeiler befindliche Vertikalstrahl (aufgeteilt in Aufwärtsströmung und Tauchstrahl), die Oberflächenrezirkulation, das Hufeisenwirbelsystem und die Nachlaufwirbel stromab des Pfeilers. Durch die turbulente Strömung im Nahbereich des Pfeilers und das daraus resultierende Überschreiten der kritischen Fließgeschwindigkeit bzw. Schubspannung des Sohlenmaterials kommt es dazu, dass das Sediment um den Brückenpfeiler in Bewegung gerät und mit der Strömung nach unterhalb transportiert wird. Die Sohle erodiert und es entsteht ein lokaler Kolk.

Die wesentlichen Einflussgrößen auf den lokalen Kolkprozess an Brückenpfeilern sind: Wassertiefe  $h$ , Fließgeschwindigkeit  $v$ , Dichte des Wassers  $\rho_w$ , Viskosität des Wassers  $\nu$ , Dichte des Sohlenmaterials  $\rho_s$ , mittlerer Korndurchmesser  $d_{50}$ , Ungleichförmigkeit  $U$ , Pfeilerdurchmesser  $D$ , Erdbeschleunigung  $g$  und Zeit  $t$ .

## III. HYDRAULISCHE MODELLVERSUCHE

Die hydraulischen Modellversuche wurden im Wasserbaulabor der Hochschule Magdeburg-Stendal in einer Versuchsrinne mit separatem Wasser- und Geschiebekreislauf durchgeführt, vgl. Abb. 3. Der Brückenpfeiler wurde durch ein durchsichtiges Plexiglasrohr mit einem Außendurchmesser von 7 cm repräsentiert. Als Sohlenmaterial wurde Polystyrolgranulat mit einer Dichte von 1058 kg/m<sup>3</sup>, einem mittleren Korndurchmesser von 2 mm und einer kritischen Fließgeschwindigkeit von 9 cm/s verwendet. Die Kolk-tiefen an der Front des Pfeilers wurden während jedes Versuches kontinuierlich vom Pfeilerinneren mit Hilfe einer endoskopischen Kamera gemessen.

Das Versuchsprogramm beinhaltete 20 verschiedene Fließgeschwindigkeiten von  $v/v_c = 0,8$  bis  $v/v_c = 8,5$  bei ansonsten gleichen hydraulischen Randbedingungen. Der Wasserstand wurde mit Hilfe eines Wehres an der Auslaufseite der Rinne konstant auf 11 cm eingestellt. Somit wurden sowohl Versuche unter Klarwasserbedingungen  $v/v_c < 1$ , d.h. ohne allgemeinem Sedimenttransport, als auch Versuche mit allgemeinem Sedimenttransport  $v/v_c > 1$  durchgeführt. Jeder Versuch wurde solange durchgeführt bis eine Endkolk-tiefe unter Klarwasserbedingungen bzw. eine Gleichgewichtskolk-tiefe unter allgemeinem Sedimenttransport erreicht war.

