

# **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**

Über die Beziehungen der Morphologie der Asarbildungen zur Tätigkeit submarginaler Schmelzwasserströme.

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

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.)



Betracht kommende, rollende Bewegung erfolgt in Spiralen, die sich als zwei in der Stromrichtung ausgezogene Wasserwülste mit entgegengesetzten Drehungen zu beiden Seiten des Stromstriches winden. Sie bildet sich durch das Zusammenwirken einer durch die Reibung im Flussbette erzeugten Transversalbewegung und der talwärts wirkenden, fortschreitenden Bewegung. Je nachdem nun die Transversalbewegung die Spiralbewegung der Wasserwülste beschleunigt oder verlangsamt, entstehen zwei Arten mit entgegengesetzten Drehungsmomenten, die sich nach ihrer Wirkung als diejenige mit Seitenerosion und Tiefenerosion bezeichnen lassen.

Bei der Seitenerosion ist die Reibung so gross, dass die randlichen Wasserschichten in ihrem Lauf denjenigen des mittleren Teiles des Flussbettes nicht folgen können und durch den von der Mitte nach den Seiten gehenden Ersatz ein divergierendes Auseinanderströmen in den oberen Teilen des Bettes und eine von den Seiten nach der Mitte gerichtete Rückströmung in den unteren Teilen desselben bewirkt wird. Nebenstehende Figur 4 zeigt den Querschnitt durch einen solchen Strom. Die beiden Wasserwülste stellen demnach

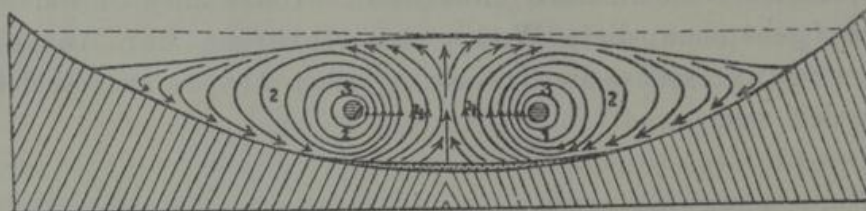


Fig. 4.

einen Wirbelring dar, welcher auf der linken Stromseite links drehend, auf der rechten rechtsdrehend ist. Das Wasser dieser beiden Stromspiralen wird in der oberen Betthälfte von der Mitte nach den Seiten hingedrängt, sucht sich jedoch dort angekommen nach der Sohle des Bettes hin zusammenzudrücken, wo es in deren Mitte durch den Auftrieb wieder an die Wasseroberfläche befördert wird, und deren Erhöhung bewirkt. Alle auf die Strommitte gebrachten Schwimmer werden infolgedessen an die Ufer getrieben, gleichsam, als wenn sie von dieser Erhöhung nach den Seiten durch ihr eigenes Gewicht herabsänken.



Verfolgen wir einmal die Bahnen eines einzelnen Wasserfadens aus der Stromspirale in den einzelnen Quadranten, die wir uns durch die Strommitte gelegt denken. Das Wasserteilchen erleidet innerhalb der beiden unteren Quadranten auf dem Wege von 2 nach 1 einen nach der Mitte hin zunehmenden, von da an wieder abnehmenden Reibungswiderstand, auch dasjenige von 1—4 bis zu seiner Mitte, von wo es nach 4 hin eine Beschleunigung erfährt. In den beiden oberen Quadranten behält es auf dem Wege von 4—3 die Beschleunigung bei, verzögert sich aber, jemeher es sich 2 nähert. Die Verzögerung des Wasserteilchens nach den Seiten und nach unten, sowie die Beschleunigung zur Strommitte und nach oben wächst mit der Abnahme der Stromgeschwindigkeit. Je geringer die Stromgeschwindigkeit ist, desto höher ist die relative Aufwölbung der Strommitte und um so näher liegt der Stromstrich der Wasseroberfläche.

Aus diesem Verhalten des Stromteilchens gehen die Abrasionswirkungen bei Seitenerosion hervor. Sie nehmen in den Quadranten von 3 nach 2 zu, sind bei 2 am grössten und nehmen von 2 nach 1 hin ab. Alle durch die Wasserkraft losgelösten Teile des Strombettes werden bei dieser Bewegung zur Mitte hingschafft, wo sie auf der Sohle infolge der Aufwärtsbewegung der Stromfäden liegen bleiben. Bei der Seitenerosion besteht also das Bestreben das Strombett durch Erosion zu verbreitern und durch Akkumulation zu verflachen. Durch dieses findet auch das Serpentinisieren von breiten und träge dahinziehenden Flüssen seine Erklärung. „Die Schlängelung des Stromstriches wird dadurch eingeleitet“, sagt A. Penck<sup>1)</sup>, „dass die Wassermassen eines Stromes durch seitliche Zuflüsse an das eine Ufer gestossen werden, und von diesem abprallend, sich zum anderen wenden oder auch dadurch, dass bei Biegungen des Flusses dessen Wasser, welche sich geradlinig fortbewegen möchten, an das eine Ufer desselben anprallen; kurz, es ist die Trägheit des Wassers, welche die Mäanderbildung einleitet.“ Da bei der Seiten-

1) Morphologie I, S. 347.



erosion bereits das Bestreben einer seitlichen Verschiebung herrscht, bedarf es nur eines geringen Stosses oder irgend einer nur einseitigen Veränderung der Strombahn, um das Hin- und Herpendeln des Stromstriches von der einen Uferseite zur andern zu verstärken.

Bei der Tiefenerosion liegen die Verhältnisse umgekehrt. Mit der Vergrößerung der Boden­neigung nimmt die Reibung ab, und es wächst die Zugkraft des Wassers gegenüber der nach allen Seiten hin wirkenden Druckkraft. Durch sie werden die Stromfäden dazu bestimmt, sich möglichst in einem Punkt zusammenzudrängen, wodurch die Reibung an den Seiten abnimmt und auf der Flussole zunimmt. Aus diesem Bestreben, die Wassermassen auf dem kürzesten Wege talwärts zu schieben, geht der geradlinige Talweg hervor, in welchem jedoch die Stromfäden von einer Tal­seite zur andern wandern, da sie in Folge ihres Trägheits­vermögens bei dem Versuche aller, sich in einem Punkte zu vereinigen, über dieses Ziel hinausschiessen. Der Stromstrich besitzt also in sich die Eigenschaft des Serpentinisierens. M. Möller<sup>1)</sup> hat bereits die Bewegungsform bei Tiefenerosion ge­deutet, ohne jedoch einen Unterschied von der Seitenerosion her­vorzuheben. Möller<sup>2)</sup> beschreibt den Vorgang folgendermassen: „An den Böschungen des Flusses steigt das Wasser empor, treibt der Strommitte in schwachgeneigter Richtung zu und fällt hier abwärts, um in der Tiefe wieder auseinander zu weichen und dann den Böschungen sich nähernd, den Kreislauf zu erneuern. Jeder reguläre Strom würde hiernach aus zwei Wasserwulsten bestehen, welche nebeneinander im Flusse strom­abwärts gleiten und eine drehende Bewegung um ihre Längsachse ausführen, etwa wie in beistehender Figur 5\* skizziert ist. Der An­stau in der Strommitte erlangt eine grössere Höhe als die Strom­oberfläche am Ufer besitzt, weil das Wasser von seiner seitlichen Geschwindigkeit auf dem Wege von A nach C durch Reibung

1) Studien über die Bewegung des Wassers in Flüssen. (Zeitschr. f. Bauwesen, red. v. Tiedemann, Jahrg. 33 Berlin 1883. S. 194—210.)

2) S. 201—202.

\* Die S. 151 gebrachte Fig. 5 ist ähnlich derjenigen von Möller.



verliert. Verfolgen wir die Bahn eines Teilchens, dann finden wir, dass dasselbe zunächst auf dem Wege von 1 nach 2 (Figur 5) unter dem Einfluss der Reibungs-Widerstände an den Uferböschungen eine Geschwindigkeits-Einbusse erleidet, während nunmehr von 2—3 das Wasser wieder an Geschwindig-

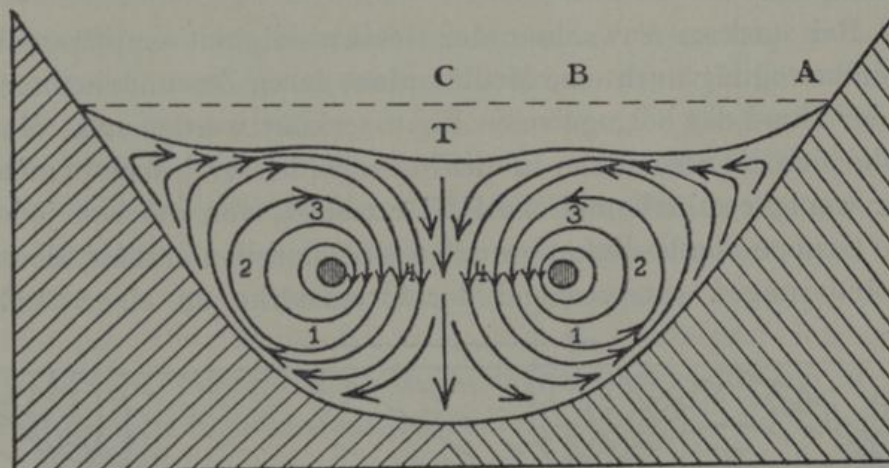


Fig. 5.

keit gewinnt, da es dem Einflusse der rauhen Wandungen entzogen wird. Bei tieferen Flüssen wächst auch noch auf dem Wege 3—4 die Geschwindigkeit ein wenig. . . . Die Verbindungslinie derjenigen Profilpunkte, in welchen die absteigende Bewegung des Wassers stattfindet, ist der Stromstrich (T) . . . Da das Wasser, nachdem es bei T die grösste Geschwindigkeit erreicht hat, zunächst unterhalb T die Flusssohle trifft, so erleidet dieselbe im Stromstrich den stärkeren Angriff.“

Bei der Tiefenerosion dreht sich wie aus Figur 5 hervorgeht die rechte Stromspirale nach links und die linke nach rechts, sodass die Stromfäden im oberen Teile des Bettes zur Strommitte und nach unten, im unteren Teile desselben nach aussen und unten, d. h. gegen die Sohle gerichtet sind. Die Folgeerscheinung dieses Vorganges ist ein von der Sohle des Flusses nach den Seiten hin gerichteter Aufstau des Wassers, welcher ein Einsinken der Oberfläche nach der Strommitte hin bewirkt, in welcher jedoch ausserdem zwei kleinere Erhöhungen (stellenw. nur eine) bestehen, da der in der Strommitte nach unten geführte Zug den im Stromstrich angestauten Wasserrücken halbiert. Diese Er-



höhen wachsen mit der Geschwindigkeitszunahme und winden sich von der einen Talseite zur anderen, wobei sie sich beständig durchkreuzen und gegenseitig ihre Geschwindigkeit beschleunigen oder verzögern. Die hierdurch geschaffenen Gegensätze bewirken an einer Stelle der Bettwandung Erosion, an der anderen Akkumulation.

Bei starkem Anwachsen der Geschwindigkeit empfängt die Strombewegung noch eine Modifikation, deren Zustandekommen an der Hand der beigegebenen Fig. 6 erklärt werden soll. Man denke sich die Strombahn in quadratische, besser jedoch in mehr oder weniger spitzrhombische Felder zerlegt, von welchen jedes eine Gruppe von bestimmt gestalteten Stromzellen enthält, deren Veränderungen entsprechend der Stromstärke an einer Stelle

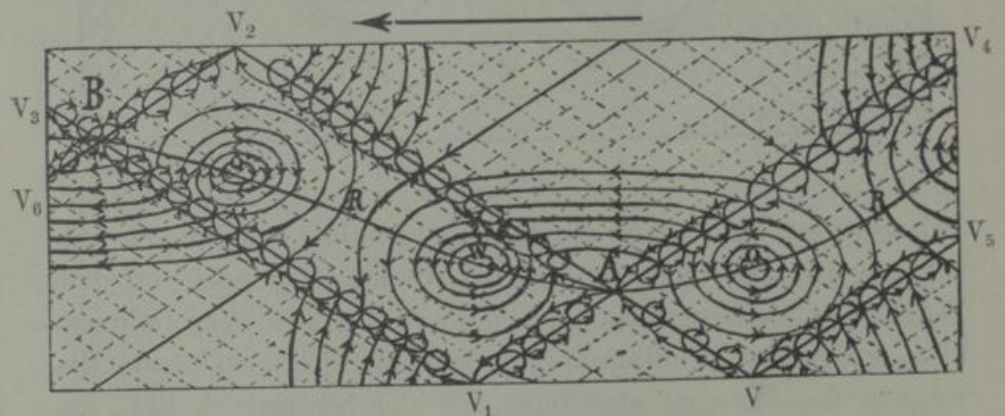


Fig. 6.

