

Article, Published Version

Richter, H.-Ch.

Geotechnische Eigenschaften der Lockergesteine und Lockergesteinverbände an den Steiluferabschnitten Ahrenshoop-Wustrow und Warnemünde-Nienhagen

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

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106249>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Richter, H.-Ch. (1989): Geotechnische Eigenschaften der Lockergesteine und Lockergesteinverbände an den Steiluferabschnitten Ahrenshoop-Wustrow und Warnemünde-Nienhagen. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 54. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 104-119.

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.



10) DK 527, 521, 12 (430,2 - 35,25) (Häufiger DDU - bei der Postkarte)
628, 13, 1, 25 Feuertafel Böden

Geotechnische Eigenschaften der Lockergesteine und Lockergesteinsverbände an den Steiluferabschnitten Ahrenshoop-Wustrow und Warnemünde-Nienhagen

H.-Ch. Richter

Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“, Dresden

1. Geotechnische Parameter und Materialeigenschaften

1.1. Steiluferabschnitt Ahrenshoop - Wustrow

Die am Nördlichen Althäger Lehmufers (NALU) und am Südlichen Althäger Lehmufers (SALU) sowie an der Basis der Südlichen Althäger Sandmulde (SASM) und des Nienhäger Sandberges (NIS) vorhandenen Geschiebemergel können ingenieur-geologisch als ein Lockergesteinstyp angesehen werden. Es handelt sich dabei um Schluffe und tonige Schluffe (U/UT), deren Feinstkornanteil

$< 0,06$ mm bei durchschnittlich 70 Masse-Prozent und der Feinsandanteil bei ca. 20 Masse-Prozent liegt. Vereinzelt tritt auf der Kliffstrecke eine lokal beschränkte sandige Variante des Geschiebemergels auf, die in ihrer Kornverteilung den Geschiebemergeln zwischen Warnemünde und Nienhagen ähnelt (Bild 1).

Die Geschiebemergel zwischen Ahrenshoop und Wustrow sind durchweg schwach bindig ($0,070 \leq I_p \leq 0,093$). Die geringe Bindigkeit ist eine Funktion des niedrigen Tonmineralanteils im Feinstkornbereich. Die Aktivität nach SKEMPTON erreicht Werte von $0,51 \leq A \leq 0,60$. Die Geschiebemergel sind bodenmechanisch inaktiv (Tabelle 1).

Die durchschnittlichen Trockenrohdichten $\rho_d = 1,81$ g/cm³ bedingen Sättigungswassergehalte von $w_{sr} \approx 0,18$, die damit über der Plastizitätsgrenze liegen. Der natürliche Wassergehalt erreicht die Plastizitätsgrenze bzw. liegt darüber, so daß die anstehenden Geschiebemergel im halbfesten bis weichplastischen Zustand auftreten. Die Sättigungswassergehalte betragen $S_r = 0,83$ bis $0,94$. Beobachtungen von w_n am Geschiebemergel des NALU enthält Tabelle 2. Es ist zu erkennen, daß innerhalb der ersten Dezimeter unter der Kliffoberfläche größere Schwankungen in Abhängigkeit von der Tiefe nicht gegeben sind. Ausgenommen ist der Wassergehalt des Geschiebemergels, der dem unmittelbaren Einfluß von Niederschlägen und der austrocknenden Wirkung der Luft ausgesetzt ist. Die Durchlässigkeit beträgt $k_f = 10^{-8}$ m/s. Der Geschiebemergel wirkt als Grundwassersohlschicht. Sein Porenraum läßt sich weder gravitativ noch zwangsentwässern.

