

## Die Entstehung von Geröll-Osern (Esker)

KARL GRIPP \*)

Ice-bordered channels, subglacial tunnels, hydrostatic pressure, esker

**Zusammenfassung:** Die Entstehung der von TANNER für die Bildung von Geröll-Osern postulierten Kanäle mit Eiswänden wird durch Schwinden des Tunnel-Daches von unten und oben gedeutet. Der am Tunnel-Ausgang stoßweise auftretende hohe hydrostatische Überdruck bestimmt die Höhe der Os-Aufschüttung. Beim Schwinden des Inlandeises neben dem Os verbleiben unter dem Hangschutt Toteis-Leisten (HOPPE 1952). Deren breiter unterer Teil läßt an der Flanke des Oses vorübergehend eine Stufe entstehen, auf der Wasser und Wind feinkörnigen Hangschutt neu sedimentieren. Durch Schwund der Reste der Toteis-Leisten entstehen bezeichnende Lagerungsstörungen.

### [The Origin of Pebble Eskers]

**Abstract:** The formation of ice-bordered channels essential to the emergence of eskers according to V. TANNER is caused by melting of the roof of the subglacial tunnels both from below and from above. Intermittent high hydrostatic pressure in the tunnelsystem by snow-melting in early summer determines the thickness of the esker-deposits. When the ice melts down on both sides of the esker talus of the slopes covers ledges of dead-ice (HOPPE 1952). The broad lower part of the buried ice causes steps on the slopes of the esker for a time. Fine grained detritus is deposited by wind and water action. When the remnants of the dead-ice melt these deposits are disturbed in a characteristic manner.

### 1. Einleitung

Die Geographen PRICE (1973), EMBLETON & KING (1975) und SUGDEN & JOHN (1976) haben über zahlreiche Beobachtungen an rezenten „Eskern“ berichtet. Auch das Vorkommen von Eisleisten an deren Seiten wird erwähnt (SUGDEN & JOHN 1976: 328). Aber die Folge der einzelnen Vorgänge bis zum heutigen Zustand eines Geröll-Oses wird nicht aufgezeigt. Daher soll nachstehend erörtert werden, wie weit für einen Geologen die Vorgänge bei Aufschüttung und Abtrag eines solchen Oses geklärt sind.

Da bei den am Rande des Inlandeises auf dem Lande abgelagerten Osern das Grundgeschehen am einfachsten gewesen sein dürfte, soll deren Entstehung untersucht werden. Hierzu wurden Oser in Finnland, Süd-Schweden und auf den dänischen Inseln besucht. Den Kollegen A. Berthelsen, Kopenhagen, Å. Hillefors, Lund, Steen Sjörring, Kopenhagen, und K. Virkkala, Helsinki, bin ich für Führungen im Gelände, Hinweise und Überlassung von Literatur sehr zu Dank verpflichtet.

### 2. Die Vielfalt der Anschauungen über die Entstehung von Geröll-Osern

Britische Geographen behandelten die Frage nach der Entstehung der Oser (Esker) eingehend. PRICE (1973) studierte z. T. aus mit mehrjährigem Abstand aufgenommenen Luftbildern die Oser des Casement Claciers (Alaska). Leider ist dies ein von Schutt überdeckter Gletscher. Daher konnte die Frage, ob der Os-Schutt supra-, in- oder subglazial abgelagert war, nicht entschieden werden. Unerörtert blieb, wie weit das in den Eskern beobachtete Eis Unterlage oder seitlich des Oses überschüttetes Rest-Eis war. Solches hatte HOPPE (1953) bekannt gemacht. Zudem entspricht Fig. 58.1 bei PRICE in der Verteilung

\*) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. K. Gripp, Klosterstraße 22, 2400 Lübeck.

des Schuttes und der doppelten First-Reihe im Endstadium nicht dem, was die Natur aufzeigt. Hier, wie bei den vom gleichen Autor auf Island untersuchten Osern, fehlen leider Angaben über die Breite des Zehrgebietes und vor allem über die Höhenlage der obersten Bachschwinden, die den Überdruck bedingen.

EMBLETON & KING (1975: 493) äußern sich folgendermaßen: Eskers which originate on the ice... have ice-cores. Others are laid down englacially or subglacially and may have been built up within the ice to the level of the englacial watertable. ... Most eskers were probably deposited in channels within or beneath stagnant ice. SUGDEN & JOHN (1976: 281—291) haben eingehend über das Verhältnis von Wasser und Eis im Tunnel-System berichtet. Auf S. 325—331 werden die Esker behandelt. Die Ergebnisse von TANNER und HOPPE sowie neuere Literatur werden verwertet. Aber in der Zusammenfassung S. 330 lesen wir: Eskers form only when stream velocity is falling... Some eskers may form in tunnel in the late summer and be destroyed during the following early summer flood. Bei PRICE (1973), SUGDEN & JOHN (1976) sowie EMBLETON & KING (1975) wird weitgehend lokales und momentanes Geschehen als während längerer Zeiträume eingetreten erachtet. Die Änderungen während des Jahresablaufes werden nicht oder unrichtig bewertet. Ungesicherte Möglichkeiten wie stagnant ice werden überbewertet. Am Eisrand wechselt jedoch nach heutigem Wissen heftiges Fließen des Eises mit langsamem Fließen und teilweise vorübergehendem Stillstand ab. Auch der Geologe WEST (1972: 34) berichtet: Eskers can not occur during the advance of ice and they are therefore a sign of ice stagnation, being formed during the thinning and stagnation of the terminal zone of the ice, when meltwater was abundant. Ebenda wird für einen Esker in Norfolk angegeben: A crevasse formed where stagnation ice was under pressure on the brown (Augenbraue, Stirn) of a ridge, was filled... by a stream.

Für die Oser auf dänischem Gebiet nahm HANSEN (1965: 70) an, sie seien in einem Gürtel von Toteis in Tunneln und Spalten entstanden. Horizontal liegende Schotter im Os-Kern werden als Alpha-Lagen, die (nur bei Aufpressungs-Osern vermuteten) steil einfallenden Schichten an den Flanken der Oser als Beta-Lagen bezeichnet. Damit scheint erstmalig die primäre Kern-Füllung vom sekundären Hangschutt getrennt worden zu sein.

Für RASMUSSEN (1966: 97—99) wurden die von Schmelzwässern erzeugten Tunneltäler später von Eiszungen erfüllt. Darin entstanden in bedeutend kleineren Tunneln die Oser. Dies geschah teilweise im Toteis, von dessen Oberfläche fließende Grundmoräne auf das Os gelangen konnte.

Aus Schweden liegt die letzte Zusammenfassung über Rullstensasarnas bildungssätt in MAGNUSON & LUNDQUIST & REGNÉLL (1963: 449 f.) vor. Danach gelangte Schmelzwasser auf den Grund des Inlandeises. Infolge dessen großer Mächtigkeit stand das Wasser dort unter starkem Druck. Es konnte daher in Tunneln Höhen überschreiten und Gesteinsschutt verfrachten. Dieser blieb liegen, wo der hydrostatische Überdruck nachließ.