Verbreiterungen und damit Verzögerungen der Stromgeschwindigkeit, an anderer Verkürzungen und dann Beschleunigungen derselben hervorruft. Die Verzögerungen führen innerhalb einer starkströmigen Wassermasse zu Stromfädengruppen die ruhig und fast geradlinig fließen, selbst bis zu Punkten zeitweiliger Ruhe, die Beschleunigungen wiederum innerhalb dieser stillströmigen Partien zu konträren Bewegungen, die ihrerseits eine sekundäre, auf- und absteigende Wirbelbewegung bewirkt. Durch letztere werden die entstandenen Gegensätze ausgeglichen, indem das langsam bewegte Bodenwasser in einer Quellströmung an die Oberfläche gehoben und das schneller fließende Oberwasser durch eine Senkströmung in die Tiefe befördert wird.



Die Entstehung dieser Quellen und Senken können wir uns auch ähnlich gebildet denken, wie die Spiralbewegung der beiden grossen Wasserwülste, welche aus dem Zusammenwirken der talwärtsgerichteten Bewegung und der Transversalbewegung hervorgegangen sind. Durch die wachsende Zusammenziehung der Stromfäden und durch die sich steigernden Gegensätze in der Beschleunigung und Verzögerung zwischen Oberwasser und Bodenwasser müssen ebenfalls Differenzialbewegungen hervorgerufen werden, die nunmehr zu einer Wirbelbewegung in der Vertikalen führen. Da nun in der Strommitte bei der Tiefenerosion die Stromfäden abwechselnd auf- und niedersteigen, so stellen die Senken und Quellen nur Verstärkungen der ersteren dar. In eine solche Senke fliessen nicht nur alle stromaufwärts in seiner Umgebung liegenden Stromfäden, sondern auch die seitlichen und selbst die bereits talwärts sich befindenden werden zurückgezogen und versinken in dem Wirbeltrichter, bewegen sich also gegen die allgemeine Flussrichtung. Alle Wirbellinien sind auf einen Punkt zuge richtet, drängen sich daher in der Nähe der Senke dicht zusammen und erzeugen dadurch eine starke Strömung. Gerade umgekehrt sind die Erscheinungen bei der Quellströmung, welche mit der Senke unmittelbar genetisch verbunden ist. Würde in dem Augenblick der Entstehung einer Quellströmung der Fluss durch eine aufwärts liegende Schleuse abgesperrt, so würden die Stromlinien der Quelle radial von ihrem Mittelpunkte ausstrahlen, und ihre Niveauflächen würden Kugelflächen darstellen. Da aber die Flusströmung fortschiebend wirkt, biegen alle gegen die Strömung gerichteten Quelllinien mit ihr um und strömen nach beiden Seiten in Bögen mit dem Flusse fort, während eine torförmige Stromlinie das Gebiet der Quellströmung von dem der Flusströmung trennt. Die Quellströmung beginnt in dem Augenblicke, in welchem die Senkströmung den Boden erreicht, steigt in Spiralen aufwärts und äussert sich an der Oberfläche durch Aufwallen des Wassers. Die Quellströmung erlangt nicht die Stärke der Senkströmung, da sie durch die allgemeine, stromabwärts gerichtete Spiralbewegung eine Schwächung erleidet. Quell- und Senkströmungen stehen in



demselben Abhängigkeitsverhältnisse zu einander, wie die Bewegung der beiden Hauptstromspiralen des Flusses und bilden zusammen wie diese einen Wirbel, dessen eines Ende dann die stärkste Rotation aufweist, wenn das zugehörige die geringste besitzt.

Beide, Quell- und Senkströmungen, sind jedoch nicht stationär, sondern wandern mit der Flusströmung. Die Senkströmung (Figur 6) beginnt bei A ist bei W am stärksten und erreicht den Boden bei R, die Quellströmung hebt bei R an, besitzt ihre grösste Stärke bei Q und trifft die Wasseroberfläche bei A resp. B. Beide Strömungen sind annähernd in der mittleren Wasserhöhe am stärksten und zwar die Senkströmung mit einer Annäherung an den Boden, die Quellströmung mit einer solchen nach der Wasseroberfläche. Ihr Drehungsmoment ist wechselnd. Jedes Wirbelpaar, welches einander entgegengesetzte Rotationen besitzt, liegt parallel der Achse des Bettes, ist aber gegen das stromabwärts folgende, umgekehrt drehende Wirbelpaar seitwärts verschoben. Da durch diese Quellen und Senken der Stromstrich geht, muss er hin und her schlängeln. Die von den Quellen und Senken geleistete Arbeit beruht auf der Abstossung der gleichsinnig drehenden Quell- und Senkströmung des einen Wirbelpaares und der Anziehung der entgegengesetzt rotierenden Senk- und Quellströmung benachbarter Wirbelpaare. Sie äussert sich in dem Bestreben die Entfernung der Punkte Q und W von A und B (Fig. 6) zu vergrössern und die der Punkte W und Q von R zu verkleinern.

Die seitliche Verschiebung je eines Wirbelpaares der Quell- und Senkströmung ist eine Folgeerscheinung der Differenzen in der Geschwindigkeit der Wirbelbewegung der beiden Hauptstromspiralen, die einander durchkreuzen, dadurch abwechselnd einander anziehen und abstossen. Ihre Grösse wächst mit der Beschleunigung des Fliessens. Figur 6 zeigt die Bewegungen der Stromfäden in einem horizontalen Längsschnitt durch die Strömung, diejenigen der Stromspiralen  $V_4 V_1 V_3$  und  $V_5 V_2 V_6$  sind jedoch aufzufassen, als bewegten sie sich in der Vertikalen stromabwärts; nur dadurch war es möglich, das Abhängigkeitsverhältnis der



Quellen und Senken von den beiden Hauptstromspiralen zur Darstellung zu bringen. Die Anziehung der beiden Hauptstromspiralen  $V_4 A$  und  $V_5 V A$  führte zu einer Durchkreuzung bei  $A$  und der Bildung einer Quellströmung in dem von beiden gebildeten Winkel  $V A V_4$ ; mit der Durchkreuzung derselben beginnt mit der Abnahme der Anziehung eine Schwächung der Stromgeschwindigkeit am Boden des Flusses, welche ihren Ersatz in der Beschleunigung der entstehenden Senkströmung findet, indem durch den Wechsel der Drehung in der Stromspirale  $A V_1 V_3$  eine erneute Kontraktion der Stromfäden eintritt. Mit zunehmender Stromgeschwindigkeit reduziert sich die Grösse der beiden Hauptstromspiralen auf Kosten der Quell- und Senkströmung, sodass schliesslich innerhalb grösserer, stillströmiger Gebiete je ein schmaler Streifen der Hauptstromspiralen mit ihren Quell- und Senkströmungen liegt.

Verfolgen wir nun an der Hand der Figur 6 den Weg eines Stromfadens. Die gesamte Strombahn lässt sich in zwei Gebiete einteilen: 1. in das der Wirbelströmungen innerhalb der Rhomboide  $A V V_5 V_4$  und  $B V_1 A V_2$ , in das der einfachen, wirbelfreien Strömungen innerhalb der Dreiecke  $V_4 A V_2$  und  $V_1 B V_6$ , den sogenannten stillströmigen Gebieten. In der Umgebung des Ruhepunktes  $R$  auf dem Stromstriche fliessen alle Stromfäden aus dem stillströmigen Gebiete  $V_4 A V_2$  senkrecht auf den Stromstrich zu, sodass sich bei der linksseitigen Ausbiegung desselben von der Mittellinie des Strombettes alle rechtsseitigen Stromfäden der Stromspirale auf einer konvexen Linie, die linksseitigen auf einer konkaven nähern. Bei diesem Vorgange steigen sie langsam vom Boden in die Höhe, werden von der Wirbelbewegung der Hauptstromspiralen  $V_4 A$  und  $V_5 V A$  erfasst, führen eine volle, linke Umdrehung in der Vertikalen aus und treten damit in den inneren Teil des Wirbelstromgebietes, wo sie mit der Quellströmung  $Q$  eine aufsteigende schraubenförmige Rotation ausführen. Nach dem Verlassen der Quellströmung treten sie in das stillströmige Gebiet  $V_4 A V_2$ , wo sie in schwach gekrümmten, untereinander parallelen Linien mit langsamem



Anstiege bis zur Wasseroberfläche fliessen. Hier gehen sie in die Senkströmung W über, steigen mit einmaliger Drehung in aufrechter Schraube um ein Stück abwärts und werden von der linken Stromspirale A  $V_1$  aufgenommen, in welcher sie mit der Wirbelströmung eine schraubige Rotation in der Vertikalen ausführen und sich dem Boden nähern. Indem nun nach und nach sämtliche Stromfäden des stillströmigen Gebietes den gekennzeichneten Weg durchlaufen, vergrössert sich beständig die Wirbelbewegung, und während sich die Stromfäden immer dichter zusammendrängen, hat sich die Quelle von R nach Q verschoben, von wo sich bis A ihre Stromzellen am stärksten verbreitert haben. Bei A beginnt wiederum die Kontraktion der Stromfäden, erreicht mit der Senke bei W die grösste Umdrehungsgeschwindigkeit, welche nach R hin wiederum in derselben Weise abnimmt. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der beiden Stromspiralen hat während dieses Vorganges im Punkte A ihren höchsten Stand eingenommen, sodass sich hier die Wasseroberfläche am stärksten emporwölbt. Die Wirbelbewegung der Stromspirale ist jedoch um eine Umdrehung der Quellströmung voraus, sodass bei Durchkreuzung in A dieselbe Richtung in Fortpflanzung und Umdrehung beibehalten wird (von A nach  $V_1$  und  $V_2$ ). Die Stromfäden der Stromspirale A  $V_2$  beteiligt sich an der Senkströmung garnicht, sondern nehmen aus dem stillströmigen Gebiete  $V_4$  A  $V_2$  allmählich Stromfäden auf und bereiten damit durch die Geschwindigkeitszunahme die Entstehung einer zweiten Quellströmung vor. Die Stromspirale A  $V_1$  jedoch empfängt die aus der Senkströmung frei werdenden Stromfäden und verstärkt seine Umdrehungsgeschwindigkeit von A nach  $V_1$ , wo sie die stärkste Arbeit leistet. In dem Augenblick jedoch, in welchem die Stromfäden  $V_1$  erreichen, ist der letzte Stromfaden der Senkströmung in die linke Hauptstromspirale A  $V_1$  übergetreten und die Senke im Ruhepunkte R angelangt. Dass der durch die Senke von A nach R zurückgelegte Weg grösser ist, als derjenige der Stromspirale von A nach  $V_1$ , ist eine Folge der Kontraktion der Stromfäden in letzterer; somit findet die rechtsseitige Ver-



schiebung, welche dem Einfluss der Senke auf die zweite Quellströmung zuzuschreiben ist, ihre Erklärung in der Verkürzung des zurückgelegten Weges der linken Stromspirale  $A V_1$ , sowie in der Verlängerung und Verstärkung der rechten von  $A$  nach  $V_2$ . Aus diesem Verhalten der Wirbelbewegungen in den Stromspiralen zu derjenigen der Quellen und Senken geht hervor, dass dem Bestreben der beiden gleichsinnig rotierenden Strömungen der Quellen und Senken, sich von  $A$  zu entfernen, die konvergierenden Stromspiralen  $V_4 A$  und  $V_5 V A$  und demjenigen der entgegengesetzt drehenden Senk- und Quellströmungen, sich einander  $R$  zu nähern, die divergierenden Stromspiralen  $A V_1$  und  $A V_2$  entgegenarbeiten, bei welchem Vorgange durch die beschleunigte Bewegung in je einem der beiden Stromspiralenpaare ein Wechsel des Drehungsmomentes eintritt.