Der größte Teil der in der Nördlichen Althäger Sandmulde (NASM), in der

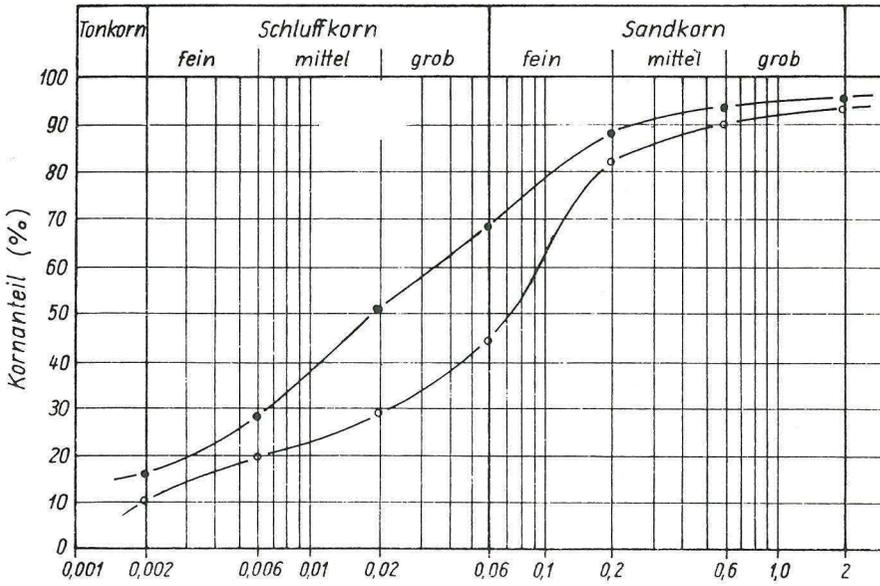


Bild 1 Mittelwertslinien der Kornverteilung der Geschiebemergel des Fischlandes

- Nördliches Althäger Lehmufers, Südliche Althäger Sandmulde, Südliches Althäger Lehmufers, Niehäger Sandberg
- stärker sandige Variante

Tabelle 1 Geotechnische Parameter des Kliffabschnittes Ahrenshoop - Wustrow
(Durchschnittswerte)

Geschiebemergel

Ört- lich- keit	geot. Bez.	Kornanteile		w_L	w_p	I_p	ρ_s in g/cm ³	ρ_d	k_f in m/s	w_n
		< 0,06	0,06 bis 0,2 in Masse%							
NALU	U/UT	71	18	0,248	0,155	0,093	2,70	1,84	\leq	0,150
SALU	U/UT	67	21	0,245	0,159	0,086	2,68	1,79	10^{-8}	0,151
NIS	U/UT	45	38	0,212	0,142	0,070	2,69	1,81		0,169

Becken- und Heidesande

Ört- lich- keit	geot. Bez.	U	C	ρ_s	ρ_d	k_f in m/s	w_n
NASM	SF	2,3	0,95	2,67	1,57		0,065
SASM	SF	2,0	0,95	2,67	1,62	$4 \cdot 10^{-5}$	0,074
NIS	SE/SF	2,2	1,03	2,67	1,65		0,080

Tabelle 2 Natürliche Wassergehalte w_n des anstehenden Geschiebemergels

Tiefe unter Böschung- oberfläche in cm	Nördl. Althäg. Lehmufer/GeM unverwitt. Beobachtungszeiten				Stoltera / m_4 Beobachtungszeiten			
	01.04.87	01.06.87	09.07.87	03.09.87	02.04.87	25.05.87	08.07.87	11.02.88
0	0,152	0,047	0,033	0,033	0,099	0,031	0,072	0,084
10	0,142	0,161	—	0,147	—	0,095	0,093	0,102
20	—	0,154	0,142	0,129	0,099	—	0,097	0,113
30	—	—	0,139	0,139	—	0,097	—	0,100
40	0,155	0,152	0,152	0,141	0,099	—	0,098	0,101
50	—	0,145	—	—	0,098	—	0,098	0,097
60	—	—	0,163	—	0,098	0,097	—	—

