

Die Bedeutung strukturierter Sedimente im Hinblick auf Strömungsvorgänge und hydraulische Untergrundstabilität

Ulrich Saucke, Josef Brauns

1 Fluviale Sedimente entlang von Flüssen

Der Untergrund entlang von Flüssen besteht im wesentlichen aus fluvial und glazial geprägten Lockergesteinen. Generell bilden die aus dem Quartär stammenden glazialen Sedimente die Basis für die jungen, dem Holozän zuzuordnenden fluvialen Ablagerungen. Die zurückliegende Morphodynamik des Flusses - im wesentlichen basierend auf dem Abflußgeschehen und den Gesetzmäßigkeiten für Gerinneströmung und Feststofftransport - hat vorwiegend durch Prozesse wie Sedimentation und Erosion auch die Untergrundzonen, die heute als in Ruhe befindlich bezeichnet werden können (wie z.B. in den Vorländern), entscheidend geprägt. Bei oberflächlicher Betrachtung erscheinen diese Zonen zunächst als einheitliche, mit einer mehr oder weniger durchgängigen Lehmauflage versehene Sand/Kies-Komplexe, die sich jedoch bei detaillierter Untersuchung bereichsweise als stark heterogen darstellen, was u.U. auch zu Fragen in Bezug auf die innere Stabilität der Sedimentkörper führt.

2 Untergrundstabilität

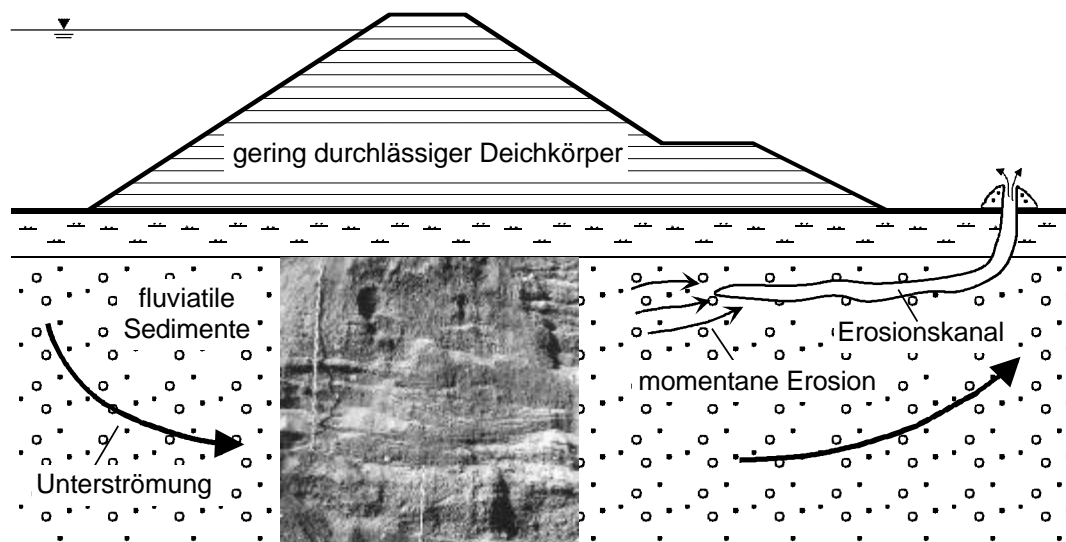


Abb. 1 Hochwasserschutzdamm auf fluvialen Untergrund mit Veranschaulichung der Sedimentstruktur und des Phänomens der rückschreitenden Erosion (verändert nach Brauns und Bieberstein 1998)

Ein wie oben beschriebener Untergrund stellt fast ausnahmslos die Gründungsverhältnisse für Bauwerke entlang von Flüssen, wie z.B. Deiche und bauliche Anlagen von Staustufen, dar. Im Zuge der durch die jüngsten Hochwasserereignisse wieder verstärkt in den Mittelpunkt gerückten Fragestellung in Bezug auf die Standsicherheit von Deichen sind neben der Stabilität des eigentlichen Bauwerkes auch die hydraulischen Vorgänge im Untergrund bei Einstau desselben von wesentlicher Bedeutung. Ebenso ist eine derartige Problematik im Zusammenhang mit der Verlegung von Deichen und Dämmen bei der Bereitstellung neuer Retentionsräume von hoher Relevanz. Im hydraulischen Lastfall kommt es infolge eines erheblichen Potentialunterschiedes zwischen Wasser- und Luftseite des Deiches im Untergrund zu verstärkten Strömungsvorgängen, die bei ausgeprägter Feinschichtung mit einhergehenden Korngrößendifferenzen zu örtlichen Erosionsvorgängen führen können.

