

Article, Published Version

Richter, H.-Ch.

Einfluß der Material- und Verbandseigenschaften sowie des unterirdischen Wassers auf die Geschiebemergelsteilufer der Ostküste

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

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106267>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Richter, H.-Ch. (1989): Einfluß der Material- und Verbandseigenschaften sowie des unterirdischen Wassers auf die Geschiebemergelsteilufer der Ostküste. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 54. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 92-103.

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.



Einfluß der Material- und Verbandseigenschaften sowie des unterirdischen Wassers auf die Geschiebemergelsteilufer der Ostseeküste

H.-Ch. Richter

Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“, Dresden

1. Einführung

Mit dem Wirken und der Bedeutung exogener Faktoren im Bereich der Steilufer der südlichen und der westlichen Ostseeküste beschäftigten sich in den zurückliegenden Jahrzehnten mehrfach unterschiedliche Autoren.

Zu nennen sind dabei vor allem die Arbeiten von GROSCHOPF (1936) und WASMUND (1936), die dem sogenannten "inneren Küstenzerfall" gewidmet sind. KANNENBERG (1951) nahm eine Wertung des Einflusses terrestrischer und mariner Faktoren auf den Küstenrückgang vor. Während GELLERT (1961) die Steiluferdynamik unter dem Blickwinkel morphologischer Prozesse und Erscheinungen darstellt, führt KLENGEL (1961) erstmals eine umfassende geotechnische Analyse der in den westlichen Teilen der Ostseeküste anstehenden Lockergesteine durch. Vom gleichen Autor wird in KLENGEL (1981) über die an Steilufeln ablaufenden Hangbewegungen berichtet.

Die Geschiebemergel der Ostseeküste stellen nach TGL 11 460/02 schluffige und tonige Sande, Schluffe und tonige Schluffe dar. Sie besitzen ein breites Kornspektrum vom Tonkorn bis zum Kieskorn. Sie sind vorwiegend schwach bindig und stark frostveränderlich. Es sind typische überkonsolidierte Lockergesteine, die im ungestörten Zustand i. a. eine hohe Trockenrohdichte und eine große geotechnische Kohäsion besitzen.

Die Lockergesteinsverbände der Geschiebemergel zeichnen sich durch das Vorhandensein eines mehr oder weniger deutlich erkennbaren Trennflächengefüges aus. Die Wirkung des unterirdischen Wassers erstreckt sich deshalb auf

- eine Konsistenzänderung des schwach bindigen Geschiebemergels,
- Strömungs- und hydrostatische Drücke in den Trennflächen und
- die Erosionswirkung.

2. Konsistenzänderung

Wenn das unterirdische Wasser die Konsistenz des schwach bindigen Geschiebemergels verändern soll, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Das Wasser muß Zutritt zum Lockergestein haben.
2. Das Lockergestein muß Wasser in dem Maße aufnehmen können, daß die Konsistenzgrenzen überschritten werden.

Die Zutrittsmöglichkeiten des unterirdischen Wassers zum Geschiebemergel ist im wesentlichen abhängig von seiner Material- bzw. Verbandsdurchlässigkeit. Die Materialdurchlässigkeit ist nach BOBE/HUBAČEK (1983) und PLEHM (1973) eine Funktion der Kornverteilung, der Trockenrohichte und des natürlichen Wassergehaltes. Das breite Kornspektrum der Geschiebemergel und die hohe geologische Vorbelastung führen zu einem sehr kleinen Einzelporenvolumen. Das ergibt Durchlässigkeitsbeiwerte von etwa $k_f = 10^{-8}$ m/s, d. h. der Wasserzutritt zum Geschiebemergel durch seine Poren ist unmöglich. Der Geschiebemergel ist praktisch wasserundurchlässig.

Die Geschiebemergel werden jedoch von Trennflächen durchzogen. Eisenoxidbeläge bis zu cm-Stärke im Geschiebemergel parallel zu den Trennflächen und meßbare Wasseraustritte an den Schnittlinien zwischen Trennflächen und der Kliffoberfläche beweisen, daß die Trennflächen die wichtigsten Wasserbewegungsbahnen sind. Schon v. BÜLOW hat 1937 darauf hingewiesen. Sie sind damit gleichzeitig die größten Kontaktflächen des unterirdischen Wassers zum Geschiebemergel.