Der Ausgleich dürfte jedoch nicht vollständig stattfinden, sondern die Entfernung von  $W$  über  $R$  nach  $Q$  wird infolge des Überwiegens der Zugkräfte immer grösser sein, als die von  $Q$  über  $A$  nach  $W$ . Das Resultat aber des Steigens und Fallens der Geschwindigkeit der Wirbelbewegung in den zusammengehörigen Stromspiralen ist das Serpentinieren des ganzen Gebietes der Wirbelströmung, dessen Schlängelung stärker ist als die des Stromstriches. Bei Linksdrehung der Wirbelströmung in Quelle und Senke, sowie in der Hauptstromspirale muss sich der Stromstrich nach links und bei Rechtsdrehung nach rechts wenden.

Bei dem vorhin gekennzeichneten Wege eines Stromfadens empfing die erste Quelle  $Q$  ihre Stromfäden aus der rechten Stromspirale  $V_4 A$ , welche dieselben ihrerseits dem stillströmigen Gebiete der rechten Seite entnahm. Bei der zweiten Quelle kommen die Stromfäden von der linken Stromspirale  $V_1 B$ , die wiederum dieselben aus dem stillströmigen Gebiete der linken Seite  $V_1 B V_6$  bezieht, diese sodann wieder in dasselbe stillströmige Gebiet mit schwach gebogenem parallelen Stromfäden schiebt. Im ersten Falle beteiligt sich die linke Hauptstromspirale  $V_5 V$  nicht direkt an der Bildung der Quelle, sondern bewirkt nur den Ausgleich zu ihrem stillströmigen Gebiete durch Aufnahme neuer Stromfäden, sodass auf dem



Wege von  $V_5$  bis  $V$  die Stromgeschwindigkeit wächst. Im zweiten Fall fördert die andere, linke Stromspirale  $V_1$   $V_3$  die Bildung der zweiten Quelle nicht direkt, sondern entnimmt ebenfalls nur aus dem stillströmigen Gebiete ihre Stromfäden, die sodann von  $V_1$  nach  $V_3$  an Stromstärke verlieren. Es besteht also ein beständiger Wechsel in der Arbeitsleistung, deren Höhepunkt bei der linken Stromspirale bei  $V$  und  $V_1$ , bei der rechten bei  $V_2$  und  $V_3$  liegt. Aus diesem Verhalten ergibt sich, dass innerhalb der Strombahn zwischen  $A$   $V$  und  $V_1$ , sowie zwischen  $B$   $V_2$  und  $V_3$  die Erosion am grössten ist, während Akkumulation in den stillströmigen Gebieten zwischen  $V_4$   $A$   $V_2$  und  $V_1$   $B$   $V_6$  besteht.

Die entwickelte Theorie liess sich nun ziemlich durch ausgeführte Versuche bestätigen. Als Strombett wurde ein ca.  $2\frac{1}{2}$  m langer, 15 cm hoher und breiter Kasten benutzt, der unter verschiedenen, geringen Winkeln bis zu  $20^\circ$  geneigt wurde. Das am oberen Ende hineingelassene Wasser musste sich gleichmässig im ganzen Gerinne verteilen. Nach kurzer Laufstrecke besass das Wasser eine Geschwindigkeit, dass sich deutlich zwei Hauptstromspiralen als Wülste hervorhoben und sich unter einem spitzen Winkel schnitten. Durch gleichmässiges Einträufeln eines Farbstoffes an verschiedenen Stellen der Strombahn liess sich auf einige Entfernung hin die Art der Strombewegung erkennen. Da jedoch die zur Verfügung stehende Wassermenge aus einem gewöhnlichen Wasserleitungsrohr trotz eines Anstauens zu gering war, gelang zwar nicht in der erstrebten Weise eine genügende Sonderung der verschiedenen Bewegungsformen, doch konnte immerhin aus der Kombination der Beobachtungen eine Übereinstimmung mit der gegebenen Theorie erbracht werden.

Die beschriebenen Bewegungsvorgänge bei der Seiten- und Tiefenerosion müssen sich bei der Tätigkeit der subglacialen Schmelzwasser nun in entsprechender Weise äussern. Bei diesen treten jedoch ausser einer Seiten- und Tiefenerosion, falls die Schmelzwasser die Kanäle ganz erfüllen und unter hohem Druck stehen, Erosion an allen Seiten und andere Bewegungserscheinungen auf. Die Widerstände haben bei der



Seitenerosion durch die Transversalbewegung eine stromabwärtsschreitende Wirbelströmung, bei der Tiefenerosion infolge des Überwiegens der Zugkraft mit Unterstützung des Auftriebes eine auf- und absteigende Schraubenbewegung in Quelle und Senke erzeugt, müssen also in einem mit Wasser ganz gefüllten Kanäle den Auftrieb vergrössern, sodass als resultierende Bewegung neben einer fortschreitenden Wirbelbewegung eine Rotation der beiden Wasserwülste in Spiralen um einander mit entgegengesetzten Drehungsrichtungen entsteht.

Man kann sich das Zustandekommen der Bewegung in einer Röhre auch vorstellen aus dem Zusammenwirken zweier Strombetten, welche mit ihren Hälften umgekehrt aufeinander gelegt sind. Durch die kreuzweise Beeinflussung der je paarig vorhandenen, rechts- und linksdrehenden Stromfäden müsste eine Vereinigung der gleichsinnigen Bewegungen, d. h. eine rechts- und linksdrehende Spiralbewegung erzeugt werden. Sowohl die nach auswärts gerichtete Rotation der beiden Stromspiralen bei Seitenerosion, als auch die nach einwärts gerichtete bei Tiefenerosion würde zu demselben Resultat führen. Die entgegengesetzten Drehungsmomente bewirken eine Kontraktion der Stromfäden, wodurch diese im Stande sind Arbeit zu leisten, welche sich in einer bohrenden Wirkung innerhalb der Röhre äussert.

Durch Versuche in Glasröhren und mit Natronlauge versetzten Wassers, in welches während des Fliessens seitlich durch ein eingeschaltetes Seitenrohr mit Zuflussregulierung eine alkoholische Phenolphthaleinlösung eingeführt wurde, gelingt es bisweilen, besonders bei kurzem Ausflusstück, zeitweise sogar recht deutlich, die Spiralbewegung des einen gefärbten Fadenbündels um das andere zu beobachten.

Da die Spiralen an den Wänden der Kanäle entlang laufen, erstreckt sich die Erosion nicht wie bei Seiten- und Tiefenerosion auf einzelne Teile des Strombettes, sondern auf alle, sodass es die Wirkung hat, als würde auf die Wandungen überall ein gleichmässiger Druck ausgeübt. Alle in der Technik, besonders für Wasserversorgungszwecke ausgeführten Berech-



nungen fassen in der Annahme, dass das in einer Röhre fließende Wasser sich auf konzentrischen Cylinderflächen bewege, und dass seine Geschwindigkeit in Folge des Reibungswiderstandes vom Mittelpunkte nach aussen abnimmt. Ob diese Bewegungsart tatsächlich in der Natur neben der Spiralbewegung z. B. beim langsamen Fließen vorkommt, muss vorläufig als wahrscheinlich dahingestellt bleiben.

Der Transport mitgeführter Sand- und Kiesmassen in solchen Kanälen muss entsprechend der Spiralbewegung in denselben Bahnen erfolgen, doch muss zur Herbeiführung einer vollständigen Auf- und Abwärtsbewegung an den Wandungen entlang eine grössere Kraft aufgeboren werden, sodass in den meisten Fällen ebenso wie bei der Tiefen- und Seitenerosion die Schotter in der Stromrichtung auf der Bettsohle in Zickzackbahnen fortgestossen werden.

## 2. Die Erosionstätigkeit der Schmelzwasserströme und deren Beeinflussung durch die Bewegungserscheinungen des Eises.

Es gilt nun auf Grund der gegebenen Theorie von der Wasserbewegung, die Erscheinungsweise der Äsarbildungen zu erklären, sowie das Abhängigkeitsverhältnis derselben von der Eisbewegung klarzustellen. Dass alle drei Formen der Wasserbewegung am Aufbau der Äsar beteiligt gewesen sind, dürfte von vorne herein als selbstverständlich gelten. Von den Äsar Schwedens und Finlands ist genugsam bekannt, dass die Sohle des Äs flussbettartig in die benachbarte Grundmoränenlandschaft eingesenkt ist, und dass die Erosion nicht nur die Grundmoräne des Inlandeises selbst, sondern oft sogar deren Unterlage betroffen hat. Hummel<sup>1)</sup> und Erdmann sehen die zwischen Äs und Sohle auftretende „Zwischenlage von fein geriebenen, manchmal wie ein schluffiger oder toniger Sand aussehende Masse als letztes Überbleibsel der fortgespülten Moräne<sup>2)</sup>“ an. Stone<sup>3)</sup> berichtet uns über die Gestalt der

1) 1874 sid. 34.

2) Erdmann 1868 sid. 93.

3) A. a. O. Glacial gravels of Maine p. 330—331.



Sohle der amerikanischen Äsar folgendes: „Die Erosion des Geschiebemergels innerhalb des Bettes der Äsströme beschränkt sich bisweilen auf einen durch steil abschüssige Wände begrenzten Erosionskanal, doch öfter findet eine in die Breite gehende Erosion statt.“ Bei der Beschreibung der Äsar Vorpommerns und Rügens wurde gelegentlich ebenfalls auf die Vertiefung des Äsbettes, sowie auf eine Erosion des Geschiebemergels und Einlagerung von grauen, tonigen Sanden hingewiesen (S. 45, 48). Aus dieser Tatsache ist der Schluss zu ziehen, dass vor Aufschüttung des Äs bereits die Ausgrabung eines Flussbettes stattfand, welches im allgemeinen in mehr flussaufwärts liegenden Teilen des subglacialen Kanals erodiert wurde. Bekanntlich ist auch bei den gewöhnlichen Flüssen der Vorgang ein ähnlicher; denn im Oberlaufe eines Flusses findet Erosion und Transport statt, im Mittellauf daneben bereits Akkumulation und im Unterlauf fast nur eine Akkumulation. Von der Erreichung eines Normalgefälles bei Äsströmen kann bei dem Wechsel der hydrostatischen Druckverhältnisse jedoch keine Rede sein.

Die Richtung der Äsströme und ihre Lage zum Eisrande stehen in einem besonderen Wechselverhältnisse. „Der Boden,“ sagt Strandmark,<sup>1)</sup> „bestimmt durch seine allgemeine Neigung die Bewegung des Eises im Grossen und durch Höhen und Tiefen die Bewegungsrichtung der einzelnen, besonders unteren Teile des Eises. Da dem Eise ein überwiegender Einfluss zukommt, wirkt es vor allem durch seine Bodenlagen richtend für die Bahnen der Bodenströme. Das Wasser hat die Strombetten eingegraben und gewinnt dadurch einen selbständigen, wenn auch unbedeutenden Einfluss auf seine Stromrichtung, dass es bestrebt ist, sein Bett in Übereinstimmung mit der Bodenneigung zu erodieren.“ . . . „Denkt man sich für die Strombahn des Flusses ein ganz flaches Gebiet und in diesem eine geradlinige Eisbewegung, so liegt es am nächsten, sich ein gerades Strombett vorzustellen; dennoch dürfte das wirkliche Zustandekommen

1) Om jökelelfvar, Stockholm 1889 sid. 98.



eines solchen zweifelhaft sein, da jede Unregelmässigkeit des Bodens Änderungen in der Stosskraft des Wassers hervorruft. Ein Fluss wird daher bestrebt sein, seinen Weg in schräger Richtung auszugraben.“<sup>1)</sup> „Dadurch“, sagt Strandmark,<sup>2)</sup> „bestimmt die Unterlage mittelbar die Bahnen der Bodenströme, aber wirkt auch unmittelbar auf sie durch das Bestreben der Wasser, ihr Strombett nach den Neigungsverhältnissen zu erodieren.“

Wie sehr die Lage der Åsströme von der Stromrichtung des Eises abhängt, geht unverkennbar aus dem Verhalten der Åsar in Gebieten hervor, die gegen den Sinn der Eisbewegung ansteigen, z. B. diejenigen am Nordabhange Finlands, wo sich die Systeme von Haupt- und Nebenåsar derart anordnen, dass die Åsströme bergauf geflossen sein müssen. Um das zu ermöglichen, mussten die Wasser die subglacialen Kanäle während der Åsbildung ganz erfüllt haben und unter starkem hydrostatischen Druck hervorgepresst sein.