Nach der von TANNER (1937: 452) vertretenen Anschauung sollen die Oser Finnlands in supraglazialen Eiskanälen abgelagert sein.

In deutscher Sprache erörterten WAHNSCHAFFE & SCHUCHT (1921: 202—215) eingehend die Entstehung der Oser. Sie wiesen darauf hin, daß nach KORN (1913) Oser an den Ufern von Schmelzwasser-Rinnen in Toteis entstanden. Wenn das Dach der später „Tunneltäler“ genannten Wasserläufe einbrach, entstanden Spalten, in denen subglazial Wasser flossen, die Oser aufschütteten. Also seit damals: Toteis, Spalten und Tunnel in Tunnel! 1948 vertrat v. KLEBELSBERG (1948: 293—294) abwägend die Ansicht, Oser seien in- und subglazial entstanden. Ablagerungen in inglazialen Tunneln würden von fließendem Eis verschleppt, daher seien Oser bei relativer Ruhelage des Eises, also nicht in vorrückendem Eis, aufgebaut. Solches könne zudem nur bei abgebremstem Fließen des Wassers geschehen.

Zur Entstehung der Oser seien noch die Ansichten von zwei Autoren wiedergegeben. SCHWARZBACH (1964: 241) schreibt: „Als schmale, manchmal einem Eisenbahndamm ähnliche und mehrere Kilometer lange Hügelrücken erscheinen heute die Sand- und Kiesablagerungen der pleistozänen subglazialen Flußrinnen.“ RICHTER (1971: 189) definiert Oser „als langgestreckte Wallberge, die auf oder zwischen Toteismassen entstanden.“ In dem jüngsten deutschen Schrifttum heißt es bei WOLDSTEDT & DUPHORN (1974: 33): Oser sind als Ablagerungen subglazialer Schmelzwasserflüsse in Eistunneln und -spalten aufzufassen. LIEDTKE (1975: 33) meint: Oser seien supraglazial oder in- und subglazial zu einer nicht mehr bewegten Inlandeismasse aufgeschüttet worden.

Diese Übersicht bekundet, daß die für die Entstehung von Osern grundlegenden Vorgänge noch nicht aus einer Vielfalt von Vorgängen und Deutungen herausgeschält sind. Um dies nach Möglichkeit zu erreichen, sei der einfachste Os-bildende Vorgang untersucht. Dieser ist nicht bei Talgletschern zu erwarten, sondern in der Randzone des auf festem Untergrund fließenden Inlandeises, z. B. an den Geröll-Osern Finnlands, Schwedens und einiger angrenzender Gebiete.

Von rezenten Osern werden die Beobachtungen auf Island (TODTMANN 1960, HOPPE 1953) und Spitzbergen (KOSIBA 1960, ROTNICKY 1960; SZUPRYCZYNSKI 1965) im Text herangezogen.

### 3. Entstehung und Aufbau eines Geröll-Oses

Die Geschichte eines Geröll-Oses umfaßt zwei Abschnitte: **A u f b a u** durch Schmelzwasser im Randbereich des Inlandeises und **Z e r f a l l** bei Schwinden des Landeises und nachfolgendem periglazialen Geschehen.

Geröll-Oser sind Ablagerungen von Schmelzwasser-Bächen, die das Inlandeis von der Oberfläche bis zum Untergrund in einem Tunnel-System durchflossen haben. Nur an der Basis des Eises nahmen sie Schutt aus der Untermoräne und gegen den Eisrand hin auch aus der Grundmoräne auf <sup>1)</sup>. Durch zeitweise aufgetretenen erheblichen hydrostatischen Überdruck wurde dieser Gesteinsschutt weiter verfrachtet.

#### 3.1. Die Grundbedingungen der Aufschüttung

1. Offenbleiben des Röhren-Systems;
2. Hochgelegenes Zehrgebiet, um zeitweise erheblichen Überdruck in und am Ausgang des Tunnelsystems zu haben;
3. Ein langer distaler Teil des subglazialen Tunnels, in dem Gletscherschutt vom Schmelzwasser aufgenommen werden kann und
4. Anhäufung des verfrachteten Schutts vor und hinter dem Tunnelende.

##### 3.1.1. Schmelz- und Regenwasser

sammelte sich im Zehrgebiet des Inlandeises in flachen Senken zu Seen und Eissümpfen. In Bächen floß es von dort weiter. Die Hauptmenge des Schmelzwassers entstand durch die schnelle frühsummerliche Schneeschmelze.

##### 3.1.2. Gletschermühlen

Schon im oberen Teil des Zehrgebietes fiel Wasser in Schwinden (Gletscher-Mühlen). Deren Höhenlage bestimmte den höchstmöglichen Wasserspiegel und damit das Ausmaß des am Tunnelende entstehenden Überdrucks.

<sup>1)</sup> TODTMANN (1960: 57) erörtert die Möglichkeit, daß Wasser abwechselnd in- und subglazial flossen. Die Verfasserin hat anscheinend nicht Eis u n t e r dem Os von Resteis an dessen Flanke unterschieden. Siehe deren Abb. 23 und 34. In den Abb. 62 und 64 werden subaerische Abschnitte weiterhin inglazialer Bäche abgebildet. Hier dürfte es sich um örtlich bedingte Sonderfälle handeln.

### 3.1.3. Die Schmelzwässer

Die Wässer an der Oberfläche des Eises nahmen durch Sonnenstrahlen und warme Luft Temperaturen etwas höher als  $0^{\circ}\text{C}$  an. Bis zu  $4^{\circ}\text{C}$  hin erhöht sich das spezifische Gewicht des Wassers. In ruhendem Wasser sank das erwärmte Wasser nach unten und ließ dort Eis schmelzen. Dies geschah in Seen, schmalen Spalten bis hin zu Haarspalten. Auch wurden dadurch Eiskristalle und Eisstücke in ihrem Verband gelockert; an den Wänden neben fließendem Wasser geschah in geringem Ausmaß ein Gleiches. Der runde Querschnitt, die glatten Wände und die Länge der in- und subglazialen Tunnel (HELLAAKOSKI 1930) sowie die Neubildung von Röhren als Ersatz älterer, mit dem Eise aufgestiegener und dadurch ausgeschalteter, bezeugen, daß im hindurchfließenden Wasser zeitweise leicht erhöhte Temperaturen vorhanden waren, nicht nur um den Tunnel offen zu halten, sondern auch um neue Wege zu öffnen.