Eine weitere Möglichkeit des Wasserzutritts bilden im Geschiebemergel eingeschaltete Feinsand/Schlufflinsen. Hier dienen die Schichtgrenzen als Kontaktflächen des Grundwassers zum Geschiebemergel.

Die Wasseraufnahme durch den Geschiebemergel kann nur so lange erfolgen, bis alle Porenräume wassergesättigt sind. Sehr hohe Trockenrohichten, wie z. B. an den Kliffs der Stoltera und von Nienhagen ($\rho_d = 2,20$ g/cm³), bedingen niedrige Sättigungswassergehalte. Sind diese nun kleiner als der Wassergehalt an der Plastizitätsgrenze w_p (z. B. $w_{sr} = 0,084 < 0,110 = w_p$), wird der Geschiebemergel auch bei einem sehr großen Wasserangebot durch die Trennflächen seine Konsistenz im ungestörten Zustand nicht ändern können, sondern stets in fester oder halbfester Zustandsform (z. B. $I_c = 1,26$) vorliegen (siehe Bild 1). Besitzen die Geschiebemergel geringere Trockenrohichten, wie z. B. an den Kliffs des Fischlandes ($\rho_d = 1,80$ g/cm³), ergeben sich zwangsläufig höhere Sättigungswassergehalte. Bei einem $w_p < w_{sr}$ (z. B. $w_p = 0,160 < 0,185 = w_{sr}$) bedeutet das, daß nur 85 % der Poren gefüllt zu sein brauchen, damit der Geschiebemergel in die plastische Konsistenz übergeht. Bei einer 100 %igen Porenfüllung liegt das Material bereits

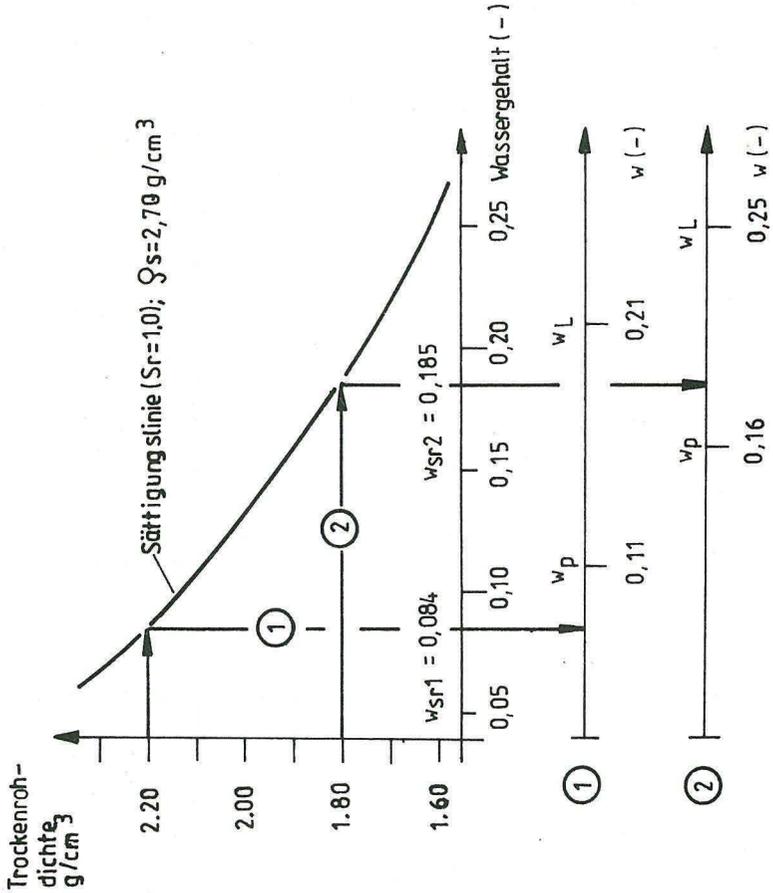


Bild 1 Wasseraufnahmemöglichkeit durch ungestörten Geschiebemergel:

1 - Geschiebemergel Stoltera, Nienhagen;

2 - Geschiebemergel Fischland

weichplastisch (z. B. $I_c = 0,65$) vor. Aber auch hier ist eine weitere Wasseraufnahme und Änderung der Konsistenz bis zum Ausfließen des Geschiebemergels nicht möglich.

