

Morphometrie einer Schutthalde

E. BRÜCKL, F. K. BRUNNER, E. GERBER und A. E. SCHEIDEGGER, alle Wien

Mit 10 Abbildungen im Text und 4 Bildern auf Tafel I—III.

Einleitung	79
I. Morphologie der Schneeklammshutthalde	81
II. Topographie eines Schuttstromes	84
III. Der Schutt der Schneeklammshutthalde	84
1. Herkunft des Schuttes	84
2. Phänomenologische Beschreibung	85
a) Sortierungsgrenzen	85
b) Übergang vom Schuttstrom zum bewachsenen Teil der Schutthalde	85
c) Anordnung in Streifen	85
d) Größe der Blöcke	85
3. Direkte Messungen der Größe und Form der Schuttstücke	85
4. Bestimmung der Korngrößen aus Photographien	88
a) Methode	88
b) Verteilung der Korngrößen längs der Schutthalde	89
c) Querprofile	89
IV. Seismische Messungen	91
1. Methodik	91
2. Meßresultate	91
3. Auswertung der Laufzeitkurven	92
4. Profil der Schutthalde	94
Zusammenfassung	95
Summary	95
Résumé	96
Danksagung	96

Schutthalden sind in Gebirgsgegenden häufige Erscheinungen. Sie entstehen durch trockene Schüttung von Lockermaterial.

Die trockene Schüttung unterscheidet sie von Schwemmkegeln, zu denen im humiden Klima Übergänge bestehen, da in diesem nie eine rein trockene Schüttung stattfindet.

Die Schüttung grenzt sie gegen Blockhalden ab, die nicht geschüttet werden, sondern an Ort und Stelle durch Verwitterung entstehen und aus Residualschutt bestehen, der sich allerdings auch hangabwärts bewegen kann und sich bei einer Hangneigung, die den Schutthalden ähnlich ist, zu diesen Übergänge zeigen.

Durch die ganz andere Form und Neigung, vor allem aber durch die moränenartige Kornverteilung unterscheiden sich Blockströme von Schutthalden.

In der Literatur findet man mancherlei Angaben über Schutthalden, die sich z. T. widersprechen. Es kommt dies daher, daß es nicht nur einen Schutthaldentyp gibt. Bei Angaben über Schutthalden ist es deshalb notwendig, zunächst die Schutthalde zu charakterisieren, auf die sich die Angaben beziehen.

In der hier beschriebenen Schutthalde stammt der Schutt aus einer Stein-schlagrinne und besteht aus Kalk. Das Material wird oft als Schuttstrom auf die Halde befördert, doch erreicht keiner der Teilströme den Haldenfuß. Aus den seismischen Untersuchungen geht hervor, daß der Schutt auf eine Halde aus Festgestein geschüttet wird, die eine Neigung aufweist, welche nahezu derjenigen des maximalen Böschungswinkels des kohäsionslosen Oberflächenschuttes entspricht.

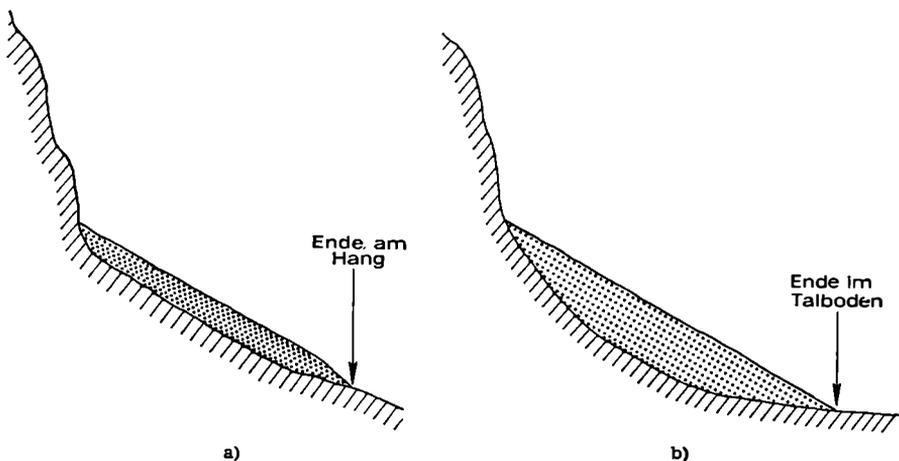


Abbildung 1

Schematik (a) einer Übergußschutthalde im Vergleich mit (b) einer Schutthalde mit Fuß im Talboden

Der Lockerschutt bildet also nur eine verhältnismäßig dünne Schicht über dem anstehenden Fels. Man kann von einer Übergußschutthalde sprechen (Abb. 1).

Diese unterscheidet sich wesentlich von einer Schutthalde, welche mit ihrer Basis einem Flachboden (Talboden) aufruft und bei der, wenn der Schutt vorwiegend aus dem Inneren des Felsmassivs stammt und aus Kluftgassen geschüttet wird, auch kaum jenen von LEHMANN (1933) berechneten Felskern aufweist. Ein solcher Schuttkegel ist im untern Ochsenkar aufgebaut worden. Ein Vergleich von Übergußschutthalden und Schutthalden, die in einen Flachboden hinabreichen, wirft Fragen auf, die weitere Untersuchungen hervor-rufen.

Für die Übergußschutthalde wurde gefunden:

(a) Die Schutthalde besteht aus mehreren, mehr oder weniger von einander unabhängigen Schuttströmen.

(b) Die mittlere Neigung eines Schuttstromes nimmt von oben nach unten ab (34.9° zu 27.4° über 300 m Höhendifferenz).

(c) Die Korngrößen des Schuttes nehmen von oben nach unten nicht zu (entgegen gängiger Meinung), sondern sind konstant. Auch die Zahl der großen Blöcke pro Flächeneinheit nimmt von oben nach unten nicht nur nicht zu, sondern sogar ab.

(d) Die verschiedenen Korngrößen sind in Streifen oder Zungen mit scharfen Grenzen angeordnet. Der Schüttungsvorgang scheint aus einer Reihe solcher Zungenbildungen, die sich durch progressive Instabilisierung und Zusammenbruch als „Miniaturschlipfe“ überlappend entwickeln, zu bestehen.

(e) Es wurde durch Grabungen bis 50 cm Tiefe festgestellt, daß die Korngröße mit der Tiefe in dieser Region abnimmt. Offensichtlich besteht ein „Siebeffekt“: die kleinen Schuttstücke fallen durch die Löcher zwischen den großen nach unten.

(f) Seismische Messungen ergaben eine zunehmende Wellengeschwindigkeit in einer 15 m dicken oberen Lockerschicht, die in eine verfestigte Schicht mit konstanter Wellengeschwindigkeit übergeht. Der Fels befindet sich in einer ziemlich konstanten Tiefe von etwa 30 m unter der Oberfläche der gesamten Schutthalde.

I. Morphologie der Schneeklammshutthalde

Für das gesamte Hochköniggebiet ist es bezeichnend, daß unter geschlossenen Wänden die Schutthaldenbildung gering ist und der Großteil der Schuttmassen aus Steinschlagrinnen und damit aus Zonen besonders intensiver Verwitterung entlang von Klüften und Kluftsystemen stammt. Das gilt auch für die Nordseite der Mannlwand, wo der Schutt vorwiegend aus Kluftgassen kommt.