Dieselbe Abhängigkeit ergibt das Verhalten der Åsar in Tälern. Es zeigt sich, sagt Strandmark<sup>3)</sup> „dass die Eisbewegung von massgebenden Einfluss auf die Åsrichtung ist; denn die Åsar folgen in Tälern, die sich in der Richtung der Gletscherschrammen erstrecken, wenn ihnen eine Wahl zwischen zwei Tälern möglich zu sein scheint, dem, welches am meisten mit der Schrammenrichtung zusammenfällt, auch wenn dieses Tal höher, als das andere liegt. In Übereinstimmung mit der Eisbewegung gehen sie von dem einen Tal in das andere über, selbst wenn es weiter abliegt, und übersteigen ohne Richtungsveränderung ein Quertal.“

Einen weiteren Beweis liefern uns die Gebiete, in welchen die Gletscherschrammen konvergieren und divergieren, z. B. im Mälar- und Hjelmbecken Schwedens (siehe Karte von Erdmann-Hummel), sowie Finlands (siehe Karte von Sederholm); denn dasselbe tun die Åsar. Am auffallendsten ist diese Erscheinung

1) Strandmark 1889 sid. 105.

2) Om rullstensbildningar 1885 sid. 10.

3) Om jökelelfvar. 1889, sid. 106.



in Schonen und seinen Grenzgebieten. Sie zeigt sich im nördlichen Teile Schonens in einer N-, NNO- oder NO-lichen und im südlichen in einer O-, OSO- oder SO-lichen Richtung der Åsar, welche beiden nach den Untersuchungen von J. Ch. Moberg und N. O. Holst<sup>1)</sup> ebenso, wie die ihnen parallelen Gletscherschrammen allmählich in einander übergehen. Früher schloss man aus den beiden Schrammensystemen auf zwei Vereisungen, zumal Auf- und Anlagerungen von Geschiebemergel bei diesen Åsar für ein grösseres Alter zu sprechen schienen, ein Fehler, welchen auch Berendt<sup>2)</sup> in Deutschland beging, indem er das Wilsickower Ås der älteren Vereisung zurechnete. An den Åsar des mittleren und nordwestlichen\*) Småland beobachteten Moberg und Holst ähnliche Veränderungen. Auf Öland laufen die Schrammen ziemlich N—S, während die des angrenzenden Gebietes von Småland NW-SO-lich sind. „Mit NW-licher Richtung kommen die Åsar des SSO-lichen Småland zur Grenze von Blekinge herab, wo sich der Einfluss des baltischen Stromes geltend macht und mehrere von den Åsar einen weiten Halbkreis mit nach O konvexen Bogen beschreiben.“<sup>3)</sup> „Auch bei den Schrammen des östlichen Blekinge macht man diese Beobachtung; hier hat nämlich der baltische Eisstrom an einigen Stellen in den Schären eine kleine, O—W-liche Richtung markierende, mehr gerade Erosion vorgenommen, als diejenigen von den übrigen, welche gewöhnlich eine mehr N—S-liche Schrammenrichtung annehmen.“<sup>4)</sup>

Aus dieser auffallenden Übereinstimmung der Richtung der Åsar mit derjenigen der Gletscherschrammen ist nun zwar eine durchschlagende Beeinflussung der Schmelzwasserströme durch die Eisbewegung erwiesen, dennoch tritt an gewissen Stellen die durch das Gefälle bestimmte Erosionswirkung des fliessenden Wassers hervor. Die Åsar zeigen nämlich oft das

1) De sydiskånska rullstensåsarne vittnesbörd i frågan om istidens kontinuitet. Lund 1899 (Håkan Ohlssons Boktryckeri).

2) Zeitsch. d. D. geol. Ges. 40, 1888 S. 489.

3) Moberg u. Holst. A. a. O. sid. 11.

4) Diesel. A. a. O. sid. 8.

\*) Im Text steht nordöstlichen, was wohl ein Druckfehler ist.



Bestreben, zu beiden Seiten einer durch die Eisbewegung bestimmten Linie zu serpentinisieren, welches um so grösser, je ebener das Terrain ist. Diese Erscheinung tritt jedoch auch dann hervor, wenn die Äsar mit den Schrammen konvergieren und divergieren, wie das deutlich bei den klassischen Äsar des Mälar- und Hjelmarbeckens hervortritt. Dieses Schlingeln hat nichts zu tun mit der Abweichung von der durch Höhen und Tiefen bewirkten Änderung der Stromrichtung des Eises und in Übereinstimmung mit dieser, der Äsar; wohl aber vermögen kleine Hindernisse, welche die Stromrichtung des Eises nicht verändern, das Strombett der Schmelzwasser entsprechend der Bodenneigung zu verschieben. Gumaelius<sup>1)</sup> drückt sich hierüber folgendermassen aus: „Die Äsar weichen von der Schrammenrichtung bei begegnenden und sich der Eisbewegung annähernd quer entgegenstellenden Höhen mehr oder weniger weit nach der einen oder andern Seite ab, wo ihnen eine Vertiefung einen leichteren Weg bietet.“ „Dieses Ausbiegen findet schon auf längere Entfernung hin statt, fast, als wenn die Äsar Gefühl hätten von der kommenden Höhe, ein gutes Stück bevor sie dieselbe erreicht hätten, wenn sie in der vorigen Richtung fortgelaufen wären.“

Bei den Äsar lassen sich nun, wie dieses bereits im Anfange dieser Arbeit gesagt wurde (S. 30) zwei Systeme von einander superponierten Mäandern unterscheiden. „Die Serpentinien I. Klasse,“ führt Stone<sup>2)</sup> aus, „sind Abbiegungen für mehrere oder einige Meilen, wie sie alle Äsar und Äsarebenen\*) von Maine machen, um Tälern zu folgen oder eine geringe Passhöhe durch Hügelketten zu finden. Viele grössere Windungen entlang den Tälern sind in derselben Weise, wie die Richtung der Eisbewegung abgelenkt. Solche Stellen würden für die Bildung subglacialer Tunnel günstig gewesen sein. Andere lange Mäander werden, in flachen Gegenden gefunden, wo die Strom-

1) A. a. O. sid. 59 och 63.

2) p. 425.

\*) Mit „Äsarebenen“ bezeichnen die Amerikaner unsere Röllsteinfelder.



richtung des Eises in allen Teilen der Ebene im wesentlichen dieselbe sein würde. Wenn subglaciale Tunnel hier auftreten, müssen sie teilweise für einige Entfernung quer zur Stromrichtung gewesen sein.“ Stone<sup>1)</sup> weist nun darauf hin, dass gerade in flachen Gebieten die am stärksten serpentinisierenden Åsar (reticulated osar), deren Schlängelung zu einer seitlichen, oft netzförmigen Verschmelzung mehrerer parallelen Züge führen kann, vorkommen. Erdmann<sup>2)</sup> berichtet bereits, dass die schwedischen Åsar auf ebenen, wenig koupierten Gebieten der Hochplateaus am vollkommensten und zusammenhängendsten ausgebildet sind.

Lange bekannt ist diese Wechselbeziehung von den Åsar im Mälarbecken, wo sie zu beiden Seiten der Eisbewegungsrichtung hin- und herschlängeln. Ihre südlichen Teile erleiden in Folge ihres Konvergierens Störungen der Regelmässigkeit. „Hier breiten sie sich,“ schreibt Hummel<sup>3)</sup>, „zu merkwürdig geformten Feldern aus, bilden häufig Abbrüche, treten endlich als ganz unansehnliche, ohne jeden scheinbaren Zusammenhang zerstreut liegende Hügel auf und verschwinden.“ Die umgekehrten Verhältnisse wiederum treten bei einer Divergenz der Åsar und der Gletscherschrammen auf, wie dies ebenfalls von den Åsar Schwedens, sowie auch Finlands, bekannt ist (siehe oben bezeichnete Karten). Die Erscheinung hat ihre Ursache in der Eisbewegung, welche durch das Konvergieren der Bewegungslinien eine Störung im Verlaufe der Åsströme und bei der Divergenz derselben eine Förderung ihrer Existenzbedingungen erzeugt. Trotzdem bei der Konvergenz der Richtungen durch Zusammenfliessen der Åsströme eine Vermehrung der Wassermassen stattgefunden haben muss, war es diesen nicht möglich, ihren Weg selbst bei der eingetretenen Gefällezunahme weniger abhängig von der Eisbewegung fortzusetzen.

Während also in flachen und in der Eisbewegung geneigten Becken die freie Entwicklung der Åsströme durch das eintretende Konvergieren der Bewegungslinien des Inlandeises

1) p. 427—428.

2) sid. 106.

3) 1874. sid. 33.



verhindert wird, findet in anderen, mehr gleichmässig geneigten Gebieten durch die Gefällezunahme eine weniger grosse Beeinflussung der Richtung der Äsströme durch die Eisbewegung statt. In Maine z. B. beginnen nach Stone<sup>1)</sup> die Äsar in den flachen Küstengebieten und steigen allmählich bis 200 m über dem Meere an. Bei einer gewissen Entfernung von der Küste, an welcher sie sich in marine und lakustrine Deltas auflösen, bilden sie mit zunehmender Entfernung allmählich länger werdende Rücken in immer zusammenhängenderen Zügen. Weiter die Höhen aufwärts verlieren sie wieder ihre Regelmässigkeit in ihrer ganzen Erscheinungsweise, nur, dass die Rücken symmetrisch und scharf bleiben, jedoch bald in immer grösseren Zwischenräumen auf einander folgen und kürzer werden. In demselben Masse wie die Bodenneigung nimmt auch mit zunehmendem Gefälle das Serpentinisieren der Äsar ab. Es besteht also eine Übereinstimmung mit den die gewöhnlichen Flüsse charakterisierenden Erscheinungen der Seiten- und Tiefenerosion, von denen bei erster in flachen Gebieten grosse Mäander und mit zunehmender Gefälleentwicklung kleiner werdende erzeugt werden. Ebenso sind die Unterbrechungen des Äs auf die wachsende Stosskraft bei grösser werdender Tiefenerosion zurückzuführen, da sich Denudationen und Durchbrüche an der, einer Stosswirkung strömender Wasser ausgesetzten Seite mit der Stromgeschwindigkeit vermehren.

Aus den in der Bewegungsrichtung des Eises geneigten Gebieten Smålands berichtet Gumälius<sup>2)</sup> folgendes: „Die Äsar bestehen oft aus einer ganzen Menge paralleler oder sich kreuzender Hügel, welche sich von der Mitte nach den Seiten immer mehr senken und in Rollsteinfelder oder Heidesandgebiete übergehen. Wenn sich das Äs in mehrere Rücken teilt, erlangt es nicht die Höhe des Hauptrückens. Die entstandenen Teilstücke sind bald an der einen, bald an beiden Seiten miteinander verschmolzen, sodass sie zwischen sich eine grössere oder kleinere Grube einschliessen. Bisweilen

1) A. a. O. p. 316—319.

