

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Daemrich, Karl-Friedrich; Mathias, H. J.; Zimmermann, Claus
Untersuchungen zur Bemessung von Deckwerken in
Schiffahrtskanälen unter Wellenbelastung

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische
Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104143>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Daemrich, Karl-Friedrich; Mathias, H. J.; Zimmermann, Claus (1996): Untersuchungen zur Bemessung von Deckwerken in Schiffahrtskanälen unter Wellenbelastung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wellen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 9. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 199-209.

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.



Untersuchungen zur Bemessung von Deckwerken in Schiffahrtskanälen unter Wellenbelastung

- Einfluß der Deckschichtdicke auf die Stabilität der Deckschicht -

K.F. Daemrich, H.J. Mathias, C. Zimmermann

Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Beim Entwurf von Deckwerken für Schiffahrtskanäle sind im wesentlichen die folgenden Kriterien zu beachten:

- Bodenmechanische Stabilität und Filterkriterien
- Strömungs- und Wellenbelastung
- Mechanische Belastungen
- Vorschriften

Für unvergossene Deckschichten sind die charakteristischen Steingrößen und die Deckwerksdicke die für die jeweiligen örtlichen Randbedingungen zu bestimmenden Kennwerte.

Sowohl für die bodenmechanische Stabilität, bei der das Gewicht der Deckschicht der wesentliche Einfluß ist, als auch für die Strömungs- und Wellenbelastung sind die erforderliche Steingröße und die Dicke der Deckschicht sehr stark vom spezifischen Gewicht des Steinmaterials abhängig. Grundsätzlich sind bei sonst gleichen örtlichen Randbedingungen und bei höherem spezifischen Gewicht geringere Steingrößen und Deckschichtdicken erforderlich. Da nach dem Merkblatt für die Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherung an Wasserstraßen (MAR, 1993) für Regeldeckschichten D1 (ohne Verguß) derzeit lediglich ein Mindestwert der Trockenrohdichte von $\rho_s = 2,6 \text{ t/m}^3$ gefordert wird, aber unabhängig vom tatsächlich gelieferten Material die Schüttsteinklasse II und eine Deckschichtdicke von mindestens 0,6 m festgelegt werden, sind Deckwerke aus Steinen mit höherem spezifischen Gewicht insgesamt stabiler sowohl bodenmechanisch als auch gegenüber den Belastungen aus Wellen und Strömungen. Ver-

gleichbare Deckwerke aus schwererem Material als $\rho_s = 2,6 \text{ t/m}^3$ könnten danach also mit kleineren Steinen und/oder dünnerer Deckschicht ausgeführt werden.

Die Lagestabilität einer Deckschicht nimmt, bezogen auf die Belastungsgröße Wellenhöhe, nach allen Bemessungsverfahren unter sonst gleichen Bedingungen proportional zur Trockenrohddichte des Deckschichtmaterials unter Auftrieb

$$\rho'_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$$

zu, die signifikanten Steindurchmesser könnten entsprechend abgemindert werden. Inwieweit jedoch eine Abminderung der Deckschichtdicke vorgenommen werden kann, um eine vergleichbare Lagestabilität zu gewährleisten, ist mit den derzeit angewendeten theoretisch empirischen Verfahren nicht quantitativ zu berechnen.

Da diese Problematik besonders bei Steinen von Bedeutung ist, wurden im FRANZIUS-INSTITUT hydraulische Modelluntersuchungen zur Stabilität unterschiedlich dicker Deckschichten mit Steinen unterschiedlicher Trockenrohddichte durchgeführt.

2. Versuchseinrichtungen, Kenngrößen des Materials, hydraulische Randbedingungen

Die hydraulischen Modellversuche wurden im Maßstab 1:4 im Wellenkanal des FRANZIUS-INSTITUTS am Schneiderberg (WKS) durchgeführt.

Die verschiedenen Deckwerke wurden in 60 m Entfernung von der Wellenmaschine eingebaut. In Abb. 1 sind die verschiedenen Varianten dargestellt. In den Varianten A und B sind die Deckschichten auf einem geotextilen Filter (SECUTEX @351 GRK5 (Schichtdicke 2,7 bis 3 mm)) angeordnet. In Variante A ist unter dem geotextilen Filter eine 10 cm starke Tonschicht angeordnet. Aus versuchs-technischen Gründen wurde nach der 8. Versuchsserie die Tonschicht durch eine 30 cm starke Sandschicht ersetzt (Variante B). Vergleichende Untersuchungen ergaben keinen veränderten Einfluß auf die Stabilität der Deckschicht. In der Böschungsvariante C wurde zusätzlich ein Einstufen-Kornfilter (Schichtdicke 5 cm im Modell, entsprechend 20 cm in der Natur) unterhalb der Deckschicht angeordnet.