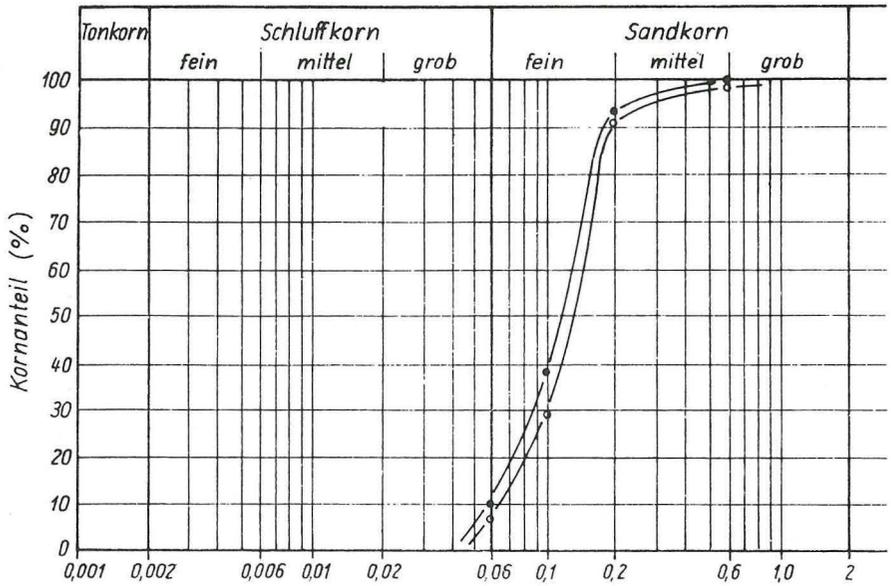


Bild 2 Mittelwertslinien der Kornverteilung der Becken- und Heidesande des Fischlandes

- Nördliche Althäger Sandmulde, Südliche Althäger Sandmulde
- Niehäger Sandberg

SASM und am NIS anstehenden mehr oder weniger bindigen und nichtbindigen Sande kann ingenieurgeologisch ebenfalls als ein Gesteinstyp angesehen werden. Der Feinkornanteil $< 0,06$ mm führt nicht zu einem laborativ nachweisbaren plastischen Verhalten. Die Ursache liegt nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand im Fehlen jeglicher Tonminerale in den Feinstkornfraktionen. Infolge der geringen Ungleichkörnigkeit ($U < 3$) besitzen sie einen großen Hohlraumgehalt ($0,60 \leq e \leq 0,70$) und durch das größere Einzelporenvolumen gegenüber dem Geschiebemergel eine bedeutend höhere Durchlässigkeit als dieser ($k_f \approx 10^{-5}$ m/s). Im beschriebenen Gebiet bilden sie den Grundwasserleiter über der liegenden Geschiebemergelschicht (Bild 2, Tabelle 1).

In oberflächennahen Bereichen liegt der natürliche Wassergehalt bei etwa $w_n = 0,07$. Bei einem Sättigungswassergehalt $w_{sr} = 0,25$ entspricht das einem Sättigungsgrad $S_r = 0,30$. Dieser Wassergehalt führt zur Ausbildung einer scheinbaren Kohäsion, die als Ursache für die relativ steilen Böschungen (50 bis 60° , z. T. 70°) in den anstehenden Sanden angesehen werden kann, während das Kliffhaldenmaterial durch den Verlust der scheinbaren Kohäsion infolge Austrocknung verlagerungsempfindlich reagiert und dadurch bedeutend flacher geböschet ist (ca. 30°). Eine Frostveränderlichkeit der sogenannten "Mehlsande" ist so gut wie ausgeschlossen (TÜRKE 1984).

1.2. Steiluferabschnitt Warnemünde - Nienhagen

An diesem Steilufer findet man die Geschiebemergel m_1 , m_2 , m_3 , m_4 und m_5 (LUDWIG 1964, CEPEK 1973). Es handelt sich im geotechnischen Sinne dabei um schluffige Sande (SU) sowie um Schluffe (U) und tonige Schluffe (UT). Mit Ausnahme von m_1 und m_4 unterscheiden sich die Kornverteilungen der Geschiebemergel signifikant voneinander. Der Unterschied liegt in den Körnungsbereichen $< 0,06$ mm und $0,06$ bis $0,2$ mm. Der Gehalt an Körnungen der Fraktion $> 0,2$ bis $2,0$ mm und darüber ist nahezu identisch (Bild 3). Für den Geschiebemergel m_2 liegen z. Z. noch keine Untersuchungsergebnisse vor.

Die Geschiebemergel der vier untersuchten stratigraphischen Horizonte sind schwach bindig ($0,026 \leq I_p \leq 0,107$). Trotz der zahlenmäßig relativ geringen Unterschiede in den Grenzwassergehalten tritt eine stark ausgeprägte Signifikanz bei w_L auf. Die niedrige Plastizitätsspanne geht wie bei den Geschiebemergeln des Fischlandes auf das Fehlen aktiver Tonminerale zurück. Die Aktivität nach SKEMPTON $0,29 \leq A \leq 0,56$ zeigt, daß die Geschiebemergel inaktiv sind. Bei der Möglichkeit von Wasserzutritt und