Die von uns untersuchte Schutthalde erhält einen guten Teil ihres Materials aus der Schneeklamm, so daß wir sie als Schneeklammshutthalde bezeichneten. Bei dieser Schutthalde (Bild 1, Tafel I.) können gegenwärtig verschiedene Ströme unterschieden werden, die durch Vegetationszungen unterteilt werden, welche von unten weit in den Kegel hinaufreichen. Der Bestandteil mit ausgewachsenen Latschen zeigt, daß in ihrer Richtung schon lange nicht mehr geschüttet wurde. Wir können vier Schüttungsrichtungen unterscheiden, die mit a—e von Osten nach Westen bezeichnet werden (Abb. 2). a beginnt an der Ostwand des Kluftgassentrichters. Der Hauptstrom folgt der Westwand und teilt sich in drei Ströme b—d. b reicht wie a als schmaler Streifen bis weit in den Latschen- und Tannenbestand hinab. c ist der näher untersuchte Strom, der wie a und b Zungen bildet, daneben aber auch ein weiteres Schüttungsfeld d besitzt. e endlich folgt ganz dem Wandfuß und bildet den Übergang zum nächsten Schuttkegel, der ins Untere Ochsenkar reicht und dessen Boden erfüllt.

Das Klima ist niederschlagsreich (über 1500 mm), so daß beim Schütten Wasser wesentlich mitbeteiligt ist. Durch die Nordexposition und die West-Ost verlaufende Schneeklamm begünstigt, bleiben Schneereste bis in den Sommer liegen, die Wasser liefern. Die Felsgipfel reichen in die Niveauregion, die Schutthalde hinab bis unter die Waldgrenze, von wo die Vegetation in Streifen emporsteigt.

Die Schüttung hat erst nach dem Rückzug der Gletscher beginnen können und war wohl am Anfang am intensivsten. Doch ist sie heute noch rege. Der Schuttkegel ist heute noch aktiv und im Wachsen begriffen.