### 3.1.4. Herkunft des Os-Schuttes

Aufgebaut wurde ein Geröll-Os aus zuvor vom Eise verfrachtetem Schutt. Bei dem Inlandeise und bei Groß-Gletschern gelangte dieser in das vom Wasser durchflossene Tunnelssystem nur dann, wenn dieses die schuttführenden tiefsten Lagen des Eises durchschnitt. Bei engen Talgletschern, auf die von Berghängen und aus Mittelmoränen stammender Gesteinsschutt sich auf der Oberfläche des Eises ausbreitete, konnte Schutt durch Spalten von

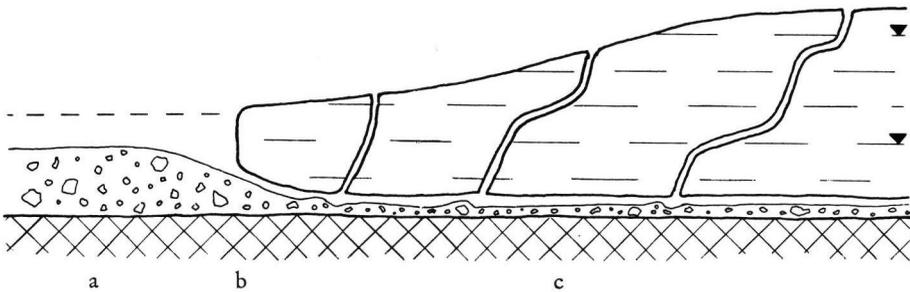


Abb. 1: Spätglaziale und subaerische Aufschüttung des Oses. Schematisch stark überhöhter Schnitt durch den Rand des Inlandeises. Durch Rückwirkung des links, außerhalb des Eisrandes zunehmend höher aufgespülten Oses wird der subglaziale Tunnel zu seinem Ende hin aufwärts verlagert. Rechts: Wasserstand im Eis, oben im Frühsommer, unten im Herbst und Winter. Gestrichelte Linie links von der Stirn des Eises: Oberkante der Eiswand des Os-Kanals. a, b, c, Lage der Profile der Abb. 2.

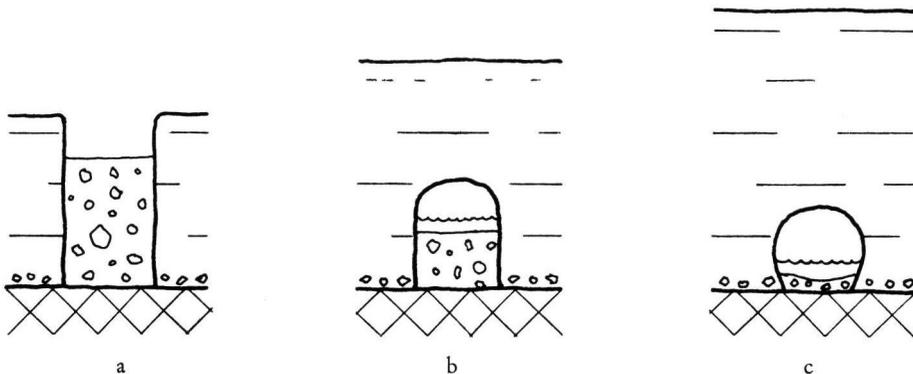


Abb. 2: Querschnitt durch den Eisrand Abb. 1 bei a, b, c. a und b subglazial gelegen; c schneidet den durch Schmelzen des Tunnel-Daches von unten und oben entstandenen eiswandigen Kanal.

oben in ein Tunnelsystem gelangen. Am Rande des Inlandeises auf ruhig gestaltetem Untergrund ist hiermit nicht zu rechnen.

### 3.1.5. Das Ende des Tunnels

Offene Gletschertore entstanden, wenn der Eisrand auf ebenem oder abschüssigem Felsuntergrund lag. Auslaufende Kaltluft läßt durch oben im Gegenstrom eindringende Warmluft das Tunneldach von unten her schmelzen. In ansteigendem Gelände aber trat das Wasser ruhig bis lebhaft fließend am Tunnelende aus. Ob und wie weit dabei Schutt ausgespült wurde, war infolge der Wasserbedeckung in Spitzbergen und Grönland nicht zu erkennen.

3.1.5.1. Wenn aber hydrostatischer Überdruck das Fließen des Wassers am Tunnelende beschleunigte, so wallte es auf. Das Ausmaß des Überdruckes bedingte die Höhe, bis zu der Wasser aufstieg sowie die Größe der Gerölle, die mit dem Wasser aufwärts und auswärts verfrachtet wurden. Höchster Überdruck am Ende des Tunnels entstand stoßweise und zumeist kurzfristig.

Hoher hydrostatischer Überdruck in einem Tunnelsystem entstand durch die Schneeschmelze im Anfang des Sommers, später durch plötzliches Auslaufen von angestautem Wasser. Infolge Sperrung des Ablaufes entstanden vorübergehende Seen auf der Eisoberfläche, wenn der frühsummerliche Abfluß durch Schnee oder Eis blockiert war, ferner am tiefsten Teil von Nunatakkern, von wo Wasser plötzlich in den mehrfach angetroffenen Tunneln, die Mittelmoränen begleiten, abließ. Auch sommerlicher Regen erzeugte hydrostatischen Überdruck (GRIPP & TODTMANN 1926: Taf. V, Fig. 1, 2; GRIPP 1975: Taf. IV, Fig. 2). Wenn in tief eingeschnittenen Zungenbecken der Grundwasserspiegel hoch im Eise lag, entstanden sogar Rückstau-Becken (Taf. V, Fig. 1, 2), durch welche die Zeit hydrostatischen Überdrucks am Tunnelende verlängert wurde<sup>2)</sup>.

3.1.5.2. Die Wirkung des hydrostatischen Überdrucks am Ende des subglazialen Tunnels.

Gehen wir vom Heutigen zum Vergangenen über, so ergibt sich: Wenn das Tunnelende dort, wo der hydrostatische Überdruck entspannt wurde, bis an die Decke des Tunnels von schnell fließendem und Schotter mitreißendem Wasser erfüllt war, dann wurde das Dach des Tunnels von unten abgetragen, einmal durch direktes Schmelzen, zum anderen zerschlugen dagegengeschleuderte Gerölle die Eiskristalle. Ferner drang das unter Druck stehende Wasser in den feinen Spalten des Eises aufwärts, erweiterte diese, so daß sich große Eisstücke aus ihrem Verband lösen konnten (GRIPP 1975: Taf. IV, Fig. 1). Um den Betrag, um den das Dach zum Ende des Tunnels hin höher verlagert wurde, konnte die Ansammlung von Schottern schon im Tunnel an Mächtigkeit zunehmen.

Jene Schotter, die aus dem Bereich des hydrostatischen Überdrucks in das Vorland verfrachtet wurden, häuften sich an, zum Teil noch am Ende des schwach ansteigenden Teiles des hydrostatischen Systems, vor allem aber zwischen den nach Einsturz des Tunneldaches subaerischen Eiswänden des früheren Tunnels. Je häufiger und je kräftiger hoher hydrostatischer Überdruck eintrat, desto höher wuchs, subglazial und subaerisch, die ausgespülte Geröllmasse des künftigen Oses.