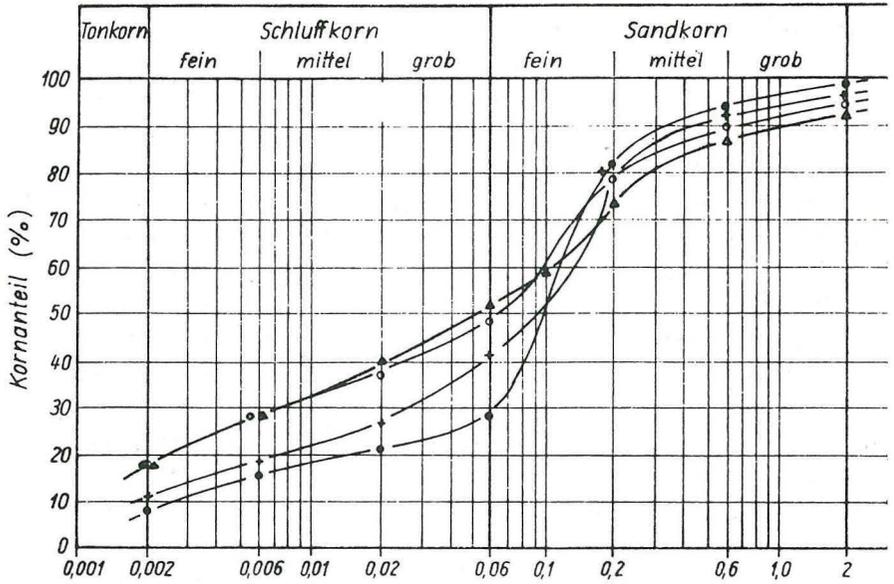


Bild 3 Mittelwertslinien der Kornverteilung der Geschiebemergel des Küstenabschnittes Warnemünde - Nienhagen

Δ m₁, ● m₃, ○ m₄, + m₅

Wasseraufnahme sind sie durch schnelle Konsistenzänderung gefährdet (Tabelle 3).

Die für die Geschiebemergel m_1 und m_4 ermittelten Trockenrohdichten lie mit $\rho_d \approx 2,20 \text{ g/cm}^3$ sehr hoch. Das hat niedrige Sättigungswassergehalte zur Folge, die bereits bei $w_{sr} \approx 0,09$ erreicht sind und damit deutlich unter der Plastizitätsgrenze liegen, so daß eine mögliche Wasseraufnahme des Geschiebemergels im ungestörten Verband auf Werte $w_n < w_p$ beschränkt bleibt. Die Geschiebemergel m_3 und m_5 besitzen mit $\rho_d \approx 2,05 \text{ g/cm}^3$ deutlich niedrigere Trockenrohdichten. Ihre Sättigungswassergehalte liegen mit $w_{sr} \approx 0,115$ höher als bei den Geschiebemergeln m_1 und m_4 , aber immer noch unter w_p .

Die Geschiebemergel sind mit einem Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 10^{-8} \text{ m/s}$ praktisch wasserundurchlässig. Der natürliche Wassergehalt ist niedriger als w_p , so daß die Geschiebemergel eine halbfeste bis feste Konsistenz aufweisen. Schwankungen des Wassergehaltes sind in unterschiedlichen Tiefen auf Grund des niedrigen k_f -Wertes nicht zu erwarten und konnten bisher bis in eine Tiefe von 0,60 m nicht festgestellt werden. Lediglich an der unmitttelbaren Böschungsoberfläche liegt der Wassergehalt in Zeiten erhöhter Verdunstung deutlich unter dem Mittel (Tabelle 2).

Die Geschiebemergel aller vier stratigraphischen Horizonte stellen frostveränderliches Lockergesteinsmaterial dar. Bei Zutritts- und Aufnahmemöglichkeit von Wasser ist mit sehr empfindlichen Reaktionen auf Frost- und Taueinflüsse zu rechnen.

Die östlich Geinitz Ort häufig in größerer Mächtigkeit vorhandenen fluvioglazialen Sande des i_2 -Horizontes sind im geotechnischen Sinn bindige Sande (SU) mit Feinstkorngehalten um 25 Masse-Prozent, die vor allem auf die Grobschlufffraktionen entfallen. Sie sind eng abgestuft ($U < 3$), hohlraumreich ($e = 0,71$) und dadurch wie die Sande des Fischlandes wasserdurchlässig sowie im trockenen Zustand verlagerungsempfindlich (Bild 4, Tabelle 3). Die Ausbildung steil geböschter Kliffpartien (z. T. nahe 90°) ist auf das Wirken der scheinbaren Kohäsion zurückzuführen.