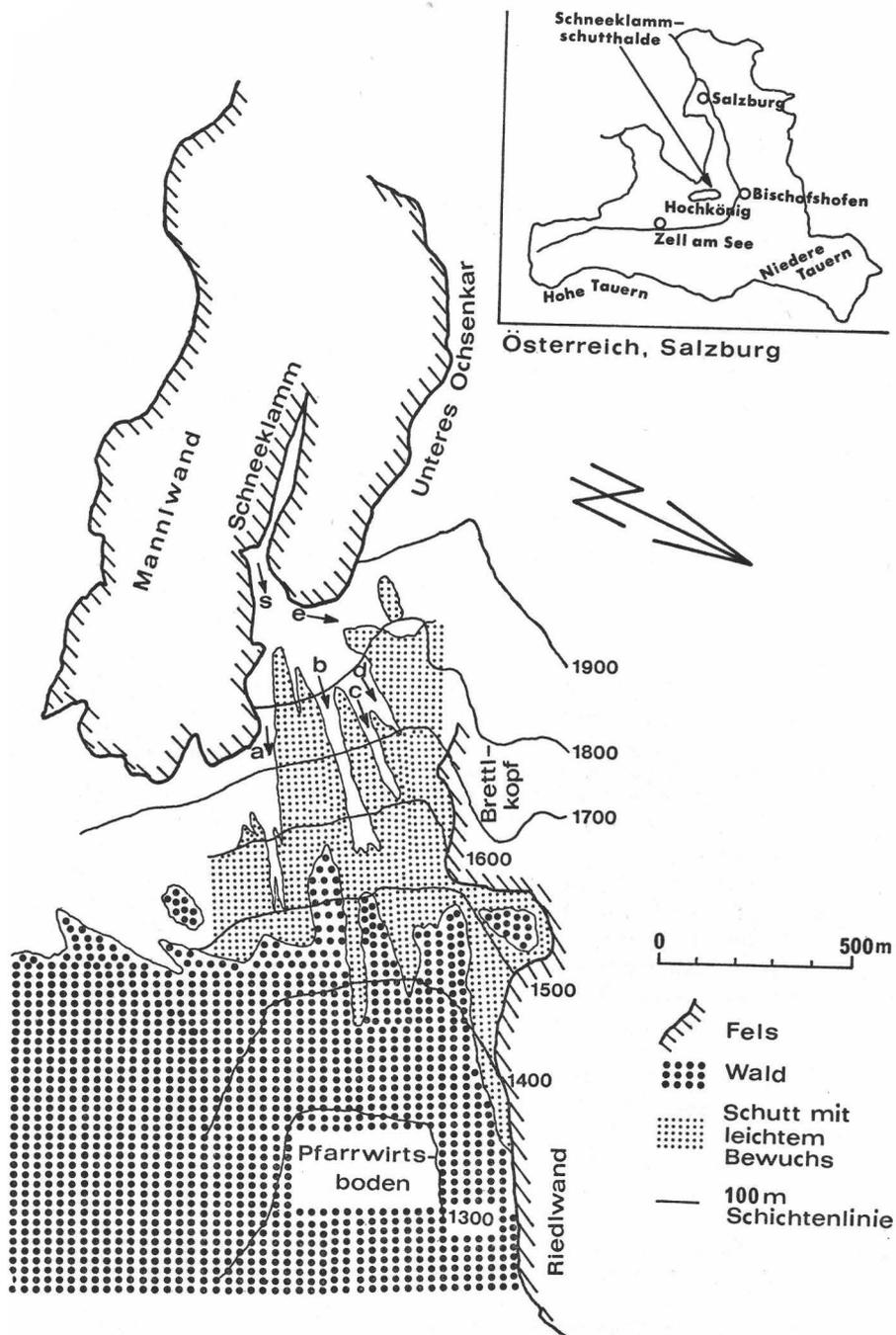


Abbildung 2: Kartenskizze der Schneeklamm-schutthalde

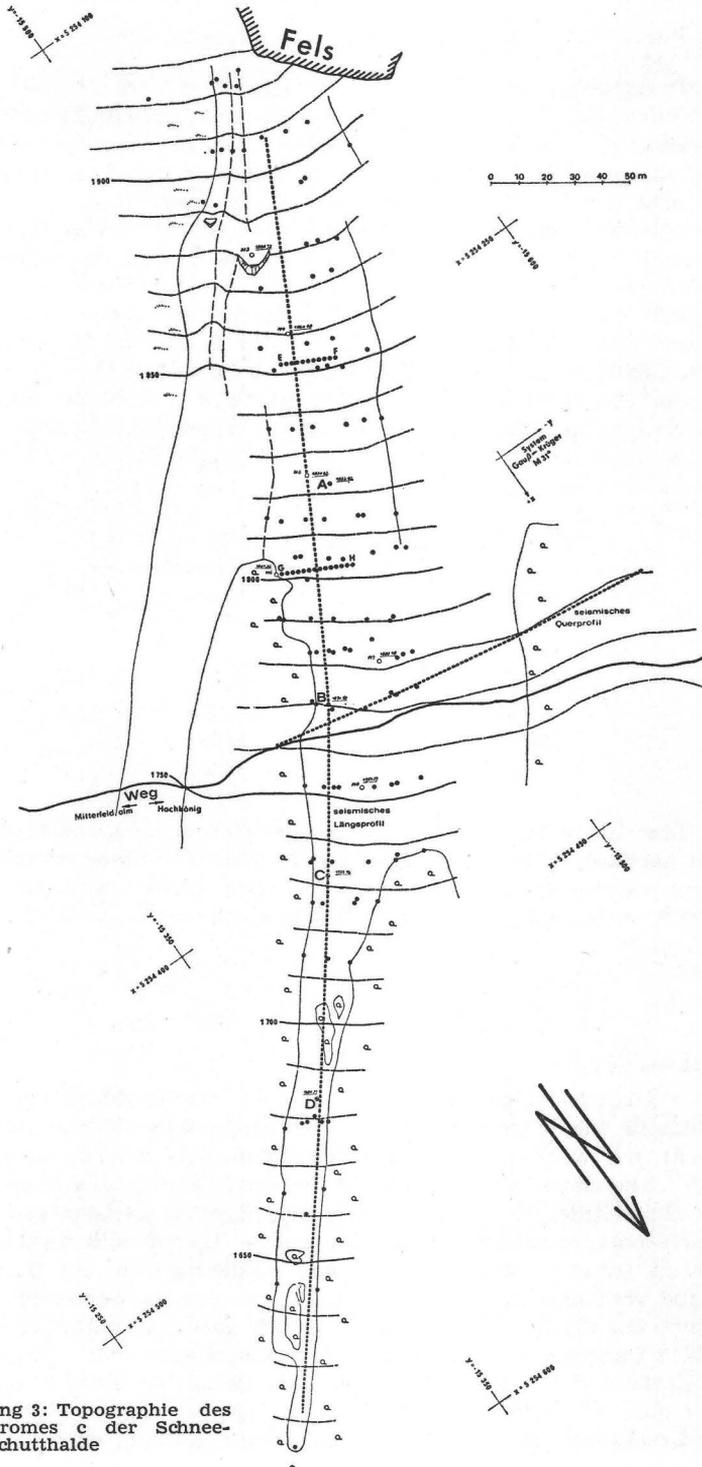


Abbildung 3: Topographie des Schuttstromes c der Schneeklammschutthalde

II. Topographie eines Schuttstromes

Die Untersuchungen beschränkten sich auf den Schuttstrom c (vgl. Abb. 3). Zur Darstellung der Topographie dieses ausgewählten Längsstreifens der Schneeklammshutthalde wurde eine topographische Aufnahme durchgeführt. In einem Längsprofil wurden zunächst vier Punkte durch 1 m lange Eisenrohre vermarktet und koordinativ durch Einzelpunkteinschaltung von Triangulierungspunkten der Landesvermessung abgeleitet. In diese vier Punkte, die in der Zukunft einer Beobachtung möglicher Bewegungen des Schuttkegels dienen sollen, wurde ein Polygonzug eingehängt, der seinerseits wieder den Ausgangspunkt für die tachymetrische Detailaufnahme bildete. Auf Grund der Lage und Höhe der Detailpunkte wurde ein Lage- und Höhenplan mit interpolierten 10-Meter-Höhenschichtenlinien gezeichnet (Abb. 3).

In diesem Plan sind 6 Hektarmarken mit ihren Koordinatenwerten des Gauß-Krüger-Systems (Meridianstreifen M 31°) eingezeichnet. Weiters sind

Tab. 1

Höhenbereich (m)	mittlere Neigung (Grad)
1600—1650	27,4
1650—1700	29,6
1700—1750	31,1
1750—1800	31,7
1800—1850	33,3
1850—1900	34,0
1900—1950	34,9

in diesem Plan die 4 Punkte für die Bewegungsmessungen, die seismischen Profile und Angaben zur Untersuchung der Korngrößenverteilung enthalten.

Die topographische Aufnahme ermöglicht eine genaue Bestimmung der Neigung des Schuttstromes c. Tabelle 1 gibt die mittleren Neigungen in Höhenintervallen von 50 m an.

III. Der Schutt der Schneeklammshutthalde

1. Herkunft des Schuttes

Das Obergehänge ist ein Teil des Ausläufers vom Hochkönigmassiv, das auf der Südseite die Mannlwand bildet. Das geschlossene Massiv ist massig und kompakt, mit wenigen so manifesten Klüften, daß dadurch einzeln aufragende Gipfel herausgebildet wurden. Im Gegensatz dazu ist der Mannlwandausläufer tief zerklüftet. Eine Hauptrolle spielen ungefähr west-ost-verlaufende Klüfte. Der Schutt des untersuchten Schuttkegels stammt auch nicht aus der Frontfelswand, sondern aus dem Innern und wiederum nicht zur Hauptsache aus nord-süd-verlaufenden Klüften, sondern aus der west-ost-verlaufenden Schneeklamm. Bis die Bruchstücke auf die Halde gelangen, haben viele einen längeren Weg zurückgelegt. Das anstehende Material zeigt kaum eine Schichtung. Der Karbongehalt beträgt 98,3%, der Quarzgehalt ist unter 2%. Es entsteht somit nur unbedeutend Feinmaterial aus Quarz, wohl aber viel Kalkstaub. Die Bruchstücke sind in die Steinschlagrinne gestürzt, dort gerollt und

zeigen deshalb Schlagspuren und gerundete Kanten. Neben Bruchstücken, die als vereinzelter Steinschlag in die Halde gelangen, ergießt sich das Material auch als Schuttstrom in die Halde.

2. Phänomenologische Beschreibung

a) Sortierungsgrenzen

Der Übergang zwischen Bereichen verschiedener Korngrenzen tritt im allgemeinen sehr rasch auf. Ein Beispiel hierfür bildet Bild 2, Tafel II.

b) Übergang vom Schuttstrom zum bewachsenen Teil der Schutthalde

Im mittleren und unteren Teil ist der kartierte Teil des Schuttstromes von Bewuchs (Gras und Latschen) eingefaßt. Am Übergang von Schutt zu Bewuchs lagern sich zumeist große mittlere Korngrößen.

c) Anordnung in Streifen

Wie schon aus der Existenz scharfer Sortierungsgrenzen zu erwarten ist, finden wir auf der Schutthalde die verschiedenen Korngrößen in Streifen angeordnet. Ein besonders langer Streifen grober Korngrößen beginnt am oberen Felssporn und reicht bis zur Verjüngung des Schuttstromes unterhalb des Weges (Bild 3, Tafel II). Eine besondere Art von Streifen bildet sich im „Schuttshadow“ von großen Blöcken. Auch hier lagern sich große Korngrößen ab. Ein ähnlicher Streifen von feinem Material, links und rechts von größerem Material begrenzt, findet sich in der Mitte der Schutthalde.

d) Große Blöcke

Eine quantitative Auswertung der großen Blöcke auf der Schutthalde konnte nicht vorgenommen werden. Ein Vergleich von Bild 2, Tafel II (oberer Teil der Schutthalde) und Bild 4, Tafel III (unterer Teil der Schutthalde) zeigt jedoch eine deutliche Abnahme der großen Blöcke pro Flächeneinheit von oben nach unten.

3. Direkte Messungen der Größe und Form der Schuttstücke

An vier Meßstellen wurden auf einer Fläche von ca. $\frac{1}{4}$ m² je 50 Schuttstücke ausgemessen und zwar in jeder Meßstelle in verschiedenen Schichten. Die Meßstellen sind im unteren Korngrößenprofil (Abb. 3) in 2,5, 11, 20,5 und 28 m Entfernung von G nach H plaziert.

Es wurden in vier Schichten Bruchstücke ausgemessen. Die tiefste Schicht liegt 50 cm unter der Oberfläche.