Es wurden Deckschichtdicken von $D = 60 \text{ cm}$ und 40 cm in der Natur (15 cm und 10 cm im Modell) untersucht.

Es standen drei unterschiedliche Materialien zur Verfügung:

Porphy- Steine mit einer Dichte von $\rho_s = 2,64 \text{ kg/dm}^3$

Diabas- Steine mit einer Dichte von $\rho_s = 2,94 \text{ kg/dm}^3$

Metallhüttenschlacke-
Steine MHS I und II mit einer Dichte von $\rho_s = 3,69 \text{ kg/dm}^3$

Die durch Sieben von Proben ermittelten Kornverteilungskurven des von der Fa. PEUTE zur Verfügung gestellten Materials sind zusammen mit den für Wasserbausteine Klasse II angegebenen Grenzkurven in Abb. 2 dargestellt.

In Anlehnung an die Untersuchungen von VAN DER MEER (1988) wurde zur Charakterisierung der Größenverteilung der Steine der "nominale" Steindurchmesser d_{n50} gewählt.

Der nominale Steindurchmesser eines Einzelsteins entspricht der Kantenlänge eines Würfels mit dem Volumen des Einzelsteins. Die durch Auswiegen unter Berücksichtigung der Trockenrohddichte ρ_s bestimmten Verteilungskurven der nominalen Steindurchmesser sind in Abb. 3 dargestellt.

Danach ergeben sich die folgenden kennzeichnenden Durchmesser d_{n50} :

Porphy	$d_{n50} =$	0,0315 m
Diabas	$d_{n50} =$	0,0380 m
MHS I	$d_{n50} =$	0,0255 m
MHS II	$d_{n50} =$	0,0330 m

Für die Umrechnung in Steindurchmesser D (längste Steinachse) nach KNISS (1977, 1983) gilt:

$$D = 1,6 \cdot d_n$$

Für die Korndurchmesser d_s aus Siebkurven gilt nach CERC (1984):

$$d_s = \text{rd. } 1,15 \cdot d_n$$

Zusätzlich wurden die Böschungsumformungen in der Böschungsmittle mit einer verfahrenbaren Abtasteinrichtung aufgenommen und die dynamischen Vorgänge bei der Umlagerung und Zerstörung der Deckschichten durch Videoaufnahmen dokumentiert.

Abb. 4 zeigt als Beispiel ein Plotterbild aus den Videoaufnahmen und das Böschungsprofil in Kanalmitte für eine 15 cm starke Deckschicht aus Porphy nach Zerstörung.

Da in einem Wellenkanal keine schräganlaufenden Wellen modelliert werden können, wurden statt der für die Belastung der Lagestabilität der Deckschichten üblicherweise als signifikant angenommene Heckquerwellen regelmäßige Wellen von 8 s in der Natur (4 s im Modell) (ungünstiger Periodenbereich nach VAN DER MEER (1988)) eingesteuert.

Die Versuche wurden grundsätzlich mit Wellenhöhen von $H = 10$ cm im Modell (40 cm in der Natur) begonnen. Jede Belastungsstufe umfaßte 1628 Wellen. Die Steigerung erfolgte in Stufen von 2,5 cm im Modell (10 cm Natur) bis zur Zerstörung der Deckschicht. Die Belastungsstufen wurden bei Eintritt von stärkeren Umlagerungen auf 1,25 cm im Modell abgemindert, um den Bereich der Wellenhöhe, bei welcher schließlich die Zerstörung eintrat, genauer einzugrenzen.

Als Grenzwellenhöhe wurde die Wellenhöhe bezeichnet, bei der die endgültige Zerstörung des Deckwerks eintrat (Freilegung des Geotextils oder der mineralischen Filterschicht nach Abtrag des Deckwerks). Die Grenzwellenhöhe wurde auch als Vergleichskriterium für die Stabilität der unterschiedlichen Einbauten herangezogen.

