

# **Digitales Brandenburg**

hosted by **Universitätsbibliothek Potsdam**

## **Die Entwicklung des Bodenreliefs von Vorpommern und Rügen sowie den angrenzenden Gebieten der Uckermark und Mecklenburgs während der letzten diluvialen Vereisung**

**Elbert, Johannes**

**Greifswald, 1906**

Der Einfluss der Schmelzungs Vorgänge beim Inlandeise auf die Wasserhaltung der Schmelzwasserströme.

**urn:nbn:de:kobv:517-vlib-7018**

Beim völligen Rückschmelzen suchen diese Kieswälle mit horizontaler oder diskordanter Parallelschichtung durch Niederrutschen ihrer seitlichen Partien den natürlichen Böschungswinkel anzunehmen, und so entsteht dann ein Rücken mit nach aussen geneigten Schichten, d. h. ein scheinbarer Schichtensattel\*). Sind die Kiesrücken in Tunneln unter einem mit Moräne durchsetzten Teile des Malaspinagletschers abgelagert, so werden sie nach dem Abschmelzen des Eises mit Blöcken bedeckt sein. Eckiges Material wird aber dann auf dem Rücken fehlen, wenn der Gletscher frei von Moräne war.

Die Äsar am Malaspinagletscher werden also vorwiegend durch subglaciale Ströme gebildet, die zum Teil durch inglaciale und subglaciale Abschmelzung, zu einem nicht geringen Teile aber auch durch superglaciale entstanden sind. Superglaciale Flüsse existieren nach Russell<sup>1)</sup> überhaupt nur an wenigen Stellen des Malaspina, besonders an seinem nördlichen Rande, wo die Eisoberfläche eine sanfte Abdachung besitzt. Jedoch sind diese Ströme in allen Fällen nur kurz, verschwinden bald in einer Spalte oder Gletschermühle und vereinigen sich mit den Bodenströmen.

Russell glaubt nun<sup>2)</sup>, dass Prozesse subglacialer, fluviatiler Ablagerung vor allem einer stagnierenden Eisfläche zukommen und dass bei vorrückenden Gletschern an Stelle der subglacialen Akkumulation die Erosion tritt.

### Der Einfluss der Schmelzungs Vorgänge beim Inlandeise auf die Wasserhaltung der Schmelzwasserströme.

In den bis jetzt gemachten Auseinandersetzungen wurde der Beweis geliefert, dass beim Inlandeise eine basale Abschmelzung, die mit den Strömungseigentümlichkeiten des Eises in inniger Beziehung steht, sowie Schmelzwasseransammlungen bis zu der Grösse von ausgedehnten, subglacialen Strömen

\*) Es heisst da wörtlich: mit pseudoantiklinaler Struktur.

1) A. a. O. 1891, p. 80.

2) A. a. O. 1891, p. 82.

existieren, welche die im Randgebiete aufsteigende Innenmoräne zur Bildung von Schotterbänken innerhalb der erodierten Eiskanäle verwandten. Im folgenden soll nun im besonderen festgestellt werden, ob die Äsarbildungen in ihrer äusseren und inneren Morphologie im Einklang stehen mit der Wirkungsweise solcher subglacialen Flüsse.

Bevor wir jedoch zu einer näheren Betrachtung dieser Fragen übergehen, sollen noch einige allgemeine Erörterungen über den Eisschwund vorausgeschickt werden. Die Untersuchungen Uphams<sup>1)</sup> und Crosbys<sup>2)</sup> führten, wenn auch auf ganz anderem Wege und zum Teil unter veralteten Vorstellungen zu dem Resultate, dass einem vorrückenden Inlandeise die basale Abschmelzung fehle. Aus der entwickelten Theorie der Eisbewegung geht nun hervor, dass subglaciale Schmelzwasserflüsse von längerer Lebensdauer nur beim Rückzuge und beim Stillstande des Eisrandes auftreten können. Das Vorrücken schliesst natürlich eine Schmelzwasserbildung nicht absolut aus, doch ist diese auf andere, später näher besprochene Ursachen zurückzuführen. Der Zustand der Konvergenz der Eisstromfäden im Eisrande verhindert die Ausbildung subglacialer Schmelzwasserkanäle und bewirkt eine Absorbierung der durch die Einschmelzzone gehenden, unter Druck verflüssigten Eisstromfäden. Der dadurch verhinderte Substanzverlust führt anfangs zu einer Erhöhung des Randgebietes und dann infolge Beschleunigung des Fliessens zum Vorrücken des Eises. Beim Eisrückzuge findet umgekehrt infolge der Divergenz der Bewegungslinien ein bedeutender Substanzverlust durch die innere Einschmelzung statt, die eine Senkung der Oberfläche des Eisrandes und damit einen Rückzug desselben bewirkt. Die Rückzugsperiode des Eises bietet also für die Existenz subglacialer Schmelzwasserströme die günstigsten Bedingungen, die bei einem Stillstande des Eisrandes während derselben in ihrem Wesen keine Veränderung erleiden.