Im Zusammenhang mit dem oftmals unter Druck stehenden Grundwasser unterhalb einer bindigen Deckschicht, die das direkte Auflager für den Deichkörper bildet, bricht diese an Schwachstellen luftseitig des Deichfusses bevorzugt auf, so daß im Verbund mit den beschriebenen Vorgängen unterhalb des Deiches die Voraussetzungen für rückschreitende Erosion, sogenanntes „Piping“ (s. Abb. 1), gegeben sind (Hanses et al. 1985, Brauns und Bieberstein 1998). Bei anhaltenden hydraulischen Randbedingungen können diese Vorgänge infolge einer u.U. stark progressiven Entwicklung die Standsicherheit des Bauwerkes gegebenenfalls gefährden.

3 Schichtungs- und Strömungsverhältnisse

Die vorstehenden Ausführungen haben die Bedeutung des Untergrundaufbaus hinsichtlich der dargestellten Problematik ersichtlich werden lassen. Im Zusammenhang mit Geländeuntersuchungen in Bezug auf Strömungsvorgänge in fluviatilen Sedimenten konnte am gewählten Standort in den Elbauen detailliertes Datenmaterial für den Untergrundaufbau mit Hilfe von Bohraufschlüssen gewonnen werden. Die aus einer engmaschigen Beprobung gewonnenen Kornverteilungskurven eines Bohraufschlusses ergeben in ihrer Gesamtheit, wie in Abb. 2 dargestellt, einen in einem breiten Band variierenden Kornaufbau der einzelnen Schichten mit d_{10} -Werten im Bereich von 0,08 mm bis 0,51 mm und Ungleichförmigkeitszahlen von $1,5 \leq U \leq 49$. Typisch für den untersuchten Abschnitt ist offensichtlich eine vergleichsweise schmale Variation im Bereich von Massenanteilen bis 20%.

Nicht zu erkennen sind zunächst etwaige erosionsanfällige Schichtkombinationen, die die Bewegung der feinen Partikel entlang von Schichtgrenzen zu Zonen größeren Materials aus rein geometrischen Gründen zulassen würden. Nicht vertreten sind gleichfalls extrem gestreckte Kornverteilungen und Ausfall-Körnungen, bei denen nicht durch Vorgänge an den Schichtgrenzen Instabilitäten ihren Ursprung finden, sondern bei denen das Korngemisch selbst durch das Auswaschen von Feinanteilen in sich an Tragfähigkeit verlieren kann (Suffosion).

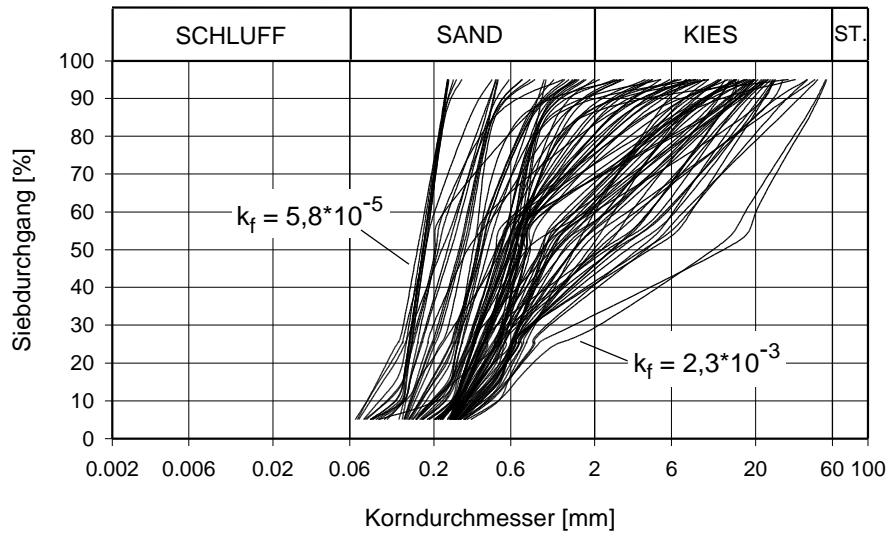


Abb. 2 Kornverteilungen eines Bohraufschlusses (105 Proben, 10 cm Probenraster) und minimale bzw. maximale resultierende hydr. Durchlässigkeiten k_f

