

## Werk

**Titel:** Vorträge und Abhandlungen

**Ort:** Berlin

**Jahr:** 1907

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657\\_1907|LOG\\_0011](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1907|LOG_0011)

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

## Vorträge und Abhandlungen.

### **Der heutige Stand der Seiches-Forschung\*.**

Von Prof. Dr. W. Halbfafs in Neuhaldensleben.

Obwohl ich erst am 23. Oktober 1904 in der No. 56 der Naturwissenschaftlichen Wochenschrift und ein Jahr darauf Giovanni P. Magrini in der Rivista Geografica Italiana (Bd. 12, Heft 2—5) über den Stand der Seiches-Forschung referiert haben, erscheint es dringend nötig, schon wieder über dies Gebiet zu orientieren, da es in den letzten beiden Jahren in erster Linie durch die Arbeiten von E. Chrystal, Professor der Mathematik an der Universität Edinburgh und seiner Schüler, in zweiter Stelle durch Dr. Endrös in Traunstein, Schüler des Herrn Ebert, Professor der Physik an der Technischen Hochschule zu München, neben welchem auch noch Herr Leutnant a. D. Ph. Schnitzlein in München rühmend erwähnt werden muß, so schnelle und entscheidende Fortschritte gemacht, daß man schon jetzt die Behauptung aufstellen darf, die Seiches-Forschung habe sich von ihrer Mutterwissenschaft, der Erdkunde, losgelöst und gehöre fortan zum Ressort der mathematischen Physik. Es wird daher das vorliegende Referat über Seiches-Forschung wohl das letzte gewesen sein, das in einer geographischen Zeitschrift eine Stelle gefunden hat; jedenfalls kommt es nur äußerst selten vor, daß ein Forschungszweig der physikalischen Geographie binnen so kurzer Zeit so intensive Bearbeitung gefunden hat, daß er vom geographischen Standpunkt aus als abgetan bezeichnet werden muß. Die Fortschritte in der Seiches-Forschung liegen zum Teil auf theoretischem, zum Teil auf experimentellem, beobachtendem Gebiete. Erstere, die mir die wichtigeren zu sein scheinen, werde ich zunächst behandeln; eine reinliche Scheidung zwischen beiden Gebieten ist aber nicht durchzuführen, da sie miteinander in engem Zusammenhang stehen.

\*) Vortrag, gehalten in der Fach-Sitzung vom 19. November 1906.

Den Ausgangspunkt in der Theorie der Seiches bildet bekanntlich die Meriansche Formel<sup>1)</sup>

$$t = \sqrt{\frac{\pi l}{g}} \left( \frac{e^{\frac{\pi l}{h}} + e^{-\frac{\pi l}{h}}}{e^{\frac{\pi l}{h}} - e^{-\frac{\pi l}{h}}} \right)^{1/2}$$

welche sich auf die Periodendauer stehender Pendelschwingungen bezieht, welche Wasserteile ausführen, wenn sie in der Längsrichtung eines rechteckig geformten Gefäßes, dessen Tiefe  $h$  im Verhältnis zu seiner Länge  $l$  sehr gering ist, in Bewegung gesetzt werden. Verwandelt man diesen Ausdruck in eine Reihe, so lauten die beiden ersten Glieder der Entwicklung

$$t = \frac{l}{\sqrt{gh}} \left( 1 + \frac{1}{4} \left( \pi \frac{l}{h} \right)^2 \right),$$

woraus dann mit Vernachlässigung des zweiten Gliedes und mit Rücksicht auf den deutschen Sprachgebrauch, welcher unter Periodendauer diejenige Zeit versteht, welche die Bewegung braucht, um einmal hin- und zurückzuschwingen, die bekannte Seicheformel  $t = \frac{2l}{\sqrt{gh}}$  folgt.

Auf Seen läßt sich diese Formel nicht ohne weiteres anwenden, da sie keine konstante Tiefe besitzen; auch die mittlere Tiefe eines Sees läßt sich nicht mit Sicherheit verwerten, schon aus dem Grunde, weil die mittlere Tiefe des Längsdurchschnittes, in welchem man sich die Längsschwingungen des Sees überwiegend verlaufen dachte, meist erheblich größer als die mittlere Tiefe des ganzen Sees ist.

Von anderen älteren Versuchen, die mathematische Theorie der Seiches zu begründen, erwähne ich hier nur die bekannteste, diejenige von du Boys<sup>2)</sup>. Er nahm die Bewegung der Uninodal-Schwingung als identisch an mit derjenigen Bewegung des Wasserteilchens, die aus zwei gleichen Wellen von doppelter Länge des Sees resultiert, welche sich gleichzeitig aber im entgegengesetzten Sinne bewegen. Diese Welle wird von dem einen Ende der Wanne reflektiert, kehrt zurück und interferiert so mit der nicht folgenden fortschreitenden Welle zu einer stehenden Welle.

Nun ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Wasserwelle in einem Punkte über einer Tiefe  $h$  bekanntlich  $\omega = \sqrt{gh}$ . Um die

<sup>1)</sup> Über die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefäßen. Basel 1828.

<sup>2)</sup> Essai théorique sur les Seiches. Arch. des Sciences phys. et nat. Genève, 3<sup>me</sup> pér. tome XXV. 1891. S. 628 ff.

Strecke  $dl$ , welche der Tiefe  $h$  entspricht, zurückzulegen, wird die Zeit  $dt$  notwendig sein, wir haben also  $dt = \frac{dl}{\omega} = \frac{dl}{\sqrt{gh}}$ , mithin ist die Gesamtschwingungsdauer einer Welle

$$t = \int_0^l \frac{dl}{\sqrt{gh}} = \frac{1}{\sqrt{g}} \int_0^l \frac{dl}{\sqrt{h}}.$$

Die Integration läßt sich selbstverständlich nicht allgemein ausführen, da man ja im allgemeinen nicht weiß, wie sich  $l$  mit  $h$  ändert. Zerlegt man aber den Talweg des Sees in ein Aggregat gerader Linien, innerhalb welcher der See als ein Becken mit ebenem Boden betrachtet werden kann, so läßt sich die Integration längs dieser gebrochenen Linie ausführen, und man gelangt zu der Summationsformel

$$t = \frac{2}{\sqrt{g}} \sum_0^n \frac{2(x_{n+1} - x_n)}{\sqrt{h_{n+1}} + \sqrt{h_n}}.$$

Man hat also einfach in der Merianschen Formel für  $h$  innerhalb einer bestimmten Länge des Talwegs das arithmetische Mittel aus der Tiefe des Anfangs- und Endpunktes zu setzen und die Summation über den ganzen See hinweg zu vollziehen. Auf dem Standpunkt von du Boys ist die Theorie der Seiches bis auf Chrystal trotz zahlreicher Inkongruenzen zwischen Theorie und Beobachtung stehen geblieben.

Dafs die du Boyssche Theorie bei manchen Seen als erste Annäherung an die Wirklichkeit, namentlich auch bei Trinodal-Schwingungen und Schwingungen noch höherer Ordnung gute Dienste geleistet hat und noch leistet, soll nicht geleugnet werden, und dies gibt auch Chrystal zu; aber die Tatsache konnte schon Forel bald nach dem Bekanntwerden der du Boysschen Formel nicht leugnen, dafs sie in sehr vielen Fällen mit der Beobachtung im Widerspruch stand. Die Hauptschwierigkeit lag und liegt darin, dafs die Binodal-Schwingungen, deren Periodendauer nach du Boys stets die Hälfte von derjenigen der Uninodal-Schwingung betragen sollte, bei der Mehrzahl der Seen eine zu grofse, bei einer Minderzahl eine zu kleine Schwingungsdauer aufwies. Ich habe in meinem Aufsatz in der Naturwissenschaftlichen Wochenschrift eine Zusammenstellung aller bis dahin bekannten Schwingungsverhältnisse von Uninodal- und Binodal-Schwingungen gegeben, welche, wenn ich sie durch später bekannt gewordene Zahlenreihen vermehren würde, ein noch vollkommeneres Zeugnis für die erwähnte Tatsache lieferte. Die Auskunft, welche Soret (Forel, Le Léman II, 130) gegeben hatte, das Schwingungsverhältnis beider Schwingungen sei  $= \sqrt{2}$ , wenn der See eine verschwindend geringe, sei  $= 2$ , wenn er

eine unendlich groÙe Tiefe besitze, widersprach, wie Forel selbst zugeben mußte, sowohl seinen eigenen experimentellen Untersuchungen in kleineren GefäÙen, wie auch den Beobachtungen von Seiches in einer ganzen Reihe schweizerischer und anderer Seen. Um nur ein Beispiel zu erwähnen, ist das Schwingungsverhältnis beim Platten-See und beim Genfer See das gleiche, obwohl ersterer mindestens 50 mal durchschnittlich tiefer ist als letzterer. Die auÙerordentlich groÙen Abweichungen von der du Boysschen Theorie, die sich im Garda-See, Starnberger See und Chiem-See ergaben, wo die Binodal-Schwingungen zu den Uninodal-Schwingungen im Verhältnis zu 1:1,4 bis 1:1,5 standen, führten Forel<sup>1)</sup> zu der Anschauung, daÙ man es hier mit Quintenschwingungen zu tun habe. Es versteht sich, daÙ diese Anschauung nur eine Umschreibung der nackten Tatsache, aber keine Erklärung ist.

Völlig ratlos stand die Erfahrung der du Boysschen Theorie gegenüber, als Endrös im Verfolg seiner ausgezeichneten und ganz neue Wege wandelnden Untersuchungen im Chiem-See<sup>2)</sup> fand, daÙ die Bahnen mancher Seiches im Chiem-See völlig von der geraden Richtung abweichen und nicht selten einen Halbkreis und andere verwickelte Kurven beschreiben. Von Schafwaschen, am westlichen Ende des Sees, gehen drei uninodale Seiches von ganz verschiedener Dauer aus, von denen die eine von 41 Minuten in Seebruck, zwei andere in Chieming endigen. Von letzteren hat diejenige, welche nördlich der Herreninsel verläuft, 54, die, welche südlich dieser Insel geht, nur 36 Minuten Dauer. Dies eigentümliche Verhalten rührt von der ungleichen Tiefe her, welche beide Seiches passieren. Auf dieselbe Weise sind wahrscheinlich auch die nebeneinander vorkommenden Schwingungsdauern von 50 bzw. 39,5 Minuten im Neuenburger See zu erklären. Dieser See besitzt zwar keine Insel, wie der Chiem-See; aber eine Untiefe von nur 8 m Wassertiefe trennt zwei Rinnen von ganz verschiedener Tiefe, nämlich von 153 bzw. 94 m. Auch im Garda-See lassen sich die Schwingungen von 43 und 30 Minuten Dauer, welche sowohl an seinem nördlichen, wie an seinem südlichen Ende beobachtet wurde, wahrscheinlich auf ähnliche morphologische Verhältnisse zurückführen. Es befindet sich nämlich im Garda-See zwischen Isola di Garda und San Vigilio zwischen Rinnen von 242 bzw. 179 m Maximaltiefe eine Gegend flacheren

<sup>1)</sup> Extr. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. Vol. 40. No. 149. 3. Februar 1904.