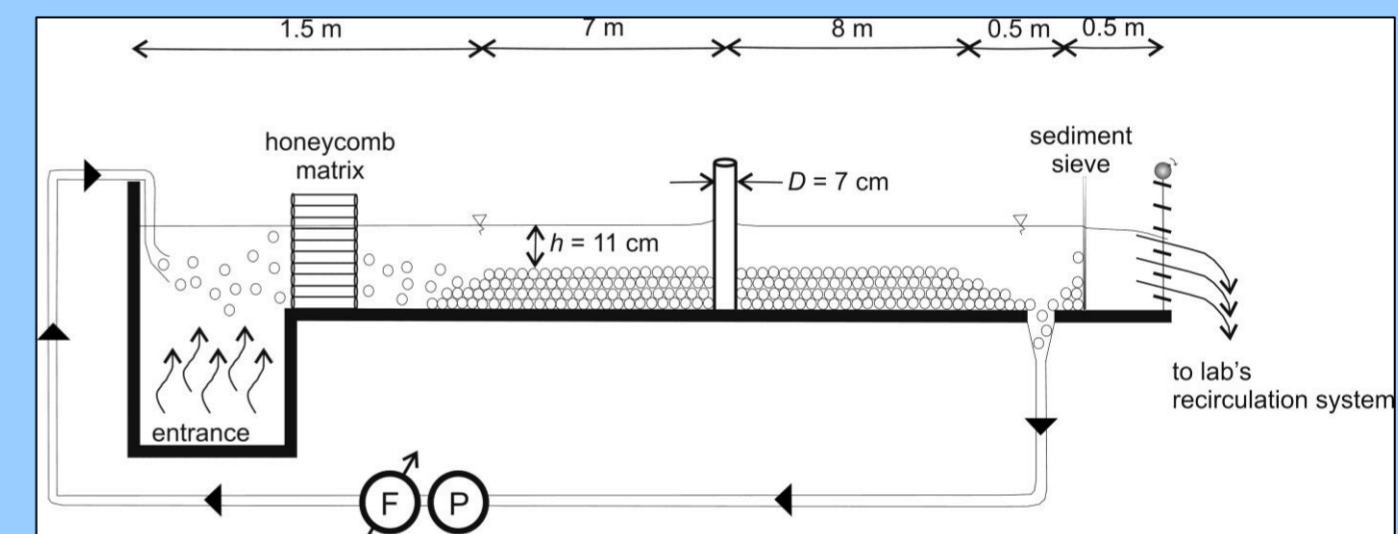


Abb.3: oben: Versuchsrinne, schematisch, rechts: Fotos der Rinne, des Pfeilers und endoskopischen Messsystems

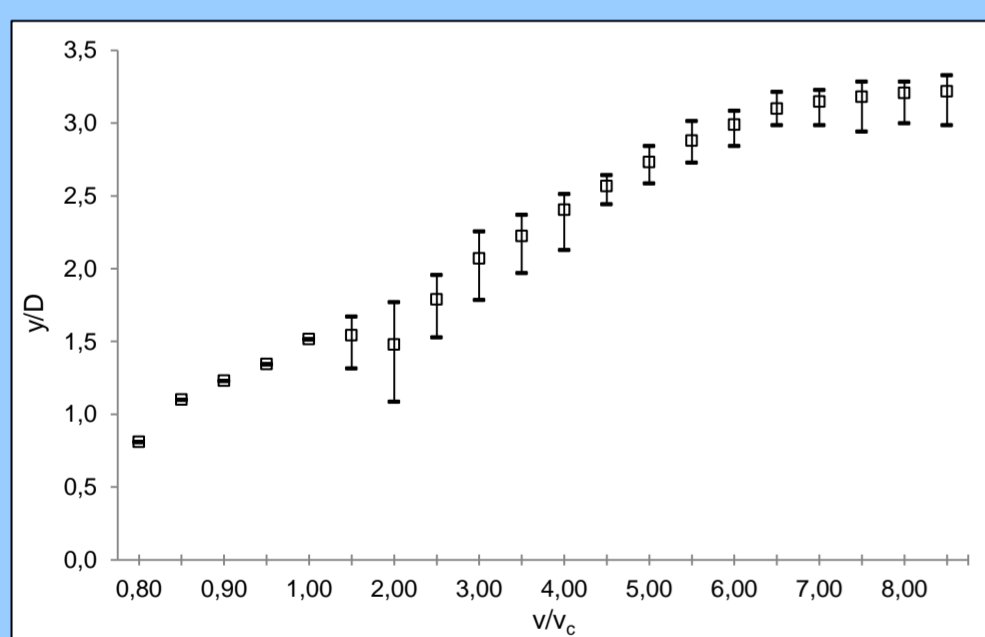


Abb.4: Kolk-tiefen  $y/D$  in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit  $v/v_c$