3. Ergebnisse der Untersuchungen

In Abb. 5 und Tafel 1 sind die Grenzwellenhöhen aller Versuche im Naturmaßstab zusammengestellt. Grundsätzlich ergab sich dabei die Tendenz, daß die Grenzwellenhöhen bei den geringeren Schichtdicken von 40 cm in der Natur um im Mittel 17 % niedriger waren als bei den Schichtdicken von 60 cm.

Um die mit unterschiedlichen Sieb- bzw. Kornverteilungslinien der Deckschichten gewonnenen Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurden die Grenzwellenhöhen H_{grenz} über den mit der relativen Steindichte unter Auftrieb $(\rho_s/\rho_w - 1)$ multiplizierten, mittleren nominalen Korndurchmesser d_{n50} aufgetragen.

Entsprechend der für diese Problematik angewandten Formeln (z.B. HUDSON, in CERC, 1984) ist ein linearer Zusammenhang zu erwarten und alle Ergebnisse können auf die gleichen mittleren nominalen Steindurchmesser d_{n50} (z.B. für Wasserbausteine Klasse II mit $d_{n50} = 0,15$ m) umgerechnet werden.

Die Zuordnung eines Stabilitätsbeiwertes K_{RR} ist über die entsprechend umgestellte HUDSON-Gleichung möglich:

$$W_{50} = \frac{\rho_s \cdot g \cdot H^3}{K_{RR} \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \cdot \cot \alpha} \Rightarrow \frac{H}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \cdot d_{n50}} = (K_{RR} \cdot \cot \alpha)^{1/3}$$

mit:

$$W_{50} = \rho \cdot g \cdot d_{n50}^3$$

K_{RR} = Stabilitätsbeiwert für Steingemische ($K_{RR} = 2,5$ für nichtbrechende Wellen)

In Abb. 6 sind die Ausgleichsgeraden für die Ergebnisse der gleichwertigen Versuchsvarianten A und B eingetragen.

Durch vertikale Geraden sind die untere Grenze der Trockenrohdichte nach MAR (1993) ($\rho_s = 2,6 \text{ kg/dm}^3$), für Wasserbausteine der Schüttklasse II ($d_{n50} = 0,15 \text{ m}$) und die entsprechenden Werte für Metallhüttenschlacke-Steine ($\rho_s = 3,7 \text{ kg/dm}^3$) im Diagramm gekennzeichnet.

Aus dem Vergleich der Grenzwellenhöhe für eine Deckschicht mit Steinmaterial nach den Mindestanforderungen des MAR (1993) ($\rho_s = 2,6 \text{ kg/dm}^3$) und einer Dicke der Deckschicht von 0,6 m mit dem entsprechenden Wert auf der Geraden für Deckschichten von 0,40 m Dicke ergibt sich, daß Steinmaterial mit $\rho_s = \text{rd. } 2,9 \text{ kg/dm}^3$ die Grenzwellenhöhe und damit gleiche Stabilität bei einer Schichtdicke von 0,4 m erreichen würde. Für MHS-Steine mit $\rho_s = 3,69 \text{ kg/dm}^3$ ist bei einer Schichtstärke von 0,4 m eine sehr viel höhere Lagestabilität vorhanden.

4. Schrifttum

- CERC Coastal Engineering Research Center
Shore Protection Manual, Washington, 1984
- MAR: Merkblatt, Anwendung von Regelbauweisen für
Böschungs- und Sohlensicherung an Wasserstra-
ßen,
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe,
1993
- KNISS, H.G.: Bemessung von Schüttstein-Deckwerken im Ver-
kehrswasserbau
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau,
Heft 42, Karlsruhe, 1977
- KNISS, H.G.: Kriterien und Ansätze für die technische und wirt-
schaftliche Bemessung von Auskleidungen in Bin-
nenschiffahrtskanälen
Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasser-
bau, Heft 77, Braunschweig, 1983a
- KNISS, H.G.: Kriterien und Ansätze für die technische und wirt-
schaftliche Bemessung von Auskleidungen in Bin-
nenschiffahrtskanälen
Mitteilungen der Bundesanstalt für Wasserbau,
Heft 53, Karlsruhe, 1983b
- VAN DER MEER, J.W.: Rock slopes and gravel beaches under wave attack
Delft Hydraulics, Publication No. 396, 1988