1. Schicht: Deckschicht von Grobschutt.
2. Schicht: feinere Unterschicht.
3. Schicht: Schutt mit erdigen Beimengungen.
4. Schicht: Schuttstücke in Feinmaterial eingebettet.

Die je 50 Werte der mittleren Durchmesser lassen sich auf verschiedene Arten darstellen.

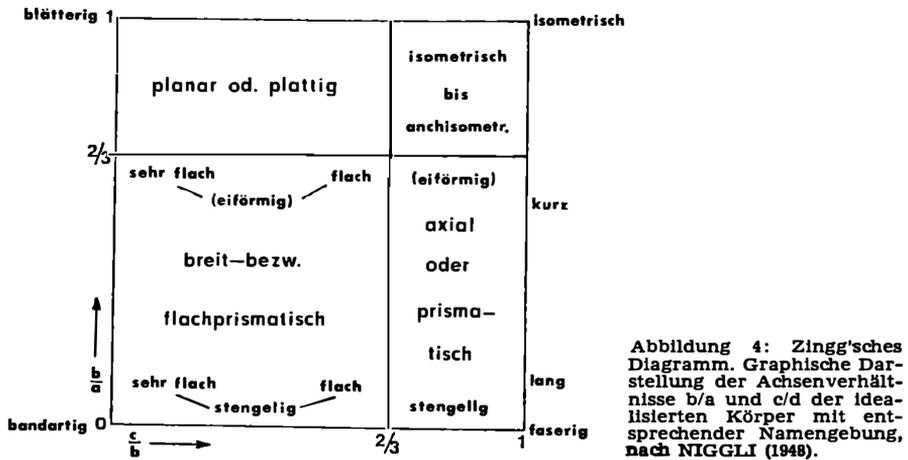
Wenn sich die Größenunterschiede in engen Grenzen halten, kann ein Maßstab mit linearen Intervallen gewählt werden. Dies ist für die Meßresultate der Schneeklammdeckenschichten ohne Berücksichtigung der Feinfraktion möglich, da wir diese ja nicht erfaßt haben. Sollen aber umfassendere Größenbereiche zur Darstellung gelangen, so ist ein logarithmischer Maßstab ange-

zeigt. Nach ATTERBERG (1912) beginnt die feinste Fraktion bei $\alpha < 0.0002$ mm (0.2μ). Die nächste umfaßt Größen zwischen 0.0002 und 0.002 mm, die dritte zwischen 0.002 mm und 0.02 mm, etc.

Die einzelnen Fraktionen lassen sich in 3 Unterfraktionen gliedern. Die Intervalle zwischen 0.2 und 2 mm heißen dann

$$0.2 < \alpha \leq 0.5 < \beta \leq 1.0 < \gamma \leq 2.0 \text{ mm.}$$

Analog läßt sich jede weitere Fraktion gliedern.



Tab. 2: Gestalt der Schuttstücke

	planar	breit bis planar prisma- tisch	iso- metrisch	pris- matisch oder axial
1. Meßstelle: 1. Schicht Stücke	29	10	31	30
2. Schicht Stücke	32,5	9,5	35,5	22,5
3. Schicht Stücke	40	10	20	30
4. Schicht Stücke	39	14	26	21
alle Schichten %	37,9	10,9	25,1	26,1
2. Meßstelle: 1. Schicht Stücke	33,5	10,5	32,5	23,5
2. Schicht Stücke	33	17	19	31
alle Schichten %	33,2	13,8	25,8	27,2
3. Meßstelle: 1. Schicht Stücke	33	8	33	26
2. Schicht Stücke	37,5	15,5	24,5	22,5
3. Schicht Stücke	27	15	22	36
alle Schichten %	32,5	12,8	26,5	28,2
4. Meßstelle: 1. Schicht Stücke	26	16	28	30
2. Schicht Stücke	36,5	22,5	10,5	30,5
alle Schichten %	31,3	19,3	19,2	30,3
alle Schichten %	33,4	13,5	25,6	27,5

Wenn man die 3 Achsen eines Schuttstückes mit a, b und c bezeichnet, kann man einen Abplattungsindex A wie folgt definieren

$$A = \frac{a + b}{2c}$$

Eine etwas verfeinerte Charakterisierung der Gestalt der Schuttstücke wird durch die beiden Verhältniszahlen b/a und c/b ermöglicht. Diese 2 Werte können als Koordinaten in sog. „Zingg'schen Quadraten“ verwendet werden, durch welche sich für jedes Bruchstück ein bestimmter Platz ergibt. Nach der Lage in diesem Quadrat können isometrische, planare, prismatische und breit- oder flachprismatische Formen unterschieden werden (Abb. 4).

Fassen wir die Resultate aller Meßstellen mit 550 gemessenen Stücken zusammen, so zeigt sich bei der Größe eine Häufung im Bereich von Grobkies und eine Streuung von Feinmaterial (< 1 cm, das quantitativ nicht erfaßt wurde!) bis zu einzelnen Blöcken. Das Maximum des Abplattungsindex liegt zwischen 1,6 und 1,8. 33,4% sind planar, 27,5% prismatisch, 25,6% und 13,5% breit- bis planarprismatisch.

Die Resultate der Messungen sind in Tabellen 2 und 3 zusammengefaßt.

Tab. 3: Korngrößen auf der Schneeklamm-Schutthalde

Hauptfraktionen u. Atterberggrade		Nur psephitisches Korn > 0,5 cm erfaßt								
		Feinkies 0—1			Grobkies 1—2			Block 2—n		
		α 0,2— 0,5	β 0,5—1	γ 1—2	α 2—5	β 5—10	γ 10—20	α 20—50	β 50— 100	γ 100— 200
1. Meßstelle										
1. Schicht					23	27				
2. Schicht				20	30					
3. Schicht			2	47	1					
4. Schicht		16	26	7	1					
Total		16	28	74	55	27				
2. Meßstelle										
1. Schicht				31	17	2				
2. Schicht				16	26	6	2			
Total				47	43	8	2			
3. Meßstelle										
1. Schicht				3	14	26	7			
2. Schicht				2	41	7				
3. Schicht		1	5	27	15	2				
Total		1	5	32	70	35	7			
4. Meßstelle										
1. Schicht			9	27	14					
3. Schicht				2	39	8	1			
Total			9	29	53	8	1			
Gesamt-Total			17	42	182	221	78	10		
in %			3,1	7,6	33,1	40,2	14,2	1,8		

Aus diesen Tabellen erhellt auch ein interessanter Verlauf mit der Tiefe (Tab. 4). In den obersten 2 Schichten liegt die häufigste Korngröße bei der Fraktion 5—10 cm; in der dritten und vierten Schicht bei 1—2 cm. Offensichtlich macht sich hier ein Siebeffekt bemerkbar; die kleineren Stücke fallen durch die Löcher zwischen den größeren hindurch und finden sich daher nur in den unteren Schichten.