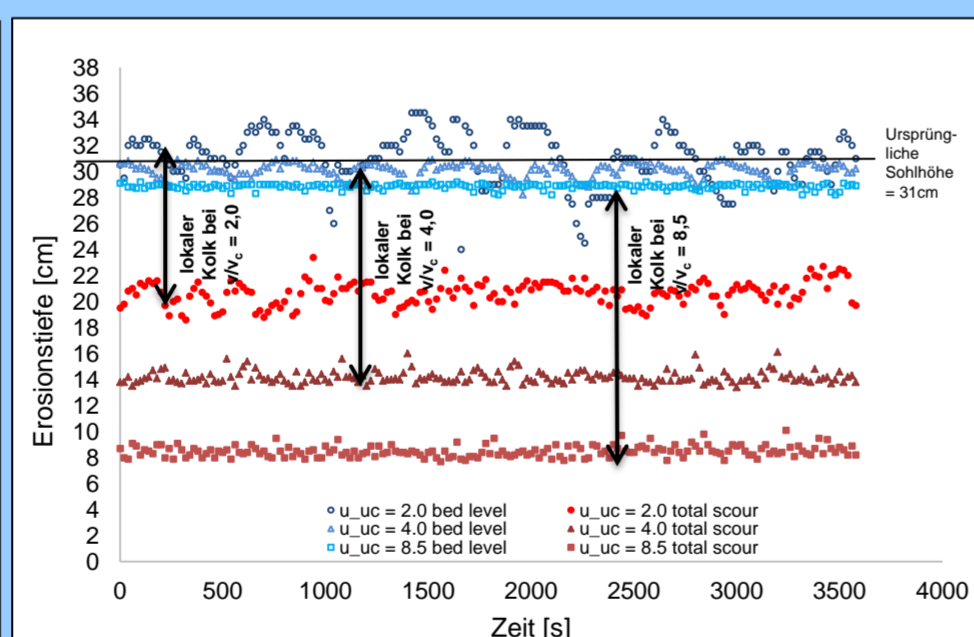


Abb.5: Kolk-tiefen und Sohlhöhen in Abhängigkeit der Zeit

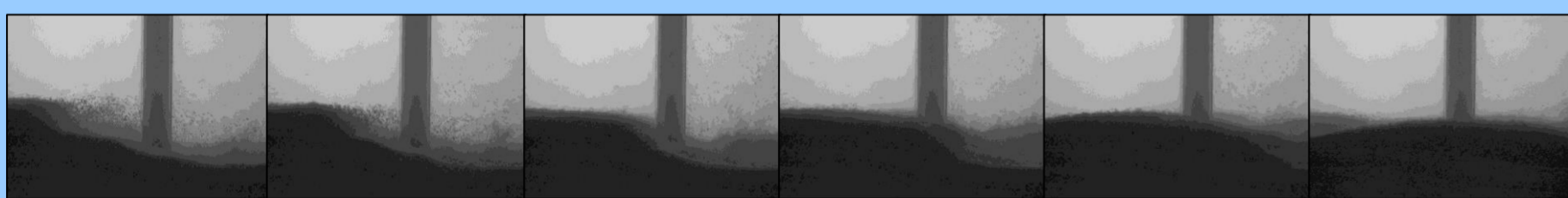


Abb.6: Versuch 6 bei  $v/v_c = 1,5$ ;  $y_{max}/D = 1,67$ ; Kolk mit Dünen-transport

## IV. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Modellversuche sind in Abb. 4 bis Abb. 6 dargestellt. Abb. 4 zeigt die Endkolk-tiefen für  $v/v_c = 0,8$  bis  $v/v_c = 1$  (Klarwasserversuche) und die minimalen, mittleren und maximalen Kolk-tiefen für  $v/v_c = 1,5$  bis  $v/v_c = 8,5$  (allgemeiner Sedimenttransport). Mit steigenden Fließgeschwindigkeiten steigen die maximalen Kolk-tiefen an, der Verlauf der Kurve ist logarithmisch. Die größte gemessene Kolk-tiefe beträgt  $y/D = 3,3$  bei  $v/v_c = 8,5$ . Ein lokales Minimum ergibt sich bei  $v/v_c = 2$ , hier gab es große Dünenbewegungen an der Sohle, die den Kolk zeitweise wieder mit Material auffüllten. Gut zu erkennen in Abb. 5 sind zwei Prozesse, die bei der Kolkbildung unter allgemeinem Sedimenttransport auftreten: die Sohlbewegung in Form von Dünen bis  $v/v_c \sim 4$  bzw. Suspensionstransport bei höheren Fließgeschwindigkeiten, vgl. blaue Datenreihen, und die zusätzliche lokale Kolkbildung direkt am Pfeiler, vgl. rote Datenreihen. Beide Prozesse wurden durch Messungen separat erfasst. Abb. 6 zeigt exemplarisch eine Fotoreihe des Versuches 6 ( $v/v_c = 1,5$ ), bei dem es zusätzlich zur lokalen Kolkbildung den beschriebenen Dünen-transport an der Sohle gab.