Sie kann erst dann erfolgen, wenn eine Vergrößerung des Porenraumes und damit eine Reduzierung der Trockenrohdichte erzwungen wird. So lange der Geschiebemergel im ungestörten, durch seine Entstehung bedingten festen Verband bleibt, ist jedoch eine Vergrößerung des Porenraumes als Voraussetzung der Wasseraufnahme über den primären Sättigungswassergehalt und damit ein Schwellen des Geschiebemergels nicht möglich.

Nach REHFELD (1967) reichen bereits Spannungen von 1 N/cm^2 aus, um dieses Schwellen zu verhindern. Diese Spannung wird schon durch die Eigenlast einer nur etwa $0,50 \text{ m}$ mächtigen Geschiebemergeldecke erzeugt. Die Spannung aus der Eigenlast des Geschiebemergels eines 12 m hohen Kliffs (z. B. Kliff Nienhagen) betragen in $h/2$ schon ca. 13 N/cm^2 und am Kliffuß ca. 26 N/cm^2 .

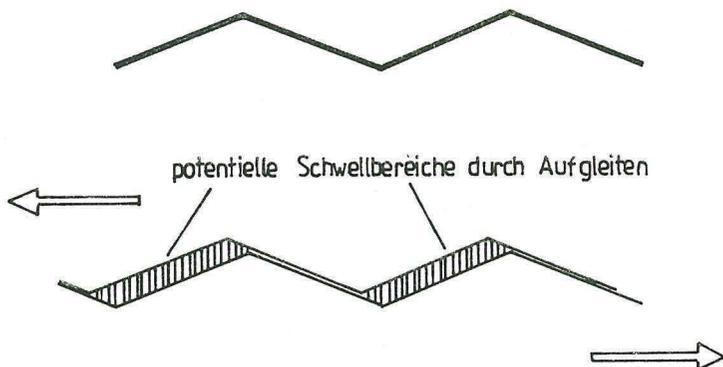
Eine Bestätigung stellen die stets in fester Konsistenz vorliegenden Wandungen der von Kluftwasser durchströmten Klüfte innerhalb des ungestörten Lockergesteinsverbandes dar. Nur an den Wandungen wasserführender Klüfte in unmittelbarer Oberflächennähe (10 bis 20 cm unter Kliffoberfläche) konnten Zustandsänderungen festgestellt werden.

Es kann daraus geschlußfolgert werden: So lange sich der Geschiebemergel im Zwang befindet, ist eine Wasseraufnahme über den durch die geologische Geschichte bedingten Sättigungswassergehalt und damit eine Destabilisierung der Kliffs durch Änderung der Konsistenz des Geschiebemergels primär nicht möglich.

Steiluferbegehungen, vor allem während des Frühjahres, zeigen jedoch Kliffzerstörungen durch Konsistenzänderungen. In den Kliffs müssen also Vorgänge ablaufen, die ein Herausbrechen des Geschiebemergels aus dem Zwang und damit eine Volumenzunahme und Konsistenzänderungen des Geschiebemergels in für die Standsicherheit der Kliffs kritische Bereiche ermöglichen.

Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit wird der für die erforderliche Volumenzunahme des Geschiebemergels benötigte Raum innerhalb des noch intakten Lockergesteinsverbandes durch Einwirken von Eisdrücken während der Gefrierperiode bzw. durch hydrostatische Drücke geschaffen. Bereits die durch diese Faktoren verursachten Initialbewegungen geringsten Ausmaßes können zur Bildung freier Räume im Bereich der als Ablöse- und Gleitflächen fungierenden Trennflächen führen. Das gilt sowohl für das Aufgleiten auf Unebenheiten, als auch für das Abscheren der Unebenheiten auf Kluftflächen während der