<sup>2)</sup> Seeschwankungen am Chiem-See. Diss. d. Münchener Tech. Hochschule. Traunstein 1903. — Die Seeschwankungen d. Chiem-Sees in den Sitzungsberichten der math.-phys. Klasse der Königl. Bayer. Akad. der Wissenschaften. Bd. 36. 1906. Heft 2.

Wassers von nur 115 m Tiefe, und weiter südlich ist die Osthälfte, in welcher Untiefen von nur 3,5 m Tiefe vorkommen, ganz erheblich flacher als die Westhälfte.

Aber nicht blofs Seen gegenüber von verwickeltem Untergrund versagt die du Boyssche Theorie, sie läfst auch bei einfacher gebäuten Seen den Beobachter im Stich. So lieferte sie für den Waginger-Tachinger See<sup>1)</sup> für die Periode der Uninodal-Seiche eine Dauer von 36,2 Minuten, während die Beobachtung 62, also fast den doppelten Wert ergab; ich begnüge mich damit, dies besonders krasse Beispiel anzuführen. Endlich, und das ist meiner Ansicht nach das Hauptargument gegen die du Boyssche Theorie, setzt dieselbe als selbstverständlich voraus, dafs die Knotenlinien, d. h. die Stellen im See, wo die Amplitude der Seiches Null ist, zueinander symmetrisch liegen, so dafs sie z. B. bei einer Binodal-Seiche genau in  $\frac{1}{4}$  der Länge des Sees vom Ufer entfernt liegen müßten, während der mittlere Bauch die Mitte des Sees einzunehmen hätte. Nun hatte aber schon Forel ganz im Gegensatz zur du Boysschen Theorie durch Beobachtung gefunden, dafs beim Genfer See diese Entfernungen vielmehr die folgenden sind:

Entfernung von	Villeneuve km	Genf km
Ostknoten der Binodal-Seiche	21	51
Mittlerer Bauch	47 $\frac{1}{2}$	24 $\frac{1}{2}$
Westknoten	60	12

also vollkommen unsymmetrisch zur Seelänge liegen. Die Beobachtungen von Endrös in bayrischen, Chrystal und seiner Schüler in schottischen Seen bestätigen die Messungen Forels, der die Ursache dieser Erscheinung ganz richtig in dem Umstande suchte, dafs die Schwingungen der Seiches in dem nach Genf zu bedeutend schmaler und flacher gewordenen Ende erheblich schneller vor sich gehen als in dem breiteren und tieferen östlichen Teile. Er wurde in seinen Vermutungen durch die Experimente bestärkt, die er in schräg gestellten Wannern vornahm, konnte aber diese Tatsachen mit der du Boysschen Theorie aus dem einfachen Grunde nicht in Einklang bringen, weil diese lediglich die Länge des Talwegs berücksichtigt, aber weder seine wechselnde Form, noch die Tiefenverhältnisse ausserhalb des Talwegs, noch endlich die

<sup>1)</sup> Endrös, Die Seiches des Waginger-Tachinger Sees. Sitzungsber. der math.-phys. Klasse der Königl. Bayer. Akad. der Wissenschaften. Bd. 35, 1905, Heft 3. Auszug in Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1906, Heft 4.

bei fast allen Seen fortwährend sich ändernde Breite des Sees: Alle diese Umstände beeinflussen aber, wie Chrystal in seiner neuen hydrodynamischen Theorie gezeigt hat, wegen der dadurch bedingten Änderung in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung die Dauer der Haupt- und ihrer Unterschwingungen, sowie die Lage der Knotenpunkte sehr wesentlich. Und daher kommt es, daß die Resultate der Seiches-Beobachtungen, namentlich wenn sie, wie dies besonders Chrystal und Endrös getan haben, an mehreren Punkten gleichzeitig oder wenigstens schnell hintereinander angestellt wurden, mit der du Boysschen Theorie nicht in Einklang gebracht werden konnten. Nur bei vollkommen ausgebildeter Symmetrie des Seebodens können sich nach der du Boysschen Vorstellung, daß nämlich die Seiche sich lediglich im Talweg des Sees abspielen, aus fortschreitenden Wellen durch Interferenz stehende Wellen und ihre Unterabteilungen so bilden, daß ihre Schwingungsbäuche und Knoten symmetrisch zu den Dimensionen des Sees zu liegen kommen. Fällt diese Voraussetzung *sine qua non*, so muß man sofort zu der Überzeugung gelangen, daß die gesamte Konfiguration des Seebodens die Dauer der Schwingungen, die Lage der Knotenpunkte u. s. w. derart beeinflusst, daß nur eine Theorie, welche, wie die Chrystalsche, alle die erwähnten Momente in Berücksichtigung zieht, imstande ist, der recht verwickelten Erscheinungsform einer Seiche gerecht zu werden. Wenn trotzdem bei manchen Seen die du Boyssche Formel annähernd brauchbare Resultate liefert, und die Verhältnisse der Unterschwingungen zueinander und zur Hauptschwingung ziemlich gut wiedergibt, wie z. B. beim Loch Nefs, beim Genfer See und beim Vierwaldstätter See, so beruht dies darauf, daß der Einfluß der morphologischen Besonderheiten eines Sees auf die Seiche sich gegenseitig kompensieren und dadurch Abweichungen der Beobachtung von der Theorie verdeckt werden können. So trägt z. B. die „Normalkurve“ (s. u.) des Loch Nefs und des Genfer Sees keinen ausgesprochen konkaven noch konvexen Charakter; im Genfer See und Vierwaldstätter See; zum Teil auch im Chiem-See, erscheint die Knotenlinie gegen das seichtere Ende des Sees verschoben und fällt hier mit einer plötzlich auftretenden starken Einschnürung des Beckens zusammen. Durch beide Umstände wird die Schwingungsdauer der Seiche so vergrößert, daß sie sich der sonst zu großen Dauer nach der du Boysschen Formel nähert. Sobald aber der Knoten der Uninodal-Seiche nahe der tiefsten Stelle des Sees zu liegen kommt, wie z. B. beim Starnberger See, Boden-See, Loch Earn, Madü-See, Waginger-See u. s. w., zeigt das Schwingungsverhältnis von der du Boysschen Regel starke Abweichungen. Völlig versagt letztere

aber, wenn der Untergrund der Seen, wie z. B. beim Chiem-See, Garda-See, Neuenburger See, Waginger-Tachinger-See, so kompliziert ist, daß der Seiche für ihre Schwingungen eine ganze Reihe von Wegen offen steht, von „Talweg“ also gar keine Rede mehr ist. Auch diese Fälle meistert die neue Theorie von Chrystal, obwohl allerdings die Rechnung dann sehr mühselig und zeitraubend wird.

Chrystal hat den Einfluß der Bodenkonfiguration auf die Dauer der Schwingungen und die Lage der Knotenlinien dadurch zu veranschaulichen versucht, daß er die Seiches mit den Schwingungen einer vertikal gespannten Saite verglich, wobei nur die Längs- und Querschwingungen und bei den Schwingungen höherer Ordnung die Knotenlinien und Bäuche miteinander zu vertauschen sind. Der Vergleich ist durchaus statthaft, weil beiden Vorgängen dieselbe Differential-Gleichung zu Grunde liegt. Wie nämlich eine Saite mit der geringsten Dichtigkeit in der Mitte eine kleinere Schwingungsdauer besitzen muß, als eine gleich lange, deren geringste Dichtigkeit am Ende ist, so muß auch ein See, dessen größte Tiefe in die Mitte fällt, eine kleinere uninodale Schwingungsdauer haben, als ein solcher, der seine größte Tiefe am Ende hat. Uninodal- und Trinodal-Schwingungen einer Seiche in konkaven Seen werden also verlängert, während die Binodalschwingungen davon zunächst unberührt bleiben; umgekehrt werden in konvexen Seen Binodal-Schwingungen verlängert, dagegen bleiben Uninodal-, Trinodal-Schwingungen die gleichen. Ein Vergleich der Seiches mit Stimmgabeln zeigt, daß, wie diese ihre Schwingungsformen sehr bedeutend verändern, wenn Belastungen in der Nähe der Knotenpunkte erfolgen, dagegen so gut wie garnicht, wenn sie in der Nähe von Bäuchen vorkommen, so auch Unregelmäßigkeiten des Seebodens oder besondere Erweiterungen bzw. Verengungen des Seebeckens an denjenigen Stellen, welche Knotenlinien entsprechen, die Form und Dauer der Seiches so wesentlich beeinflussen können, daß Chrystal geneigt ist, in der Konfiguration des Seebeckens ausschließlich die Lösung des Rätsels zu sehen. Aus diesem Grunde überwiegen bei manchen Seen bestimmte Schwingungsformen vor anderen, während man früher mehr geneigt war, atmosphärische Einflüsse hierfür verantwortlich zu machen. Letztere gänzlich auszuschalten, wird wohl nicht angehen, vielmehr konnte Verfasser aus seinen langandauernden Seiches-Beobachtungen am Madü-See nicht selten die Tatsache feststellen, daß ein Wechsel aus einer Schwingungsform in eine andere mit erheblichen plötzlichen Veränderungen des Luftdrucks begleitet und wahrscheinlich durch dieselben verursacht war. Chrystal, dessen theoretische Ausführungen durch experimentelle Laboratoriums-Untersuchungen von Peter White

und William Watson<sup>1)</sup> glänzend bestätigt worden sind, hat seine hydrodynamische Theorie in zwei kleineren und einer größeren Arbeit niedergelegt. Erstere sind betitelt: „Some Results in the Mathematical Theory of Seiches“<sup>2)</sup>, „Some further Results in the Mathematical Theory of Seiches“<sup>3)</sup> und „On the Hydrodynamical Theory of Seiches with a bibliographical sketch“<sup>4)</sup>. Eine Anwendung der allgemeinen Theorie auf die beiden schottischen Seen Loch Earn und Loch Treig hat er zusammen mit E. Maclagan-Wedderburn in der Abhandlung: „Calculations of the Periods and Nodes of lochs Earn and Treig from the bathymetric data of the Scottish Lake Survey“<sup>5)</sup> gegeben.

Wie schon der Titel der zuletzt genannten Abhandlung besagt, ist der Zweck seiner Arbeiten der, eine Theorie aufzustellen, mit deren Hilfe man die Periodendauer der einzelnen Schwingungsformen und die Lage der Knotenlinien im voraus an allen denjenigen Seen berechnen kann, deren morphometrische Verhältnisse hinreichend genau bekannt sind.

Es kann nicht geleugnet werden, daß Chrystal ziemlich weitgehende mathematische Kenntnisse bei seinen Lesern voraussetzt und daß die Anwendung der Theorie auf bestimmte Seen einen großen Apparat mühseliger und zeitraubender Rechnungen beansprucht. Es kann daher meines Erachtens in einer geographischen Zeitschrift eine ausführliche Darstellung der Theorie und der nötigen Rechnungen nicht gegeben werden; sie gehört vielmehr vor ein mathematisches Forum und daher auch in eine solche Zeitschrift, bei deren Lesern man eingehende mathematische Kenntnisse und Interesse für rein mathematische Auseinandersetzungen voraussetzen kann.<sup>6)</sup> Es muß an dieser Stelle genügen, wenn ich ganz kurz das Wesen der Chrystalschen Gedankenreihe klar lege und die wichtigsten Folgerungen mitteile, die der berühmte Physiker aus seiner Theorie gezogen hat und welche in so vortrefflichen Einklang mit den neuesten Seiches-Beobachtungen stehen.