<sup>2)</sup> In der Randzone des Inlandeises sind feine Spalten, zumeist Gleitflächen, bis hinauf zum jeweiligen inglazialen Wasserspiegel mit Wasser erfüllt oder durchflossen. Am Frederikshaab Isblink (SW-Grönland) spritzte nach kräftigem Regen auf einer etwas höher als der benachbarte Sander gelegenen Oberfläche des Eises aus einer senkrechten Gleitfläche das Wasser etwa 1 m hoch. Ebdort an anderer Stelle floß Wasser aus einer schmalen waagerechten Öffnung an der Grenze zweier Eiskörper. Auch diese Wässer aus engen Hohlräumen stärken und verlängern die Wirkung des hydrostatischen Überdrucks.

### 5.1.5.3. Der Os-Kanal

Wenn sich das Niederschmelzen der Eisoberfläche und der Abtrag des Tunneldaches von unten hinreichend nahe kamen, brach das Dach des Tunnels ein. Dadurch entstand der Kanal mit Eiswänden, wie ihn TANNER (1937) aus Beobachtungen an finnischen Osern erkannt hatte.

Aber nicht offene Spalten, die zudem in Fließrichtung des Eises nicht zu erwarten sind, sondern die durch Schwund des Eises subaerisch gewordenen, vorher subglazialen Tunnel waren der Ursprung der Eiskanäle. Weil der Boden des subglazialen Tunnels gegen sein Ende hin infolge des hydrostatischen Überdrucks ständig höher zu liegen kam, wuchs die Füllung des Eis-Kanals zu erstaunlichen Höhen an. Unter Berücksichtigung des späteren Verlustes zur Seite hin werden Primär-Oser Höhen von 60 und mehr Metern erreicht haben. Eismassen dieser Mächtigkeit dürften aber kein Toteis gewesen sein. Auch ist nicht zu erwarten, daß durch Schubfließen bewegtes Inlandeis am Rande Toteis-Gürtel gebildet hat.

Geröll-Oser dürften somit in ihren unteren Lagen Tunnel-Ablagerungen enthalten, in ihrem oberen Teil aber als durch Eiswände eingeebte Sander aufzufassen sein <sup>3)</sup>.

### 3.2. Entstehung der Perl-Oser

Die vorgebrachte Anschauung über die Entstehung der Os-Kerne ermöglicht eine Deutung der Perl-Oser. Bei diesen ist die Geröll-Zufuhr zeitweise ausgefallen. Mögliche Ursache: Entweder kein hinreichender hydrostatischer Überdruck, um ein Os aufzubauen, oder der subglaziale Fluß erfaßte zeitweise nicht schuttreiche basale Eislagen. Da die Reihe der Os-Perlen andauerndes Schmelzen der Randzone des Eises bezeugt, kommt das Ausbleiben von Schmelzwasser ohne Überdruck als Ursache für das Aussetzen langgestreckter Oser nicht in Betracht. Die Schutt-Zufuhr blieb aber aus, wenn der subglaziale Teil des Tunnel-Systems leergespült war und eine Verlängerung des subglazialen Tunnels aufwärts in schuttreiches basales Eis noch nicht eingetreten war. Die Lücken zwischen Perl-Osern dürften vorübergehendes Ausbleiben der Verlängerung des subglazialen Tunnels bezeugen.

## 4. Der Umbau des ausschmelzenden Oses

Der Teil der Oser, der subaerisch zwischen Eiswänden aufgehäuft war, fiel in dem Maße trocken, wie die Eiswände schwanden (TODTMANN 1960: Abb. 32, 63). Andererseits wurde beobachtet, daß Os-Rücken trocken aus dem schwindenden Eis herausschmolzen (KOSIBA 1960; TODTMANN 1960: 25). Hier müssen die subglazialen Wässer einen noch unerkannten Ablauf genommen haben.

Für die weitere Formgebung am Os war überschüttetes und daher langsam schwindendes Eis wirksam. Häufig wird von Eis unter dem Os berichtet (TODTMANN 1960: 25, Abb. 34, 64; PRICE 1973: 150). Es ist aber zu unterscheiden und in der Literatur zumeist nicht näher angegeben, ob Eis unterhalb des Os-Kernes selber oder an den Flanken des Oses beobachtet wurde. Toteis unter dem Os-Kern wird nach dem Schwinden keine erkennbaren Spuren hinterlassen. Aber Gesteinsschutt, der vom Os-Kern auf die Oberfläche des nieder-tauenden Eises abrutschte oder rollte, hat eine formgebende Rolle gespielt.

<sup>3)</sup> Im Winter wird wenig Wasser am Ende des Tunnels ausgelaufen sein. Vermutlich gab es Zeiten, in denen oben auf der Füllung des Eis-Kanals kein Wasser floß, sondern in der Schotter-Füllung abließ. Auf die hohe Porosität der Oser hat OKKO (1957) hingewiesen. Entsprechend dem Geschehen im Os-Kanal wird die Oberfläche von dessen Füllung flach gewesen sein. Erst durch Abrutschen zur Seite wird ein Os-Grat entstanden sein. Wann dies zuerst eintrat, ist unbekannt. Erstaunlich ist, daß Oser mit scharfem Rücken aus dem Eise hervortauten (TODTMANN 1960; SZUPRYSZINSKI 1965).

#### 4.1. Schutthalden an den Flanken des zunehmend vom Eise frei werdenden Oses

HOPPE (1953) hat auf die Eis-Kerne (ice cores) an den Flanken junger Oser hingewiesen. Aber da der obere Teil der dreieckig begrenzten Eis-Leiste nur dünn und gering überdeckt war, schwand er schneller als deren tiefere Teile. Abb. 3 zeigt die Folge der Ereignisse, wie sie sich nachweislich in manchen Fällen abgespielt hat. Je höher der Os-Rücken über die Oberfläche des benachbarten Eises hervorragte, um so stärker wurde ungebundenes Sediment abgespült. Vor allem rollten Schotter abwärts. Vermutlich haben Rutschungen größeren Umfangs stattgefunden.

##### 4.1.1. Sedimentation auf dem niederschmelzenden Absatz an der Flanke des Oses.

Je tiefer die Oberfläche des Inlandeises neben dem Os absank, desto breiter wurde die Oberfläche der neben dem Os verbleibenden, von Schutt geschützten Eis-Leiste. Sie wies nunmehr trapezförmigen Querschnitt auf (Abb. 3 c). Auf diese „Toteis-Leiste“ gelangte vom Os-Kern her Gesteinsschutt. Dasselbe geschah aber auch vom Außen-Schutthang her. Auf diese Weise entstand eine Rinne auf der Toteis-Leiste.

Wenn sich in dieser Wasser sammelte, so konnte es erwärmt werden. Bei Temperaturen bis 4° C erwärmte solches Wasser den Untergrund und trug damit zum Schmelzen des unterlagernden Rest-Eises, also zur Vertiefung der Rinne bei.