Den Geschiebemergelhorizonten m_4 und m_5 sind westlich von Geinitz Ort dünne, lagen- bis linsenförmige Partien von Sanden mit geringem Feinkornanteil und unterschiedlicher Erstreckung zwischengelagert.

Das Material ist relativ gleichkörnig (vorwiegend $U < 3$) und setzt sich vor allem aus Körnungen der Fein- und Mittelsandfraktion zusammen. Entsprechend groß ist der Porenraum. Die Porenziffer schwankt um $e = 0,86$. Die Sandlinsen wirken als Sammler und Leiter des im Lockergesteinsverband des

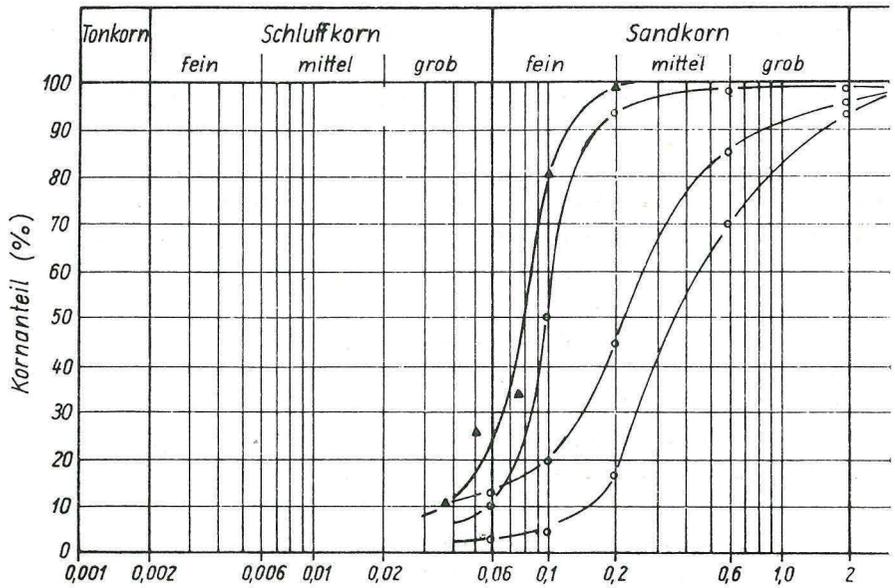


Bild.4 Kornverteilung der fluvioglazialen Sande des Horizontes i_2 und der Sandlinsen in den Geschiebemergeln m_4 und m_5

\triangle i_2 , \circ Sandlinsen

Tabelle 3 Geotechnische Parameter des Kliffabschnittes Warnemünde - Nienhagen (Durchschnittswerte)
Geschiebemergel

Örtlichkeit	geot. Bez.	Kornanteile		w_L	w_p	I_p	ρ_s	ρ_d	k_f	w_n
		< 0,06	0,06 bis 0,2							
		in Masse-Prozent				in g/cm ³		in m/s		
Nien. m ₅	U	43	37	0,174	0,137	0,037	2,71	—		0,077
Stolt. m ₅	U/SU	40	40	0,174	0,127	0,047	2,68	2,06		0,115
Nien. m ₄	U/UT	49	30	0,198	0,114	0,084	2,70	2,20		0,075
Stolt. m ₄	U/UT	48	30	0,219	0,112	0,107	2,70	2,19	10^{-8}	0,095
Stolt. m ₃	SU	29	54	0,155	0,129	0,026	2,68	2,03		0,100
Stolt. m ₁	U/UT	51	20	0,212	0,115	0,097	2,71	2,16		0,074

Fluvioglaziale Sande des i₂-Horizontes und Sandlinsen zwischen m₄ und m₅

Örtlichkeit	geot. Bez.	U	C	ρ_s	ρ_d	k_f	w_n
				in g/cm ³		in m/s	
Stolt.	SU	2,40	1,42	2,67	1,56	$1,42 \cdot 10^{-5}$	0,056
i ₂ -Hor.	SF	2,20	1,20	2,66	1,42	$4 \cdot 10^{-5}$	0,206
Stolt.	SF	6,30	2,25	2,66	—	$2 \cdot 10^{-5}$	0,148
Linien	SE/SN	3,20	0,86	2,66	1,46	$3 \cdot 10^{-4}$	0,172

Geschiebemergels m_5 zirkulierenden Sicker- oder Grundwassers (Bild 4, Tabelle 3).

