Kugeln in entsprechendem Maasse als gröfser annehmen, um doch wieder im Ganzen eine eben so starke Licht-reflexion zu erhalten.

In diesem Sinne habe ich den Gegenstand behandelt. Ich habe Kugeln von verschiedenem Reflexions- und Brechungsvermögen in Bezug auf ihre Wirkung auf das die Atmosphäre durchdringende Licht unter sich verglichen, habe dabei aber als selbstverständlich vorausgesetzt, dafs bei Kugeln von geringerem Reflexionsvermögen dieser Mangel durch eine gröfsere Anzahl der vorhandenen Kugeln compensirt wird, so dafs die Gesamtreflexion aller vorhandenen Kugeln ungeändert bleibt. Unter dieser Voraussetzung habe ich berechnet, dafs selbst solche Kugeln, deren Brechungsexponent von 1 ausserordentlich wenig abweicht, doch eine Lichtzerstreuung geben würden, welche in der Wirklichkeit in der Atmosphäre nicht vorkommt.

Herr Budde dagegen läfst jene zwischen Reflexionsvermögen und Anzahl vorausgesetzte Beziehung ausser Acht. Er spricht von den in den Dampfbläschen eingeschlossenen verdichteten Luftmassen, also von kugelförmigen Körpern, die gegen die äufsere Luft nur ein kleines Reflexions- und Brechungsvermögen besitzen, und dabei doch in eben so geringer Anzahl vorkommen, wie die Dampfbläschen. Diese Luftmassen können auf das die Atmosphäre durchdringende Licht nur eine sehr unbedeutende Wirkung ausüben, welche mit derjenigen, die ich berechnet habe, gar nicht zu vergleichen ist.

VIII. *Ueber Thalbildung durch Gletscher.* *Von Alexander Müller.*

Herr Dr. Pfaff neigt sich, im Anschluß an seine dankenswerthen Mittheilungen über Gletscherbewegung (diese Annal., Februarheft), entschieden zu der Ansicht Rüti-

meyer's, daß Thäler nicht eine Folge der Gletscherthätigkeit, sondern vielmehr eine Ursache derselben seien, während die Herren Ramsay und Tyndall die entgegengesetzte Ansicht vertreten. Ganz lasse sich allerdings die Erosionskraft der Gletscher nicht leugnen, da die Felssohle unter Gletschern bei deren zeitweiligem Rückgang abgeschliffen¹⁾ erscheine, aber sicherlich sey diese Thätigkeit eine sehr unbedeutende.

Seine Hauptargumente sind die Sätze:

daß es ohne Thäler keine Gletscher gebe;

daß die hoch über dem jetzigen Gletscherniveau befindlichen Felsenschliffe nur erst wenig verwittert seyen, und daß bei Thalbildung durch Abschleifung die mit der Vertiefung allgemein stattfindende Verengung unerklärlich sey.

Die dem zweiten Satz zu Grunde liegende Beobachtung wird nicht bestritten werden können, wohl aber die von Herrn Pfaff gegebene Deutung, nämlich daß die Vertiefung des Thales *sehr schnell*²⁾ erfolgt seyn müsse, weil die Schliffe sonst der Verwitterung anheimgefallen wären, welche eisfreie Felsen stärker angreife als eisbedeckte.

Herr Pfaff setzt hierbei offenbar voraus, daß das Sinken des Gletscherniveaus ein Maassstab für die Vertiefung der Thalsohle sey.

1) Anm. Ein gleiches Zeugniß legen die theilweise abgeschliffenen Geschiebe in den Endmoränen ab, wie ganz besonders der die Gletscherbäche trübende und charakterisirende, durch Zermahlung (nicht Verwitterung) von Gestein gebildete, aus scharfkantigen Fragmenten bestehende Schlamm. Messungen der Schlammengen, auch nur annähernde, sind wohl noch nicht veranstaltet worden. Die Centnerzahl mag eine recht bedeutende seyn; relativ zum Gletscherthal wird sie nicht sehr in's Gewicht fallen!

2) Anm. Bezüglich der geologischen Zeitrechnung wird angegeben, daß Gletscherthätigkeit nicht weiter zurück als zur Tertiärformation verfolgt werden könne. Wenn nun Herr Pfaff darauf hin meint, daß Thaleinschnitte in älteren Formationen nicht durch Gletscher entstanden seyn können, so muß ich bekennen, daß mir der Zusammenhang nicht klar geworden ist.

Nach meiner Ansicht ist dies nicht statthaft; ich halte das Sinken des Gletscherniveaus weniger für eine Folge der Thalerosion, sondern überwiegend für eine Folge klimatischer Veränderungen, für eine Abnahme der Gletschermasse.

Die Existenz einer Eisperiode vor, geologisch gerechnet, kurzer Zeit ist nicht mehr zu bezweifeln. Darnach war der ganze europäische Norden wenigstens so vergletschert, wie gegenwärtig Grönland. Auch in den Gränzländern der Alpen, welche speciell Herr Pfaff im Auge hat, sind weithin die Spuren einer ausgedehnten Vergletscherung unverkennbar und sicherlich sind die Centralalpen von zusammenhängendem, theilweise vielleicht tausende von Fußsen mächtigem Gletschereis bedeckt gewesen.