Trenn(Gleit-)fläche mit flachen Unebenheiten



Trenn(Gleit-)fläche mit steilen Unebenheiten

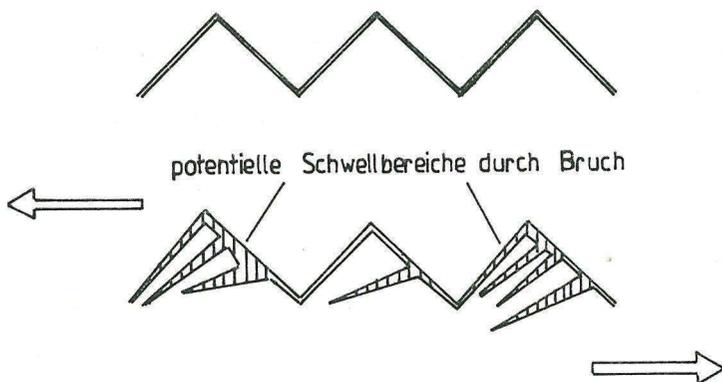


Bild 2 Schwellmöglichkeit des ungestörten Geschiebemergels durch Initialbewegungen an Trennflächen mit Wasserführung

Initialgleitung. In den neu geschaffenen Hohlräumen kann sich eine Wasseraufnahme über den primären Sättigungswassergehalt und damit eine Konsistenzänderung vollziehen, die zur Herabsetzung der Verbandsscherfestigkeit und damit zur Kliffdestabilisierung führt (Bild 2).

Eine weitere Möglichkeit der Volumenzunahme ist theoretisch im Kontaktbereich des Geschiebemergels zu Feinsand- und Schlufflinsen gegeben. Die Poren in einem relativ größeren Material stellen nach REHFELD (1967) unbelastete Zonen innerhalb des Kontaktbereiches dar, in dem eine Volumenvergrößerung des Geschiebemergels und damit eine Wasseraufnahme über den primären Sättigungswassergehalt erfolgen kann. Durch eigene Untersuchungen konnten Konsistenzänderungen an größeren Grenzflächenabschnitten des Geschiebemergels zu solchen Einlagerungen bisher noch nicht nachgewiesen werden. Sie treten jedoch in böschungsnahen Partien des Kliffs auf, wenn, verursacht durch hohen Strömungsdruck, das Feinsand-Schluff-Material selbst ausgespült wird und der Geschiebemergel oberflächlich frei anschwellen kann (Bild 3).

Konsistenzänderungen in einem Maße, wie sie beim anstehenden Geschiebemergel theoretisch nicht auftreten können und praktisch bisher auch nicht beobachtet wurden, spielen sich alljährlich vor allem nach Frostaufgang im nicht mehr unter Zwang stehenden Kliffhaldenmaterial ab. Mit den durch hydrostatischen Druck oder Eisdruck verursachten und durch die Plastifizierung des Geschiebemergels in den potentiellen Gleitflächen ausgelösten Hangbewegungen ist eine mehr oder weniger schnell ablaufende Zerstörung der Struktur des Geschiebemergelverbandes verbunden. Da die Auflast stark reduziert ist und eine seitliche Einspannung fehlt, ist eine Volumenvergrößerung und damit eine Wasseraufnahme über den primären Sättigungswassergehalt möglich. Bei entsprechendem Wasserangebot durch Grundwasserzufluß oder Niederschläge tritt eine Konsistenzänderung ein. Sie führt zum Verlust der durch die geologische Vorbelastung bedingten hohen Kohäsion sowie zu einer völligen Strukturumwandlung und Homogenisierung des Kliffhaldenmaterials. Dieser Prozeß geht in der Regel von den geöffneten Trennflächen aus und schreitet in Abhängigkeit vom Wasserangebot zum Kern der Abgleit- oder Bruchkörper langsamer oder schneller fort. In der Folge ist das Ausfließen des Geschiebemergels als Lockergesteins-Wasser-Gemisch zum Fuß der Kliffhalde möglich.