1) Physical conditions of the flow of glaciers (American Geologist, vol. 17. Minneapolis 1896 p. 16—29, Taf. 2).

2) The origin of Eskers (Proceedings of the Boston Soc. of Nat. vol. 30 Nr. 3 p. 375—411 Boston, May 1902).

Gerade für den Eisrückzug aber kommt noch ein anderer Faktor, der zur Vermehrung der Wassermenge beiträgt in Betracht, d. i. der von aussen kommende Eisschwund oder die Ablation. Letztere erfolgt, wie bei den Talgletschern durch die Wärmezufuhr von aussen d. h. durch die Wärmestrahlung der Sonne und deren Reflexion am Boden des vor dem Eisrande liegenden Gebietes, sodann durch wärmere Luftströmungen und im äussersten Randgebiete vielleicht auch durch Regenfälle. Alle durch diese entstandenen, oberflächlichen Wasseransammlungen suchen sich einen Weg zum äusseren Eisrande und bilden Furchen und Rinnen. Die Existenz dieser Oberflächenbäche- und -ströme fällt vorwiegend in die Tagesstunden und im günstigsten Falle, z. B. in Grönland, in die vier Sommermonate, während von Ende Oktober bis Juni ihre Betten ausfrieren und der Verschüttung anheimfallen. „Die Sonnenwärme,“ sagt Frj. Nansen<sup>1)</sup>, „kann nur in der äussersten Randzone eine wirkliche Verminderung der Masse durch Abschmelzung bewirken.“ Diese superglacialen Wasser versinken nun häufig in Spalten und, da ihre Temperatur meist über 0° ist, schaffen sie sich intraglaciale Röhren und Gänge, arbeiten sich sehr oft bis zur Gletschersohle durch und vereinigen sich hier mit den subglacialen Schmelzwässern. Dieser Vorgang dürfte vor allem bei einem Vorlandgletscher, dem Anfang- oder Endstadium eines Inlandeises stattfinden, da dessen Übergangszone zum Nährgebiet von zahlreichen Spalten durchsetzt ist.

Die Amerikaner nehmen für die Oberflächenströme, denen sie die Bildung von Cañons zuschreiben, z. B. des Malaspina-gletschers eine Zufuhr aus aufsteigenden, subglacialen Wassern an, die von Russell<sup>2)</sup> als normal bezeichnete Entwässerung. Da das Eis aber sogut wie gar keine Kapillarität besitzt, können die subglacialen Wasser nicht emporsteigen. Das Emporsteigen solcher durch den inneren Eisschwund gebildeter Schmelzwasser müsste unter hydrostatischem Druck erfolgen, ein Fall, der nur unter gewissen Verhältnissen vor-

1) Mohn und Nansen: Durchquerung Grönlands 1888. (Petermanns geogr. Mitteil. Ergänzungsh. Nr. 105. Gotha 1892. S. 93.)

2) American Journal 3<sup>rd</sup> ser. vol. 43 p. 180.

kommen dürfte, z. B. beim Malaspina an Stellen, wo sub- und inglaciale Tunnel, sowie Spalten fehlen und die vorgelagerte Eismasse einen Anstau der Wasser veranlasst. Die Schmelzwasser dieses Gletschers entstehen hauptsächlich in der Übergangszone der alpinen Gletscher zu dem grossen vorgelagerten, bewegungslosen Eiskuchen des Vorlandgletschers, bei welchem eine Ablation kaum vorhanden ist. Sie können also nur in dem noch bewegungsfähigen, hinteren Teile des Vorlandgletschers gebildet werden, dürften also vorwiegend den hier auftretenden Drucken, die durch den Nachschub der Massen der alpinen Gletscher erzeugt werden, ihr Dasein verdanken. Diese Wasser bahnen sich entweder ihren Weg durch die hier vorhandenen Spalten oder benutzen schon vorhandene, subglaciale Kanäle des Vorlandgletschers. An vielen Stellen werden sie in ausgedehnter Masse aufgestaut und dadurch über  $0^{\circ}$  C erwärmt, sodass sie eher als die fliessenden superglacialen Wasser auf den Eis-spalten zu erodieren vermögen.<sup>1)</sup>