2. Verbandseigenschaften

Typisch für die Kliffs des Fischlandes und des Küstenabschnittes Warnemünde - Nienhagen sind Trennflächen im Geschiebemergel, die die Auflösung des Lockermaterials in ein Vielkörpersystem zur Folge haben. Es ist deshalb erforderlich, die Kliffs im mechanischen Sinne als Diskontinua zu betrachten. Wesentliche Eigenschaften und Verhaltensweisen der betreffenden Kliffs hängen von der Art und der Ausbildung der Trennflächen ab. Das betrifft in erster Linie die Standfestigkeit. Die Trennflächen wirken überall als vorgezeichnete Ablöse-, Gleit- und Zerfallsflächen, unabhängig davon, ob es sich um böschungparallele, diagonal oder senkrecht zum Kliff verlaufende steilstehende oder horizontale Trennflächen handelt. Außerdem sind die Trennflächen hydraulisch wirksam. Sie stellen die Wasserbewegungsbahnen im sonst praktisch undurchlässigen Geschiebemergel dar.

Zwischen Ahrenshoop und Wustrow sind die Trennflächen nicht an allen Aufschlußpunkten gleichgut zu erkennen. Am SALU sind sie vor allem in den verwitterten Hangendpartien gut sichtbar, während der Geschiebemergel des NALU auf den ersten Blick trennflächenarm erscheint. Untersuchungen von Gleitschollen zeigten jedoch, daß sie in ihrem Kern stets ein sehr gut ausgebildetes Trennflächengefüge besitzen und bei ihrer Bewegung zum Klifffuß an ihnen in kleinere Gleitkörper zerfallen oder zerscheren. Auch im Abrasionsbereich befindliche Gleitkörper zeigen die Trennflächen in Form einer Rippenstruktur, die auf Eisenoxidanreicherungen links und rechts parallel zu den Trennflächen während des Wassertransportes zurückgehen.

Auch zwischen Warnemünde und Nienhagen ist das Trennflächengefüge vom Erscheinungsbild her sehr unterschiedlich ausgebildet. Als Beispiels sind in Tabelle 4 die Trennflächenanteile pro m^3 Geschiebemergel angeführt. Die starke Durchtrennung führt in oberflächennahen Bereichen zu einer großen Teilbeweglichkeit der z. T. sehr kleinen Kluffkörper und damit zu einer verstärkten Auflockerung des Lockergesteinsverbandes. Das trifft vor allem auf den m_5 der Stoltera zu.

Tabelle 4 Trennflächenanteile pro m³ Geschiebemergel der Stoltera

Stratigr. Horizont	Lage, bezogen auf Geschiebepflaster in m	Trennflächenanteile in m ² / m ³		gesamt
		ss-Klüfte	vertik. Klüfte	
m ₅	über: 0,0 bis 1,0	64,0	8,0	72,0
	unter: 1,0 bis 2,0	28,7	19,2	47,9
m ₄	3,0 bis 4,0	19,2	26,6	45,8
	4,0 bis 5,0	16,7	16,7	33,4
	5,0 bis 6,0	12,2	20,7	32,9

3. Wasserführung im Kliff

Im Bereich des NALU existieren Wasseraustrittsstellen konstant in einem Horizont ca. 4,0 bis 4,5 m unter Böschungsschulter. Diese sind an röhrenförmige Feinsand-Schluff-Körper und an Klüfte gebunden. Die Fördermengen der Tropfstellen sind in Tabelle 5 angegeben. Die Tropfstelle 2 förderte Kluftwasser, welches über eine Länge von ca. zwei Metern aus der Böschung austrat. Der starke Wasserzufluß führte im Verlauf des Sommers 1987 zu einer weitgehenden Plastifizierung des vorgelagerten Kliffhaldenmaterials, so daß die Zugängigkeit im Herbst nicht mehr gewährleistet war. Im Frühjahr 1988 war der Tropfstellenbereich bereits Teil einer großen Gleitscholle.