Tab. 4: Korngrößen, Verlauf mit der Tiefe (alle Meßstellen)

Nur psephitisches Korn > 5,5 cm erfaßt

Hauptfraktionen u. Atterberggrade	Feinkies 0—1			Grobkies 1—2			Block 2—n		
	α 0,2— 0,5	β 0,5—1	γ 1—2	α 2—5	β 5—10	γ 10—20	α 20—50	β 50— 100	γ 100— 200
1. Schicht:									
Stücke			9	61	68	26			
%			5,5	37,2	41,5	15,9			
2. Schicht:									
Stücke				38	97	13			
%				25,7	65,5	8,8			
3. Schicht									
Stücke			5	16	55	10	1		
%			3,4	51,7	37,4	6,8	0,7		
4. Schicht:									
Stücke		16	26	7	1				
%		32,0	52,0	14,0	2,0				

E R F A S S T
N I C H T

4. Bestimmung der Korngrößen aus Photographien

a) Methode

In der Schneeklammerschutthalde wurden nicht nur direkte Messungen von Schuttstücken durchgeführt, sondern auch die Oberflächenstücke photographisch erfaßt. Dazu wurde die Oberfläche aus ca. 1,5 m Höhe photographiert und jeweils noch ein Maßstab mitabgebildet.

Für die Auswertung der Photographien ist von wesentlicher Bedeutung, daß die Korngrößen auf der Schutthalde größtenteils eine sehr gute Sortierung aufweisen. Es kann daher der mittlere Korndurchmesser als charakteristische Größe für einen kleinen Bereich innerhalb der Schutthalde angesehen werden.

Die Schätzung des mittleren Korndurchmessers erfolgt durch Vergleich von kreisförmigen Schablonen verschiedener Größe mit repräsentativen Körnern. Nach Auswahl der am besten passenden Schablone wurde mit Hilfe des mitphotographierten Maßstabes der mittlere Korndurchmesser in cm ermittelt.



Bild 1: Ansicht der Schneeklammsschutthalde

Bild 2 (auf nebenstehender Tafel II oben): Beispiel einer Korngrößengrenze

Bild 3 (auf nebenstehender Tafel II unten): Streifen grober Korngrößen



TAFEL III



Bild 4: Blöcke im unteren Teil der Schutthalde

Für mittlere Korngrößen, deren Durchmesser kleiner als 1 cm ist, wird diese Methode der Korngrößenbestimmung unzuverlässig. Daher können die entsprechenden feinkörnigen Partien der Schutthalde bei der Untersuchung der Korngrößenverteilung nur qualitativ berücksichtigt werden. Als größter mittlerer Korndurchmesser wurde 20 cm gefunden. Diese Korngröße wird nur mehr von Einzelblöcken, wenn auch teilweise sehr wesentlich, übertroffen.

Die mittleren Korngrößen von 1—20 cm wurden zu 5 Größenklassen zusammengefaßt, wie in Tabelle 5 dargestellt.

Tab. 5

Größenklasse	Durchmesser (cm)	Atterberg
1	1, 2	0—1
2	3, 4, 5	2 α
3	6, 7, 8, 9	2 β
4	10, 11, 12, 13, 14	
5	15, 16, 17, 18, 19, 20	2 γ

Diese Klassifizierung entspricht einem logarithmischen Maßstab.

b) Verteilung der Korngrößen längs der Schutthalde

Bei den rasch wechselnden mittleren Korngrößen auf der Schutthalde ist es nicht leicht möglich, die Korngrößenverteilung flächenmäßig zu erfassen. Es wurde daher ein Netz von Punkten ausgelegt, wie sie auf Abb. 4 eingetragen sind. An ihnen wurde die Oberfläche der Schutthalde photographiert und dann die mittlere Korngröße nach der oben dargelegten Methode bestimmt. Die punktweise bestimmten mittleren Korngrößen wurden dann innerhalb je einer Höhenzone von 50 m zusammengefaßt, und in Form von relativen Histogrammen lassen sich Mittelwert und Streuung der Korngrößen in einer Höhenzone errechnen. Diese Werte sind in Abb. 5 aufgetragen und es ist daraus zu ersehen, daß von oben nach unten in der Schutthalde keine systematische Änderung der mittleren Korngröße festzustellen ist. Dies drückt sich auch darin aus, daß die Streuung der Korngrößen innerhalb einer Höhenzone sich nicht wesentlich von der der Gesamtheit unterscheidet.

c) Querprofile

Neben dem Versuch, die Korngrößen über den ganzen Schuttstrom zu erfassen, wurden auch noch zwei Querprofile aufgenommen: Ein „oberes“ Profil EF etwas oberhalb der Höhenlinie 1850 m, ein „unteres“ Profil GH oberhalb der Höhenlinie 1800 m (siehe Abb. 3). Die photographischen Aufnahmen wurden wie vorhin gemacht, doch überlappten sie sich, so daß ein kontinuierliches Profil nach den in Tab. 5 definierten Klassen von 21 m bzw. 28 m erreicht werden konnte. Die Profile sind in Abb. 6 und 7 dargestellt. Mittelwert (\bar{X}) und Streuung (σ) sind auch darauf eingetragen. Es kommt in diesen Profilen zutage, daß die Profillinie „Nester“, „Zungen“ oder „Streifen“ von relativ regelmäßigen Korngrößen schneidet.

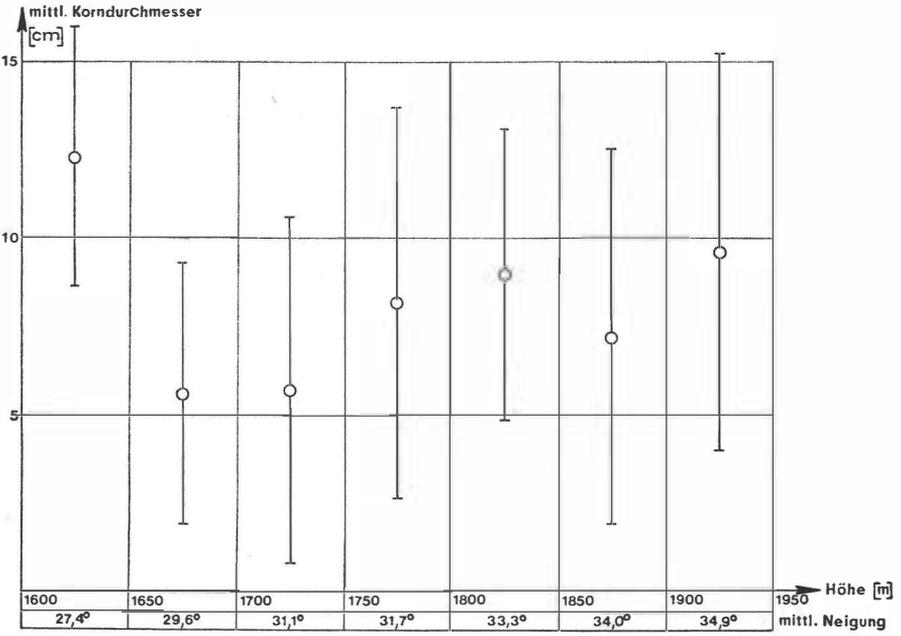


Abbildung 5: Mittelwert und Streuung der Korngrößen in verschiedenen Höhenbereichen