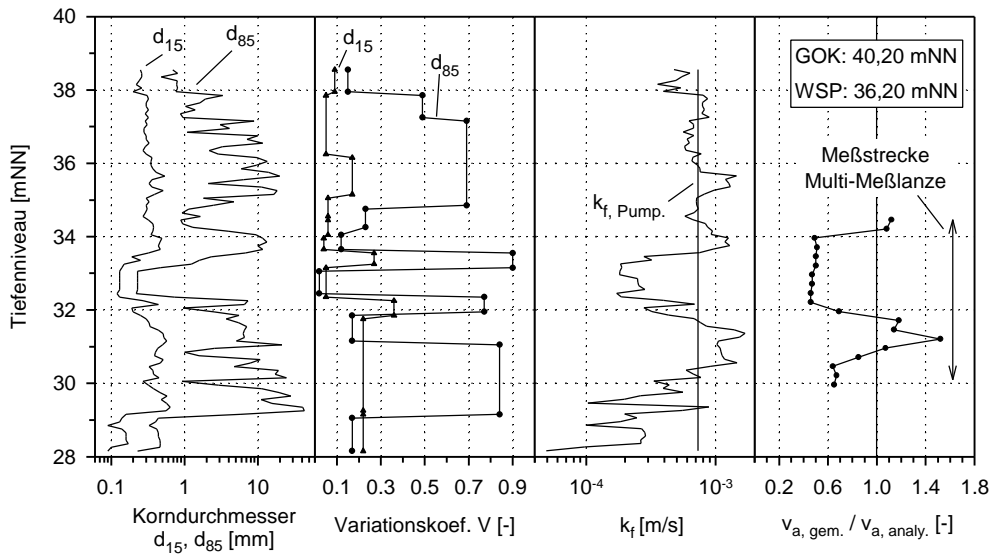


Abb. 3 Darstellung der Korndurchmesser d_{15} und d_{85} , der Variationskoeffizienten für d_{15} und d_{85} und der hydr. Durchlässigkeit k_f für eine Meßstelle sowie normierte Fließgeschwindigkeiten zwischen zwei Meßstellen

Die Ausführungen zu Abb. 2 werden allerdings relativiert mit den vier Diagrammen in Abb. 3. Die dargelegten Verhältnisse bei einer Gesamtbetrachtung stellen sich bei einer höhendifferenzierten Analyse erheblich variabler dar. Die Darstellung der Korn-

durchmesser d_{15} und d_{85} (wesentliche Parameter für das klassische Filterkriterium von Terzaghi) über die Höhe des Bohraufschlusses lassen die Variabilität ersichtlich werden. Es sind Zonen mit extrem schmalen und einheitlichen Korngrößenbändern zu erkennen. Andere Zonen weisen hingegen eine deutlich höhere Variationsbreite auf (vgl. Variationskoeffizient für d_{15} und d_{85} in Abb. 3). Für die klassische Schichterosion sind besonders die Niveaus von Interesse, in denen die Unterschiede zwischen den kleinen Partikeln in einer groben Zone zu denen der groben in der angrenzenden feinen Zone stark ausgeprägt sind. Für die dargestellten Verhältnisse ist dies in den Tiefenniveaus 33,3 mNN und 29,0 mNN besonders augenfällig.

Neben geometrischen Bedingungen, die für Erosionsvorgänge erfüllt sein müssen, ist auch die Überschreitung von hydraulischen Kriterien für den Bewegungsbeginn der Partikel erforderlich (Brauns 1985, Weijers und Sellmeijer 1993). Erst der hydraulische Kraftangriff auf die Partikel kann Kornumlagerungsvorgänge ermöglichen. In diesem Zusammenhang ist die Variabilität der Fließgeschwindigkeiten infolge einer schwächer oder stärker ausgeprägten Strukturierung des Untergrundes von wesentlicher Bedeutung. Darüber hinaus spielt eine Rolle, wie weit lateral etwaige Horizontbildungen durchhalten.

Zur Erkundung betreffender Gegebenheiten wurde die Dipol-Tracer-Methode entwickelt. Dieses Verfahren erlaubt die Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten. Hierfür wird im Untergrund zwischen zwei Brunnen ein hydraulischer Dipol erzeugt, dem kurzzeitig eine Salzlösung zugeführt wird. Mit Hilfe von Multi-Meßlanzen zur Messung von elektrischen Leitfähigkeiten im Grundwasser wird die Ausbreitung der Salzlösung höhendifferenziert festgehalten, so daß Fließgeschwindigkeiten bestimmt werden können. Exemplarisch für die gewonnene Datengrundlage sind in der rechten Darstellung in Abb. 3 auf Basis von analytisch bestimmten Abstandsgeschwindigkeiten für homogene Verhältnisse gemessene Fließgeschwindigkeiten normiert dargestellt. Deren Verlauf weist eine deutliche Korrelation zu den aus den Kornverteilungen bestimmten hydraulischen Durchlässigkeiten auf. Mit den geschaffenen Hilfsmitteln ist die Grundlage gelegt, um mit Hilfe von geostatistischen Auswertungen und numerischen Simulationsverfahren (Ptak 1993) zu Aussagen in Bezug auf die Gefahr der Erosion im Untergrund zu gelangen.

Literatur

- Brauns, J., Bieberstein, A. (1998) Geotechnische Bewertung von Hochwasserschutzdeichen. Hochwasser- und Küstenschutz. Niedersächs. Akad. der Geowissenschaften. Hannover, 1998
- Brauns, J. (1985) Erosionsverhalten geschichteten Bodens bei horizontaler Durchströmung, Wasserwirtschaft 75, 1985
- Hanses, U., Müller-Kirchenbauer, H., Savidis, S. (1985) Zur Mechanik der rückschreitenden Erosion unter Deichen und Dämmen. Bautechnik 62, 1985
- Ptak, T. (1993) Stofftransport in heterogenen Porenaquiferen: Felduntersuchungen und stochastische Modellierung. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, Universität Stuttgart, 1993
- Weijers, J.B.A., Sellmeijer, J.B. (1993) A New Model to Deal with the Piping Mechanism. Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering, Balkema, 1993