Die mathematische Theorie der Seiches von verhältnismäßig geringer Amplitude hängt ab von der Differential-Gleichung

<sup>1)</sup> Proceedings of the Roy. Soc. of Edinburgh. Vol. 26. Part. III. Edinburgh 1906.

<sup>2)</sup> Ebendort. Vol. 25. Part. IV. Edinburgh 1904.

<sup>3)</sup> Ebendort. Vol. 25. Part. VII. Edinburgh 1905.

<sup>4)</sup> Transactions of the Roy. Soc. of Edinburgh. Vol. 41. Part. III. Edinburgh 1905.

<sup>5)</sup> Ebendort. Vol. 41. Part. III. Edinburgh 1905.

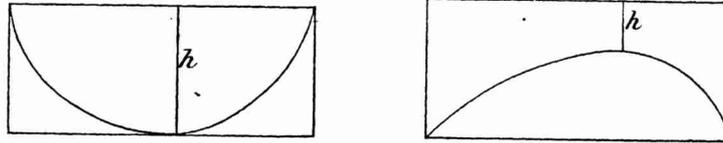
<sup>6)</sup> Eine ausführliche Darstellung der mathematischen Theorie Chrystals samt den dafür erforderlichen Rechnungen wäre meines Erachtens ein recht dankbares Thema für eine mathematische Doktor-Dissertation.

$$\frac{d^2 P}{dv^2} + \frac{n^2 P}{g\sigma(v)} = 0. \quad (\text{I})$$

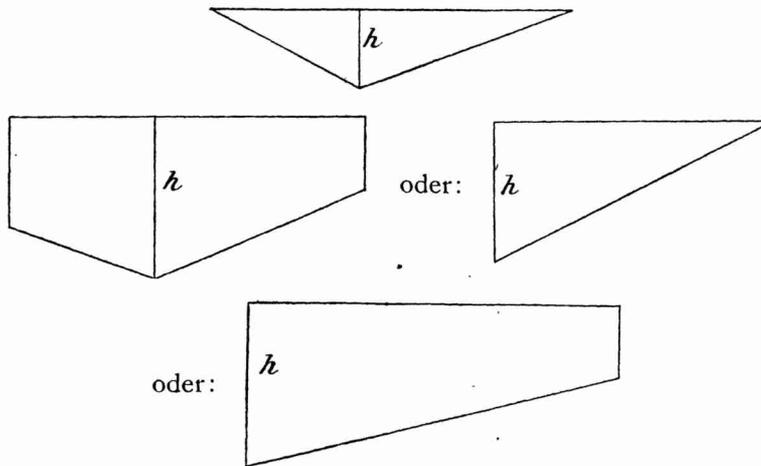
Hierin bedeutet  $v$  die Oberfläche des Sees vom Anfangspunkt eines Koordinaten-Systems, dessen  $x$ -Achse die Richtung des Talweges bedeutet, also wenn  $b(x)$  die Breite des Sees ist senkrecht zur  $x$ -Achse  $v = \int_0^x b(x) dx$ , ferner  $\sigma(v)$  das Produkt aus  $A(x)$ , dem Querschnitt des Sees an der betreffenden Stelle, multipliziert mit  $b(x)$ ,  $P$  ist lediglich eine Funktion von  $v$  und eine  $n$ fache Seiche ist bestimmt durch die Gleichung  $u = P \sin nt + Q \cos nt$ , wo  $P$  und  $Q$  Lösungen der obigen Differential-Gleichung  $I$  sind. Da die Funktion  $u$  stets an den Enden eines Sees  $= 0$  gesetzt werden kann, so sind die horizontalen bzw. vertikalen Abweichungen von der Ruhelage

$$\xi = \frac{u}{A(x)}, \quad \zeta = -\frac{du}{dv}.$$

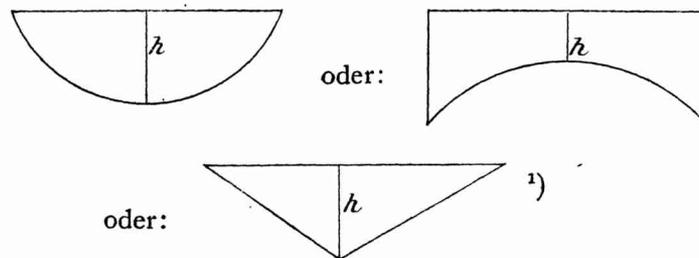
Die Kurve, deren Ordinate und Abscisse  $\sigma$  und  $v$  sind, wird die „Normalkurve“ des Sees genannt. An ihr können dann alle Berechnungen so vorgenommen werden, als wenn die Kurve selbst der Talweg eines Sees von konstanter Breite und rechteckigem Querschnitt wäre. Die Integration längs dieser „Normalkurve“ entspricht der du Boysschen Integration längs des Talwegs, aber ohne die sachlichen Irrtümer dieser Theorie, weil alle morphologischen Besonderheiten des Sees bereits in die Normalkurve eingegangen und in Rechnung gezogen worden sind. Die Aufgabe der mathematischen Berechnung geht nun dahin, die „Normalkurve“ mathematisch fixierbaren Kurven anzuschließen. Es gelingt dies in denjenigen Fällen, in denen  $A(x)$  und  $b(x)$  nur langsam sich verändernde Funktionen von  $(x)$  sind, welche Voraussetzung bei der Mehrzahl der Seen, allerdings nicht bei allen, erfüllt ist. Um zu entscheiden, welche Kurve für den betreffenden See in die Differential-Gleichung der Seiche einzusetzen ist, hat man folgendes zu tun: Man zeichne eine Linie, welche möglichst die tiefsten Punkte des Sees berührt und richte sie zur geraden Linie aus. Auf ihr als  $x$ -Achse für die zu zeichnende Normalkurve werden diejenigen Punkte als Abscissen fixiert, welche der Oberfläche des Sees jedesmal bis zu einem gelöteten Querschnitt entsprechen, als Ordinaten dienen dann die Produkte aus der Fläche des jedesmaligen Querschnitts mit seiner Breite. Derjenige Punkt der  $x$ -Achse, für welchen  $\sigma$  am größten ist, wird dann als Nullpunkt für die Variablen  $v$  (s. o.) aufgestellt. In den meisten Fällen wird sich dann die Kurve als aus zwei Parabeln zusammengesetzt präsentieren, ihre Äste entweder nach unten oder nach oben kehren.



In anderen Fällen wird die Kurve aus zwei geraden Linien zusammengesetzt sein.



Es können unter günstigen Verhältnissen auch ganz symmetrische Figuren entstehen, z. B. eine Parabel



In den zuletzt genannten Fällen wird natürlich der Scheitel der Parabel mit dem Anfangspunkt des Koordinatensystems zusammenfallen, in allen übrigen wird der Scheitel  $h$  der Parabel nach der Methode der kleinsten Quadrate so bestimmt, daß die Summe der Quadrate aus den Differenzen zwischen den berechneten und beobachteten Werten von  $\sigma$  ein Minimum wird.

<sup>1)</sup> Alle übrigen Fälle, z. B. die Darstellung der Normalkurven als Kurven vierten Grades lasse ich hier absichtlich fort.

Im folgenden beschränken wir uns auf den Fall, daß die Normalkurven sich entweder einer konkaven oder konvexen Form einer einzigen symmetrisch gebauten Parabel anschmiegen, da die komplizierteren Fälle sich sämtlich, allerdings nur unter Anwendung langer und mühsamer Rechnungen, auf diese zurückführen lassen. Die Differentialgleichung I läßt sich dann entweder in der Form

$$\frac{d^2 P}{dx^2} + \frac{n^2 P}{g h \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)} = 0 \quad (\text{Ia})$$

für den konkaven Fall, oder in der Form

$$\frac{d^2 P}{dx^2} + \frac{n^2 P}{g h \left(1 + \frac{x^2}{a^2}\right)} = 0 \quad (\text{Ib})$$

für den konvexen Fall schreiben. Hiernach bedeuten  $a$  die Entfernung des Nullpunktes vom Endpunkt der Parabel, also die zur Höhe  $h$  gehörige Ordinate. Um aber aller Verwechslung vorzubeugen, sei nochmals ausdrücklich betont, daß die Höhe  $h$  keineswegs identisch mit der mittleren oder einer anderen durch Messung gewonnenen Tiefe des Sees ist, vielmehr die größte Ordinate der durch Rechnung gewonnenen Normalkurve bedeutet!

Setzt man abkürzend  $\frac{n^2 a^2}{g h} = c$ , und  $w = \frac{x}{a}$ , so gehen die Gleichungen Ia und Ib über in die Gleichungen:

$$\frac{d^2 P}{dx^2} (1 - w^2) + c P = 0 \quad (\text{Ic})$$

bzw.

$$\frac{d^2 P}{dx^2} (1 + w^2) + c P = 0 \quad (\text{Id})$$

Als synektische Integrale für die Differential-Gleichung (Ic) stellt Chrystal zwei neue Funktionen  $C$  und  $S$  auf, die er Seiche *cos* sinus- bzw. Seiche *sinus*-Funktionen nennt und welche durch folgende konvergente Reihen bestimmt sind:

$$C(c/w) = 1 - \frac{c}{1 \cdot 2} w^2 + \frac{c(c-1 \cdot 2)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} w^4 - \frac{c(c-1 \cdot 2)(c-3 \cdot 4)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} w^6 + \dots (\text{IIa})$$

$$S(c/w) = w - \frac{c}{2 \cdot 3} w^3 + \frac{c(c-2 \cdot 3)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} w^5 - \frac{c(c-2 \cdot 3)(c-4 \cdot 5)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7} w^7 + \dots (\text{IIb})$$

und für die Differential-Gleichung (Id) zwei Funktionen  $\mathfrak{C}$  und  $\mathfrak{S}$ , die er hyperbolische Seiche *cosinus* bzw. Seiche *sinus* nennt und durch die konvergente Reihen

$$\mathfrak{G}(c/w) = 1 - \frac{c}{1.2} w^2 + \frac{c(c+1.2)}{1.2.3.4} w^4 - \frac{c(c+1.2)(c+3.4)}{1.2.3.4.5.6} w^6 + \dots \quad (\text{IIIa})$$

$$\mathfrak{S}(c/w) = w - \frac{c}{2.3} w^3 + \frac{c(c+2.3)}{1.2.3.4.5} w^5 - \frac{c(c+2.3)(c+4.5)}{1.2.3.4.5.6.7} w^7 + \dots \quad (\text{IIIb})$$

definiert sind.

Die Reihen IIa und IIb sind miteinander verknüpft durch die Relation  $C(c/w)$ .  $S^1(c/w) - C^1(c/w)$ .  $S(c/w) = 1$ , und die Reihen IIIa und IIIb durch die Relation  $\mathfrak{G}(c/w)$ .  $\mathfrak{S}^1(c/w) - \mathfrak{G}^1(c/w)$ .  $\mathfrak{S}(c/w) = 1$ . Der Strich bedeutet die Differentiation der Funktion nach  $w$ .