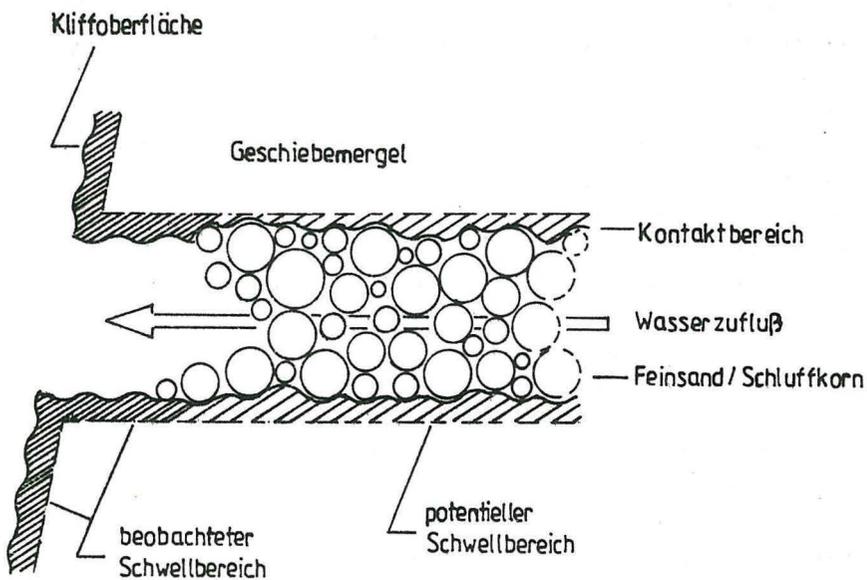


Bild 3 Schwellmöglichkeit des ungestörten Geschiebemergels im Kontaktbereich zu Feinsand-/Schlufflinsen

3. Strömungs- und hydrostatische Drücke

Das Vorhandensein von Grundwasser in den Geschiebemergelsteilufern bedingt stets hydrostatische und Strömungsdrücke. Ihre Größe ist nach TÜRKE (1984) von der Höhe des Grundwasserspiegels innerhalb des betrachteten Bereiches, nicht jedoch von der Wassermenge abhängig. Ein Verschuß der natürlichen Wasserabläufe, z. B. durch Zufrieren oder Verstopfen mit Kliffhaldenmaterial, führt zum Ansteigen der hydrostatischen Drücke. Beim Überschreiten einer kritischen Druckhöhe können die wasserdurchströmten Klüfte aufbrechen, was die Auslösung von Initialbewegungen im Bereich potentieller Gleitflächen zur Folge hat (Bild 4). Damit wird die Voraussetzung zur Konsistenzänderung und zum Abgleiten des angrenzenden Geschiebemergels geschaffen. Außerdem ist bei entsprechender Ausbildung des Trennflächengefüges das Ausknicken oberflächennaher Böschungspartien oder eine Böschungszerstörung durch Böschungsfußbruch möglich.

Untersuchungen haben gezeigt, daß an Kliffstrecken mit Zustrom von unterirdischem Wasser zum Kliff (Kliffs mit Wasseraustrittsstellen, z. B. am Nördlichen und Südlichen Althäger Lehmufer, Bereich der Kliffstrecke Stoltera-Nienhagen) Kliffabbrüche in bedeutend größerem Umfang auftreten als an Kliffs ohne Wasserzufluß ("trockene" Kliffs, z. B. Granitzer Ort, Brake, Geinitz Ort).

4. Erosion

Die Erosion wird durch die Schleppkraft des fließenden Wassers verursacht. Sie kann an den Geschiebemergelkliffs sowohl durch das Grundwasser, als auch durch den über die Kliffoberfläche abfließenden Niederschlag oder anderes unkontrolliert abfließendes Oberflächenwasser hervorgerufen werden. Der Widerstand gegen die Erosion, die Erosionsstabilität, ist nach REHFELD (1967) und BENDER (1984) abhängig von der Kohäsion, der Zugfestigkeit, dem Anfangswassergehalt und dem Sättigungsgrad des anstehenden Lockergesteins.

