

Diss. ETH Nr. 12592

KOLK AN GEBÄUDEN IN ÜBERSCHWEMMUNGSEBENEN

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Alexander Kohli

Dipl. Kultur-Ing. ETH

geboren am 21. März 1967

von Saanen, Bern

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. D. Vischer, Referent

Prof. Dr. H. Scheuerlein, Korreferent

PD Dr. W.H. Hager, Korreferent

1998

III ZUSAMMENFASSUNG

Erosionsauswirkungen an Gebäuden in alluvialen Überschwemmungsebenen können zu beträchtlichen Schäden wie Fassadeneinstürzen, Kippen des Gebäudes bis hin zum statischen Gebäudeversagen führen. Bisher sind keine hydraulischen Methoden bekannt, um einerseits das Ausmass derartiger Kolkerosion im Verlauf der Zeit zu berechnen und andererseits den Kolk im Nahbereich des Gebäudes zu vermindern, bzw. zu verhindern. Die vorliegende Arbeit versucht diese Lücke zu schliessen durch die Entwicklung von zeitabhängigen, geschlossenen Beziehungen zur Abschätzung der maximalen Kolkentiefe am Gebäude sowie der Oberstromausdehnung des Kolklochs. Im weiteren werden Bemessungsgrundlagen für die Kolkschutzverbauung mit einer Geotextil-Drainmatte angegeben.

Als lokale Erosionsphänomene werden Kolke seit Anfang dieses Jahrhunderts untersucht. Somit kann für diese Studie auf den Erkenntnissen der Brückenpfeiler- und Brückenwiderlagerforschung aufgebaut werden.

In physikalischen Modellversuchen wird der zeitliche Kolkverlauf an quaderförmigen Gebäuden auf rolligen Böden untersucht. Als Hauptparameter der Kolkabschätzung wird die *maximale Kolkentiefe* in Funktion der *densimetrischen Froudezahl* sowie einer *Relativzeit* beschrieben. Berücksichtigt werden dabei die Zuflussgrössen Wassertiefe und Fliessgeschwindigkeit, die Sedimentgrössen Dichte und Korndurchmesser, die geometrischen Grössen Gebäudebreite und -länge sowie der Anströmungswinkel auf das Gebäude. Aufgrund der Versuchsmessgenauigkeit beträgt der nach Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnete Fehler für die gefundene Beziehung unabhängig von der Versuchszeit weniger als 10 %. Der vorgeschlagene Ausdruck eignet sich ausserdem für die Kolkabschätzung an Brückenwiderlagern, welche mit dem vorliegenden Problem verwandt sind.

Ist die potentielle Kolktiefe grösser als die Gefährdungstiefe des Gebäudes, so wird der Einbau einer *Geotextil-Drainmattenverbauung* mit Blockwurfverstärkung vorgeschlagen. Dabei wird als Dimensionierungsgrösse die *Verbauungsbreite* in Funktion der *densimetrischen Froudezahl* definiert. Die empfohlene Art der Verbauung bewirkt eine Verlagerung der Erosion ins seitliche Unterwasser des Gebäudes und reduziert den Kolk am Gebäude nachhaltig. Im Eckbereich des Gebäudes ist unter der Verbauungsmatte ein lokal begrenzter Blockwurf zum Schutz gegen Unterspülung der Matte anzuordnen. Diese Verbauungsart eignet sich vor allem für Überschwemmungsebenen mit kleineren Froudezahlen, als sie in Hauptgerinnen vorherrschen. Derartige Zustände spielen demnach in Überschwemmungsebenen eine dominierende Rolle.

Schliesslich wird dem projektierenden Ingenieur einerseits eine praxistaugliche Abschätzung für die zu erwartende Kolktiefe und andererseits ein Dimensionierungsalgorithmus für die Geotextil-Drainmattenverbauung vorgeschlagen. Beide Berechnungsverfahren werden an Beispielen erläutert.

Als wesentliche *theoretische Erkenntnis* ist die Tatsache zu werten, wonach die gefundenen Beziehungen sowohl für die Kolkiefenentwicklung und Oberwasserlänge als auch für die Bemessung der Verbauungsbreite in Funktion der *densimetrischen Froudezahl* resultieren. Diese Grösse eignet sich offensichtlich aufgrund ihrer bivalenten Charakteristik aus Strömungsintensität und Granulometrie gut zur Erfassung der Dynamik von beliebigen Kolkvorgängen.

IV RÉSUMÉ

L'érosion due au courant d'eau agissant sur des bâtiments construits dans une plaine alluviale inondable peuvent engendrer des dégâts considérables, tels que l'effondrement de façades et le basculement de l'immeuble conduisant souvent à la défaillance du système statique. Jusqu'ici, aucune méthode hydraulique n'a été développée pour, d'une part, calculer l'ampleur de l'affouillement en fonction du temps et, d'autre part, pour réduire voire supprimer l'érosion du lit au voisinage immédiat du bâtiment. La présente étude tente de combler cette lacune en proposant des relations cohérentes dépendant du paramètre "temps" et permettant d'estimer l'affouillement maximum à attendre près de l'obstacle ainsi que son étendue vers l'amont. De plus, des bases pour le dimensionnement d'ouvrages de protection contre l'affouillement, constitués de tapis de drainage en géotextile, sont données.