Für alle Reihen gilt die Einschränkung  $-1 < w < +1$ . Für die Werte  $w = 1$  bzw.  $= i$  nehmen die Reihen die Form an:

$$C(c/1) = \left(1 - \frac{c}{1.2}\right) \left(1 - \frac{c}{3.4}\right) \left(1 - \frac{c}{5.6}\right) \dots \quad (\text{IVa})$$

$$S(c/1) = \left(1 - \frac{c}{2.3}\right) \left(1 - \frac{c}{4.5}\right) \left(1 - \frac{c}{6.7}\right) \dots \quad (\text{IVb})$$

$$\mathfrak{G}(c/i) = \left(1 + \frac{c}{1.2}\right) \left(1 + \frac{c}{3.4}\right) \left(1 + \frac{c}{5.6}\right) \dots \quad (\text{Va})$$

$$\mathfrak{S}(c/i) = 1 \left(1 + \frac{c}{2.3}\right) \left(1 + \frac{c}{4.5}\right) \left(1 + \frac{c}{6.7}\right) \dots \quad (\text{Vb})$$

Die reellen positiven Wurzeln der Gleichung  $C(c/1) = 0$  sind ohne weiteres ersichtlich  $c = 1.2; 3.4; 5.6$ , d. h.  $2, 12, 30 \dots$ , der Gleichung  $S(c/1) = 0$ ,  $c = 2.3; 4.5; 6.7$ ; d. h.  $6, 20, 42 \dots$

Die Wurzeln der Gleichungen  $\mathfrak{G}(c/1) = 0$  und  $\mathfrak{S}(c/1) = 0$  sind weder kommensurabel noch überhaupt leicht zu berechnen; die mühsame Rechnung ist erst durch die Arbeit von Halm<sup>1)</sup> so wesentlich erleichtert, daß die Berechnung für praktische Fälle möglich geworden ist. Die kleinste Wurzel der Gleichung  $\mathfrak{G}(c/1) = 0$  hat sich zu  $2.77 \dots$ , diejenige der Gleichung  $\mathfrak{S}(c/1) = 0$  zu  $12, 36 \dots$  ergeben.

Die Chrystalschen Seiche-Funktionen hängen eng mit den bekannten Eulerschen Gamma-Funktionen zusammen, und zwar ist

$$C(c/i) = \frac{\pi^{\frac{1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{3+a}{4}\right) \Gamma\left(\frac{3-a}{4}\right)}$$

$$S(c/i) = \frac{\pi^{\frac{1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{5+a}{4}\right) \Gamma\left(\frac{5-a}{4}\right)}, \text{ wo } a = \sqrt{4c+1} \text{ bedeutet.}$$

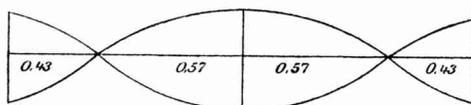
<sup>1)</sup> On a Group of linear Differential equations of the 2<sup>nd</sup> Order, including professor Chrystal's Seiche-Equations. Transactions of the Royal Soc. of Edinburgh. Vol. 41. Part III, No. 26. Edinburgh 1905.

Aus den Chrystalschen Seiche-Funktionen, bzw. den Gleichungen  $C(c/l) = 0$ ,  $S(c/l) = 0$ ,  $\mathfrak{C}(c/l) = 0$ ,  $\mathfrak{S}(c/l) = 0$  lassen sich nun durch weitere Rechnungen, die wir hier übergehen müssen, die Periodendauer und die Lage der Knotenlinien in konkaven Seen und auch teilweise in konvexen Seen berechnen. Die vollständigen Rechnungen für konvexe Seen nehmen so viel Zeit in Anspruch, daß sie bis jetzt für praktische Fälle noch nicht durchgeführt worden sind.

Für konkave Seen<sup>1)</sup> ist die Schwingungsdauer der  $\nu$ -Nodal-Seiche, d. h. der Seiche mit  $\nu$ -Knotenpunkten  $T_\nu = \frac{\pi l}{\sqrt{\nu(\nu+1)gh}}$ , die Lage der Knoten bei ungrader Zahl hängt von der Größe  $C^1(c_{2s-1}/w)$  und bei grader Zahl derselben von der Größe  $S^1(c_{2s}/w)$  ab.

Für uninodale Seiches ist  $c_1 = 1. 2.$ , also  $T_1 = \frac{\pi l}{\sqrt{2gh}}$  und für die Knotenlinie  $x = 0$ ; für binodale Seiches ist  $c_2 = 2. 3.$   $T_2 = \frac{\pi l}{\sqrt{6gh}}$ ,  $S^1(c/w) = \frac{3x^2 - a^2}{a^2}$ , für die Knotenlinien also  $x = \frac{\pm a}{\sqrt{3}} = \pm 0,574 a$ , und es verhält sich  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{6}} = 0,574$ .

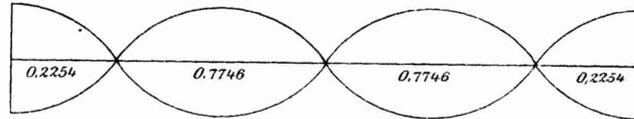
Für konkave Seen (s. o.) gilt also die Regel, daß die Periode der Binodal-Seiche größer ist als die halbe Periode der Uninodal-Seiche, so z. B. beim Boden-See, Starnberger See, Garda-See, Madü-See u. s. w., und die Knotenlinie der Binodal-Seiches befinden sich also nicht in  $\frac{1}{4}$  der Entfernung vom Land, sondern näher dem Ufer zu.



Für Trinodal-Seichen ist  $c_3 = 3. 4.$   $T_3 = \frac{\pi l}{\sqrt{12gh}}$ . Die Knotenlinien hängen von der Gleichung  $12 a^3 x - 20 x^3 = 0$  ab, deren Wurzeln  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = + \frac{a\sqrt{3}}{\sqrt{5}} = + 0,7746 a$ ,  $x_3 = - \frac{a\sqrt{3}}{\sqrt{5}} = - 0,7746 a$

<sup>1)</sup> Dieser kurze Ausdruck soll bedeuten, daß die Normalkurven des betreffenden Sees eine Parabel von konkaver Form darstellt; keineswegs ist damit gesagt, daß der Längsschnitt des Sees etwa eine konkave Parabel ist.

sind. Das Schwingungsverhältnis  $\frac{T_3}{T_1}$  ergibt sich zu  $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{12}} = 0,4082$ .



Auch in diesem Falle sind die Knotenlinien dem Ufer näher, als der rein symmetrischen Figur entsprechen würde. Die Darstellung von Quadrinodal-Seiches und noch höhere Unterschwingungen übergehe ich hier.

Für konvexe Seen<sup>1)</sup> hat man für uninodale Seiches

$$\mathfrak{T}_1 = \frac{\pi l}{\sqrt{c_1 g h}} = \frac{\pi l}{\sqrt{2,77 g h}},$$

es ist also  $\mathfrak{T}_1 < T_1$ , d. h. bei derselben Tiefe und Länge der Normalkurven ist die Schwingungsdauer eines konvexen Sees kleiner als die eines konkaven.

Für binodale Seiches ist  $\mathfrak{T}_2 = \frac{\pi l}{\sqrt{12,34 g h}}$ , auch hier ist

$\mathfrak{T}_2 < T_2$ , und das Verhältnis  $\frac{\mathfrak{T}_2}{\mathfrak{T}_1} = \frac{\sqrt{2,77 \dots}}{\sqrt{12,34 \dots}} = 0,474$  ist kleiner  $\frac{1}{2}$ ,

d. h. in konvexen Seen ist die Schwingungsdauer einer Binodal-Seiche kleiner als die halbe Dauer einer Uninodal-Seiche. Dieses Resultat findet eine vortreffliche Bestätigung bei dem Genfer See und neuerdings bei dem Waginger-Tachinger-See. Dieses von Endrös (s. o.) auf seine Seiches sehr sorgfältig untersuchte Becken erhebt sich bei der beide Seeteile verbindenden Brücke bis 5 m unter dem Wasser, ist also ein eminent konvexes Becken, und die Periodendauer seiner Uninodal-Seiche ist gegenüber der du Boysschen Theorie ganz anormal lang, nämlich 62 gegen 36,2 Minuten. Leider konnte bisher keine Binodal-Seiche des gesamten Sees aufgefunden und mit der etwa theoretisch berechneten verglichen werden. Als ein Beispiel dafür, wieviel genauer die Chrystalsche Theorie als die du Boys' mit den Beobachtungen übereintreffen, seien hier die Resultate für Loch Earn und Loch Treig mitgeteilt, für welche beide Seen Christal und Wedderburn auch sämtliche Knotenlinien für die Binodal- und Trinodal-Seichen berechnet und in der Tiefenkarte der Seen eingezeichnet haben. Beim Loch Earn ergab als Schwingungsdauer:

<sup>1)</sup> D. h. Seen, in denen die Normalkurve eine Parabel konvexer Form darstellt; es versteht sich, daß der Längsschnitt solcher Seen recht gut eine überwiegend konkave Form besitzen kann (s. o.).

	für die	Uninodal- Minuten	Binodal- Minuten	Trinodal- Seiches Minuten
Berechnung nach	du Boys	17,82	8,91	5,94
„ „	Chrystal	14,50	8,14	5,74
Beobachtet		14,55	8,10	
Beim Loch Treig:				
nach	du Boys	10,25	5,19	3,42
„	Chrystal	9,09	5,074	3,587
Beobachtet		9,18	5,15	

Es verdient übrigens hervorgehoben zu werden, daß bei Seiches höherer Ordnung Beobachtung und Theorie im allgemeinen weniger gut zusammenstimmen, weil das Verhältnis der Länge der Wellen zur Tiefe des Sees mehr und mehr abnimmt und sich immer mehr vom Verhältnis  $\infty$  entfernt, bei dem allein ein völliges Zusammentreffen von Theorie und Beobachtung zu erwarten ist.

Zum Schlusse dieses Abschnittes möge noch bemerkt werden, daß die Hauptergebnisse der Chrystalschen Theorie in bezug auf die Dauer der Haupt- und Unterschwingungen, ihr gegenseitiges Verhältnis und die Lage der Knotenlinie dieselben bleiben, wenn man statt der symmetrischen Parabel, unsymmetrische Parabelstücke, gerade Linien, gebrochene Linien oder Kurven vierten Grades der Normalkurven substituiert. Letztere Kurve erscheint z. B. für den Boden-See die geeignetste zu sein. Es versteht sich, daß völlig genaue Lösungen des Seiche-Problems auch die Chrystalsche Theorie nicht liefern, sondern daß es sich stets nur um approximative Lösungen handeln kann. Aber das Verdienst darf sich Chrystal jedenfalls zuschreiben, daß er die Theorie der Seiches, die seit du Boys (1891) vollkommen stagnierte, neu begründet, und auf eine weit höhere Stufe der Vollendung als seine Vorgänger gebracht hat. In bezug auf alle Einzelheiten verweise ich den Leser auf die S. 12 zitierten Original-Abhandlungen Chrystals.