2) 1876, sid. 20—21.



treten auch verbindende Äste zwischen beiden Rücken auf. An einigen Stellen sind die Åsar öfter unterbrochen, bilden eine Reihe konischer oder etwas langgezogener Hügel, welche auf kürzeren oder längeren Strecken hintereinander liegen und sich bald auf der einen, bald auf der anderen Seite in zusammenhängenden Rücken fortsetzen.“ Diese Beobachtung erinnert an das abwechselnde Auftreten der Sandbänke in einem Flusse, entsprechend den Erosionswirkungen auf ihrer einen oder auf ihrer anderen Seite.

Diese Erosionserscheinungen sind besonders deutlich ersichtlich aus dem Verhalten der Hauptåsar zu den Nebenåsar. „Wenn ein Nebenås sich mit dem Hauptås vereinigt, so fehlt oft die Verbindungsstelle, wenn aber beide ineinander übergehen, so ist unterhalb des Vereinigungspunktes eine Unterbrechung vorhanden. Oft ist das Nebenås vom Hauptås nicht zu unterscheiden, und es ist in der Nähe des Vereinigungspunktes stellenweise mächtiger entwickelt,“<sup>1)</sup> eine Beobachtung, die<sup>2)</sup> sich durch eine Schuttkegelbildung an der Mündung von Nebenflüssen und gleichzeitig die Unterbrechungen durch Auskolkungen an der Prallstelle der seitlich eintretenden Wassermassen erklären lassen.

Näheres über das Zusammentreten von Haupt- und Nebenås erfahren wir bei Strandmark,<sup>2)</sup> welcher 5 Fälle (siehe nebenstehende Figur 7) unterscheidet. Im Falle 1 stossen die Åsar ohne jeden Abbruch im Vereinigungspunkte zusammen, nur oberhalb im Nebenås ist eine Unterbrechung. Bei Fall 2, welcher sehr gewöhnlich ist, liegt die Erosion des Strombettes zwischen Haupt- und Nebenås. Im Falle 3 besteht beiderseits eine Unterbrechung, sodass ein unbehindertes Zusammenfließen beider Ströme stattfinden kann, selbst beim niedrigsten Wasserstande. Bei 4 sind Haupt- und Nebenås vereinigt, und das Zusammentreten der Flüsse bewirkt unterhalb des Treff-

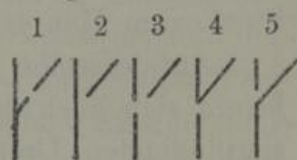


Fig. 7.

1) Gumaelius 1876. sid. 25.

2) Ytterligare om jökelelfvar 1889. sid. 340—368.



punktes eine Auskolkung, auf deren Existenz auch noch das Vorhandensein von öfter auftretenden Åsgruben spricht. Der Fall 5, welcher seltener zu sein scheint, zeigt neben einem direkten Übergang des Nebenås in das Hauptås eine Unterbrechung oberhalb des Vereinigungspunktes. Strandmark<sup>1)</sup> erklärt diese Unterbrechungen nun folgendermassen: „Die Ursache zu den oft vorkommenden Abbrüchen in dem Vereinigungspunkte zweier Åsar muss man in der ungleichmässigen Bewegung des Wassers suchen, welches vom Zusammentreffen zweier Flüsse herrührt. Dabei muss man in Betracht ziehen, dass gleich wie das Bestreben des Eises, das Strombett zusammenzudrücken und das des Wassers dasselbe zu erweitern, nicht immer gleich stark ist, sondern im Gegenteil einen Wechsel in der Breite des Strombettes zur Folge haben musste; aus eben diesem Grunde hat deshalb der Vereinigungspunkt der zusammenstossenden Flüsse periodenweise und langsam ein Stück vorwärts und rückwärts verlegt werden müssen. Diese zusammenkommenden Umstände hinderten die Åsar am öftesten daran, sich fest an einander anzuschliessen. Manchmal wirkten lokale Verhältnisse in entgegengesetzter Richtung und gaben dann eine Verbindung der Åsar zu, doch mangelte gleichsam zum Ersatz hierfür ein Stück vom Hauptås vorwärts.“

Auf dieselbe Ursache, den Wechsel der Wasserkraft, lassen sich auch die Änderungen in der Åsrichtung und die stattfindenden Unterbrechungen durch lokal auftretende Erhöhungen und Vertiefungen zurückführen. Erdmann<sup>2)</sup> teilt uns folgendes hierüber mit: „Wo Berge und Täler in grösserer Zahl dem Ås auf kürzerem Wege begegnen, da ist es oft unterbrochen und unregelmässig. Ausnahmsweise werden an Tal-erweiterungen kurze Rücken gebildet, die bald mit deutlich ausgeprägter, wellenförmiger Gestalt in der Talmitte auftreten, bald sich von einer Talseite auf die andere werfen und, wenn sie sich direkt an den Rand des Tales anlegen, fallen sie ohne Rückenbildung zur Mitte hin ab. An anderen Stellen findet

1) Om rullstensbildningar 1885. sid. 22.

2) 1868. sid. 106.



daneben eine vollständige Ausbreitung der Ablagerung zu wenig mächtigen, flachen Wellen statt.“ Bei alledem windet sich das Ås, wie Gumaelius<sup>1)</sup> verschiedentlich hervorhebt, in einem krummen Tale stärker als das Tal selbst.

Der Umstand nun, dass die Åsar am liebsten in bergigen Gegenden auftreten, erklärt sich aus der grösseren, lokalen Druckschmelzung, als Folge der Widerstandes an den in das Eis als Nunataks einragenden Bodenerhebungen. Deshalb legen sich in diesen Gebieten die Åsbildungen, wie Erdmann bemerkt, am Kamme beginnend, an die Leeseite der Bergrücken an, der den Stoss des Inlandeises aufgehalten hat.

Beachtenswert zur Kennzeichnung der Erosionsvorgänge bei der Åsbildung ist das Auftreten von Denudationen bereits fertig gebildeter Teile des Ås. Von den Åsar, Rollsteinfeldern und Kames Vorpommerns und Rügens wurden diese verschiedentlich bekannt und erstrecken sich ausser auf die Geröllsand-schichten auch auf die Einragungen von Geschiebemergel. Besonders hervorgehoben seien diejenigen im Garzer Ås (S. 62. Taf. 9), dem Rollsteinfelde von Reкетин (S. 71) und von Jarmen (S. 74), sowie in Kames bei Kl. Rakow (S. 88 Taf. 14) und denen zwischen Gustow und Drigge (S. 98 Fig. 3). Gelegentlich finden sie auch bei anderen Autoren Erwähnung. Von finischen Åsar sagt Berghell<sup>2)</sup>: „Bemerkenswert sind die vorkommenden, sackförmigen von Rollsteingrus ausgefüllten Vertiefungen der unterliegenden Sandpartien, welche wahrscheinlich schon in vorher abgelagerten Sanden von strömenden Bächen ausgegraben und nachher von Rollsteinmaterial ausgefüllt worden sind, und zwar gleichzeitig mit der Ablagerung des zu oberst liegenden Rollsteingruses.“ A. N. Jernström<sup>3)</sup> beobachtete ein nach unten hin im Längs- und Querprofil gröber werdendes Rollsteinlager innerhalb einer in der Längsrichtung des Ås sich erstreckenden Furche, welche in die anderen, vorher aufge-

1) 1876. sid. 63 und 70.

2) Geologiska jakttagelser längs Karelska järnvägen II; Fennia 5 No. 2. Helsingfors 1892 sid. 10.

3) Bidrag till kännedomen af Finlands natur och folk. 20: de haeftet Helsingfors 1876. sid. 54, taf. 6, fig. XXI 1, 2, 5.



schütteten Schichten eingegraben ist. Auch Holm<sup>1)</sup> betrachtet die Anzeichen der beständig, vor allem bei diskordanten Schichten, sich wiederholenden Denudationen als besonders charakteristisch für den Bau der Äsar.

### 3. Die Akkumulationstätigkeit der Schmelzwasserströme.

Wie im Grossen und Ganzen die Bildung von Mäandern der teils zusammenhängenden, teils sich in kurze Rücken und Kuppen auflösenden Äszüge, sowie von Unterbrechungen in der Nähe der Einmündungsstellen von Nebenäsar, in den jeweiligen Strömungsverhältnissen der Schmelzwasserströme zu suchen ist, findet hierin auch die Hügelform und der innere Bau der Äsar eine Erklärung. Sollen durch die Wasserkraft Geschiebe verfrachtet werden, muss die Geschwindigkeit des Wassers imstande sein, die Kohäsion und das spezifische Gewicht derselben zu überwinden. Im allgemeinen kann Geschwindigkeit des Wassers dem Produkte aus Geschwindigkeit des Geschiebetransportes und spezifischem Gewichte der Geschiebe gleichgesetzt werden. Die Transportfähigkeit gleichgestalteter Flussgeschiebe wächst bekanntlich mit der 6-fachen Potenz der Stromgeschwindigkeit, sodass also bei Verdoppelung der Geschwindigkeit sich das Gewicht der transportablen Geschiebe um das 64-fache erhöht. Der Strom sucht nun seine Schotter an die Stellen des geringsten Widerstandes zu schaffen, um dadurch denjenigen seiner Bahn zu verkleinern. Er besitzt seinen geringsten Widerstand an den Punkten stärkster Strömung, wo die Stromfäden am dünnsten sind. Letztere verhalten sich aber ähnlich wie die Muskelfasern des Menschen und üben durch eine gewisse Kontraktilität, wie diese eine beträchtliche Kraft aus. Während nun der Strom grössere Arbeit leistet, verkürzen sich die Stromfäden und werden dicker, sodass der Widerstand sinkt.

Ausgeführte Versuche über die Ablagerung von Sand in einer breiten, geneigten Wasserrinne ergaben ein Bild von der verschiedenartigen Akkumulation bei verschiedenen Wasser-

1) 1886 S. 25.



geschwindigkeiten. Bei Erzeugung einer geringen Strömung ist eine Ablagerung von Sand in gleichmässigen, senkrecht zur Stromrichtung stehenden Wellen beobachtet worden, die umsomehr einander parallel laufen, je langsamer die Strömung ist. Wächst die der Korngrösse entsprechende Anfangsgeschwindigkeit auch nur ein wenig, so treten die parallelen Sandrippen unter einander auskeilend in Verbindung und werden bei weiterer Vermehrung schliesslich netzförmig und in der Stromrichtung bald mehr, bald weniger halbmondförmig. Die Höhenlinie dieser Sandwellen liegt anfangs mehr in der Mitte der Rippen, rückt aber mit der Beschleunigung der Wasserbewegung immer näher auf die Leeseite derselben, wo sie schliesslich steil abbricht.

Nach Erreichung dieses Stadiums ändert sich bei weiterer Beschleunigung das Bild ziemlich unvermittelt. Die halbkreisförmigen Abschnitte erweitern sich allmählich zu immer länger werdenden, zungenartigen Ellipsen, die sich zuschärfen und schliesslich zu gleichmässig rhombischen Feldern werden, deren Spitzen aneinander stossen und deren Längsachse parallel der Stromachse ist. Diese rhombenförmigen Sandaufhäufungen brechen in der Stromrichtung, besonders an der freien Spitze schroff ab und dachen sich flussaufwärts zur nächsten Spitze allmählich ab. Eine Vergrösserung der Stromgeschwindigkeit vermindert den spitzen Winkel der Rhombenflächen, bis bei einer bestimmten Grösse, dem Gleichgewichtsverhältnis zwischen der Stromstärke und einer Akkumulation, plötzlich ein allgemeines Wandern der Schotter eintritt in zahlreichen parallelen Bahnen, bei welchem Vorgänge jedoch eine eintretende Geschwindigkeitsabnahme eine Akkumulation in langen, parallelen und von einander ziemlich gleichmässig entfernten, flachen Rücken bewirkt. Der Rhombengrenzwinkel für das Wandern liegt für grobkörnigen Kies bei ca.  $45^{\circ}$ , bei feinem Seesand und Dünensand (der Korngrösse 6 von 0,15 — 1,5 mm) geht er hinunter auf ungefähr  $30^{\circ}$ .\*)

\*) Die genaue Bestimmung des Grenzwinkels für jede Korngrösse und die verschiedenen spezifischen Gewichte der Schotter dürfte in den



Ist der Transport der schwebenden Schotter ein allgemeiner, ändert sich auch die Wasserbewegung. Die ursprüngliche Spiralbewegung verschwindet, und es beginnt ein stückweises Talwärtsrollen von Wasserwülsten, deren Längsachse quer zur Stromrichtung steht. Während sich nun zuerst ein derartiger Wasserwulst rechts dreht, findet eine Verlängerung der Stromfäden statt, und die Schotter werden eine Strecke weit transportiert, und, indem er sodann sich links herum zurückwindet, verbreitern sich die Stromfäden, sodass eine Akkumulation der Schotter eintritt. Dadurch entstehen breite, das Flussbett quer durchsetzende, parallele Schotterrücken, und man gewinnt den Eindruck, als wenn die Wasser sich über diese kaskadenartig hinwegstürzen. Dies stufenweise Abwärtsrollen der Wassermassen stellt die Übergangsphase zur eigentlichen, fallenden Wasserbewegung dar, wie sie den Wasserfällen eigen ist, und liesse sich von dieser als stürzende Wasserbewegung unterscheiden. Vergrössert sich bei dieser letzten der Widerstand, so verändert sich sofort die Aufschüttung der Querwälle in eine solche breitlappiger Zungen, deren Mittelstück grubig vertieft und deren äusserer Saum scharf randartig aufgebogen und in der Stromrichtung steil gegen die nächste Zunge abgesetzt ist.