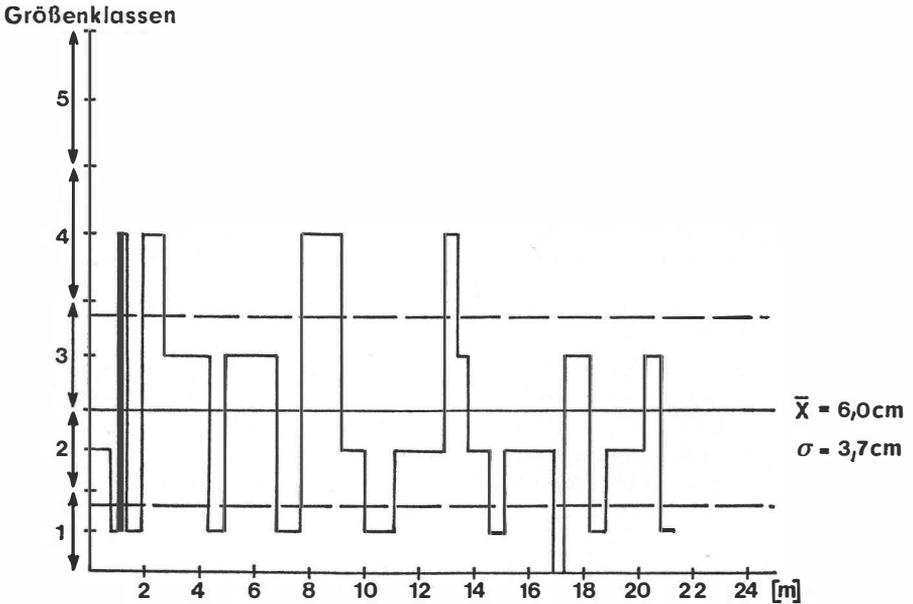


Abbildung 6: Korngrößen, oberes Profil E-F

IV. Seismische Messungen

1. Methodik

Zur Morphometrie gehörte auch eine Ergründung der Tiefenstruktur der Schutthalde. Zu diesem Zweck bieten sich hauptsächlich seismische Methoden an.

So wurden auf der Schneeklammerschutthalde seismische Messungen nach der Refraktionsmethode durchgeführt. Es wurde ein Längsprofil, das aus 10 sich überlappenden Teilprofilen zusammengesetzt war, und ein Querprofil mit 2 sich überlappenden Teilprofilen vermessen. Die Länge der Teilprofile betrug 100 m. Am oberen Ende des Längsprofils wurden auch Messungen im

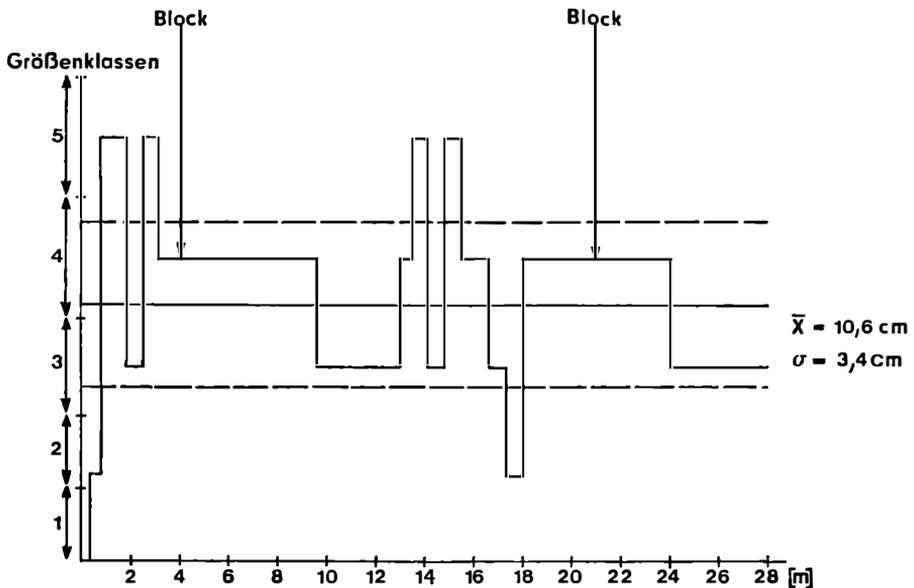


Abbildung 7: Korngrößen, unteres Profil G—H

anstehenden Fels durchgeführt. Für die Messungen stand ein Bison Enhancement Seismograph Model 1570 B zur Verfügung. Die seismischen Wellen wurden durch Hammerschlag angeregt. Die Lage der Profile ist aus Abb. 3 zu entnehmen.

2. Meßresultate

Die Ergebnisse der seismischen Messungen wurden in Form von Laufzeitdiagrammen dargestellt, von denen Abb. 8 ein Beispiel darstellt. Bei den Messungen wurden nur Ersteinsätze, also P-Wellen, ausgewertet. Es sind deutlich zwei, in manchen Fällen drei Laufzeitäste zu erkennen. Der erste Teil mit Scheingeschwindigkeiten um 500 ms^{-1} entspricht der obersten Schicht der Schutthalde und soll im Weiteren als Lockerschicht bezeichnet werden. Da innerhalb der Lockerschicht sichtlich ein Geschwindigkeitsgradient vorliegt,

wurde dieser erste Teil des Laufzeitdiagrammes durch keine Gerade angenähert. Der zweite Teil der Laufzeitdiagramme kann durch Gerade angenähert werden, deren Scheingeschwindigkeiten bei etwa 1.600 ms^{-1} liegen. Diesen Geschwindigkeiten wurde bei der Interpretation eine tiefergelegene, verfestigte Schicht der Schutthalde zugeordnet. Bei etwa der Hälfte aller Profile findet sich noch ein dritter Laufzeitast mit Scheingeschwindigkeiten um 3.000 ms^{-1} . Dieser dritten Schicht wurde der felsige Untergrund der Schutthalde zugeordnet.

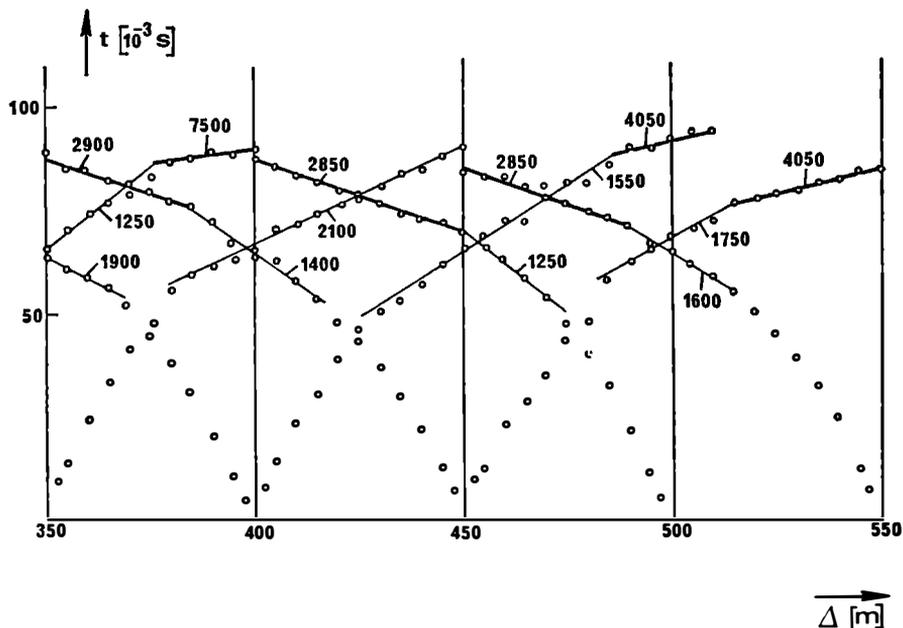


Abbildung 8

Beispiele von Laufzeitkurven: Die Laufzeitdiagramme zeigen die Gliederung in drei Äste, von denen der erste der Lockerschicht, der zweite der verfestigten Schichten und der dritte dem Felsuntergrund entspricht. Die bei den einzelnen Ästen der Laufzeitdiagramme stehenden Zahlen bedeuten die Scheingeschwindigkeit in m/sec.