Im Vergleich mit der Verwitterungsgeschwindigkeit muß dieses Gletschereis seit der Eisperiode *sehr schnell* abgeschmolzen seyn; es würden sonst nicht auf Tausenden von Quadratmeilen im nördlichen Europa (Scandinavien und Finnland) wie in Amerika (Canada und angränzenden Ländern) die Gletscherschliffe noch deutlich aufzufinden seyn, ebenso wie nicht nur die Gesteinstrümmer der ehemaligen Moränen ihre scharfen Kanten, sondern sogar die aus Gletscherschlamm entstandenen nordischen Thone den Alkalireichthum des eingebetteten Feldspathmaterials behalten haben.

Wenn meine Deutung des Vorkommens unverwitterter Gletscherschliffe hoch über dem jetzigen Eisniveau die richtigere ist, so verliert auch Herrn Pfaff's erster Satz an Geltung. Bei dem jetzigen Klima bilden sich die Gletscher der Alpen nur in Thälern aus und setzen deren Präexistenz voraus. In der Eiszeit war das anders, wie auch jetzt in der arktischen Zone. Grönland ist zum größten Theil vergletschert und, wenn man von der jetzigen Oberflächengestaltung Schwedens und Finnlands einen Schluß ziehen darf, wahrscheinlich ganz unabhängig von der Oberfläche der Gesteinsunterlage.

Denken wir uns innerhalb des periodisch offenen arktischen Meeres ein Tausende von Quadratmeilen großer Felsenplateau, so wird sich dieses allmählich mit eines Tausende von Fuß mächtigen Eisschicht bedecken, in größter Dicke an dem kältesten, der Wassercondensation günstigsten Punkte, also mehr oder weniger in der Mitte. Da das Eis unter hohem Druck plastisch ist, gleichgültig ob chemisch, oder chemisch-moleculär, so wird das centrale Eisgebirge das peripherische Eis nach außen fort-drücken und ein Gleichgewichtszustand mit Eiszuwachs und -Abfluß sich herstellen.

An der Küste wird der Widerstand des Eises gegen den centralen Druck allmählich immer geringer, da es von dem Wasser des Meeres balancirt und von der Frictionsfläche des Felsengrundes abgehoben wird. Schliesslich bricht es in großen Schollen ab und schwimmt als Treibeis und einzelne Eisberge von dannen.

Der zur Fortbewegung des Landeises nöthige ungeheure Druck wirkt selbstverständlich auch auf die nirgends ganz homogene Felsunterlage. In erster Linie muß an der Küste seine zerstörende Wirkung hervortreten, da hier der Druck einseitiger und zugleich intermittirend wird, letzteres zufolge der abwechselnden Hebung und Senkung des Meeresspiegels, der Fluth und Ebbe.

Die einmal losgedrückten Gesteintrümmer unterstützen die zerstörende Macht des Eises, indem sie unter dem schiebenden und hämmernden Eise als Schleifmittel und Meißel dienen. Die anfänglich seichten Schrammen und Riefen erweitern sich allmählich zu Thälern — allerdings mit abnehmender Geschwindigkeit!

Zweifelsohne entstehen Thäler auf vielerlei Art. Sind solche auf unserem Eiland vor der Vergletscherung vorhanden gewesen, so können sie dem Gletschereise als Strombett dienen und weiter ausgefurcht werden. Sie können aber auch unter Umständen, besonders wenn sie die Hauptrichtung des Eisstroms kreuzen, ausgetilgt werden,

indem die sie scheidenden Bergwände zerdrückt und abgeschliffen werden.

Inwieweit bei der Thalbildung in den Alpen ein umgränzendes Meer mitgewirkt habe, können wir außer Betracht lassen; wir beschränken uns auf die gegenwärtige Thätigkeit der Gletscher und auf die Frage, ob sie die von ihnen eingenommenen Thäler noch wesentlich zu vertiefen vermögen, oder ob sie dieselben nicht vielmehr conserviren?

Dafs eine ruhende Eisdecke das Gestein conservirt, muß ohne Weiteres zugegeben werden. Die Verwitterungsfactoren sind: Temperaturwechsel, mit folgendem Wechsel von Ausdehnung und Zusammenziehung besonders durch zeitweilige Eisbildung; Oxydation mit Volumveränderung und Lockerung des Gefüges; Auslaugung durch Wasser und Kohlensäure; Einwirkung der Vegetation. Alle diese Factoren werden unter einer Eisdecke, wenn nicht ganz beseitigt, so doch sehr geschwächt. Dagegen darf die mechanische Wirkung des strömenden Gletschereises nicht unterschätzt werden.