Die bei langsamer Strömung entstehenden Querwellen erklären sich durch die Seitenerosion. Das durch den Wasserstrom losgelöste Material nimmt seinen Weg zur Strommitte, wo sich die Wirbelstromfäden zur Wasseroberfläche hin bewegen. Durch die Abnahme der Arbeitsleistung der Wirbelfäden können die Schotter an dieser Stelle nur noch durch die geringe Zugkraft des Wassers geordnet werden, d. h. sie lagern sich senkrecht zur Stossrichtung in Wellen quer durch das Flussbett. Die Vergrösserung der Stromgeschwindigkeit bewirkt durch die Zunahme der Stosskräfte eine Verlängerung einzelner Teile der Schotterbänke zu mehr oder weniger spitzen Zungen. Die

---

Fällen einer künstlichen Verbreiterung eines Strandes zum Zwecke eines Uferschutzes durch Bühnenbau von Wichtigkeit sein. Siehe hierüber bei Elbert „Über die Landverluste an den Küsten Vorpommerns und Rügens, deren Ursachen und deren Verhinderung“ X. Jahresbr. S. 1—27.



Akkumulation in rhombischen Feldern und unter spitzen Winkeln in der Stromrichtung sich durchkreuzender Rippen erklären sich durch die Erscheinungen der Wasserbewegung bei Tiefenerosion. Unter der Mitwirkung der Quell- und Senkströmungen wandern die Schotter im Zickzack von einer Bettseite zur andern stromabwärts. Die Senkströmung entnimmt das Material für die Schotter einer Prallstelle des Ufers, stösst es vorwärts und lässt es bei seinem Übergange in die Quellströmung wieder fallen, welche sich zum gegenüberliegenden Ufer wendet und hier eine neue Senke erzeugt, sodass sich die Tätigkeit wie vorher wiederholt. Auf diese Weise werden die Schotter allmählich in das stillströmige Gebiet geschoben und bilden abwechselnd zwischen den Prallstellen und Bettvertiefungen an den Uferseiten Ablagerungen in der Form von Dreiecken, deren Spitze nach der Stromseite hinsieht. Diese Schotterbänke werden beständig auf ihrer Luvseite erodiert und verlängern sich auf ihrer Leeseite; zwischen ihnen hindurch aber winden sich die beiden Stromspiralen talwärts.

Dieses Prinzip der Akkumulation liegt auch der Ablagerung in den oben beschriebenen, rhombischen Feldern zu Grunde. Erzeugt man nämlich in einem breiten, aber flachen, künstlichen Gerinne durch entsprechende Neigung eine für die Wasserbewegung bei Tiefenerosion einsetzende Geschwindigkeit, so beobachtet man in diesem einen Flussbette mehrere parallele Stromspiralen nebeneinander und zwar je mehr, desto geringer die Wassermenge und desto grösser ihre Geschwindigkeit ist. Die in einem einfachen Strome auf beiden Seiten entstehenden dreieckigen Schotterbänke ergänzen sich beim Vorhandensein von zwei oder mehreren selbständigen, paarigen Stromspiralen zu rhombischen Feldern.

Bei den Åsar, Rollsteinfeldern und Kames kommen nun Schichten und grössere Schichtenverbände in allen möglichen Gestalten vor, deren Entstehung sich jedoch in jedem Falle leicht durch die beschriebenen Typen der Akkumulation erklären lassen. Mit der Stromgeschwindigkeit wächst der Grad der Aufbereitung des vorwiegend dem Inglacial entnommenen Geröll-



glacials. Die Sortierung der Geröllsande nach der Korngrösse (incl. spec. Gew.) führt zu einer Trennung verschiedenkörniger Sande und Kiese, welche ihrerseits eine weitere und grössere Diskordanz ihrer Schichten, sowie Sonderung erfahren. Während diese Schichtungsverhältnisse auch bei den gewöhnlichen Oberflächenflüssen vorkommen, scheint die diakene Schichtung (siehe S. 38) besonders die Åsarbildungen zu kennzeichnen; denn eine solche Ablagerung, z. B. bei Gebirgsflüssen unterscheidet sich durch ihre kleineren Zwischenräume, deren Ursache in der Abplattung der Geschiebe liegt. Die Schotter der Åsströme jedoch besitzen rundliche und ellipsoidische Formen, aus welchen man auf eine grössere Stromgeschwindigkeit schliessen kann, da bei einem geringen Stosse ein Vorwärtschieben, bei einem starken ein Vorwärtsrollen stattfindet. Dabei kommen im Ås Rollblöcke vor von 1—2 Kopf Grösse, welche sich mit anderen kleineren nicht selten zu Geröllpackungen anhäufen. Die Abrollung dieser Blöcke, sowie die Fortführung des gesamten, feinen Materiales lässt vermuten, dass wir es bei den Åsströmen stellenweise mit ganz bedeutenden Stromstärken zu tun haben.

Diakene Lagen von Schichten und Geröllpackungen wurden bei der Beschreibung der pommerschen Åsar vielfach erwähnt. Es mag hier jedoch noch besonders auf die Verhältnisse beim Gatschower Ås (S. 52), beim Hammelstaller-Ås (S. 59), Garzer-Ås (S. 62) und bei dem Rollsteinfelde bei Rekentin mit seinen zahlreichen, grossen Rollblöcken (S. 69—71), und demjenigen bei Jarmen (S. 74), sowie den Kames bei Kl. Rakow (S. 88), Hohendorf (S. 90), Bergen (S. 95) und bei Garz (S. 97) hingewiesen werden. Auch Gumaelius<sup>1)</sup> berichtet von schwedischen Åsar, welche sich ganz aus Rollsteinen aufbauen, und dass, wenn diese den Kern des Rückens bilden, Schichtung kaum wahrzunehmen ist. Erdmann<sup>2)</sup> sagt unter anderem, „dass die eine Seite bald aus Sand, die andere bald nur aus Rollsteinen besteht.“ Strandmark<sup>3)</sup> fügt hinzu: „Man sieht auf mehreren Punkten, dass der Sand von

1) 1876 sid. 21, 33.

2) 1868 sid. 88.

3) 1889 sid. 359.



unten hoch in die eine Seite des Åskernes steigt, während dessen andere entblösst ist und eine mit Rollsteinen dicht gespickte Masse zeigt.“ Von den Åsar Finlands erfahren wir noch weiteres: „In den gewaltigen Åsar Vichtyssyrjä und Padanpahtasyrjä scheint der Åskern teilweise aus grossen, völlig abgerundeten Blöcken zu bestehen.“<sup>1)</sup> Für die amerikanischen Åsar bezeichnet Stone<sup>2)</sup> diakene Lagen als für die Åsar charakteristisch, und Davis<sup>3)</sup> nennt die Struktur dieser fast schichtungslosen Geröllaufhäufung „openwork“.

Um eine Vorstellung zu bekommen von Zeit und Weg, welche nötig sind, Geschiebeglacial in Geröllglacial zu verwandeln, hat Erdmann<sup>4)</sup> einige Versuche angestellt, um aus Geschieben Gerölle zu erzeugen. Er brachte in einen mit Beton aus echten Rollsteinen ausgekleideten Kasten, der um 30 Grad von einer Seite zur andern durch Hin- und Herwiegen bewegt wurde, folgende Gesteine in eckiger Form: 1) Granit, 2) Orthoceratitenkalk, 3) körnigen Kalkstein, 4) kambrischen Sandstein, 5) Quarzit und Rhätsandstein und 6) Tonschiefer. Nach 200 Kastenbewegungen haben die Steine einen Weg von 1128 m zurückgelegt, und alle weicheren Stücke (5—6) wurden kantengerundet. Nach einem Wege von 6,882 km waren alle Sandsteine abgerollt und nach 22,98 km sämtliche Gesteine in Rollsteine umgebildet. Bei den Åsströmen wird die Wegstrecke, auf welcher die Umwandlung der Geschiebe in Gerölle vor sich gegangen, wegen der bedeutend grösseren Wasserkraft eine viel kürzere gewesen sein. Schon in unseren Gletscherbächen trifft man 1—200 m entfernt vom Eisrande kaum mehr geschrammte Steine. Paykull<sup>5)</sup> aber fand unmittelbar vor dem Gletschertore der isländischen Åsströme schon kein Geschiebe mehr.

1) Rosberg Fennia 7, 2) 1899 p. 39.

3) The subglacial Origin of certain Eskers (Proceed. Boston Soc. Nat. Hist. XXV 1892) S. 478.

4) Bidrag till kändedomen om rullstenars bildande (Geolog. Fören. i Stockholm Förh. 1879 Nr. 55 Bd. IV No. 13; härtill tafl. 21.) sid. 407—417.

5) 1867 S. 42.



Entsprechend dem Grade der Aufbereitung begegnet man daher grösseren und kleineren Teilen von Åsar, die bald ganz aus lose gepackten Sanden und Granden bestehen, bald mehr aus gröberem Geröllsanden und Kiesen.<sup>1)</sup> Es scheinen aber die Åsar mit mehr feinkörnigen oder doch weniger vollkommen sortierten Geröllsanden, denen dann meistens jegliche feinpulverige, dem „Krossgrus“ ähnliche Bestandteile fehlen, nicht nur die längsten Rücken und am meisten zusammenhängenden Züge bilden, sondern auch sich gerade in flachen oder doch wenig geneigten Gebieten einzustellen, z. B. im mittleren Mälarbecken und in den flachen Gebieten von Maine. Dieses Zusammentreffen beider Erscheinungen liesse sich ganz gut mit der geringen Gefälleentwicklung in Verbindung bringen. Bei småländischen Åsar, besonders der stark bergigen Gegenden, begegnet man wiederum einerseits einer so geringen Sortierung, dass eine Schichtung der Geröllsande kaum zu sehen ist, andererseits stark diskordant geschichteten, groben Kiesen; dabei kommt es vor, dass Teile der Rücken sich aus „Krosstengruss“ zusammensetzen.

„In Echstland,“ berichtet Holm,<sup>2)</sup> „gibt es nun aber auch Åsar oder grössere oder kleinere Teile von solchen, die ausschliesslich aus Krosstengruss bestehen und bei denen man nur an den Seiten einige Spuren von der Wirksamkeit des Wassers sehen kann. . . . Ein aus solchem Material aufgebautes Ås verliert sehr oft auf eine Strecke seine ausgeprägte Rückenform und bildet eine Menge sehr regelmässiger, sich dicht zusammendrängender Hügel. . . . Diese machen vollständig den Eindruck von auf- und nebeneinander ohne Ordnung aufgeworfenen Schutthaufen.“

Erwähnt möge an dieser Stelle die Beobachtung von Gumaelius<sup>3)</sup> sein, dass die Rollsteine häufig mit ihren Längsachsen in der Richtung der Åsrücken liegen.