Auf dem derart entstandenen Absatz konnte Sedimentation durch fließendes Wasser und Wind eintreten. Es finden sich wassergeschichtete Sande und in Becken abgesetzte Schluffe (Taf. II, Fig. 2). Im Mogenstrup Os (Sjaelland) war eine Sandlage völlig ausgeweht, also ohne Bindung der Körner, somit wahrscheinlich Wind-Absatz. Gleichzeitig wird Geröll vom aufragenden Rest des Os-Kernes dem auf dem Rest-Eis ruhenden Sediment beigemischt worden sein<sup>4)</sup>. Neben dem eben eisfrei gewordenen Hang eines Oses werden jene zuvor subglazialen Schmelzwässer abgelaufen sein, die noch nicht sanderbildend zur Seite abfließen konnten. Ein solcher Bach dürfte streckenweise die Niedertau-Stufe (4.1.1.) benutzt haben, insbesondere wenn ihm Wasser aus den stark durchlässigen Os-Schottern zufließt.

Wenigstens ein Teil der sogenannten Os-Gräben dürfte hiermit erklärt sein.

4) Noch nicht untersucht ist, ob zwischen den Neubildungen auf der Sonnen- oder Schattenseite eines Oses Unterschiede bestehen. Zu erwarten ist lebhafteres Geschehen auf der wärmebegünstigten Seite.

#### Tafel I

Os aus dem Rand des Inlandeises ausschmelzend; 3 m hoch, 4 m breit. Frederikshaab Isblink, Süd-Grönland.

Fig. 1: Am Fuße des steil abfallenden Inlandeises liegt das oberflächlich übersandete Os.

K. Gripp phot. 21. 7. 1930.

Fig. 2: Das gleiche Os vom Eise her gesehen. Oben auf dem Os unter dem Eis gut gerundete Gerölle von 3—5 cm  $\phi$ . In dem von dem Randbach erzeugten Querschnitt jederseits des Os-Kernes dunkel die Resteis-Leisten. Im Hintergrund die blockreiche Satz-Endmoräne und Fels-Rundhöcker.

K. Gripp phot. 30. 6. 1930.



Fig. 1

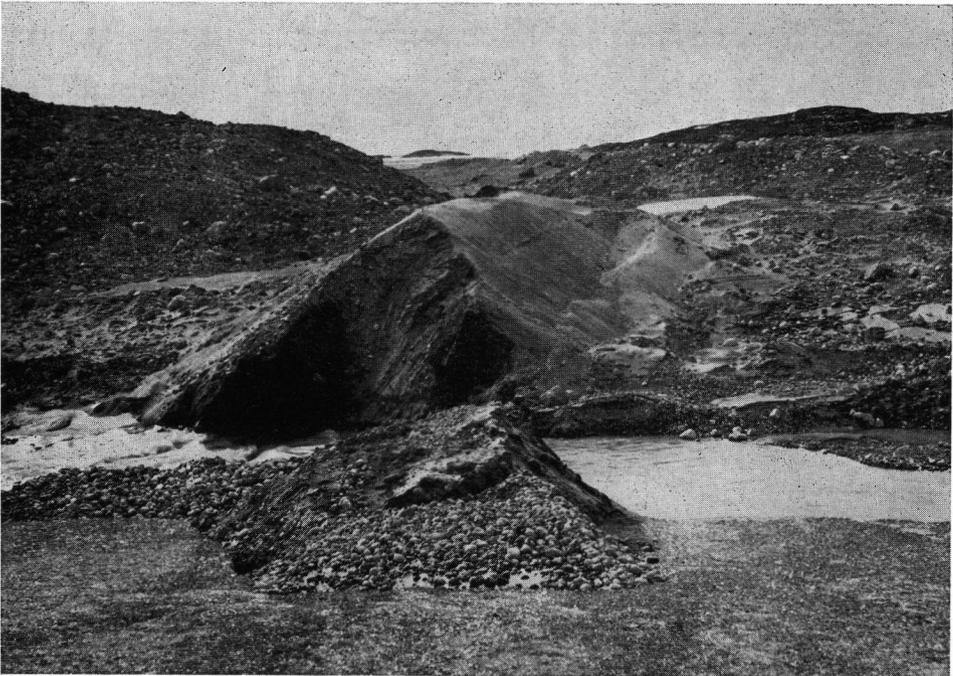


Fig. 2

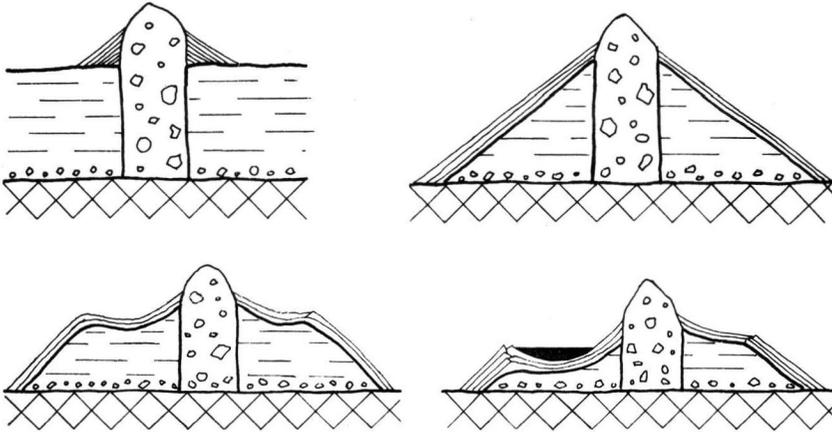


Abb. 3 a, b, c: Abbau der Füllung des Os-Kanals und Entstehen der Toteis-Leiste. In dem Maße wie die Oberfläche des Eises niederschmilzt und das Os eisfrei wird, gleitet dessen Schutt seitlich nieder und schützt beiderseits eine Toteis-Leiste für lange Zeit. d: Niederschmelzen der Toteis-Leiste. Auf dem breiten, unteren Teil der schwindenden Eis-Leiste entsteht ein zunehmend breiterer Absatz. Schutt vom Os und von der außen gelegenen Hangschutt-Decke gleitet in die Senke. Auf ihr steht Wasser, in dem Feinkorn-Sedimente abgelagert werden.

#### 4.1.2. Sackung der auf der Toteis-Terrasse entstandenen Ablagerungen.

Die Sedimente auf der Seiten-Stufe des Os-Rückens sanken in dem Maße nieder, wie das darunter liegende Rest-Eis schmolz. Unterschiede in der Mächtigkeit der Ablagerungen, Anlagerung an den Kern des Oses und durch eingedrungenes Wasser mit Wärmegraden bis  $4^{\circ}\text{C}$  uneben niedergeschmolzene Oberfläche des Eises verursachten erhebliche Störungen in der Lage jener Sedimente, bevor sie endgültig auf stabilem Untergrund zur Ruhe kamen. Während dieser Vorgänge wird von dem restlichen Os-Kern herabgekommenes Lockergestein beigemischt und aufgelagert sein.