Obwohl quantitative Untersuchungsergebnisse nicht vorliegen, kann davon ausgegangen werden, daß die Erosionsstabilität des im Zwang befindlichen Geschiebemergels sehr hoch ist. Erosionsrinnen konnten im anstehenden Geschiebemergel bisher kaum beobachtet werden. Vereinzelt Rinnen verdanken ihre Entstehung dem Einfluß des Trennflächengefüges bzw. spezieller Lagerungsverhältnisse. Auch kontinuierliche, stärkere Schüttung aus Dränagen führte nur zu geringfügiger flächenhafter Abspülung des oberflächlich auf-

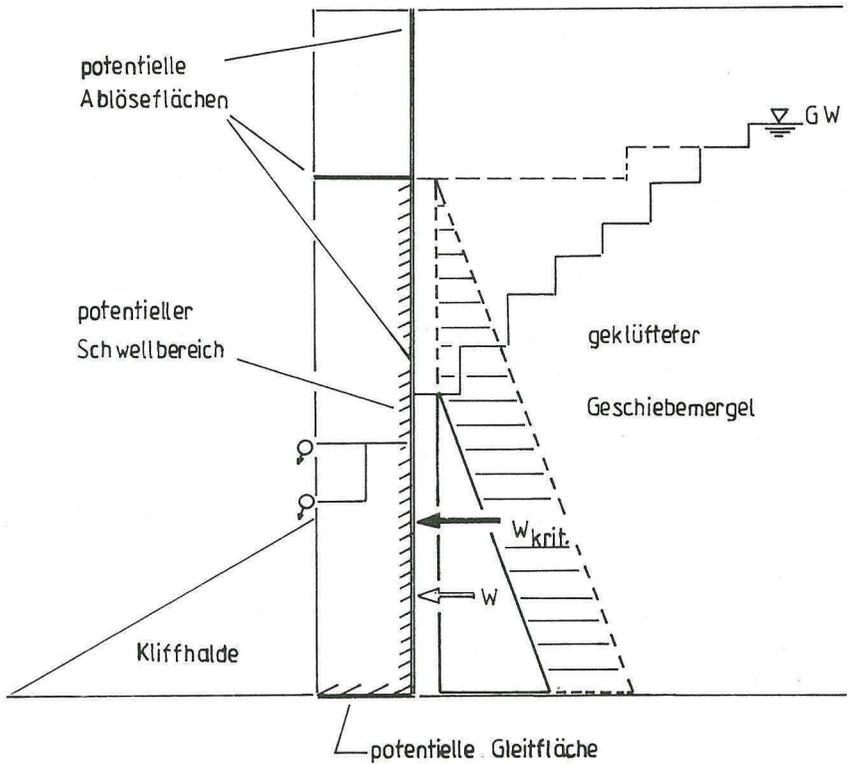


Bild 4 Wirkung hydrostatischer Drücke am Kliff

geweichten Geschiebemergels ohne Anzeichen deutlicher Tiefenerosion. Dieses Verhalten ist mit Sicherheit auf die durch die große geologische Vorbelastung initiierte hohe Kohäsion der anstehenden Geschiebemergel zurückzuführen.

Völlig anders ist das Verhalten des Kliffhaldenmaterials. Untersuchungen am Wissenschaftsbereich Geotechnik der Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List" Dresden haben zu dem Ergebnis geführt, daß Kliffhaldenmaterial häufig Sättigungsgrade $> 0,80$ besitzt. Die erosionsstabilitätsfördernden, negativen Porenwasserspannungen gehen dadurch gegen Null. Durch die Möglichkeit der unbeschränkten Wasseraufnahme und den damit verbundenen Verlust der Kohäsion und der Zugfestigkeit ist kaum noch Erosionsstabilität vorhanden. Trocknet das aufgelockerte Kliffhaldenmaterial aus und wird es nachträglich wieder durch Wasser benetzt, führen starke Infiltrationsspannungen zum völligen Verlust noch vorhandener Kohäsionskräfte. Das Material unterliegt dem vollständigen Abtrag durch Erosion. Tiefe Erosionsrinnen bzw. flächenhafte Abspülungen sind das Ergebnis des Abflusses von ausgetretenem Grundwasser über die Kliffhalden.