1) Erdmann 1868. sid. 87—88.

2) 1886. S. 25.

3) 1886. sid. 25.



Hingewiesen sei ferner auf eine Äusserung von Hummel<sup>1)</sup>: „Ein dem Anschein nach allzuwenig beachtetes Verhältnis von grossem Interesse ist die in der Längsrichtung des Gerölls vor sich gehende, merkbare Veränderung, sowohl in Betreff der Dimensionen, als auch der Bearbeitung des Materials. Vielfach . . . wurde nämlich beobachtet, dass die Rollsteinbildung gegen ihr hochliegendes Ende, sozusagen, schwindet, indem ihre Mächtigkeit abnimmt, und ihr Material dem „Krossgrus“ ähnlich wird. Diesen Rollsteinbildungen mangelt zwar die Schichtung nicht, ist jedoch nur selten gesehen, sodass die Rollsteinmassen im allgemeinen mehr ungeordnet, gewaltsam und oft deutlich durch eine, in unmerklich kurzen Pausen schnell wirkende, bedeutende Wasserkraft aufgeworfen zu sein scheinen.“

Diese wechselnden Verhältnisse in der Lagerung und Sortierung des Äsmaterials erklärt nun Strandmark<sup>2)</sup> folgendermassen: „Bald ist das Äs an der einen Eiswand aufgebaut, bald an der anderen, im einen Falle hat die Kraft schräg oder fast rechtwinklig gegen die Längsrichtung des Äs gewirkt, im anderen parallel mit dieser. In Übereinstimmung hiermit können die Längsachsen der Steine im Verhältnis zur Erstreckung der Äsar eine bestimmte Lage einnehmen, anderenfalls ist die Rollsteinmasse gewaltsam aufgehäuft, und ihre Steine liegen infolgedessen ohne Regelmässigkeit in genannter Hinsicht.“

Die von Strandmark bezeichneten Momente stellen ihrem Wesen nach die beschriebenen Erscheinungen der Wasserbewegung bei Seiten- und Tiefenerosion dar und erklären Schichtungs- und Lagerungsverhältnisse im Äs. Geringe Stromstärken werden teils horizontale, teils einseitig, schwach bis steil geneigte Lagerung der Schichten erzeugen, die scheinbar konkordant, meist aber diskordant liegen. Grössere Stromstärken werden eine antiklinale Lagerung hervorrufen, welche mit einer Beschleunigung an Steilheit zunimmt. Diese Sättel markieren in der Längsrichtung des Äs

1) 1874 sid. 7.      2) 1889 sid. 21.



auf- und absteigende Wellen, deren Amplitude mit zunehmender Sortierung nach der Korngrösse wächst. Da sie sowohl im Längs- wie Querprofile meist eine pantoklinale Lagerung besitzen, muss man annehmen, dass der Ässtrom quer über sie hinweg geflossen ist, während die bisweilen vorkommende, ungleichmässige, auf einer Seite stärker entwickelte Neigung der Schichten für eine einseitige Konzentrierung der Wassermassen spricht. In diesem Falle müssen starke Denudationen bereits abgelagerter Schichten vorkommen, die selbst zu einer teilweisen Entfernung des oberen Teiles des Sattels, sowie auch seiner dem Wasserstosse ausgesetzten Vorderseite. Indem das an der Luvseite der Äsablagerung entnommene Material auf der Leeseite aufgeschüttet wird, bilden sich monoklinale, in der Stromrichtung geneigte Schichten.

Ein derartiger Vorgang muss auch in dem Äs bei Garz auf Rügen stattgefunden haben, wie dies aus den Lagerungsverhältnissen in der grossen Kiesgrube an der Chaussee nach Samtens hervorgeht. Auf Tafel 9\*) sieht man im Längsprofil des Äs zwei, durch eine Geröllehmschicht getrennte Lagererien, deren nördlicher Teil aus einem deutlichen Sattel, deren südlicher aus monoklinal nach SW hin geneigten Schichten besteht. Ihrer Ablagerung ist nicht nur eine mehrfache Denudation vorausgegangen, sondern auch eine öftere Verlegung des eigentlichen Strombettes ein Stück nach NW hin, während dann nach erfolgter Einebnung der Äsmasse eine erneute Akkumulation wieder auf der SO-Seite anhub. Die Zwischenschicht des horizontal liegenden Geröllehmes dürfte andeuten, dass nach eingetretener Planierung ein Einsturz des Tunneldaches stattgefunden hat, das Eis zeitweise zum Aufsitzen kam und eine wenig umgelagerte Innenmoräne sich mit den Geröllsandbildungen vermischte. Die beständige Verschiebung des Stromstriches aber verhinderte eine antiklinale Lagerung des Äsmaterials im Querprofil, sodass grössere und kleinere, linsenförmige Partien nebeneinander entstanden.

Aus der Zunahme der Stromgeschwindigkeit und Verlegung

\*) VIII. Jahresber d. geogr. Gesell. z. Greifswald 1903/1904.



des Stromstriches ergibt sich auch die aus den verschiedenen, anderen Formen der Lagerung sich kombinierende, sowie eine richtungslose, dann aber auch bei sehr starker Strömung wiederum eine horizontale oder schwach synklinale. Die gleichmässig pantoklinale und die horizontale, sowie auch unter Umständen die synklinale Lagerung liessen sich vielleicht am besten durch die gekennzeichnete Spiralbewegung in geschlossenen Kanälen erklären, während jedoch die Ausbildung einer antiklinalen Lagerung, besonders bei ungleichseitiger Entwicklung, auf die Erscheinungen bei der Tiefenerosion zurückzuführen sind.

Ebenso finden die Lagerungsverhältnisse in den Rollsteinfeldern eine gute Deutung durch die Theorie der Wasserbewegung. Ihre Entstehung ist aufzufassen als eine Akkumulation durch zu Tage tretende Äsströme, die ihre Schotter auf dem vor dem Eisrande sich ausdehnenden Gebiete abgelagerten. Dem Äsströme ermöglichte hier die freie Entwicklung eine mehrfache Teilung, sowie öftere Veränderung der Lage und Richtung. Die gleichmässig wellenförmige Lagerung der auf grössere Entfernungen hin parallelen Schichten, wie sie z. B. vom Grimmer Rollsteinfelde beschrieben ist (S. 75), wäre durch einen oder mehrere breite, ruhig dahinfließende Ströme zu erklären. Diejenige in regellosen, über- und nebeneinander liegenden Linsen aber kann nur die Folge eines starken, jedoch schnell seine Lage wechselnden Flusses sein. Dieser letzte Fall dürfte für das Rollsteinfeld bei Jarmen zutreffen, wo ausserdem bedeutende Denudationen einzelner Gruppen von Kieslinsen, teils innerhalb der Hauptmasse des Rollsteinfeldes, teils auch der gesamten Oberfläche (S. 74—75, Fig. 2) vorkommen. Als besonders charakteristisch muss das Auftreten der durchkreuzten, diskordanten Parallelschichtung, besonders bei feinkörnigen Geröllsanden gelten, welche als Störung der ursprünglichen Lagerung aufzufassen ist. Beim Rollsteinfelde von Jarmen bildet diese innerhalb eines groben Kieselbedeutende, im Querschnitt oft mehr als 1 qm grosse Komplexe von einheitlich parallel geschichteten, oft steil aufgerichteten Bänken,



welche mit anders geneigten, aber ebenfalls parallel geschichteten ohne Ordnung neben- und übereinander auftreten.

Durch Versuche, welche ich auf Langeoog beim Eintritt der Ebbe mit abfliessenden, in den Gezeitenlagunen zurückgebliebenen Wassern angestellt habe, konnte diese diskordante Parallelschichtung, wenn auch in bescheidenem Masse, aber doch erkennbar dadurch hervorgerufen werden, dass die Ablagerung der von einem starken Strom schwebend fortgeführten, grösseren Sandmasse im Momente der Akkumulation durch schnelle Absperrung eines Teiles der Strombahn gestört wurde. Der in der Wassermasse plötzlich erzeugte Stoss ruft durch eine Wellenschwankung eine Durchkreuzung der alten Beharrungsebene hervor und lagert Teile der parallelen Schichten um, indem diese sich zu der neuen Bewegungsform durch mehr oder minder starke Neigung, hin- und herpendelnd, in neuer Gleichgewichtslage einzustellen suchen. Solche Störungen dürften nun, z. B. beim Jarmer Rollsteinfeld, häufig durch Strombettverlegungen und Beeinflussung benachbarter Stromrinnen bewirkt sein. Das Vorhandensein von Strömungsdifferenzen in diesem Rollsteinfeld geht schon aus der fast ganz sandigen Ausbildung des westlichen Teiles, in welchem diese Erscheinung am häufigsten zu beobachten ist, hervor.

Besonders beachtenswert sind die Lagerungsverhältnisse im Rollsteinfeld bei Reкетин (S. 69—73), welches ohne Frage mit der Talbildung der „Blinden Trebel“ in Beziehung steht. Die muldenförmige Lagerung der Kiesmassen im Querprofil (Taf. 12<sup>\*)</sup>) rührt von einer Ablagerung in mehreren, nebeneinander liegenden, N-S laufenden Rinnen her, in welchen eine bedeutende Tiefenerosion geherrscht haben muss, wie dies für die einzelnen Teile des Rollsteinfeldes an der Hand der Fig. 1 auf S. 71 näher auseinander gesetzt wurde. Um jedoch diesen Grad der Tiefenerosion zu erklären, ist es notwendig, eine seitliche Einengung des Stromes zwischen Eiswänden oder einen Tunnel anzunehmen. Die Lage der Randmoränen entspricht einer solchen Voraussetzung,

<sup>\*)</sup> VIII. Jahresber. d. geogr. Gesell. z. Greifswald 1903/1904.



und das Rollsteinfeld konnte sich als Uferwall eines, das Blinde Trebeltal erodierenden Stromes aufbauen. Die Lagerungsverhältnisse der stellenweise über den normalen Schüttungswinkel geneigten Schichten, sowie der gesamte, bis jetzt noch von keiner Geröllglacialbildung sonst bekannte Schichtenverband lassen eine Deutung nur durch die Bewegungserscheinungen einer äusserst energischen Tiefenerosion zu, bei welcher der Wasserdruck ein so bedeutender war, dass die Schotter lange von der Strömung getragen wurden. Die Bildung mehrerer grabenartiger, paralleler und unverhältnismässig tiefer Rinnen, die eine ausserordentlich gleichartige Gestaltung zeigen, ist erklärlich durch die Bildung mehrerer, paariger Stromspiralen innerhalb eines breiten, aber flachen oder besser schmalen, tiefen und starkströmigen Flusses. Der innere Zusammenhalt der gratförmigen, steilen Scheidewände zwischen den oft kaum mehr als 2 m breiten Stromrinnen ist nur durch die gleichmässige Druckverteilung denkbar, wie sie in einem mit hohen Geschwindigkeiten strömenden Flusse durch das Bestreben einer tunlichst geradlinigen Fortbewegung möglich wird. Aus dem Bau der Scheidewände zwischen den Gräben ist ersichtlich, dass sie sich gegen die Stromrichtung hin nach rückwärts aufgebaut haben, was ebenfalls aus ihrem Auskeilen nach N hin hervorgeht, Verschmelzungsvorgänge, bei welchen aus zwei Rinnen eine breitere und flachere geworden sind. Die rhombische Grundform der diese Wasserbewegung charakterisierenden Schotterbänke tritt deutlich im Grundriss der Scheidewände hervor. Sie ist jedoch, wie das für starke Strömungen in Flüssen selbstverständlich, spitz in der Stromrichtung ausgezogen. Die auftretenden Störungen im einheitlichen Bau der Kiesmassen (Taf. 13) dürften aber ihre Ursache in der ungleichmässigen Belastung durch die Erhöhung des einen Strombettes gegenüber dem benachbarten haben, sodass der gelegentliche Zusammensturz oder eine Verbiegung der steilen Scheidewände nicht merkwürdig erscheint.