Die Folge dieser unterschiedlichen Vorgänge ist, daß die abgesunkenen Sedimente gestört gelagert sind. Am Porras Os in Finnland und am Mogenstrup Os auf Sjaelland hingen Becken-Ablagerungen gleichsam am Os-Kern (Taf. II, Fig. 2, Taf. IV, Fig. 1). Beim Skuldelev Os auf Sjaelland waren geschichtete Sande unter Aufrichtung dem Os-Kern angelagert. Es liegt hier nicht Eispresung vor, sondern es handelt sich um Störungen infolge ungleich tiefen Absinkens.

#### Tafel II

Fig. 1: Mittlerer Teil von Taf. I, Fig. 2 hell kopiert, damit die Toteis-Leisten beiderseits in dunklen Querschnitten zu erkennen sind.

Fig. 2: Mogenstrup Os, Sjaelland, s. Taf. III. Grenze Os-Kern — Osgraben-Zone. Auf Taf. III oberhalb der Personen. Im linken Viertel der Aufnahme Os-Kern und geröllführende, zumeist ungeschichtete kiesige Sande; rechts ( $\frac{3}{4}$  der Aufn.) fast senkrecht stehende, kiesige Sande. Darin oben dunkel ein länglicher Hohlraum, durch Auslaufen ungebundenen Sandes, vermutlich seinerzeit vom Winde verfrachtet und in stehendem Wasser abgesetzt. Der Hohlraum wird durch Foto von unten her verkürzt (vgl. Taf. III).



Fig. 1



Fig. 2

#### 4.1.3. Die auf eisfreiem Untergrund neben dem Os verbleibenden Ablagerungen.

Nach völligem Schwund der Eis-Leiste blieb neben dem erniedrigten Os-Kern außen der Stumpf des „ursprünglichen“ Hangschutttes, bestehend aus geröllreichem Sand. Diese Schichten fallen vom Os weg ein. Sie erreichten als erste die eisfrei gewordene Erdoberfläche. Am Os-Kern selber finden wir neben jüngerem Hangschutt gleichsam an diesem hängende geschichtete Sande. Eindrucksvoll sind bei der Sackung infolge Eisschwund die am Os-Kern hängen gebliebenen Beckenablagerungen. Deren Ansatzstelle am Os-Kern bezeugt, in welcher Höhe oberhalb des Eis-Leisten-Restes sie entstanden sind.

Es lassen sich somit seitlich vom Os-Kern unterscheiden:

- I. Reste des ältesten erhaltenen Schutthanges, Schichtung vom Os weg einfallend;
- II. Sackungszone mit unregelmäßig einfallenden Ablagerungen;
- III. Innere Randzone von II, am Os-Kern gleichsam hängen geblieben, mit jüngerem Os-Hangschutt vermischt<sup>5)</sup>.

<sup>5)</sup> Bei einem Schüttungswinkel von  $35^\circ$  ergibt sich

ursprüngliche Höhe des Oses	einseitige Breite der Hangschutt-Basis	
40 m	30 m	
60 m	47 m	
ursprüngliche Höhe des Oses	angenommene Breite des Oses	Gesamtbreite Os-Ablagerungen
40 m	10 m	70 m
60 m	12 m	106 m

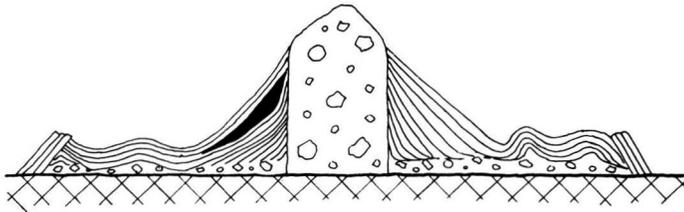


Abb. 4: Endzustand nach Schmelzen der Eis-Leiste. Da die Grundfläche der Eis-Leiste kleiner ist als deren Hangfläche kommen die auf deren Eis abgelagerten Sedimente nach Schwund des Eises auf engem Raum zu liegen. Die Schichtung wird somit durch Biegen und Verwurf gestört. Die an den Os-Kern grenzenden Ablagerungen geraten in Hänge-Stellung. Im Endzustand sind im Querschnitt zu unterscheiden: I Os-Kern = Rest des Primär-Oses; II Außen: tiefster Hangschutt, ungestört, auswärts einfallend; III Hangschutt, dessen Lagerung gestört ist durch Schwund des unterlagernden Eises. Zone des Os-Grabens. Darin Sedimente von Wasser und Wind, die nach Schwund des Toteises mit dem einen Ufer gleichsam am Os-Kern „hängenblieben“.

#### Tafel III

Mogenstrup Os, Sjaelland, Dänemark, westlichster Aufschluß 1977. Links von den Personen Schnitt schräg durch den Rand des Os-Kerns (s. Taf. II, Fig. 2). Rechts davon, quer zur Achse des Oses aufgeschlossen, Ablagerungen, die zunächst auf der randlichen Toteis-Leiste entstanden. Mit weiterem Schwund des Eises niedersinkend wurden sie teils dem Os-Kern angelagert (Taf. II, Fig. 2), teils unter (?Pseudo)-Faltung seitlich vom Os-Kern in der Zone des Os-Grabens abgelagert.

K. Gripp phot.



Die häufig beobachteten Os-Gräben könnten ein Teil der Zone II sein<sup>6)</sup>. Abgesehen von durch Wind angefrachtetem Sand dürften alle Ablagerungen zwischen dem Außen-Schutthang (I) und dem restlichen Os-Kern ursprünglich Bestandteil des Oses gewesen sein.

Von dem aufgezeigten Geschehen beim Entstehen eines Oses sind Änderungen, insbesondere durch das Verhalten des fließenden Eises möglich, z. B. verstärkter Eis-Zufluß und dadurch erneute Bedeckung des Oses mit Eis, also auch mit Grundmoräne.

### 5. Geröll-Oser und sogenanntes Toteis

Stagnierendes Inlandeis dürfte für die Entstehung von Geröll-Osern nicht von Bedeutung gewesen sein, zumal solches Eis häufig erneut fließend geworden ist. Ein hoch aufgeschüttetes Geröll-Os bezeugt hohen hydrostatischen Überdruck. Dieser kann nur in Eis von großer Mächtigkeit entstehen. Solches dürfte aber kaum Toteis-Gürtel an seinem Rand aufweisen.

### 6. Oser abweichender Entstehung

Vorstehend ist versucht worden, von geologischen Beobachtungen ausgehend, die Vorgänge aufzuzeigen, durch die Geröll-Oser aufgebaut und teilweise umgelagert wurden.

Abwandlungen der Vorgänge liegen vor bei Aufpressungs-Osern (BRAMER 1961: 7) und bei Osern, die aus einem subaquatischen Tunnelende aufgeschüttet wurden (MAGNUS-SON & LUNDQUIST & REGNÉL 1963). Diese bedürfen zur weiteren Klärung ihrer Entstehung einer geologischen Untersuchung ihres Aufbaus und besonders der umgelagerten Sedimente vor dem Tunnelende.