An den Kliffs der Stoltera tritt unterirdisches Wasser vorwiegend aus den den Geschiebemergeln zwischengeschalteten Sandlinsen aus. Diese Zone ist meistens an einem dunkel gefärbten, horizontbeständigen Band im sonst hell- bis mittelgrau oberflächlich ausgetrockneten Geschiebemergel erkennbar. Untersuchungen haben gezeigt, daß das austretende Wasser vorwiegend unmittelbar an der Anschnittsfläche der Sandlinsen oder nach einem kurzen Sickerweg an der Oberfläche des liegenden Geschiebemergels verdunstet. Der natürliche Wassergehalt des angrenzenden Geschiebemergels ist im Liegenden und Hangenden gegenüber dem Durchschnittswert von $w_n = 0,095$ bei m₄ bzw. 0,115 bei m₅ nur geringfügig verändert (Tabelle 6). Vereinzelt verlaufen wasserführende Sandlinsen bzw. -bänder auch diagonal von der horizontbeständigen Zone ausgehend in den liegenden Geschiebemergel hinein.

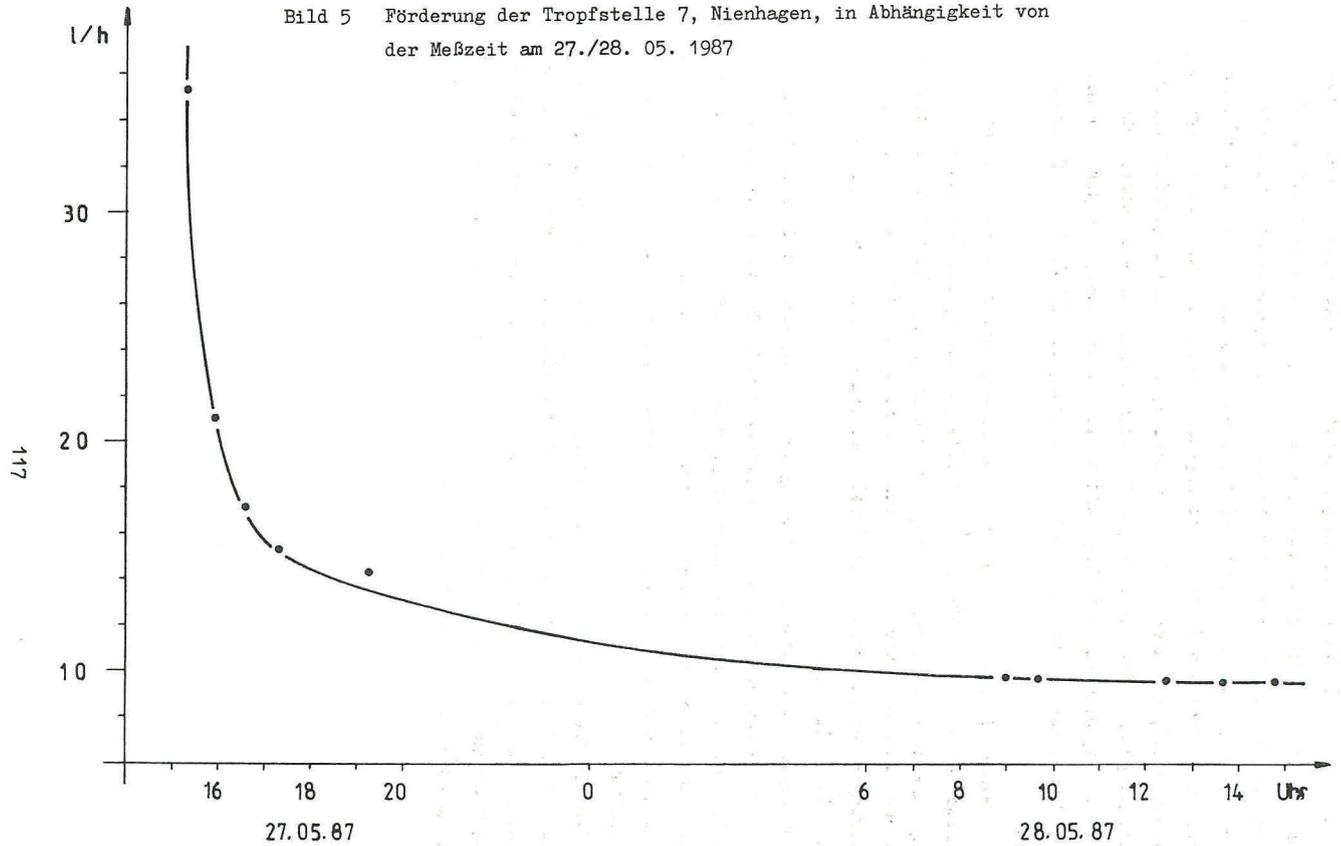
Tabelle 5 Wasserförderung an Tropfstellen im anstehenden Geschiebemergel