Diese Darlegungen haben gezeigt, dass die Äsarbildungen Schotterbänke von Flüssen sind, deren Strömungserscheinungen auf die Vorgänge bei Seiten- und Tiefenerosion, dann aber auch bei der spiraligen Wirbelbewegung innerhalb



geschlossener Kanäle zurückzuführen sind. Es erübrigt nun noch festzustellen, in welchem Teile dieser Kanäle ihre Bildung stattfand. Es wurde bereits auf die Übereinstimmung mit einem gewöhnlichen Flusssystem, bei welchem sich die Akkumulation vorwiegend auf den Unterlauf konzentrierte, hingewiesen. Die stärkste Akkumulation müsste demnach im Gletschertore sein und nach der Einschmelzzone hin abnehmen; das Ås wäre also von der Mündung des Stromes nach rückwärts gewachsen.

Entweder hat sich nun das Ås in seiner ganzen Länge während des Stillstandes des Eisrandes gebildet, oder es ist stückweise erst mit dem Zurückschmelzen des Eisrandes durch Aneinanderreihung einzelner im Unterlaufe oder schliesslich auch dem Gletschertore gebildeter Rücken entstanden. Wäre das erstere der Fall, so müsste jeder Åszug an einer Endmoräne endigen und dort eine Kameslandschaft oder ein Rollsteinfeld bilden, was jedoch nicht immer der Fall ist. Die Åsar liegen vielmehr stets in der Grundmoränenlandschaft und verschwinden meist, bevor sie die Endmoräne erreicht haben. Sie beginnen ausserdem sehr oft auf der anderen Seite d. h. vor der Endmoräne, ohne eine Beziehung zu einer zweiten zu zeigen. Ausserdem legen sie sich häufig an Drumlins<sup>1)</sup> an, welche sie stellenweise sogar erodiert haben, dürften also, da diese als subglaciale Bildungen, also Bildungen hinter dem Eisrande sind, jünger als diees, d. h. Rückzugsgebilde des Eises sein. Da die Åszüge oft auf der Innen-, wie Aussenseite von Endmoränen zugleich auftreten, erscheint die Annahme sowohl einer so ausserordentlich breiten, zur Erklärung derartig langer Åsar notwendigen schwellenden Randzone höchst unwahrscheinlich. Für die tatsächliche Breite des Randgebietes ist mir jedoch

1) G. F. Wright: Remarkable gravel ridges in the Morrismack Valley (Proceed. Boston Soc. Nat. Hist. vol. 19. 1878.) — Davis: The distribution and origin of Drumlins (Americ. Journ. of science 3<sup>th</sup> ser. vol. 28. 1884 p. 409). — Stone: Gravels of Maine p. 32. Map of the Kames of Maine (Proceed. Boston Nat. Hist. 20. 1880.) — Keilhack: Drumlinlandschaft (Jahrb. d. K. preuss. Geolog. Landesanst. f. 1896. S. 163—188.)



nicht möglich, irgend welche Zahlenangaben zu machen. Wollte man sich an die heutigen Verhältnisse anlehnen, so würde es sich immerhin nur um einige Kilometer handeln. Sind die Åsar aber Rückzugsgebilde, müsste auf kürzere oder längere Strecken hin, besonders dann, wenn während des Rückzuges kurze Stillstände des Eisrandes eintreten, eine gewisse Wiederholung in der Ausbildung des Ås vorkommen.

Nach de Geer<sup>1)</sup> ist eine Aufschüttung von Åsmaterial innerhalb eines subglacialen Kanals wegen des dort herrschenden, bedeutenden hydrostatischen Druckes nicht möglich, vielmehr sollen alle Schotter durch den Strom hinausgefegt werden und erst im Gletschertore durch die stattfindende Entlastung zur Ruhe gelangen. Dadurch seien Schuttkegel entstanden, die sogenannten Åskerne, durch deren Rückwärtsverlängerung mit der Abschmelzung des Eises Rücken geschaffen wurden. De Geer, welcher die Åsar der Stockholmer Gegend auf die seiner Theorie entsprechende Ausbildung untersuchte, glaubt folgende Eigenschaften gefunden zu haben: „Die Åszentren bestehen an dem proximalen Ende oder dem, von welchem die Glacialflüsse gekommen sind, oft aus grobem Material, aber gegen das entgegengesetzte oder distale Ende aus immer feinerem, erst kiesigem, dann sandigem Material. Wo das proximale Ende eines Åszentrums freiliegt und nicht von jüngeren Bildungen bedeckt ist, da sieht man nicht selten eine Ausbildung als wirklichen Rollsteinhaufen, während alles feinere Material von einem offenbar sehr gewaltsamen Strome fortgespült ist. Ausserdem zeigen die Åsar „dass sie sich nicht nur in ihrer Form oft in einzelne Hügelkuppen abteilen, sondern auch dort, wo sie scheinbar einheitliche Rücken bilden, existieren in der Regel im inneren Bau mehr oder weniger deutlich von einander getrennte Partien.“<sup>2)</sup>

Zu ähnlichen Resultaten führten die Untersuchungen von Tolls<sup>3)</sup> an kurländischen und livländischen Åsar. Auch

2) 1897 S. 366—388.

1) de Geer 1897 sid. 382. 2) 1899 a. a. O.



Holm<sup>1)</sup> teilt uns das gleiche von ehstnischen Åsar mit: „Das Längsprofil ist niemals ganz geradlinig, sondern immer mehr oder weniger wellig, als ob das Ås aus einer Reihe von herabgeworfenen Haufen zusammengesetzt wäre. Bei einigen Åsar und gewissen Strecken ist dieses besonders deutlich ausgeprägt, wie z. B. bei dem von den Ehsten Kuchjamäggi genannten Ås NO von Taps, welches seinen Namen von dem ehstnischen Worte „Kuhhi“ — „Heuschober“ (Kuje = Heu) bekommen hat.“

Die de Geersche Theorie lässt sich jedoch nicht ohne weiteres zur Erklärung aller Åsarbildungen anwenden, da der Bau derselben doch zu verschiedenartig ist. Schon Erdmann<sup>2)</sup> sagt: „Die von einem oder anderem gemachte Behauptung, dass der Kern der Rollsteinåsar zum grössten Teile aus Rollsteinen gebildet wird, scheint nur auf Beobachtungen gegründet zu sein, welche innerhalb einer bestimmten Gegend oder einer grösseren Åserstreckung gemacht sind, aber für die normalen Verhältnisse lässt sich derartiges nicht behaupten.“ F. Wahnschaffe<sup>3)</sup> wendet sich auch gegen eine Verallgemeinerung der Theorie, indem er sagt: „Die Einwände de Geers gegen den Absatz von Geröllbildungen auf dem Boden subglacialer Kanäle scheinen mir nicht beweiskräftig zu sein. In geschlossenen Röhren wird infolge der Reibung des Wasserstromes an den Unebenheiten der Wände die Geschwindigkeit desselben eine verschiedene sein, so dass schon dadurch der Absatz mitgeführten Schuttmaterials erfolgen muss. Ich halte es jedoch auch nicht für notwendig, dass alle Åsar in genau derselben Weise entstanden sind, und es scheint mir sehr wohl möglich, dass auf solche, in deren innerem Bau sich wirklich verschiedene Åszentra nachweisen lassen, de Geers Schuttkegeltheorie anwendbar ist.“

Es muss Wahnschaffe beigepflichtet werden, dass die de Geersche Beweisführung für seine Theorie nicht zwingend ist, dennoch kann aus den vorhin dargelegten Gründen

1) 1886 S. 22.      2) 1868 sid. 88.

3) Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. Stuttgart 1901. 2. Aufl. S. 174.



ein Äszug nur stückweise, wenn auch auf sehr mannigfaltige Art und in verschieden grosser Ausdehnung während des Eistrückzuges gebildet sein, was sich durch Wiederholungen des Aufbaues, der immer auf die unmittelbare Nähe des Eisrandes hinweist, beweisen lässt. Mit dem allmählichen Zutagekommen eines bereits fertig gebildeten Äs bei der Eistrückschmelzung ist verbunden ein jeweiliges Passieren des Eisrandes durch einen Teil des Äsrückens, sodass sich auf demselben echte, terminale Abschmelzungsprodukte ablagern. Zu diesen gehört in erster Linie der Geschiebesand, der häufig die Äsrücken überzieht und mit seinen steten Begleitern den Geschieben, den Äsrücken krönt. Er gleicht die Unebenheiten des Rückens aus, greift oft zapfen- und sackartig in das Geröllglacial ein und erfüllt nicht selten mehr oder weniger lange Rinnen<sup>1)</sup>, Erosionserscheinungen, welche auf die Tätigkeit von in- und superglacialen Gletscherbächen zurückzuführen sind. Diesen Bächen dürfte auch eine Beteiligung an der Bildung von Äsgräben und -mulden zuzuschreiben sein, die zwischen und auf den Seiten neben den Äsar auftreten und auch dort, wo sie nicht zu sein scheinen, ist, wie Strandmark<sup>2)</sup> sagt, der Graben mit Sanden ausgefüllt.

Die Äsmulden und kolkartigen Vertiefungen innerhalb der Äsgräben werden meist durch die Erosionswirkungen der herabstürzenden Gletscherbäche hervorgerufen sein, die Äsgruben hingegen dürften nach der Steusloffschen<sup>3)</sup> Vorstellung durch im Gletschertore losgebrochene auf den Äsrücken niedergestürzte grosse Eisblöcke entstanden sein, durch deren spätere Abschmelzung nach Rückgang des Eises eine runde Vertiefung erzeugt wird; denn in der Umgebung dieser Gruben fehlt meist eine Geschiebesandbedeckung, und die Schichten des Geröllglacials reichen in ihrer Ursprünglichkeit bis an die Oberfläche. Auch das Vorkommen von Geschiebeglacial

1) Siehe auch bei Berghell: Fennia 5<sup>2</sup>, taf. 2. fig. 2 u. 8.

2) 1889. sid 359.

3) Zur Entstehung unserer Sölle (Naturwiss. Wochenschrift XI. Band. Nr. 34. S. 401 u. 402 1896)



innerhalb der Åsrücken,<sup>1)</sup> dessen Ablagerung ja nur im äusseren Randgebiete möglich ist, liesse sich allenfalls durch die Loslösung grösserer Mengen Inglacials von der Tunneldecke erklären, sowie vorkommende Stücke von Moränenmergel und seiner Umlagerungsprodukte.

Während eine oberflächliche Bedeckung der Åsrücken mit Geschiebeglacial einen Abschluss der Fluvioglacialablagerung voraussetzt, würde ein Auftreten innerhalb der Geröllsandbildungen für eine Gleichzeitigkeit beider Vorgänge sprechen, d. h. für eine Entstehung des Ås in der Nähe des Gletschertores. Ausschliesslich aus Sanden und Kiesen bestehenden Åsar kann man weder äusserlich, noch innerlich ansehen, ob ihre Bildung in den vorderen oder hinteren Teilen eines subglacialen Tunnels oder erst im Gletschertore vor sich gegangen ist. Der Umstand aber des Eingreifens der Vorgänge der Eisbewegung im Randgebiete, vor allem der glacialen Akkumulation und Stauchungserscheinungen, ermöglicht in der Tat eine örtliche Sonderung der Entwicklungsvorgänge des Ås vorzunehmen.

### Die Einflüsse der glacialen Akkumulation und Bewegungsvorgänge während der fluvio-glacialen Tätigkeit der Schmelzwasserströme.

In genannter Hinsicht haben nun zuerst als charakteristisch An-, Auf- und Einlagerungen von Mergel der Gemenge- und Stauåsar<sup>\*)</sup> zu gelten.

Über die Åsar Schonens z. B. gibt J. C. Moberg<sup>2)</sup> folgendes an: „Die Moränendecke trifft man gewöhnlich an den Enden oder beiden Seiten des Ås, oft aber kommt sie auch in der

1) Erdmann. 1868. sid 98; Gumaelius 1876. sid 21, 30—31; Holm 1886. sid 25. Stone 1899. sid 40.

2) Beskriv. Kartbl. Sandhammeren; Sverg. geol. Unders. Ser. Aa. 110 sid 22—23.

\*) Siehe S. 40—42.