Bis zu Chrystal und Endrös beherrschte der Sarasinsche „Limnimeètre enregistreur transportable“ in der verbesserten Form, wie ihn zuletzt Prof. Ebert im Juliheft der Zeitschrift für Instrumentenkunde 1901 beschrieben und abgebildet hat, die Seiches-Forschung so vollständig, daß das Instrument als ein internationales angesehen werden konnte; obwohl eine Anzahl Beobachter, darunter auch ich, sich nicht der Überzeugung verschließen konnte, daß es neben vielen Vorzügen doch auch nicht unerhebliche Mängel aufwies. Der eine bestand darin, daß

es trotz seines *Epitheton ornans* „transportable“ nur sehr schwer zu transportieren und neu zu montieren war, ein Umstand, der gerade in der neuesten Phase der Seiches-Forschung schwer gegen die Brauchbarkeit des Instruments ins Gewicht fiel. Der zweite bestand darin, daß bei der Übertragung der vertikalen in die horizontale Bewegung zuweilen Reibungen und Friktionen auftraten, welche bewirkten, daß der Limnograph statt Kurven gerade und gebrochene Linien zeichnete. Unter dieser fatalen Eigenschaft hatte ich besonders bei dem am Süden des Madü-Sees aufgestellten Instrument<sup>1)</sup> zu leiden, da es bei der ziemlich großen Entfernung von bewohnten Orten und der Schwierigkeit, das Instrumentenhäuschen zu erreichen, nicht häufig genug revidiert werden konnte. Ein dritter Übelstand betraf die Notwendigkeit einer sehr stark gebauten Uhr, die naturgemäß Unregelmäßigkeiten im Gang stärker ausgesetzt ist, als feinere Uhren, die eine längere Gangzeit besitzen. Endlich konnte mit Recht auch über den gewaltigen Papierverbrauch geklagt werden, der oft recht lästig fiel, wenn eine starke Übersetzung in Anspruch genommen wurde, welche einen Streifen-gang von 180 mm in der Stunde erforderte.

Gegen die beiden zuletzt genannten Mängel wendete sich eine Verbesserung des Herrn Leutnant a. D. Philipp Schnitzlein in München, der seit mehreren Jahren mit der genauen Erforschung der Seiches auf dem Starnberger See beschäftigt ist. Ich habe das Wesen derselben in einer kurzen Mitteilung in Petermanns Mitteilungen 1904, Heft 5, veröffentlicht und begnüge mich hier mit einem Hinweis darauf um so mehr, als Schnitzlein ganz neuerdings Verbesserungen ersonnen hat, welche seine früheren völlig überholt haben, und weil seine erste Verbesserung in der Praxis sich nicht recht bewährt hat. Ziemlich gleichzeitig mit Schnitzlein ersann der bereits mehrfach erwähnte Dr. Endrös in Traunstein ein neues leicht transportables Limnimeter und ein sogenanntes Zeiger-Limnimeter. Bei dem neuen transportablen Limnimeter<sup>2)</sup> trägt die Schwimmerstange direkt den Schreibstift, der mittelst eines Winkelhebels an eine vertikal gestellte Schreibtrommel gedrückt wird. Die Trommel dreht sich in 6 Stunden einmal um ihre Achse, nach dieser Zeit muß also der Schreibstift herabgelassen bzw. hinaufgeschoben werden, damit die Kurvenlinien nicht übereinander-

<sup>1)</sup> W. Halbfafs, Stehende Seespiegelschwankungen im Madü-See. II. Teil. Zeitschr. f. Gewässerkunde. Bd. 6. Heft 2. S. 69 ff.

<sup>2)</sup> Beschrieben und abgebildet in der Zeitschrift für Instrumentenkunde. 24. Jahrgang. Juni 1904 und in der S. 8 erwähnten Münchener Doktor-Dissertation über die Seeschwankungen des Chiem-Sees, vgl. auch „Seiches kleiner Wasserbecken“. Peterm. Mittlgn. 1904. Heft 12.

greifen, was aber ohne Abnahme des Schutzkastens sich leicht bewerkstelligen läßt. Das Papier wird je nach Bedarf alle 1 oder 2 Tage aufgezogen, bei kleineren Seeschwankungen bis 4 Tage belassen, so daß die Registrierungen mehrerer Tage übereinander zu stehen kommen. Übereinanderliegende Punkte besitzen genau 6 Stunden Zeitdifferenz, so daß eine zeitliche Orientierung sehr leicht ermöglicht ist. Das ganze Instrument kann in wenigen Minuten aufgestellt und abmontiert werden und verdient das Beiwort „portatif“ mit weit größerem Rechte als das ursprüngliche Sarasinsche Instrument. Noch einfacher in der Konstruktion ist der Zeiger- oder Index-Limnimeter, dessen sich besonders auch Chrystal bei seinen Beobachtungen am Loch Earn mit großem Vorteil bedient hat. Der Schwimmer, ein flaches zylindrisches Gefäß, hängt an einer Schnur mit Gegengewicht über einer Rolle, welche mit einem Stift an dem Rand eines Steges befestigt wird, so daß der Schwimmer in das Gefäß eines aus den Forelschen Untersuchungen bekannten Plemymeters taucht. Die Rolle trägt einen Zeiger, der auf einer dahinter befindlichen kreisförmigen Skala spielt. Der Schwimmer macht die kleinsten Bewegungen des Wassers im Behälter mit, bewegt die Rolle mit Gegengewicht und dadurch auch den Zeiger, der die Bewegung vergrößert, auf der Skala anzeigt und von Minute zu Minute oder nach Belieben auch in kleineren Zeiträumen notiert werden kann. Der Zeiger-Limnimeter, der z. B. bequem auf ein Fahrrad mitgenommen werden kann, erscheint besonders geeignet, gleichzeitige Aufnahmen des Wasserstandes an den verschiedensten Punkten des Sees vorzunehmen, da er der sehr geringen Kosten wegen leicht in einer größeren Zahl von Exemplaren angeschafft werden kann.

Chrystal<sup>1)</sup> hat sowohl Verbesserungen am ursprünglichen Sarasinschen Instrument, wie an dem durch Endrös verbesserten Limnographen gemacht, als auch endlich ein neues Instrument ersonnen, das er Statolimnograph nennt und besonders zu sehr kurz andauernden Seespiegelschwankungen benutzt. An dieser Stelle kann ich auf die Verbesserungen nicht ausführlich eingehen, ich muß Interessenten auf die unten erwähnte, mit trefflichen Abbildungen versehene Abhandlung verweisen. Ein großer Vorteil der Chrystalschen Änderung beruht auf der Montierung des Schreibstiftes. Dieser ist nicht direkt am Bande befestigt, vielmehr ist mit dem Streifen ein kleiner Wagen verbunden, der einerseits

<sup>1)</sup> An Investigation of the Seiches of Loch Earn by the Scottish Lake Survey. Part I: Limnographic Instruments and Methods of Observation by Prof. Chrystal. Part II: Preliminary limnographic observations of Loch Earn by James Murray. Transactions of the Roy. Soc. of Edinburgh. Vol. 40. Part II. Edinburgh 1906.

auf zwei Rädchen mit Einkerbungen am Rande über einer kantigen Schiene, anderseits auf einer Rolle mit flachem Rande über eine ebensolche Schiene läuft. Dieser kleine Wagen trägt den Schreibstift, der dabei schief auf dem Papier liegt. Dadurch ist eine leichte und fehlerfreie Bewegung des Stiftes erreicht und ein Hemmen des Streifenganges durch den eindrückenden Stift vermieden. Im übrigen ähneln die Verbesserungen des Sarasinschen Instruments durch Chrystal denen von Endrös; der Hauptfortschritt besteht hier wie dort darin, daß die Änderungen des Wasserstandes direkt durch den Stift aufgeschrieben werden und nicht erst durch eine Stangenverbindung, welche die auf- und niedergehende Bewegung des Schwimmers zunächst in eine rotierende verwandelt und dabei leicht Anlaß zu beträchtlichen Fehlerquellen gibt. Für Seiches von geringerer Dauer und märsiger Amplitude scheint mir die Endrössche Konstruktion die zweckentsprechendere, in allen anderen Fällen aber die Chrystalsche Methode vorzuziehen sein, besonders auch dort, wo eine häufige Revision des Apparates unmöglich ist. James Murray (s. Anm. S. 21) hat auch den Endrösschen Index-Limnograph vervollkommenet; eine Abbildung davon findet sich in der angeführten Abhandlung S. 394. Chrystal wie Endrös arbeiten mit Röhren, welche vom Standpunkt ihres Limnographen ins tiefere Wasser führen; Endrös wandte solche von Gummi an; Chrystal, welcher durch eine mathematische Berechnung feststellte, in welcher Weise die Länge und Dicke der Röhre die Intensität der Schwingungen beeinflusst, fand bei größerer Länge der Röhre (bis zu 15 m und mehr) Gummi unzuweckmäsig und verwendet nunmehr eiserne Röhren.

Ganz neuerdings hat Schnitzlein (s. S. 20) seinen Apparat erheblich geändert und ihm eine sehr kompendiöse Form gegeben. Da der elektrische Betrieb sich nicht als genügend konstant erwies, ist er zu dem Antrieb mit einer  $\frac{1}{2}$  Sekunde-Pendeluhr übergegangen, deren Uhrwerk acht Tage geht. Da nämlich bei der Schnitzleinschen Konstruktion der Schwimmer ohne Gegengewicht arbeitet — ein ringsum mit Wasser gefüllter Raum wirkt beim Sinken als Fallgewicht —, so könnte statt der schweren Genfer Uhr, die nur etwa 50 Stunden geht, eine leichtere Pendeluhr gewählt werden, die weit sicherer geht<sup>2)</sup>. Im übrigen schließt sich der Schnitzleinsche Apparat, dessen Einzelheiten hier nicht wiedergegeben werden können, im Prinzip den Chrystalschen und Endrösschen Verbesserungen insofern an, als auch bei ihm die Wasserstandsänderungen durch den Stift direkt, ohne Vermittlung von Kuppelstangen, aufge-

<sup>2)</sup> Eine Veröffentlichung des Schnitzleinschen Apparats steht bevor.

zeichnet werden. Eine Probe in der Praxis hat er bisher noch nicht bestanden.