Tropfstellen Ahrenshoop 03.06.87	Fördermenge		Tropfstellen Nienhagen 26./27.05.87	Fördermenge	
	l/h	l/Tag		l/h	l/Tag
1	1,400	33,60	1	1,061	25,46
2	10,540	252,80	2	0,537	12,89
3	0,115	2,76	3	0,649	15,57
			4	0,449	10,78
			5	0,495	11,88
			6	0,188	4,51
			7	9,550	229,10

Tabelle 6 Natürliche Wassergehalte im Bereich einer Sandlinse

Horizont	w_n
hangender Geschiebemergel m_5	0,122
Feinsandlinse	0,200
liegender Geschiebemergel m_4	0,091

Bild 5 Förderung der Tropfstelle 7, Nienhagen, in Abhängigkeit von der Meßzeit am 27./28. 05. 1987



Auch an den Kliffs von Nienhagen tritt im Grenzbereich der Geschiebemergel m_4/m_5 ein horizontbeständiges dunkelt gefärbtes Band auf, welches seine Ursachen in einem Wasserzufluß zur Böschungsoberfläche hat. Besonders fallen jedoch an ihrer dunklen Färbung diagonal zur Kliffoberfläche streichende Klüfte auf, deren Öffnungsweite teilweise mit bloßem Auge nicht erkennbar ist, die aber z. T. in mm-Breite, z. T. weiter geöffnet und mit Feinsand primär oder sekundär gefüllt sein können. In Abschnitten ohne Klüftfüllung sind sie mit Eisenoxiden belegt. Der Wassertransport ist sichtbar, wenn diese Trennflächen von der Böschungsoberfläche her aufgebrochen werden.

In einer Tiefe von 7,5 bis 8,0 m unter Böschungsschulter tritt das Grundwasser an vielen Stellen des Kliffs punktiert aus Vertikal- oder Diagonalklüften oder linienartig aus ss-Klüften aus. Es fließt von hier in die vor dem Anstehenden befindliche Kliffhalde und führt zur Konsistenzänderung ihres Materials oder fließt bei starker Schüttung sogar als kleine Rinnsale in das Meer.

Meßwerte der Grundwasserförderung des Nienhagener Kliffs enthält Tabelle 5. Der Wasseraustritt an der Tropfstelle erfolgte auf einer Länge von ca. 0,50 m. Die geförderte Wassermenge reicht theoretisch aus, um innerhalb eines Tages den Wassergehalt von $2,67 \text{ m}^3$ Kliffhaldenmaterial mit einem Ausgangswassergehalt von $w_n = 0,075$ (siehe Tabelle 3) auf $w_n = w_p = 0,114$ zu erhöhen.

Daß die Trennflächen im Geschiebemergel nicht nur Wasserbewegungsbahnen darstellen, sondern auch ein relativ großes Wasserspeichervermögen besitzen, zeigt Bild 5. Die große Fördermenge von über 30 l/h während der Anfangsmessungen ist auf die Beseitigung eines Grundwasserstaus bei der Freilegung der Austrittsstelle zurückzuführen.

Literatur

CEPEK, A. G.:

Zur stratigraphischen Interpretation des Quartärs der Stoltera bei Warnemünde nach neuen Geschiebeanalysen. -
Z. geol. Wiss. 1 (1973) 9, S. 1155 ... 1171, Berlin 1973

LUDWIG, A. O.:

Stratigraphische Untersuchung des Pleistozäns der Ostseeküste von der Lübecker Bucht bis Rügen. -
Geologie, Beiheft Nr. 42, Akademie Verlag, Berlin 1964

TÜRKE, H.:

Statik im Erdbau. -
Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1984