En tant que phénomènes localisés dus à l'érosion, les affouillements sont étudiés depuis le début du siècle. Il est donc possible d'appuyer ce travail sur les connaissances acquises dans la recherche concernant les culées et les piles des ponts.

L'évolution temporelle de l'affouillement, causé dans un sol granuleux à proximité de bâtiments de section rectangulaire, a été déterminée sur la base d'essais réalisés en modèle hydraulique. La relation principale utilisée pour décrire ce phénomène, à savoir la *profondeur maximale d'affouillement* exprimée en fonction du *nombre densimétrique de Froude* et d'un *temps relatif*, est présentée. Cette approche prend en considération la profondeur et la vitesse d'écoulement à l'amont de l'obstacle, la densité et le diamètre des grains caractérisant le sédiment, la largeur et la longueur du bâtiment ainsi que l'angle d'incidence des filets liquides. Compte tenu de la précision des mesures effectuées et de la loi de propagation des erreurs selon Gauss, l'erreur commise en utilisant la

relation trouvée est inférieure à 10 % et indépendante du temps d'essai. L'expression proposée peut être également utilisée pour estimer l'affouillement des culées de ponts, phénomène apparenté à celui que cette étude analyse.

Si la profondeur potentielle d'affouillement est supérieure à la profondeur critique pour laquelle le bâtiment est mis en danger, l'utilisation d'un *tapis de drainage en géotextile* renforcé par des blocs est proposée. La *largeur du tapis de protection* exprimée en fonction du *nombre densimétrique de Froude* fournit un critère de dimensionnement. La mesure de protection recommandée a pour effet de déplacer la zone d'érosion sur le côté, vers l'aval du bâtiment. L'affouillement de ce dernier s'en trouve fortement réduit. Dans la zone située à l'angle de l'ouvrage, des blocs doivent être placés localement sous le tapis de protection afin d'éviter un délavage du sol à cet endroit. Ce type de protection est particulièrement indiqué dans les plaines inondables caractérisées par des nombres de Froude plus faibles que ceux rencontrés dans les chenaux principaux.

Finalement, une méthode pratique d'estimation de la profondeur d'affouillement à attendre, ainsi qu'un algorithme utilisable pour le dimensionnement des tapis de protection en géotextile, sont proposés à l'ingénieur responsable de l'élaboration de projets. Les deux procédés de calcul sont illustrés à l'aide d'exemples.

Sur le plan de la *théorie*, on constate principalement que les relations trouvées pour l'évolution de la profondeur d'affouillement, pour l'extension de celui-ci vers l'amont, respectivement pour le dimensionnement de la largeur de la zone de protection nécessaire, sont des fonctions du *nombre densimétrique de Froude*. De par sa caractéristique bivalente qui prend en compte l'intensité de l'écoulement et la granulométrie du matériau solide, cette grandeur est bien appropriée pour décrire la dynamique des phénomènes d'affouillement rencontrés en nature.

V ABSTRACT

Building erosion in alluvial flood plains may cause significant damages, such as collapse of walls, tilting up to static failure of the building. Up to-day, methods to predict scour processes around buildings are unknown, and means to reduce the scour progress have not been advanced. This project aims to fill this gap by developing relations for the estimation of the temporal scour formation. In addition a design basis is proposed for significant scour reduction in flood plains, using geotextile mattresses.

Scour as a local erosion phenomenon have been investigated since the beginning of this century. This project is based on the knowledge on scour research relating to bridge piers and abutments.

The temporal scour process is investigated for square house located in cohesionless material using hydraulic experimentation. The main parameter investigated is the maximum scour depth as a function of dimensionless time and the densimetric Froude number. The effects of approach velocity and approach flow depth, the granulometry expressed with sediment density and grain diameters, and the building parameters width, length and angle of attack are accounted for. The predictions compare with observations within a coefficient of determination of 82 %. The accuracy of observations based on the Gauss law is better than 10 %. The scour equations proposed are also valid for abutments.

Provided the scour depth is larger than the critical damage depth, scour can be significantly reduced with a geotextile mattress that is reinforced with a standard riprap in the building corners. The width of mattress depends essentially on the densimetric Froude number. The proposed design causes a shift of scour location away from the building corners downstream and laterally away from the building walls. This proposal seems to be par-

ticularly suited for flood plains with a relatively small densimetric Froude number.

A design procedure for geotextile mattresses is proposed to protect buildings that are potentially endangered by scour. Also, examples for the prediction of the scour geometry of the unprotected building are presented. These relations are based on systematic experimentation and a hydraulic approach. The densimetric Froude number in particular corresponds to an index describing the effects of approach flow and granulometry. The procedure may easily be extended to other scour phenomena.