VIRKKALA (1963) zeigt in Fig. 16 Oser, welche die Eisrandzone des sogenannten Salpausselkä 2 durchlaufen und solche, die daran aussetzen, ähnlich auf Fig. 19. Fig. 29 läßt erkennen, daß Oser die Endmoränen-Zone (Salpausselkä 3) teils quer, teils an End-

<sup>5)</sup> Geringmächtige Füllung eines Os-Kanals läßt nur dünne Toteis-Leisten entstehen und hinterläßt Hangschutt mit geringen Störungen.

<sup>6)</sup> Es ist zu vermuten, daß ein Os-Graben auf der Toteis-Stufe entstand, wenn sowohl vom Os-Kern als auch vom Hangschutt-Mantel außen Schutt auf den unteren breiten Rest der Toteis-Leiste hinabsank. Wenn ein Os in dem schmalen Bett eines Überlauf-Gletschers (von GRIPP 1975 als Glazielle bezeichnet) aufgeschüttet wurde, so mögen die Senken beiderseits des Oses als Pseudo-Osgräben angesehen werden.

<sup>7)</sup> Da im Schrifttum mehrfach angegeben ist, daß in einem Geröll-Os streckenweise ein Kern aus Grundmoräne angetroffen wurde, darf angenommen werden, daß die „Aufpressungs-Oser“ ein lokaler Sonderfall der Os-Entstehung sind.

### Tafel IV

Fig. 1: Os bei Porras, Finnland. Querschnitt. Links von Herrn Hillefors Kern des Oses, darüber beim Schmelzen der Eis-Leiste abgelagerter Os-Schutt. Rechts oberhalb des dunklen Hohlraums Becken-Füllung, die mit Schwund des Toteises am Kern des Oses hängenblieb.

Fig. 2: Os bei Mustalampi, Finnland. Querschnitt. In der Mitte schmaler Os-Kern, ungeschichtet, reich an Geröll. Darüber nach beiden Seiten abfallend Hangschutt des Oses, oben von sandiger Grundmoräne überlagert. Frau Dr. Gripp-Satow phot. 9. 6. 1976.



Fig. 1



Fig. 2

moränen und kleinen Sandern enden oder von solchen unterbrochen werden. Um zu erkennen, in welcher Weise „Meeres-Einfluß“ bei der Bildung der Oser wirksam gewesen ist, wären großräumige Vergleiche erwünscht.

### 7. Aussagen der Oser

Oser entstanden nicht unter zerklüfteten Gebirgsgletschern (Alpen, Norwegen). In diesen konnte sich ein geschlossenes Tunnelsystem und damit hoher Überdruck am Tunnelende nicht bilden. Im Lockerboden-Bereich des Alpen-Vorlandes und Norddeutschlands lag der Auslauf inglazialer Wässer häufig in Zungenbecken, also hoch oberhalb der Eis-Basis. Somit konnte dort Geröll aus Unter- oder Grundmoräne nicht erfaßt und verfrachtet werden. Die Wässer werden verteilt im inglazialen Grundwasser-Niveau den Weg zum Sander-Ansatz genommen haben.

Der Os-Kanal im Felsbereich wanderte als Teil des Eisrandes mit diesem bergwärts, dadurch entstanden die Lang-Oser.

Bei vordringendem Eisrand, also zunehmender Mächtigkeit des Eises, entstanden keine Os-Kerben, also keine Oser, sondern Sander.

Oser sind also ein Charakteristikum schwindender Eisbedeckung, aber an sich kein Beleg für das Vorhandensein von Toteis-Gürteln.

---

### Tafel V

Rückstau-Becken Holström-Gletscher, Ekman-Bay Isfjord, Spitzbergen. Der Gletscher ist tief in den Fjord eingebettet und endet an einer breiten Stauchmoräne. Der Wasserspiegel im Eis liegt hoch. Frühjahrs-Schmelzwässer steigen daher durch Rückstau in Bachschwinden aufwärts und bilden kleine vorübergehende Seen. Deren durch Luft und Sonne erwärmtes Wasser läßt breite Becken ausschmelzen.

Fig. 1: Leergelaufenes Rückstau-Becken. Hinten rechts oberhalb der schrägen Eisfläche die Obergrenze der Wasserfüllung aus der Zeit, als der Abfluß des Tunnelsystems versperrt war. Der Trichter am Grunde des Beckens dürfte weitgehend durch plötzlichen, kurzfristigen sommerlichen Anstieg des Wassers ausgeschmolzen sein. Oberflächen-Wasser fließt allseitig in Rinnen dem inneren Becken zu. K. Gripp phot. 19. 7. 1927.

Fig. 2: Ebenda. Großes Rückstau-Becken, dessen Wände ringsum mit Schutt und Schlamm bedeckt sind. Hinten ein Fluß, zu dem zeitweise Wasser aus dem Rückstau-Becken abgelaufen sein dürfte (s. auch GRIPP 1929, Taf. XIII). K. Gripp phot. 23. 7. 1927.