Die Fähigkeit der Wasser, sich im Eise Ausflussöffnungen und Röhren zu graben, scheint jedoch nur bis zu einem gewissen Grade zu reichen, denn sonst könnte es am Malaspinagletscher keine Oberflächenflüsse geben. Russell spricht sich über diesen Punkt folgendermassen aus: „Aus irgend einem Grunde sind von den Glacialströmen entweder keine subglacialen Tunnel unter einer unbestimmt breiten Randzone gebildet oder schon vorhandene Kanäle sind von Eissedimenten aus der Innenmoräne verschlossen worden, wodurch die Wasser zur Bildung inglacialer Tunnel, die durch oberflächliche Abschmelzung superglacial oder zur Fortsetzung ihres Weges am terminalen Eisabhange entlang gezwungen wurden. Zieht sich ein solcher Gletscher zurück, erscheint das Zutagetreten von Rücken oder einer Reihe derselben, wie es auch jetzt noch vorkommt, und ihre Rückwärtsverlängerung bis zur Länge des inglacialen Tunnels als wahrscheinlich. Dieser Vorgang liefert eine Observationsbasis für den Schluss, dass während des Eisrückzuges bei eintretender

1) Stone: Glacial gravels of Maine a. a. O. p. 357.

Stagnation die subglacialen Ströme ihre Tunnel nahe dem Tore verschlossen und dann leicht zu inglacialen und superglacialen wurden.“<sup>1)</sup>

Diese beim Vorlandgletscher entstehenden superglacialen Flüsse, die ihr Wasser dem inneren Eisschwunde verdanken, sind ihrem Wesen nach selbstredend von den eigentlichen, durch die Ablation gespeisten Oberflächenströmen zu unterscheiden. Sie dürften immerhin zu den Seltenheiten gehören<sup>2)</sup> und wegen der Schwellung des Randgebietes meistens auf längere oder kürzere Entfernungen hinter dem Eisrande entlang fliessen, bis ihnen ein Überfliessen über denselben möglich wird.

Neben der Ablation wird die Wassermenge der subglacialen Ströme noch durch Unterschwind mit Hilfe der Erdwärme vermehrt, der vielleicht bei den gewöhnlichen Talgletschern der grössere Anteil an einer, selbst im Winter währenden Unterschmelzung zukommt. Da das Inlandeis thermisch sich wie eine aufgelagerte Bodenschicht von der mittleren Temperatur unter  $0^{\circ}$  verhält, und die jahreszeitlichen Schwankungen in gewisser Tiefe (30—50 m) ganz aufhören, wirkt das Inlandeis wie ein Teil der Erdrinde von entsprechender Tiefe erwärmend auf seine unteren Lagen und zwar erhöht sich bekanntlich die Temperatur für jede 33 m um  $1^{\circ}$ . Diese äussere Wärmezufuhr trägt zur Schmelzung des durch den Druck der Masse unter  $0^{\circ}$  abgekühlten Eises bei und vermehrt die durch den inneren Schwund entstandenen Wasser. Da ausserdem die Schmelzwärme eines Körpers mit der Temperaturerniedrigung durch den Eisdruck abnimmt, und zwar nach R. Clausius<sup>3)</sup> für je  $1^{\circ}$  C eine Erniedrigung der Schmelztemperatur um 0,605 Cal, findet bei eintretender Zustandsveränderung eine Reduktion der Schmelzwärme statt. Zur Einleitung der Schmelzung nun genügt die geringe Zuströmung der Wärme, um eine zur Sohle des Inlandeises hin wachsende Schmelzung und Vergrösserung der

1) A. a. O. 1899 p. 421—422.

2) H. Rink: Das Binneneis Grönlands. (Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin 23), Berlin 1888 p. 422.

3) Mechanische Wärmetheorie, I. Bd. Braunschweig 1876 p. 178.