In bezug auf die Ursachen der Seiches-Schwingungen haben die Untersuchungen der letzten Jahre — soweit sie bis jetzt schon abgeschlossen und veröffentlicht worden sind — wenig gebracht, was über die Forelschen, in seinem Werke „Le Léman“, Bd. 2, niedergelegten Anschauungen und meine am Madü-See (s. S. 20) gemachten Beobachtungen hinausginge, doch scheinen die Versuche von Chrystal und seinen Schülern, welche veröffentlicht werden, sobald sie einen gewissen Abschluss gefunden haben, nach brieflichen Mitteilungen neues, wertvolles Beobachtungsmaterial zu enthalten. Die von Endrös beobachtete Tatsache, dafs einmal ein über die Hälfte des Chiem-Sees niedergegangener Platzregen bei Abwesenheit jedes stärkeren Windes und äufserst unbedeutender Änderung des Luftdruckes eine Seiche mit der für den Chiem-See ganz ansehnlichen Amplitude von 38 mm auslöste, liefert einen interessanten Beitrag zu der von Dr. Emden<sup>1)</sup> aufgeworfenen Frage nach dem Energiegehalt der Seiches. Der Verfasser berechnet die Gesamtenergie der Seiche eines elliptisch geformten Sees zu  $\frac{1}{16} g \varrho \cdot O \cdot A^2$

Tonnenmeter. In dieser Formel bedeutet  $\varrho$  die Dichte des Wassers,  $g$  das Maß der Erdschwere,  $O$  das Areal des Sees,  $A$  die Hälfte der Maximal-Amplitude der Seiche. Für den Starnberger See betragen die Seespiegel-Schwankungen in der Zeit vom 7. Juli bis 7. September 1900 im Mittel 25 mm,  $A$  ist also 12,5 mm. Das ergibt, die Oberfläche des Sees zu 55,9 qkm gerechnet, die in einer Seiche-Schwankung des Starnberger Sees von mittlerem Betrage enthaltene Energie von 546 000 Kilogrammometer. Ein Kilogramm Kohle liefert beim Verbrennen 3000 grofse Kalorien, die gleichwertig mit 3 392 000 Kilogrammometer mechanischer Energie sind; um eine mittlere Seiche zu erzeugen, würde also die Verbrennungswärme von 200 gr Kohle ausreichen. Ein Regen leichtester Art, welcher in der Stunde nur 2 mm Regenhöhe liefern soll, führt der Hälfte des Starnberger Sees  $27,95 \cdot 10^6 \cdot 0,002 \cdot 1$  Tonnenmeter, d. i. rund 56 000 000 Kilogrammometer Energie zu. Um eine Seiche mittlerer Energie zu speisen, brauchte der Regen also nur 40 Sekunden zu dauern. Wenn nun auch die berechneten Zeiten noch erheblich erhöht werden müssen, da ein Teil der Fallenergie jedenfalls in Wärme umgesetzt, also als Druckkraft auf die Wasseroberfläche verloren geht, so genügen die angeführten Beispiele jedenfalls, um zu zeigen, welche

<sup>1)</sup> Jahresbericht der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft in St. Gallen. 1905/06.

verschwindend kleinen Energiemengen gegenüber andern Naturprozessen hinreichen, um eine Seiche-Bewegung hervorzubringen. Es kann daher nicht wundernehmen, daß die gewaltigsten Seebecken und ganz unbedeutende Wasseransammlungen, wie die von Endrös untersuchten Teiche von nur 110 m Länge, periodische Seeschwankungen aufweisen, welche so gut wie nie zur Ruhe kommen, da leichteste Regenfälle, ganz geringe Barometerschwankungen, leise Erzitterungen des Erdbodens, Anprall mäfsiger Winde auf die Wasseroberfläche sie zur Auslösung bringen.

Zum Schlufs möge darauf hingewiesen werden, daß A. Defant in Innsbruck (s. Meteor. Zeitschrift 1906, Heft 6, S. 281)<sup>1)</sup> vor Beginn des Föhns oder bei Föhnpausen wellenförmige Temperaturschwankungen beobachtet hat, die jedesmal dann auftraten, wenn die unteren Schichten des Tales mit kalter stagnierender Luft erfüllt sind, während in der Höhe die warme Südströmung herrscht. Auf graphischem Wege konnte er konstatieren, daß diese Temperaturwellen durch Superposition dreier Wellen von 14,0, 24,5 und 41,5 Minuten Schwingungsdauer entstehen. Aus dem Auftreten bestimmter Wellenlängen, die sich wie 1:0,6:0,34 verhalten, läßt sich schliessen, daß die wellenförmigen Bewegungen der Luft, welche jene Temperaturwellen auslösen, nicht durch Helmholtzsche Luftwogen entstehen; denn dann müßte ihre Wellenlänge variabel sein, sondern durch stehende Luftschwingungen einer Grundschwingung mit ihren Obertönen. Es gibt also in den Kaltluftseen der Alpenländer ein deutliches Analogon zu den Seiches der Wasserseen.

---

<sup>1)</sup> Inzwischen ist die Abhandlung von Defant in den Denkschriften der Kais. Akademie der Wissenschaften zu Wien 1906 unter dem Titel „Periodische Temperaturschwankungen bei Föhn und ihr Zusammenhang mit stehenden Luftwellen“ veröffentlicht worden.

Anmerkung: Während der Korrektur geht mir die neueste Abhandlung von Endrös über Seiches-Beobachtungen an den größeren Seen des Salzkammergutes (Peterm. Mittl. 1906, Heft 11) zu, welche im ganzen die Richtigkeit der Chrystalischen Theorie bestätigt. Am St. Wolfgang-See ist das Verhältnis zwischen Grund- und erster Oberschwingung 1:0,19; d. h. das kleinste bisher bekannt gewordene.  
D. V.

---

## Neue Wege in Hu pei, Schen si und Sze tschwan.

Ergänzungen zur deutschen Generalstabskarte  
China 1 : 1 000 000, speziell des Blattes Yi tschang fu.

Von Leutnant **Wilhelm Filchner** in Berlin.

Von Tiën ho kou (einem Ort am Han-Fluß 30 km westlich Yün Yang fu, Provinz Hu pei) aus führt ein Weg nördlich nach Yün hsi und dann nordwestlich über Hsiang kou pu — Hwang yün pu nach Man tschwang kwan. Von hier aus setzt er sich westwärts über den Lung schan nach Liang ho kou fort. Westlich vom Lung schan berührt er Liang tscha ho. Liang ho kou ist mit Han tschung fu durch einen direkten Weg verbunden. Dieser Weg sowohl, (Han tschung fu — Man tschwang kwan), als auch der nach Hsing an fu (Schen si) werden von Opium-Schmugglern bevorzugt. Von Liang tscha ho geht außerdem ein Weg südlich zum Han-Fluß nach Schu ho. (Dieser Ort ist östlich Hsün yang gegenüber Fang kia ling zu setzen.)

Von Hsing an fu aus läuft ein guter Weg südlich zum Yang tse kiang und zwar nach Kai hsiën in Sze tschwan (etwa 200 km). Er verbindet Huo schi yen — Tschwan ping ting — Tschönnko (20 km nördlich Tsiën tau hsia einzuzeichnen) — Tsiën tau hsia selbst — Tsing wan tse und Liu tang ki mit Pai kiau. Die Übergänge über den Kiu lung schan sollen leicht sein. Dieser Weg wird bei Tschwan ping ting von einem anderen, westöstlich verlaufenden, 400 km langen, gut gangbaren gekreuzt, der Sze tschwan mit Hu pei verbindet; er kommt von Sui ting fu am Kü ho und geht nach Pau kang, wo er sich nach Ku tschöng (am Han-Fluß) und Nan tschang (südlich Ku tschöng) gabelt. Er berührt, bei Sui ting fu beginnend, Tung hsiang, Ta schui tsun, Tai ping, Tschöng kou ting, Tschwan ping ting, Ping li, Tschu ki, Tschu schan und Fang hsiën. Ping li hat durch einen guten Weg mit Hsing an fu Verbindung.

Für einige Orte in der Nähe von Hsing an fu seien folgende Angaben beigelegt: Die Entfernung von Hsin kien pu (dicht nordwestlich von Hsing an fu) bis Han yin ting soll 125 Li betragen, von Han yin ting

nach Schi tsüen (am Han kiang) 100 Li, von dort nach Ning hsia ting am Tsze wu ho 170 Li.

Halbwegs zwischen Han ying ting und Schi tsüen soll ein Ort namens Tschö ho liegen und 30 Li westlich Mei hwa pu (dicht nordwestlich Hsing an fu) ein großer Ort namens Chou kou.

Noch weiter nordwestlich laufen Wege von Yang hsien über Hwa yang ying nach Ling fōng ya, die sehr schlecht sein sollen, während sich die von Schi tsüen über Liang ho nach Ling fōng ya und nach Schwang tscha ho eines besseren Rufes erfreuen.

---

## **Studien zur glazialen Bodengestaltung in den skandinavischen Ländern.**

Von Dr. **Emil Werth** in Berlin.

### **A. Die Fjård- und Seenlandschaft Schwedens.**

Der Reichtum an geschlossenen, von Süßwasser erfüllten oder vom Meere überfluteten Hohlformen in den diluvialen Gletschergebieten ist eine so auffallende Erscheinung, daß es oft genug versucht wurde, sie ursächlich zu begründen. In Anbetracht jedoch der großen Meinungsverschiedenheiten, die in diesem Punkte heute immer noch herrschen, dürfte jeder Beitrag zur Kenntnis der in Frage kommenden Gebilde, selbst auf die Gefahr, neue theoretische Erörterungen mit in den Kauf nehmen zu müssen, von Nutzen sein. Die nachfolgenden Zeilen beschäftigen sich vornehmlich mit den in bestimmter (unter benachbarten Gebilden gleicher) Richtung gestreckten Beckenformen, welche von mächtig hohen Ufern umgeben in den glazialen Tiefländern auftreten und hier Landseen (bezüglich von jüngeren Ablagerungen erfüllte relativ breite Talformen) oder weit in das Küstengebiet einschneidende Meeresbuchten bilden. Dabei beabsichtige ich jedoch keineswegs eine umfassende Monographie des betreffenden Gegenstandes zu liefern; deswegen wolle der Leser auch den Mangel umfangreicher Literaturangaben verzeihen, in betreff welcher ihm übrigens jedes geographische Handbuch zu Rate sein wird. Ich möchte vielmehr nur, fast durchweg auf eigenen Beobachtungen fußend, auf diesem Gebiete bisher weniger beachtete Tatsachen hervorheben und andere von neuen Gesichtspunkten aus betrachten, zu denen ich im Verlaufe vieljähriger Studien bei stetem Vergleich mit ähnlichen mir analog dünkenden Erscheinungen anderer Diluvialgebiete nach und nach gelangt bin. Diejenigen meiner Fachgenossen, welche meine theoretischen Schlusfolgerungen nicht annehmen zu können glauben, möchte ich noch besonders bitten, deswegen nicht auch die angeführten Tatsachen,

welche ja jederzeit auf ihre Richtigkeit nachzuprüfen sind, ohne weiteres verwerfen zu wollen.

Föhrden. Was zunächst die vom Meer überfluteten hierher gehörenden Hohlformen, die Fjärde Schwedens und die Fjorde Dänemarks oder, wie wir sie nach den gleichartigen Meeresbuchten Schleswig-Holsteins mit einheitlichem deutschen Namen bezeichnen möchten, die Föhrden anbetrifft, so sind dieselben schon oft Gegenstand eingehender Behandlung gewesen und in der Regel als weniger typische Formen den Fjorden von der Art der norwegischen Westküste an die Seite gestellt worden. Es ist genügend hervorgehoben worden, daß dieselben sich gleichfalls durch ein beckenförmiges Bodenrelief auszeichnen und sich hierdurch, sowie durch ihre erhebliche Längserstreckung bei annähernd parallel verlaufenden Ufern von anderen, nicht auf die alten Glazialgebiete beschränkten Meeresbuchten unterscheiden.

Die Fjärde Schwedens. Die Verbreitung der Fjärde an den Küsten der schwedischen Felsplatte ist eine sehr ausgedehnte. Sie beginnen an der Christiania-Bucht und setzen sich, südlich Göteborg in etwas abgeschwächter Form auftretend, bis Warberg fort. In größtem Umfange sind sie an der Ostseite entwickelt, wo wir sie vom Kalmar-Sunde nordwärts fast überall an der schwedischen, wie auch gegenüber an der finnischen Küste in schönster Ausbildung antreffen. Außerdem begegnen wir ihnen auch an den Ufern der großen schwedischen Seen, vor allem an der Nord- und Nordwestseite des Wenern.