3. Auswertung der Laufzeitkurven

Zuerst wurde die Berechnung des Verlaufes der P-Wellengeschwindigkeit mit der Tiefe innerhalb der Lockerschicht untersucht. Um einen repräsentativen Einblick zu gewinnen, wurde aus allen Registrierungen eine mittlere Laufzeitkurve gebildet. Trägt man die sich daraus ergebenden Scheingeschwindigkeiten v_{Δ} entlang der Profildistanz Δ auf, so wird ersichtlich, daß $v_{\Delta}(\Delta)$ sehr gut durch die Gerade

$$v_{\Delta} = 340 \text{ ms}^{-1} + 19 \text{ s}^{-1} \cdot \Delta \quad (1)$$

approximiert werden kann.

Mit Hilfe des Wiechert-Herglotz-Verfahrens [GRANT and WEST (1965, Seite 139)] kann aus Gleichung (1) der Verlauf der P-Wellengeschwindigkeit mit der

Tiefe errechnet werden. In guter Annäherung an die exakte analytische Lösung ergibt sich:

$$v(z) = 170 \text{ ms}^{-1} + 170 \text{ ms}^{-1} \sqrt{1 + 1,86 \text{ m}^{-1} \cdot z.} \quad (2)$$

Die Scheingeschwindigkeiten wurden bis zu einem Wert von etwa 740 ms^{-1} beobachtet. Dem entspricht nach Gleichung (2) eine Tiefe von $5,5 \text{ m}$. Für die

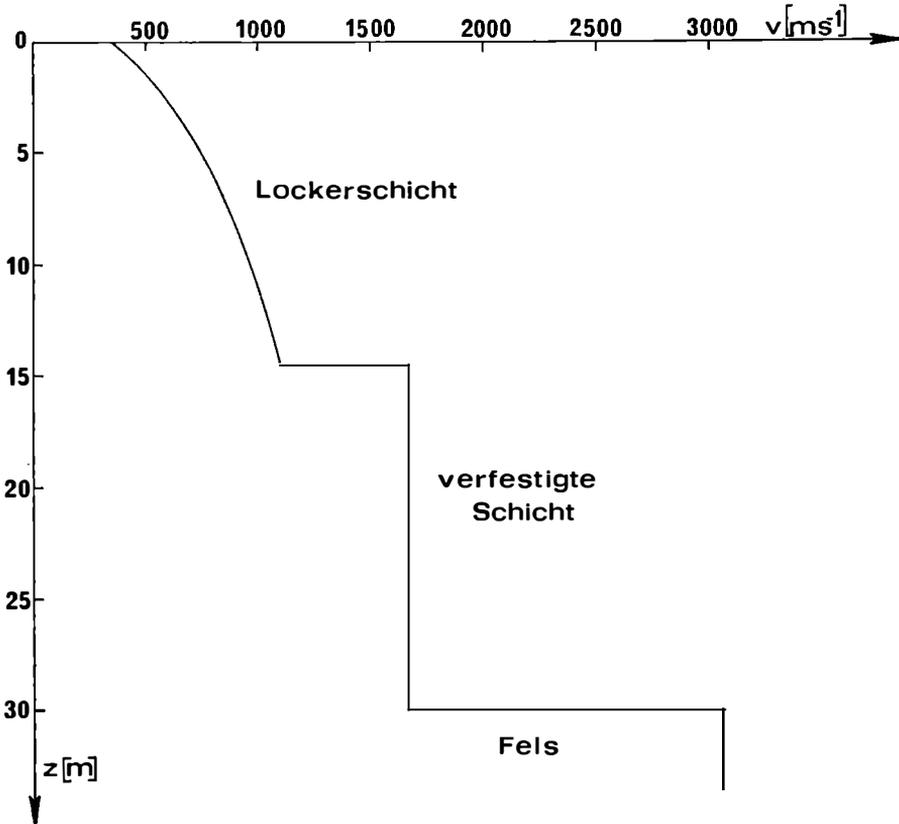


Abbildung 9: Verlauf der P-Wellengeschwindigkeit mit der Tiefe im Schneeklammerschuttkegel

Bestimmung der Mächtigkeit der Lockerschicht soll angenommen werden, daß Gleichung (2) innerhalb der gesamten Lockerschicht Gültigkeit hat.

Wie aus den Laufzeiten ersichtlich ist, sind für die Mächtigkeiten der Lockerschicht keine großen Schwankungen zu erwarten. Es soll daher nur für mittlere Werte der „intercept time“ und der Geschwindigkeit in der verfestigten Schicht der Schutthalde die Mächtigkeit der Lockerschicht unter Verwendung von Gleichung (2) erfolgen. Diese mittleren Werte betragen für die „intercept time“ $t_{01} = 35 \times 10^{-3} \text{ s}$ und für die Geschwindigkeit der P-Wellen in der verfestigten Schicht $v_1 = 1640 \text{ ms}^{-1}$. Es ergibt sich daher der in Abb. 9 ge-

zeigte Geschwindigkeitsverlauf. Die „intercept time“ kann am Schnittpunkt der entsprechenden Laufzeitgeraden mit der Zeitachse des Laufzeitdiagrammes abgelesen werden.

4. Profil der Schutthalde

Es ergibt sich somit das Problem der Mächtigkeitsbestimmung einer Schicht, die einen Geschwindigkeitsgradienten aufweist. Das Lösungsverfahren hierfür ist in GRANT and WEST (1965, Seite 153) beschrieben. Mit den oben angegebenen mittleren Werten für t_{01} und v_1 und unter Verwendung von Gleichung (2) erhält man für die mittlere Mächtigkeit der Lockerschicht $h = 14,5$ m.