Beweglichkeit von oben nach unten hervorzurufen. Daneben findet eine von der Oberfläche zur Tiefe gehende Wärmeleitung statt, da die Grösse der Temperaturerniedrigung mit dem Drucke zunimmt, die tieferen Schichten also die Wärme auf Kosten der höheren verzehren.

Diese Untersuchungen zeigen also, dass die Basalschmelzung des Inlandeises von direkten äusseren Einflüssen frei ist, die superglaciale Entwässerung aber von Zufälligkeiten und der wechselvollen Einwirkung äusserer Wärmezufuhr bedingt ist, aber zur Wasservermehrung der subglacialen Ströme beitragen kann. Während des Stillstandes des Eisrandes ist, absolut genommen, naturgemäss die Basalschmelzung am grössten und nimmt mit der Geschwindigkeit des Eisrückzuges ab, entsprechend der Mächtigkeit des Eises, nicht aber beim Eisrückzuge, wie man vielleicht aus der Tatsache der allgemeinen Abschmelzung anzunehmen geneigt sein wird. Schneefälle im Nährgebiet vermögen eine Vergrösserung der Schmelzwassermenge nicht eher hervorzurufen, als bis die Mächtigkeit des Eises vom Nährgebiete zum Randgebiete hin einen Zuwachs erfahren hat, dass aber, sagt Hess<sup>1)</sup>, „wenn das Fliessen des Eises einmal durch hohen Druck eingeleitet ist, ein wesentlich geringerer Druck genügt, um die erzielte Ausflussgeschwindigkeit beizubehalten“, was umgekehrt auch für den Rückzug gelten muss. Wie der Bewegungszustand der bewegten Masse vorausgeht, müsste beim Vorrücken des Inlandeises das Auftreten einer Stillstandslage des Eisrandes sozusagen bereits einen Rückzug mit ausserordentlich geringen Beträgen, beim Eisrückzuge jedoch ein ebensolches erneutes Vorrücken bedeuten. Dieses Vor- und Rückschreiten des Eisrandes ist jedoch nur ein scheinbares; denn beide Bewegungen äussern sich bloss durch den Eintritt einer Hebung und Senkung der Oberfläche des Randgebietes. Hierdurch gerade erklärt sich das Zustandekommen eines dynamischen Gleichgewichtszustandes. Im ersten Falle tritt nämlich anstatt eines Vorschreitens eine Volumenverringernng des Randgebietes, im zweiten beim Rück-

1) Gletscher, S. 30.

zuge ein Massenzuwachs desselben ein, was für die Eisschmelzung eine entsprechende Verminderung oder Vermehrung bedeutet. Beim Stillstande des Eisrandes muss deshalb die Wassermenge der subglacialen Ströme grösser sein, als beim Eisrückzuge, da zuerst ein Wachsen der Eismächtigkeit und dann vor Eintritt des erneuten Rückzuges eine allgemeine Abschmelzung dieser Eismasse stattfindet.

Der Wasserführung entsprechend müssen nun die erodierenden und akkumulierenden Wirkungen des Schmelzwasserstromes sein. Die Wasser bilden sich unter dem glaciostatischen Drucke in der Einschmelzzone und stehen beim Passieren des Randgebietes unter einem entsprechenden hydrostatischen Drucke, sind also imstande, mit Hilfe ihrer abradierenden Kräfte sich im Eis und seiner Unterlage ein Bett auszugraben, bei welchem Vorgange die Erosion durch die Schmelzung der Tunneldecke unterstützt wird. Da aber die Wasserführung mit der Eisbewegung genetisch verbunden, ist ein Überwiegen des einen oder des anderen Faktors eine Folge der Bewegungserscheinungen, sodass bald wenig gefüllte Schmelzwasserkanäle, bald solche mit stark hervorgepressten Wassermassen abwechseln. Unter allen Umständen aber gehorchen diese Wasser den Gesetzen der Wasserbewegung, sodass die Theorie derselben hier vorausgeschickt werden soll.

## Über die Beziehungen der Morphologie der Äsarbildungen zur Tätigkeit submarginaler Schmelzwasserströme.

### 1. Theorie der Wasserbewegung.

Reynold<sup>1)</sup> unterscheidet eine gleitende oder stetige Wasserbewegung und eine rollende, unstetige, welche beide mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit bei der sog. „kritischen Geschwindigkeit“ in einander übergehen. Die für uns in

1) The Motion of Water (The Nature 28; 1883. p. 627.)