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. C. Zimmermann

Dr.-Ing. K.-F. Daemrich

Dipl.-Ing. H. J. Mathias

Universität Hannover

Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen

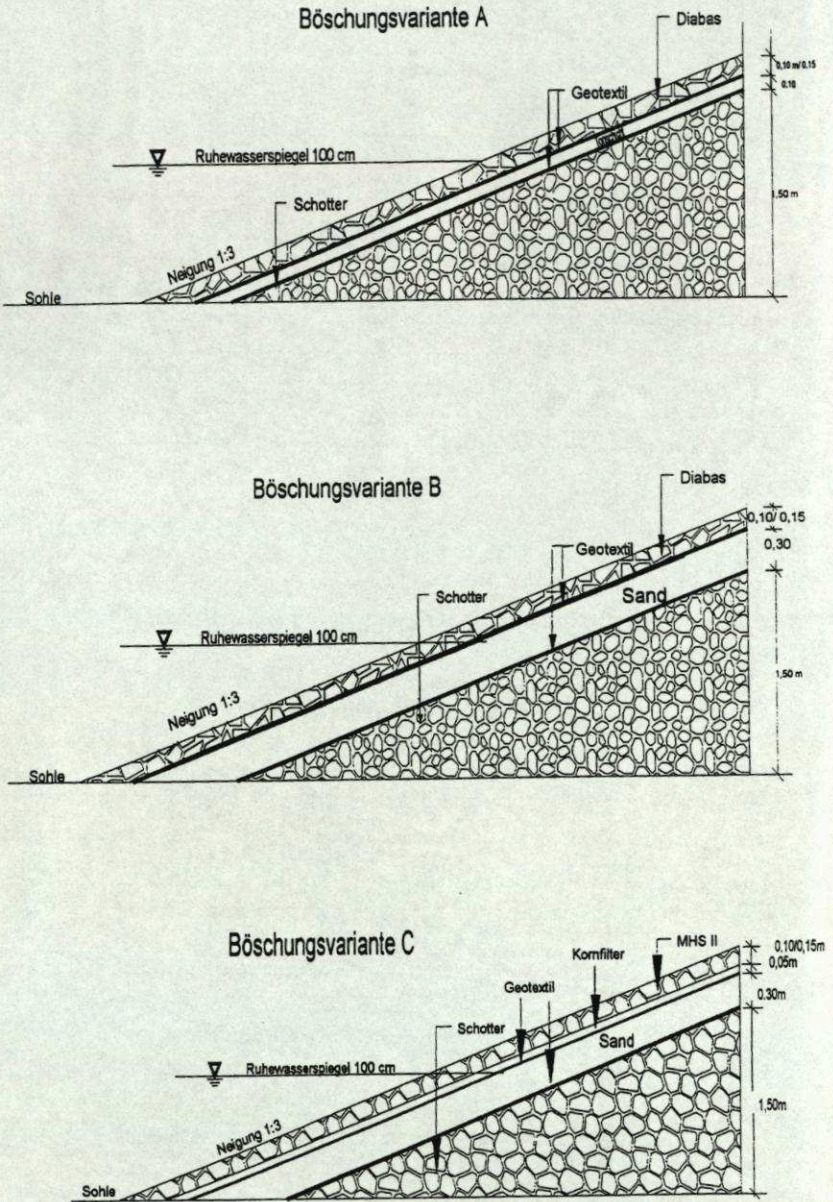


Abb. 1
Böschungsvarianten

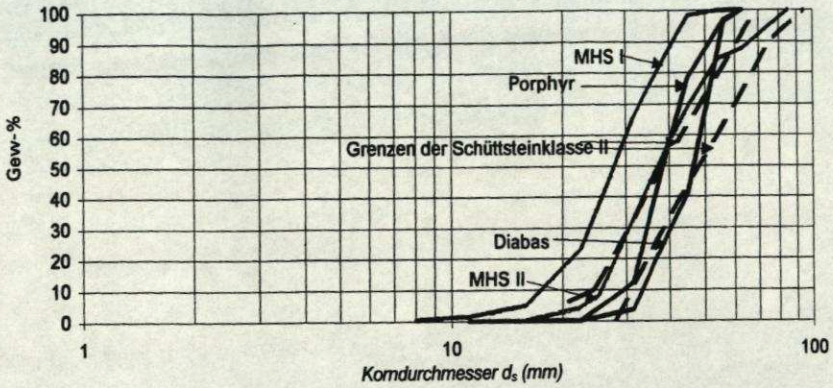


Abb. 2

Kornverteilungskurven (Sieblinien) für Diabas, MHS I, MHS II, Porphyry und Kornverteilungsband der Schüttsteinklasse II (M. 1:4)