Um nur auf einige Beispiele näher einzugehen, so zeigen Beckenbildung die tiefeingreifenden Buchten nördlich von Göteborg. Der Gullmars-Fjord, als der tiefste unter ihnen reicht bis 80 m unter den Meeresspiegel hinab, während seine durch einen Schwarm von Felsinseln führenden Ausgänge nicht Tiefen unter 20 m aufweisen; die 100 m-Tiefenlinie verläuft etwa ebensoweit von der Aufsenküste entfernt, als die Bucht in das Land einschneidet. An der Ostküste Schwedens kommen u. a. eigentümlich gestaltete Buchten vor, welche, wie der Gamleby-Viken bei Westervik eine kaum offen zu haltende, ganz seichte Verbindung mit der freien See haben, oder, wie die nördlich davon gelegene Syrsan-Bucht und der Kaggebo-Fjärden bezüglich Elmviken, in der Richtung ihrer Längsachse sich überhaupt nicht gegen das offene Meer öffnen, vielmehr seitliche wenig tiefe Verbindungswege besitzen. Durch solche Formen der Fjärde ist uns in gewisser Beziehung ein Übergangsglied gegeben zu den garnicht mehr mit dem Meer vereinigten, jedoch in unmittelbarer Nachbarschaft der Fjärde auftretenden und in gleicher Richtung gestreckten Beckenformen, welche mit Süßwasser erfüllt sind.

Fjärd und Fjord. Was die Fjärde von den typischen Fjorden unterscheidet, ist zunächst ihre Umgebung von relativ niedrigen Uferhöhen und das Fehlen jeder strengen Talform. Beim Fjärd beobachten wir einen unmerklichen Übergang von den vom Gletscher gerundeten und geschliffenen Berg- und Hügelkuppen bis zu den Rundhöckern im Meeresspiegel (Tafel 1, No. 1). Beim Fjord dagegen schaltet sich zwischen den vom Eise modellierten Hochflächen und seiner Sohle eine zusammenhängende, meist ziemlich steile Talböschung ein. In dieser Beziehung gleicht der Fjord ganz den breiten steilwandigen Tälern der Alpen, naturgemäfs besonders solchen, die ein Seebecken einschliessen. Solche Seen wurden bekanntlich auch längst als „Fjord-Seen“ bezeichnet. Man hat unwillkürlich das Gefühl, ein Fjord ist das Bett eines ehemaligen Talgletschers, die Fjärde dagegen stellen unter einer einstigen zusammenhängenden Eisdecke entstandene Rinnenbildungen dar. Hiermit im Zusammenhang steht auch ein fernerer wichtiger Unterschied der beiderlei Formen. Die Fjärde sind durch Parallelität benachbarter Gebilde ausgezeichnet, während die Fjorde in ihrer Anordnung und Gruppierung keine gröfsere Regelmäfsigkeit erkennen lassen, als irgend welche in eine Gebirgsabdachung eingeschnittene Flusstäler.

Die fast mathematisch strenge Einordnung der Fjärde in ein bestimmtes Richtungssystem wird, in den grofsen Zügen wenigstens, nie durchbrochen und behält oft für grofse Länderstrecken ihre Gültigkeit. So sehen wir im südlichen Schweden die Buchten der Westküste in nordost-südwestlicher bis südsüdwestlicher Richtung sich erstrecken, die wenigen tieferen Buchten der Südküste besitzen fast eine nord-südliche Längsausdehnung, während die zahlreichen enggedrängten der Ostküste senkrecht zu den zuerstgenannten, in nordwest-südöstlicher Linie streichen. Sie alle zusammen bilden also insgesamt ein fächerförmiges System.

Seensystem Schwedens. Ein Blick auf jede gute topographische Übersichtskarte Süd-Schwedens zeigt uns, dafs die derart angeordneten Fjärde in ihrer Gesamtheit nur die periphere Fortsetzung bilden zu dem grofsen radialen System von Seen und Talweitungen, welches das ganze Land einnimmt (Tafel 1, No. 3). Gleichlaufend mit den Meeresbuchten sehen wir südlich von dem riesigen Becken des Wenern die grofsen Talzüge und die meist rinnenförmig gestalteten Süfswasserseen in nahezu Nordost-Südwestrichtung das Land durchziehen. Südlich vom Wetteren gehen beiderlei Gebilde allmählich in eine nordsüdliche Erstreckung über, um weiterhin gegen Osten und Nordosten in nordwest-südöstlicher Linie zu streichen. So umspannt

das von überaus zahlreichen Rinnenseen von radialstrahliger Anordnung durchfurchte Land hufeisenförmig die große nördlich gelegene Depression, deren tiefste Stellen von den meeresartig ausgedehnten Becken des Wenern, Wetteren und Hjelmaren eingenommen werden.

Yoldiameer; Talterrassen. Von der beim Studium der Fjorde gewonnenen und längst allgemein anerkannten Erkenntnis<sup>1)</sup> ausgehend, daß dieselben als untergetauchte Täler zu betrachten und zu verstehen sind, können wir auch die Seen und Seenketten der südschwedischen Platte als landfest gewordene Fjärde ansehen und an ihnen am besten die Natur und Entstehungsgeschichte dieser letzteren studieren. Ja, wir sind hierzu um so mehr berechtigt, als in der Tat ein großer Teil der

Abbild. 1.



Terrassenlandschaft am Lerje-Flufs.

nicht zu fern von der Küste gelegenen Seen des bezeichneten Gebietes in spätglazialer Zeit, nach dem Rückzuge der diluvialen Eisdecke vom Meere erfüllt war, mithin also wirkliche Fjärde dargestellt haben. Wir erkennen dies an der Verbreitung der spätglazialen marinen Tone (Yoldiaton) an den Ufern der betreffenden Seen, sowie in den dieselben landeinwärts fortsetzenden Tälern. Diese Tone vertreten hier die Heidesande der Talzüge des Landinnern, und bilden, nachdem die rezenten Flüsse ihre Betten darin eingeschnitten haben, wie letztere typische Talterrassen (Abbild. 1).

Felsbecken; Rinnenform. In den weitaus meisten Fällen lassen sich die Seen Schwedens ohne weiteres als echte Felsbecken

<sup>1)</sup> v. Drygalski, Ein typisches Fjordthal, S. 45, v. Richthofen-Festschrift. Berlin 1893.

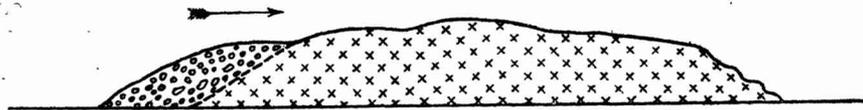
erkennen. Dies gilt für die kleinen unregelmäßig gestalteten Tümpel der Rundhöcker-Plateaus eben sowohl wie für die ausgedehnten, meilenlangen Talseen. Die Gestalt der Seen ist außerordentlich mannigfaltig, und es lassen sich nach den Umrissen zwei Extreme unterscheiden, die jedoch durch zahlreiche Zwischenformen vollständig in einander übergehen. Die eine Art ist von vollkommen unregelmäßiger Form, selten ungliedert, meist mit zahlreichen, den Pseudopodien der Amöben ähnelnden Ausbuchtungen versehen. Die andere Art ist von ausgesprochen rinnenförmiger Gestalt, d. h. sie ist von gestreckter Form mit nahezu parallel verlaufenden Seitenufeln. Zu der ersten Form gehören hauptsächlich die kleineren Süßwasserbecken. Man kann sich schon bei der Durchsicht einiger Blätter der schwedischen Generalstabskarte der Überzeugung nicht verschließen, daß sich, je größer die Formen werden, um so mehr auch die Ausbildung einer bestimmten Längsachse ausprägt. Die größeren Seengebilde sind fast stets typische richtige Längs- oder Rinnenseen, und mit seltenen Ausnahmen ordnen sich ihre Längsachsen dann auch in die allgemein in der betreffenden Gegend vorherrschende Richtung ein. Nicht selten sind die größeren Seen Zwillingsseen, d. h. sie stellen zwei oder auch mehrere, an einer oder mehreren Stellen zusammenfließende Parallelrinnen dar. Hierher gehören z. B. der Bolmen und Åsnen in Småland, sowie der vierteilige Sommen östlich vom Wetteren.

Rundhöcker; Seenlandschaft nördlich und südlich der Ostsee. In der Umrahmung der Seen herrscht die Rundhöckerform vor. Im Innern des Landes gut bewachsen und mehr zurücktretend, gelangt sie in den küstennahen Gebieten zu ihrem eigentlichen Rechte. Besonders an der Westküste Schwedens, am Kattegat und Skagerrak, ist infolge der heftigen Seewinde die Bewaldung der Gneiskuppen nur äußerst dünn und durchsichtig. Die überall durchschimmernden oder fast kahl daliegenden Felsflächen geben hier der Seen- und Fjärdlandschaft einen gewissen herben Zug. Trotzdem erinnert die ganze eigenartige Seenlandschaft Schwedens mit ihren wechselnden Bildern doch außerordentlich an die Seen südlich der Ostsee, auf dem Baltischen Höhenrücken und in der Mark. Bald blicken wir auf eine weitgedehnte Wasserfläche, dann wieder auf vorspringende Halbinseln und enges Wasser; bald Hügel und Berg, bald sumpfiges, flaches Ufer. Der Unterschied ist markant, aber er tritt zunächst zurück und ist genetisch gleichgültig. Die Seen Schwedens sind in die Urgebirgsplatte des baltischen Schildes eingeschnitten, diejenigen des mitteleuropäischen Tieflandes in die losen Ablagerungen einer älteren Diluvialepoche; nur gelegentlich schneiden die letzteren vordiluviale Sedimente an.

Die Form der Rundhöcker ist je nach Art und Lagerung des Gesteins sehr verschieden. Der Gneis zeigt meist allseitig gerundete Kuppen; sind die Gesteinsschichten schräg aufgerichtet, so wird dadurch die Form der Rundhöcker jedoch stark beeinflusst. Typische Formen mit Stofs- und Leeseite finden wir da, wo die Schichten gegen die sonst abgeleitete Bewegungsrichtung des Eises einfallen; umgekehrt können aber auch gelegentlich an der allgemeinen Stofsseite stumpfe und steile, im übrigen geschliffene Kuppen sich bilden, wenn die Schichtköpfe dem Eise entgegenstehen. An den Quarzitrundhöckern kann man in der Regel, wie auch beim gleichfalls senkrecht abspaltenden Basalte, gerundete Stofs- und steilere (abgebrochene) Leeseite unterscheiden. Die Stofsseite der Rundkuppen zeigt gewöhnlich eine stärkere Anlagerung von Moränenmaterial als die übrigen (Abbild. 2).

Gletscherschrammen; Endmoränen. Auch abgesehen von den Rundhöcker-Bildungen, deren Schliffflächen und Schrammen mit großer Übereinstimmung auf eine Bewegungsrichtung des überlagernden Eises parallel zu der Längserstreckung der Rinnenseen weisen, ist das

Abbild. 2.



Schematisches Profil durch einen Quarzit-Rundhöcker bei Vesterwick.

Auf der durch den Pfeil angedeuteten Stofsseite reichliche Anlagerung von Moränenmaterial (Blockpackung); steil abgebrochene Leeseite.

Glazialphänomen örtlich eng mit den Seen verknüpft. Endmoränenbildungen treffen wir häufiger an dem auswärts gerichteten Ende der Seen an, und dieselben zeigen, daß gelegentlich während der verschiedenen Rückzugsphasen des Inlandeises, wenn auch nur für kürzere Zeit, der Eisrand mit dem betreffenden Seeende zusammenfiel.