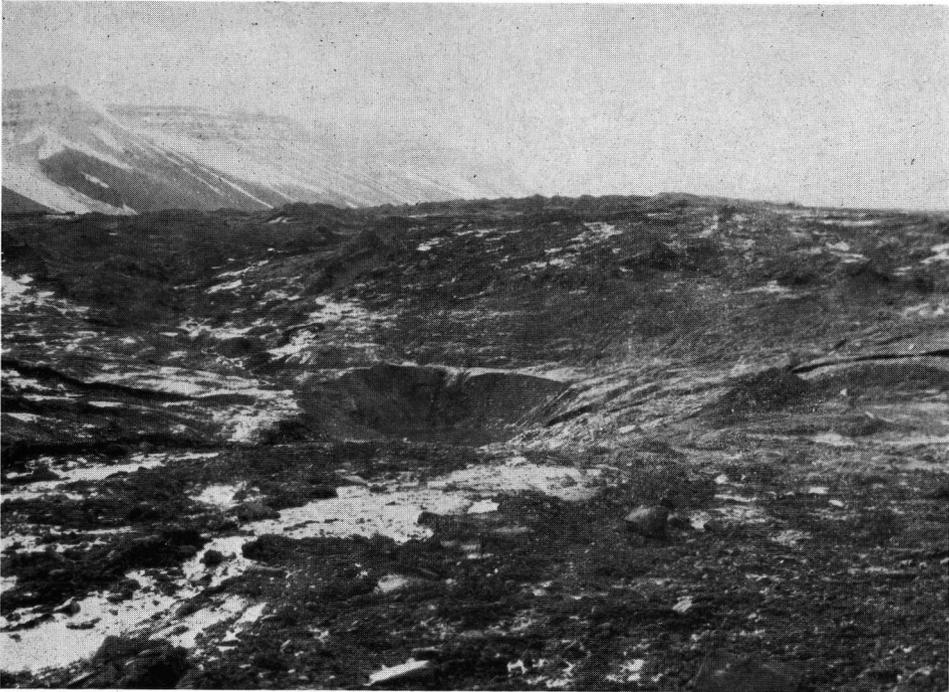


Fig. 1

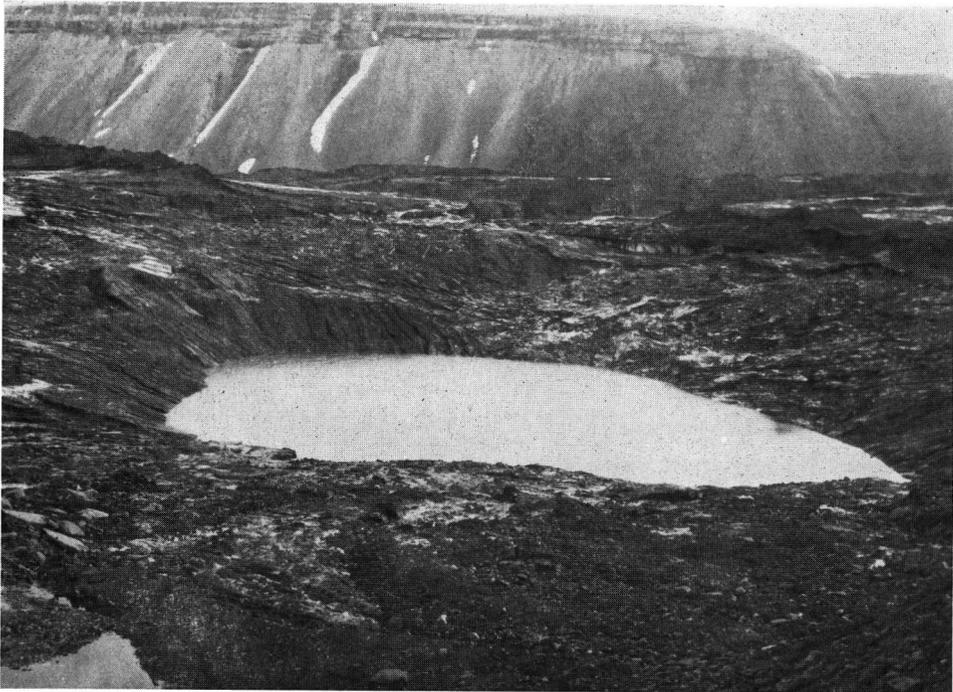


Fig. 2

## Schriftenverzeichnis

- BRAMER, A. (1961): Bemerkungen zum Problem der Aufpressungs-Oser. — *Geologie*, **10**: 480—492; Berlin.
- EMBLETON, C. & KING, C. A. M. (1975): *Glacial Geomorphology*. — London (Edward Arnold).
- GEER, G. DE (1897): Om rullstensåsarnas bildningstätt. — *Geol. Fören. Förhandlingar*, **19**: 366—388; Stockholm.
- GRUPP, K. (1929): Glaciologische und geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitzbergen-Expedition 1927. — *Abh. natw. Ver. Hamburg*, **22**: 145—249; Hamburg.
- (1933): Geologie von Hamburg und seiner näheren und weiteren Umgebung. — Hamburg (Verlag Boysen).
- (1975): 100 Jahre Untersuchungen über das Geschehen am Rande des nordeuropäischen Inlandeises. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **26**: 31—73, 5 Abb., 8 Taf.; Öhringen (Rau).
- & TODTMANN, E. M. (1926): Die Endmoräne des Greenbay-Gletschers Spitzbergen, eine Studie zum Verständnis norddeutscher Diluvial-Gebilde. — *Mitt. geogr. Ges. Hamburg*, **37**: 45—75; Hamburg.  
(Springer Verlag).
- HANSEN, S. (1965): The Quaternary of Denmark. — *The Geologic Systems*, **I**. — New York-London (Interscience publishers).
- HELLAAKOSKI, A. (1930): On the transportation of materials in the esker of Laitila. — *Fennia*, **52** (7); Helsinki.
- HOPPE, G. (1953): Några jakttagelser vid Islandska. — *Ymer* 1953: 241—265; Stockholm.
- KLEBELSBERG, R. VON (1948): *Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie I*. — Wien
- KOSIBA, A. (1960): Some of results of glaciological investigations in SW-Spitzbergen. — *Univ. Wrocławski im. Bolesława Bieruta zeszycy naukowe. Nauki przyrodnicze Ser. B 4*; Warszawa.
- LIEDTKE, H. (1975): Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa. — *Forsch. dt. Landeskd.*, **204**: 160 S., 1 Kt., 37 Abb.; Bonn-Godesberg.
- MAGNUSSON, N. H. & LUNDQUIST, G. & REGNÉLL, G. (1963): *Sveriges Geologi*. — 4. Aufl.; Stockholm.
- OKKO, V. (1957): On the thermal behaviour of some Finnish eskers. — *Fennia*, **81**, 5; Helsinki, referiert von C. TROLL (1959): *Erdkde., Arch. wiss. Geogr.* **XIII**; Bonn.
- PRICE, R. J. (1973): *Glacial and fluvioglacial Landforms*. — Edinburgh (Oliver and Boyd).
- RASMUSSEN, H. W. (1966): *Danmarks geologi*. — Kjöbenhavn (Gjellerups linieböger).
- RICHTER, H. (1971): Glaziale Formen und Vorgänge. — In: *Die Entwicklungsgeschichte der Erde*, **I**: 535 S., 194 Abb.; Leipzig.
- ROTNICKY, K. (1960): Survey of problems concerning eskers. — *Czasopismo Geograficzne*, **XXXI** (2); Warszawa. Resumé 216—219; [reiches Literaturverzeichnis].
- SCHWARZBACH, M. (1964): Geologische Tätigkeit des Eises und die Periglazialgebiete. — In: BRINKMANN, R. [Hrsg.]: *Lehrbuch der Allgemeinen Geologie*, **1**, 1. Aufl.: VIII + 520 S., 297 Abb., 38 Tab., 1 Taf.; Stuttgart (Enke).
- SUGDEN, D. E. & JOHN, B. S. (1976): *Glaciers and Landscape*. — London (Edward Arnold).
- SZUPRYCZINSKI, J. (1965): Eskers and Kames in the Spitzbergen Area. — *Geographia Polonica*, **6**: 127—140; Warszawa.
- TANNER, V. (1937): The problems of the eskers V. — *Fennia*, **68** (1); Helsinki.
- TODTMANN, E. M. (1960): Gletscherforschungen auf Island. — *Univ. Hamburg, Abh. Auslandskd.* **65**, (C 19); Hamburg.
- VIKKALA, K. (1963): On ice-marginal features in Southwestern Finland. — *Bull. Commission Géol. Finland*, **210**; Helsinki.
- WAHNSCHAFFE, F. & SCHUCHT, F. (1921): *Geologie und Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes*. — Stuttgart (Engelhorn Nachf.).
- WEST, R. G. (1972): *Pleistocene geology and biology*. — London (Longman Group).
- WOLDSTEDT, P. & DUPHORN, K. (1974): *Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter*. — 500 S., 91 Abb., 26 Tab.; Stuttgart (Koehler Verlag).