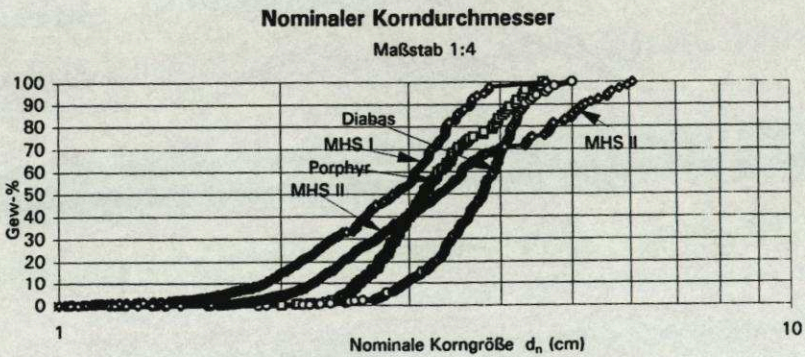


Abb. 3

Nominaler Korndurchmesser des Deckwerk-Materials

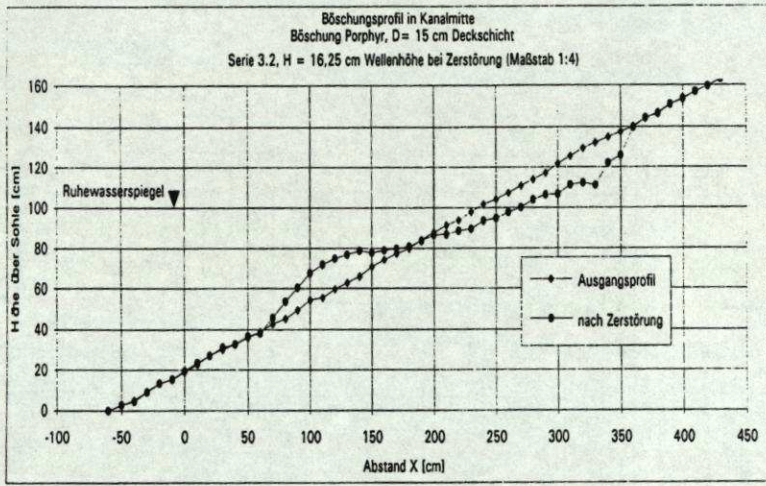
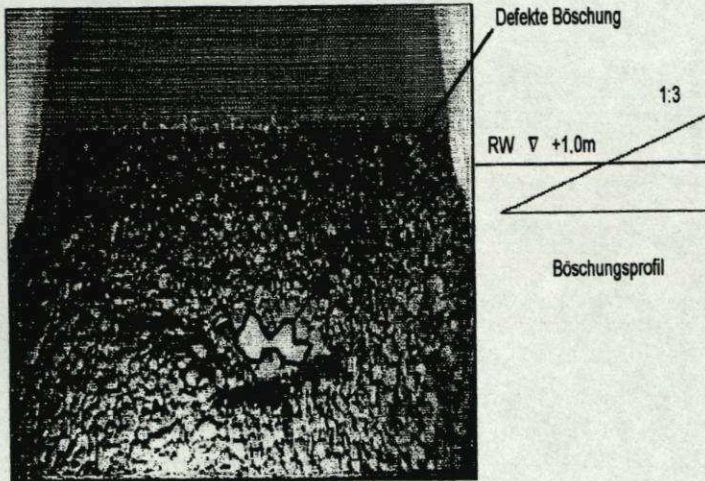


Abb. 4
 Bild des zerstörten Porphy-Deckwerks und Böschungprofil in Kanalmitte
 (D = 15 cm Deckschichtdicke)