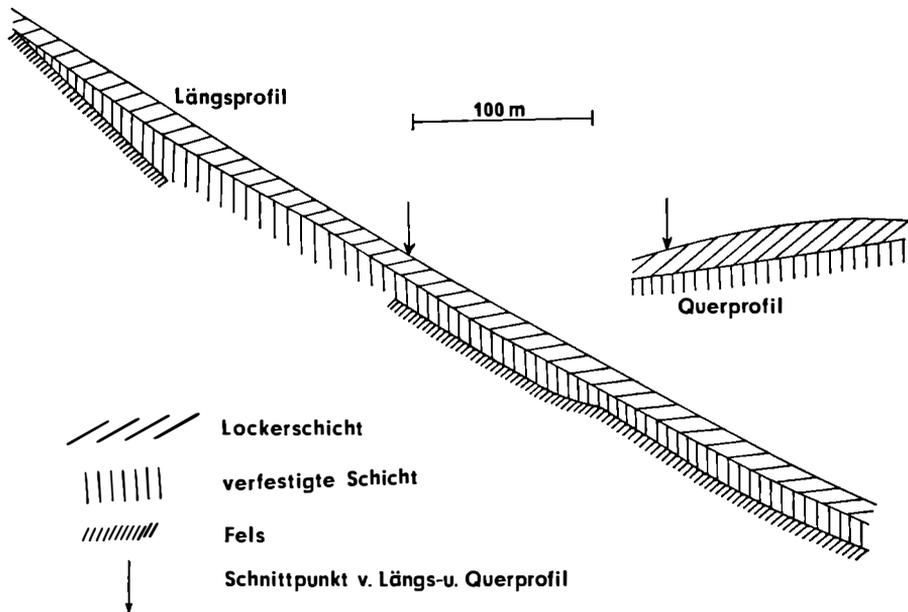


Abbildung 10: Seismische Profile durch die Schneeklammerschutthalde

Für die Berechnung der Mächtigkeitsänderungen der Lockerschicht und für die Bestimmung der Tiefe des Felskerns unter der Schutthalde wurde für die P-Wellengeschwindigkeit in der Lockerschicht ein konstanter Wert von $v = 740 \text{ ms}^{-1}$ angenommen. Dies ergibt im Mittel die gleiche Tiefe, wie die Auswertung mit Gleichung (2). Die Auswertung wurde nach den Standardverfahren für ebene Schichten [DOBŘIN (1960)] durchgeführt. Die Tiefenlage des Felskerns konnte nur auf etwa der Hälfte der gesamten Profillänge bestimmt werden. Abb. 10 zeigt die seismisch ermittelten Profile durch die Schneeklammerschutthalde. Die vermessenen Profile sind auch in Abb. 4 angegeben. Im unteren, auswertbaren Teil des Längsprofils beträgt die Mächtigkeit der Schutthalde etwa 30 m. Lockerschicht und verfestigte Schicht sind dabei etwa gleich mächtig. Am oberen Ende des Längsprofils keilt die verfestigte Schicht aus und der Felskern taucht unter einem Winkel von 50° weg. Die

Geschwindigkeiten v_1 schwanken zwischen 1.300 ms^{-1} und 2.000 ms^{-1} und zeigen keinen systematischen Gang entlang der Profile. Im unteren Profilabschnitt betragen die Geschwindigkeiten im Fels im Mittel $v_2 = 3080 \text{ ms}^{-1}$, während im obersten Teilprofil ein Wert von $v_2 = 2.500 \text{ ms}^{-1}$ ermittelt worden ist. In der Profilverlängerung nach oben wurde am anstehenden Fels eine Geschwindigkeit $v_2 = 2.300 \text{ ms}^{-1}$ gemessen. Dies ist ein Mittelwert aus zwei zueinander senkrecht stehenden Meßprofilen von je 15 m Länge. Darin äußert sich, daß entlang der Schutthalde ein Gesteinswechsel stattfindet.

L i t e r a t u r

- ATTERBERG, K.: Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. In: Internationale Mitteilungen für Bodenkunde. Bd. 2, 1972, Heft 4. 312—342.
- DOBRIN, B. D.: Introduction to Geophysical Prospecting. McGraw-Hill Book Company. 2. Aufl., 1960. 446 Seiten.
- GRANT, F. S. and WEST, G. F.: Interpretation Theory in Applied Geophysics. McGraw-Hill Book Company, 1965. 584 Seiten.
- LEHMANN, O.: Morphologische Theorie der Verwitterung von Steinschlagwänden. In: Viertelj. Schr. Naturf. Ges. Zürich. LXXV, 1933, III. S. 83—126.
- NIGGLI, P. und NIGGLI, E.: Gesteine und Mineralagerstätten. 1. Bd. Allgemeine Lehre von den Gesteinen und Mineralagerstätten. Basel, Verlag Birkhäuser, 1948. 540 Seiten.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wurde eine topographische, morphologische und geophysikalische Untersuchung einer Schutthalde im Hochköniggebiet (Österreich) durchgeführt. Es wurde gefunden, daß die Schutthalde aus mehreren, mehr oder weniger von einander unabhängigen Schuttströmen besteht. Die mittlere Neigung eines Schuttstromes nimmt von oben ($34,9^\circ$) nach unten ($27,4^\circ$) über 300 m Höhendifferenz ab. Die Korngrößenverteilung ist auf der gesamten Halde dieselbe (die Korngrößen des Schuttes nehmen von oben nach unten *nicht* zu). Die verschiedenen Korngrößen sind in Streifen oder Zungen angeordnet; dies weist darauf hin, daß sich die Aufschüttung der Halde durch eine Reihe sich überlappender Miniaturrutsche ereignet. Die Korngröße nimmt mit der Tiefe ab, was auf einen Siebeffekt hinweist (kleine Körner fallen durch die Löcher zwischen den größeren). Seismische Messungen ergaben das Resultat, daß 3 Schichten existieren: 1. Eine 15 m dicke lockere Oberschicht, 2. eine verfestigte Schicht zwischen 15 und 30 m Tiefe und 3. darunter eine Felsschicht. Die Schuttmantelmächtigkeit (erste und zweite Schicht) ist auf der gesamten Schutthalde ungefähr konstant.

S u m m a r y

Morphometry of a scree slope

A topographic, morphologic and geophysical investigation of a scree slope in the Hochkönig area of Austria was made. It was found that the scree slope consists of various independent scree streams; the average inclination decreases from top (34.9°) to bottom (27.4°) over 300 m of elevation. The debris size distribution does not change over the slope (there is no increase in sizes from top to bottom). The individual sizes are distributed in stripes and tongues; this points to the fact that the buildup of the slope occurs in the form of miniature overlapping landslips. The gravel size decrease with depth points to a sieving effect (small pieces fall through the holes between large ones). Seismic measure-

ments yielded the result that there are 3 layers: a layer on top, some 15 m thick, a consolidated layer to a depth of 30 m and rock below. There is no significant variation of the depth to rock over the entire scree slope.

R é s u m é

Morphométrie d'un talus d'éboulis.

Des recherches topographiques, morphologiques et géophysiques furent faites sur un talus d'éboulis dans la région du massif du Hochkönig en Autriche. On peut constater que ce talus d'éboulis consiste en plusieurs courants d'éboulis plus ou moins indépendants l'un de l'autre. La pente moyenne diminue de 34,9° en haut à 27,4° en bas sur une différence d'altitude de 300 m. La disposition de débris selon leur grandeur est à peu près constante sur le talus entier (la grandeur de débris n'augmente pas du haut en bas). Les débris de diverse grandeur sont arrangés en forme de bandes ou de languettes; ceci prouve que la formation du talus s'effectue par une série d'éboulements superposés en miniature. La grandeur de débris diminue vers l'intérieur du manteau ce qui indique l'existence d'un effet de tamisage: les grains plus petits tombent dans les trous entre les débris plus grands. Une exploration séismique du talus a donné comme résultat l'existence de trois couches: 1° une couche supérieure peu cohérente dont l'épaisseur est de 15 m; 2° une couche consolidée entre 15 et 30 m de profondeur et 3° une couche rocheuse. L'épaisseur du manteau d'éboulis (donc de la 1^{re} et de la 2^e couche) est à peu près la même sur le talus entier.

D a n k s a g u n g

Die Arbeit ist eines der Ergebnisse der Untersuchungen, welche vom Institut für Geophysik der Technischen Hochschule Wien im Rahmen der Internationalen Geodynamik Projects durchgeführt werden. Dieses Projekt wird von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durch das Geodynamik Komitee unter dem Vorsitz von Prof. Dr. F. STEINHAUSER großzügig unterstützt, was hier dankbar erwähnt sei. An dieser Stelle sei auch Herrn Peter CARNIEL für seine Hilfe bei den Feldarbeiten gedankt.