5. Zusammenfassung

Der im ungestörten Lockergesteinsverband anstehende schwach bindige Geschiebemergel der Steilufer an der Ostseeküste kann bei konstant bleibender Trockenrohdichte unterirdisches Wasser nur bis zu dem durch die geologische Vorbelastung bedingten Sättigungswassergehalt aufnehmen. Eine weitere Wasseraufnahme erfolgt nur dann, wenn der erforderliche Raum für die Volumenzunahme geschaffen wird. Er ist dadurch auch weitgehend erosionsstabil.

Der strukturgestörte Geschiebemergel der Kliffhalden verändert, unter Verlust der Kohäsion durch Wasseraufnahme seine Konsistenz sehr schnell. Der Angriff des fließenden Wassers führt zu intensiver Erosion.

Es ist davon auszugehen, daß das Verhalten des im Zwang befindlichen anstehenden Geschiebemergels der Steilufer einerseits und des strukturgestörten Geschiebemergels der Kliffhalden andererseits gegenüber dem meerseitigen Angriff des Wassers, also gegenüber der Abrasion, genau so unterschiedlich ist wie gegenüber der Wirkung des landwärtigen unterirdischen Wassers.

Literatur

- BENDER, H.:
Erosion feinkörniger Böden.
Ein Problem der Scherfestigkeit in Abhängigkeit der Spannungsgeschichte
und des Spannungspfades bei Wassergehaltsänderungen.
Mitt. d. Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik d. ETH, Zürich, Nr. 123,
1984.
- BOBE, R.; HUBACEK, H.:
Bodenmechanik.
VEB Verlag für Bauwesen Berlin 1983.
- BÜLOW v., K.:
Grundmoränenbilder.
Zschr. f. Geschiebeforschung ...
13, Leipzig 1937, S. 5 bis 8
- GELLERT, J. F.:
Die morphologischen Prozesse der Steiluferbildung und die genetischen
Typen der Steiluferformen an der Mecklenburgischen Ostseeküste.
Geograph. Berichte 19 (1961) 2, S. 99 bis 106.
- GROSCHOFF, P.:
Physikalische Bedingungen des Kliffrückganges an der Kieler und
Lübecker Bucht.
Kieler Meeresforschung Nr. 1, Kiel 1936, S. 335 bis 342.
- KANNENBERG, E.-G.:
Die Steilufer der schleswig-holsteinschen Ostseeküste.
Probleme der marinen und klimatischen Abtragung.
Schriften Geogr. Inst. Univ. Kiel, Band XIV, Heft 1, Kiel 1951.
- KLENGEL, K. J.:
Beiträge zur Kenntnis des bodenphysikalischen Verhaltens pleistozäner
Lockergesteine unter Berücksichtigung der Bedeutung für die geologi-
sche und ingenieurgeologische Praxis.
Freiberger Forschungsheft, C 104, Akademie Verlag Berlin, 1961.
- KLENGEL, K. J.:
Zur Dynamik von Steilküsten unter besonderer Beachtung der Ursachen,
des Auftretens und der Bekämpfung von Massenbewegungen (Rutschungen
im weiteren Sinne).
Zschr. geol. Wiss. Berlin 9 (1981) 1, S. 53 bis 62.
- PLEHM, H.:
Beitrag zur Frage des Einflusses der Verdichtung auf Berechnungskenn-
werte von bindigen und schluffigen Erdstoffen.
Mitt. d. Forsch.-Anstalt f. Schifffahrt, Wasser- und Grundbau,
Schriftenr. "Wasser- und Grundbau" Heft 31, Bln. 1973.

REHFELD, E.:

Die Erosionsbeständigkeit bindiger Lockergesteine - die wichtigste Grundlage zur Dimensionierung von Dichtungsschichten aus natürlichem Erdstoff.

Wiss. Zschr. TU Dresden 16 (1967) 5, S. 1431 bis 1437.

TÜRKE, H.:

Statik im Erdbau.

Verlag f. Archit. und techn. Wiss. Ernst und Sohn, Berlin 1984.

TGL 11 460/02 Baugrunduntersuchungen, Bestimmung der Gesteinsarten - Lockergestein.

WASMUND, E.:

Chemisch-physikalische Daten der Alttertiär-Tone um Fehmarn und der "innere Küstenzerfall".

Kieler Meeresforschung Nr. 1, Kiel 1936, S. 243 bis 263.