Grenzhöhen in der Natur

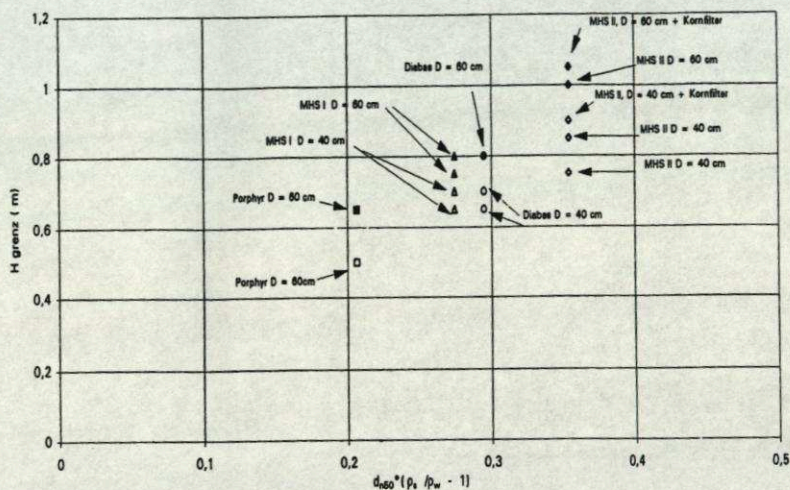


Abb.5
Zusammenstellung ermittelter Natur-Kennwerte

Modell-Werte							Natur-Werte							
Böschungs- variante	Dichte kg/m³	d ₅₀ mm	d ₁₅₀ mm	((r _r - r _w) / r _w) * d ₅₀₀	D cm	H _{Grenz} cm	Böschungs- variante	Dichte kg/m³	d ₅₀ mm	d ₁₅₀ mm	((r _r - r _w) / r _w) * d ₅₀₀	D cm	H _{Grenz} cm	
Diabas	A	2940	48	37,8	0,073332	10	16,25	A	2940	184	151,2	0,293328	10	65,00
	A					10	17,50						10	70,00
	A					15	20,00						15	80,00
	A					15	20,00						15	80,00
Porphyry	B	2840	38,5	31,5	0,05186	10	12,50	B	2840	154	126	0,20664	10	50,00
	B					15	18,25						15	65,00
MHS I	A	3690	28	25,5	0,068595	10	16,25	A	3690	112	102	0,27458	10	65,00
	A					10	17,50						10	70,00
	A					15	18,75						15	75,00
	A					15	20,00						15	80,00
	A					15	18,75						15	75,00
MHS II	B	3690	37,5	33	0,05778	10	18,75	B	3690	150	132	0,35112	10	75,00
	B					10	21,25						10	85,00
	B					15	25,00						15	100,00
	C					10	22,50						10	90,00
	C					15	26,25						15	105,00

Tafel 1
Tabelle der Kennwerte

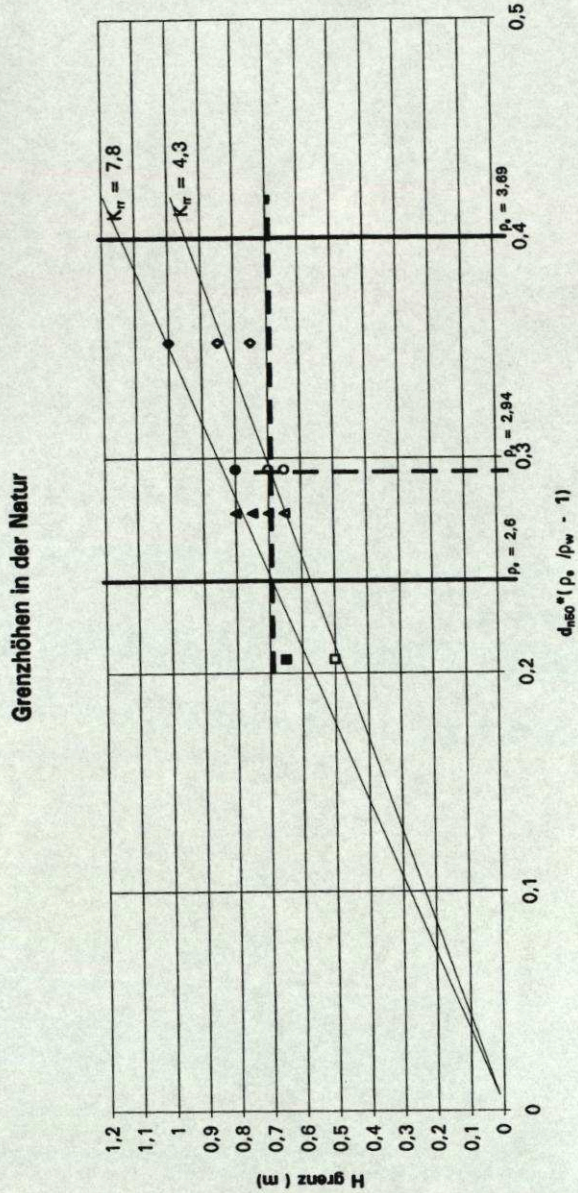


Abb. 6
Grenzwellenhöhen und Ausgleichsgeraden im Naturmaßstab