## V. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zur Entwicklung einer Berechnungsgleichung, die den Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf den Kolkprozess erfasst und mit Hilfe derer maximale Kolk-tiefen an Brückenpfeilern berechnet werden können, wurden erste Laborversuche durchgeführt. Diese umfassten sowohl Fließgeschwindigkeiten unter Klarwasserbedingungen als auch unter allgemeinem Sedimenttransport im Bereich von  $v/v_c = 0,8$  bis  $v/v_c = 8,5$ . Die Ergebnisse zeigten, dass die Fließgeschwindigkeit auf den Kolkprozess einen entscheidenden Einfluss hat. Mit steigenden Fließgeschwindigkeiten stiegen auch die lokalen Kolk-tiefen am Brückenpfeiler an. Ein Maximum wurde noch nicht erreicht, so dass weitere Versuche bei noch höheren Fließgeschwindigkeiten notwendig sind. Eine Extrapolation der Ergebnisse bis  $v/v_c = 20$  ist in Abb. 7 dargestellt. Auf Grundlage der bisher erzielten Versuchsergebnisse und deren Extrapolation wurde die in der Abb. 7 angegebene Gleichung entwickelt. Eine Erweiterung der Gleichung mit weiteren Versuchsergebnisse sowie eine Verifizierung sind geplant.

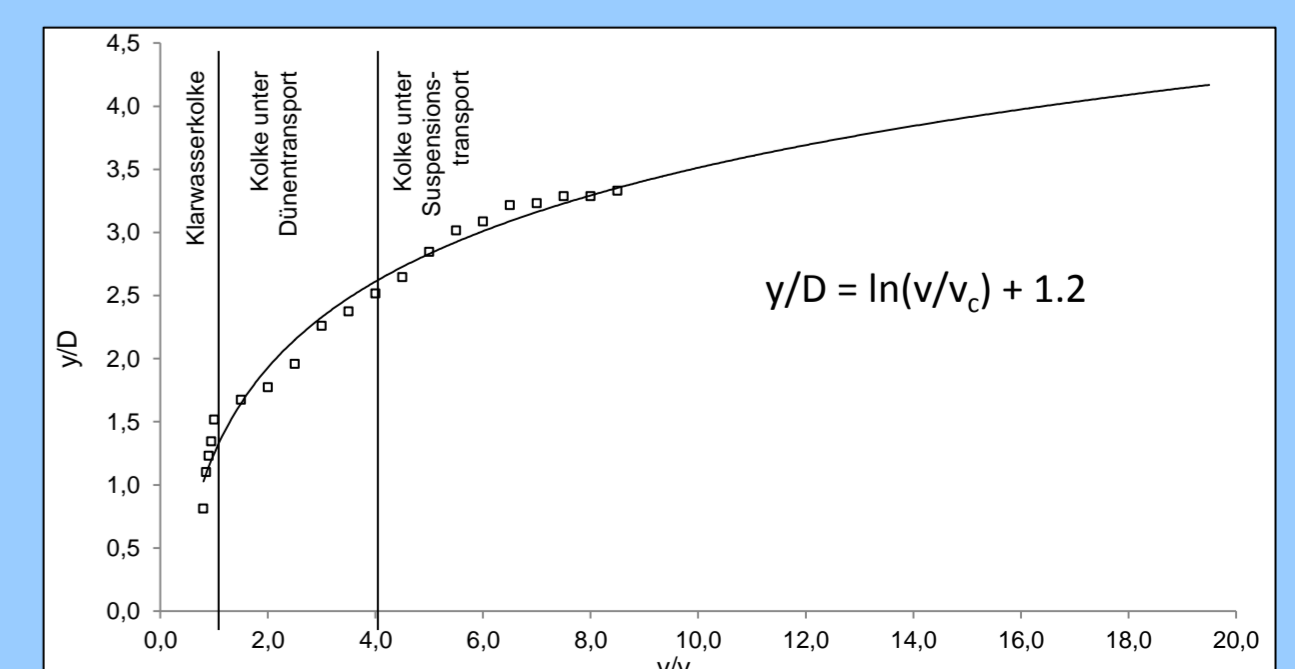


Abb.7: Gleichung zur Berechnung der maximalen Kolk-tiefe an Brückenpfeilern