In einigen Beziehungen greift ein alpinen Thalglletscher die Unterlage noch härter an, als ein arktischer Plateaugletscher. Sein zum Theil sehr starkes Gefälle ersetzt die geringere Mächtigkeit und veranlaßt auf der Thalsole Kataraktbildungen, welche die Ablösung von Gesteintrümmern begünstigen. Temperaturwechsel beeinflusst das Volumen und damit die Spannung der eingeklemmten Eismasse; das Gleiche gilt vom ersten Schmelzwasser, welches nach intensiver Kälte in die Spalten eindringt und dort gefriert. Bei stellenweise auf der Sohle anwachsendem Druck sinkt der Erstarrungspunkt des Wassers und ein Theil des gedrückten Eises schmilzt, während an einer benachbarten Stelle unter geringerem Drucke wieder Wasser gefriert.

Bei eintretendem Thauwetter dringt wärmeres Tagewasser vom Festland zwischen Thalwand und Eisstrom ein, und verursacht ein immer tieferes Abschmelzen und

Ablösen. Zugleich fallen Steinbrocken und Sand mit hinab, welche im Fortrücken des Eises an die Thalwand angepresst werden und diese abscheuern. Wo wegen Unebenheiten der Sohle, wie sie durch die abwechselnd härtere und weichere Beschaffenheit des Gesteins bedingt sind, Zwischenräume zwischen Eis und Gestein sich bilden, führt das Wasser, abgesehen von den durch Eisspalten von oben eindringenden Steinen, feineren und gröberen Grus hinein und wäscht das Schleifpulver wieder als Gletscherschlamm heraus. Je mehr sich das Gletschereis von der Thalwand ablöst, um so leichter kann warmes Tagewasser zwischen den Geschieben bis in die Mitte der Thalsole vordringen und dort ein Abschmelzen von unten her bewirken, was natürlich das Fortschreiten des Eises auch hier wesentlich fördert. Vielleicht ist das Tagewasser der Hauptmotor der alpinen Gletscher!

Ueber das Strömen des Gletschereises auf der Thalsole liegen noch keine directen Beobachtungen vor, und es ist sehr wünschenswerth, daß dergleichen ausgeführt werden. Möglich muß es wohl sein, an günstig gelegenen Punkten Bohrlöcher durch die ganze Dicke des Eises zu treiben, und interessant würde es sein, neben den Temperaturverhältnissen zu beobachten, ob und wie schnell durch den inneren Druck das Lumen eines solchen Bohrlochs verengt wird?

Aber auch ohne solche Beobachtungen kann es meines Erachtens nicht bezweifelt werden, daß der Eisstrom auf der Sohle fortgleitet; wenngleich langsamer als auf der geringeren Reibung begegnenden Oberfläche und stellenweise vielleicht mit Anstauung und Katarakterscheinungen, so muß dieses Fortgleiten gerade die Sohle am stärksten abschleifen, weil diese am stetigsten und stärksten gedrückt wird.

Daraus folgt denn auch, daß das Gletscherthal im Allgemeinen mit der Zeit und besonders bei allmählicher Abnahme der Eismasse immer enger wird, im Widerspruch mit dem 3. Satz des Herrn Pfaff.

Die große Ungleichartigkeit der Gesteine verursacht natürlich große Unregelmäßigkeiten in der Thalbildung durch Gletscher und beeinflusst wesentlich das Verhältniß, in welchem die zerstörende Thätigkeit der Verwitterung gegenüber derjenigen des Gletschereises sich äußert.

IX. Die Rollsteinrücken; von Alexander Müller.

Rollsteine bis herab zu abgerundeten Sandkörnern sind zunächst als Produkte des Rollens im bewegten Wasser anzusprechen. Man findet sie in Bächen und Flüssen wie am Meeresstrand. Je weicher das Material, je kräftiger die Bewegung des Wassers, um so schneller tritt die Abstumpfung der Ecken und Kanten ein. In den Bächen der Alpen können die Rollsteine hoch hinauf an die Quellengebiete verfolgt werden, und über ihr Entstehen giebt das unaufhörliche Poltern der vom strömenden Wasser fortbewegten Steine, besonders bei zeitweiligen Anschwellungen, unzweideutigen Aufschluß. Von strömendem Wasser werden die Rollsteine allmählig an den Ufern ausgeworfen und bilden mehr oder weniger regelmäßige und dem Flußlauf parallele Rücken und Wälle.

Am Meeresstrand sind die Rollsteine selten; das Material desselben ist meist Sand — oder Fels. Wo Rollsteine massenhaft sich finden, werden sie von der Brandung in regelmäßige, der Wogengröße entsprechende, mehretagige Bänke geordnet. Eine der interessantesten Rollsteinbänke ist diejenige, welche bei Weymouth (an der Südküste Englands) das Festland mit der Insel Portland verbindet.

Die großartigste Entwicklung nach Zahl und Ausdehnung dürften in Europa die schwedischen Rollsteinrücken (Rollsten-åsar) zeigen, und zugleich ist ihre Entstehungs-