Ehe wir jedoch des näheren auf theoretische Erörterungen eingehen, wollen wir an der Hand einiger Beispiele uns noch etwas eingehender mit der schwedischen Seenlandschaft vertraut machen.

Anten- und Mjörn-See. Zunächst sei hier des Seengebietes nordöstlich Göteborg gedacht; die Hauptwasserbecken sind hier der Anten- und Mjörn-See (vergl. das Profil auf Tafel 1, No. 2). Der Anten-See ist ein typischer, im Norden verbreiteter Rinnensee, ohne erhebliche Gliederung. Das Südende des Sees wird von einem 15–30 m hohen Moränenwalle abgeschlossen. Daß der See früher etwas höher gestanden hat, beweisen etwa 3–4 m über seinen gegen-

wärtigen Wasserspiegel reichende horizontal geschichtete Schotter innerhalb der Moränen, nahe dem Seeabfluß. Letzterer zeigt sofort ein nicht unbedeutendes Gefälle, dessen Kraft von einer Holzschneidemühle ausgenutzt wird, und wird auf seinem rechten Ufer unmittelbar von anstehendem Fels begleitet. Auf der linken Seite befindet sich gleich unterhalb des bezeichneten Moränenwalles ein Felshügel; derselbe liegt ungefähr vor der Mitte des Südufers des Sees. Als die eigentliche, das Becken des Anten abschließende Felsbarre ist jedoch die Höhe anzusehen, welche südlich des kleinen, düsteren Alanda-Sjön gelegen vom Abfluß in steilwandiger Schlucht durchsägt ist. Die Landstraße führt hoch darüber hinweg, während die Eisenbahn die Enge mittels Tunnels überwindet. Unmittelbar im Anschluß an diese Schwelle aus anstehendem Fels treten mächtige Diluvialmassen auf, welche in Form sehr grober und unregelmäßiger, teilweise talwärts einfallender Schotter von mir als Schottermoräne mit anschließendem, vielleicht unter Wasser (Yoldiameer) abgelagerten, Schuttkegel aufgefaßt werden.

Es folgt nun der große, unregelmäßig gestaltete Mjörn-See. Derselbe stellt eine Zwillingsrinne dar, indem der westliche Teil die Fortsetzung der Talung des Anten-Sees bildet, während der östliche in der Verlängerung des Tales des Säfve Ån liegt, dessen Bett in eine breite, von Diluvialsand gebildete Sohle eingeschnitten ist. Der Zwillingsnatur des Sees entsprechend, erstreckt sich von Nord her gegen Südsüdwest eine felsige Halbinsel, dessen Spitze sich in zahlreiche Rundhöcker-Inseln auflöst, welche sich als Schärenlandschaft bis in die Mitte des Sees erstrecken. Die durch die Halbinsel gebildeten beiden nördlichen Ausbuchtungen des Sees sind von dem Hauptkörper in Gestalt kleiner Fjörden abgegliedert. Die westliche erfährt eine weitere bemerkenswerte Ausgestaltung durch eine in ihrer Längserstreckung gerichtete Felshalbinsel. Parallel mit derselben verläuft in der landeinwärts anschließenden Senke eine wallartige Erhebung aus kiesigem Material, über welche die Landstraße von dem Gute Östad südwärts führt, und welche als ein Ås angesehen werden kann.

Kluftsysteme. Im übrigen ist die Vielgestaltigkeit des Mjörn-Sees ganz augenscheinlich abhängig von Kluftsystemen, welche senkrecht zu der herrschenden Talrichtung das Gneisgebiet durchsetzen, und welche rechtwinklig auch von den Gletscherschrammen der Gegend geschnitten werden. In dieser Nordwest-Südostrichtung nämlich verlaufen die zahlreichen kleinen Zuflüsse der Seen und Haupttäler, und das Gelände, namentlich am südlichen Mjörn und beiderseits des südwestlich anschließenden Lerje-Tales, ist von unzähligen, in dieser Richtung streichenden vom Gletscher gerundeten Gneisrücken durchzogen.

Unter dem Einflusse dieser Kluftsysteme steht die Umgrenzung der Halbinseln im südlichen Mjörn-See, sowie vor allen auch der hier gelegenen größeren Insel Sunderön.

Felsschwelle und Endmoräne. Die östliche Hälfte des Mjörn-See erfährt ihre Fortsetzung durch den in südsüdwestlicher Richtung gestreckten Säfvelången-See, dem er auch seinen Abflufs durch eine enge Felsrinne zusendet. Aber auch das westlich gelegene breite Südennde des Mjörn wird von Fels umschlossen. Eine quadratische Felshöhe teilt, als dreieckige Halbinsel in den See vorspringend, das Ende des letzteren in zwei Arme. Der östliche, schmalere endet blind zwischen Felskuppen, während der westliche an seinem Ende von Moränen umfassen wird. Ein kleiner Wall geht von einem Fels-  
hügel aus, der in der Mitte des Südufers dieses Armes aufragend etwas in den See vorspringt, und wendet sich ostwärts. Ein ungleich mächtiger Moränenwall aber schiebt sich, zu reichlich 40 m Höhe ansteigend, von der Südwestecke des Sees weit in das Tal vor; er trägt die Ansiedelung Hjällsnäs und bildet die Wasserscheide zwischen dem Mjörn-See und dem Lerje Ån.

An diesen Moränenwall schließt sich ein Sandgebiet mit unruhig-leichtgewellter Oberfläche, welches ganz allmählich in eine Talterrasse übergeht (Abbild. 1). Diese ist bei Stannum zuerst deutlich ausgeprägt. Hie und da ragen Diluvialkuppen über die Terrasse auf, welche aus horizontal geschichtetem, feinem Glazialtone besteht. Derselbe vertritt in den küstennahen Gebieten die Terrassensande des schwedischen Binnenlandes, sowie Nord-Deutschlands, und die jungdiluvialen (Niederterrassen-) Schotter des Vorlandes der Alpen. Zwischen den beiderseitigen etwa 8 - 10 m aufragenden Diluvial-Terrassen fließt der Lerje-Flufs, eingefasst von ganz schmalen Alluvionen, dahin. Unterhalb der Talverengung bei Angered treten die Terrassen in zwei oder mehreren Stufen auf. Mit einer Felsstufe, an welche sich eine Moränen- und Schotterablagerung knüpft, mündet schliesslich das Lerje-Tal unweit Göteborg in dasjenige des stattlichen Göta-Elf.

Am Anten und Mjörn ist es nicht möglich gewesen, in dem stark kouponierten Terrain die die Seen abschließenden Moränen weiterhin zu verfolgen. Dies gelingt jedoch im Gebiete des Lygnern-See, unweit der Küste südlich von Göteborg (Abbild. 3).

Lygnern-See. Der ausgezeichnet rinnenförmig gestaltete, von parallel verlaufenden Ufern eingefasste Lygnern-See wird an seinem südwestlichen Ende von einem mächtigen, etwa 30 m hohen Moränenwalle abgeschlossen. Wie an anderen Stellen, so bedingt derselbe auch hier jedoch nicht die Entstehung des Sees. Derselbe ist vielmehr

ein Felsbecken. Wir sehen innerhalb des Moränenwalles sowohl seitlich wie in der Mitte des leicht gegabelten Seeendes anstehenden Fels (Gneis) auftreten, der es außer Zweifel stehen läßt, daß wir es mit einer in festem Fels ausgearbeiteten Vertiefung zu tun haben, wenn auch der Moränenwall für die Höhe des gegenwärtigen Wasserspiegels

Abbild. 3.



Kartenskizze der Umgebung des Lygnern-See. 1:400 000.

maßgebend ist. Der Abfluß des Sees befindet sich seitlich nordwärts und führt, im scharfen Winkel geknickt, zwischen dem Sundsjön und Stensjön durch eine relativ enge Felspforte.

Endmoränenzug. Der besagte Moränenwall schließt sich nicht etwa bogenförmig um das Ende des Sees, sondern hat eine fast gradlinige annähernde Nordwest-Südost-Erstreckung. Er findet seine Fortsetzung

nördlich und südlich in anderen Moränenbildungen von gleicher Längsrichtung. Sie zusammen stellen also zweifellos die Linie eines ehemaligen einheitlichen Eisrandes dar, welcher parallel der Aufsenküste in etwa 18 km Abstand von derselben verlief. Zu diesen Bildungen sind die 5 km lange Reihe von Hügelkuppen oder wallartigen Rücken zu rechnen, welche bei Lindome das Ausflusstal der beiden Ing-Seen quert, sowie weniger ausgedehnte, in derselben Linie liegende Anhäufungen von Moränenmaterial bei Elfsåker und am Ausfluß des Stensjön. Südlich des Lygnern verläuft zunächst die Landstraße, soweit sie nicht über anstehenden Fels führt, bis zur Gabelung bei Karlshult (südöstlich Gällinge), über einen wallartigen Geländerrücken dahin. In seine Fortsetzung fällt die kegelförmige Ablagerung an der Weggabelung südlich vom Stora Horred-Sjön, durch welche der See gezwungen ist, sein Wasser an seinem, dem Meere abgewandten Nordende gegen das weite Becken überfließen zu lassen, welches von dem Wiske-Flusse durchströmt, vielleicht ehemals einen See darstellte. Die Wiske selbst durchbricht am Ausgang der bezeichneten Talverbreiterung, nach wiederholten seenartigen Erweiterungen, eine von beiden Seiten zapfenartig in das Tal eingreifende Moränenablagerung oberhalb Weddige, die gleichfalls in die Verlängerung des bezeichneten Endmoränenzuges gelegen ist.

Außerhalb des Bereiches des beigegebenen Kärtchen lassen sich diese Moränen nordwärts wie südwärts noch weiter verfolgen. Bis zur Laholms-Bucht im Süden jedoch erstreckt sich ein anderer, einer etwas früheren Phase der Vereisung entstammender, parallel zu ersterem und dichter an der See verlaufender Endmoränenzug. Beide zeigen uns, daß hier an der Westseite des südlichen Schwedens ein einheitlicher Eisrand dereinst parallel zur Küste und nahezu senkrecht zu den heutigen Seen- und Haupttalzügen sich erstreckt hat<sup>1)</sup>.

Kreuzung von Schrammen und Kluftsystem. Wie am Mjörn-See, so verläuft auch am Lygnern das vorherrschende, in gleicher Weise wie dort sich kennzeichnende Kluftsystem senkrecht zu der Richtung der Haupttalzüge und Seenbecken und wird von den damit parallel verlaufenden beobachteten Gletscherschrammen und der sonst aus der Gestalt der Rundhöcker abgeleiteten Richtung der Gletscherbewegung gequert. Dennoch kam es hier zur Ausbildung drumlinartig in einer Richtung (und zwar derjenigen der ehemaligen Eisbewegung) gestreckter und zu Schwärmen angeordneter, mehr oder weniger

---

<sup>1)</sup> Vergl. die Karte von Hallands-Län der Schwed. Geolog. Landesaufnahme.

mit Grundmoräne bedeckter Rundhöckerkuppen, zwischen welche sich kleine Seen und torfige Senken einschalten.

Gegend von Westervik. Häufiger sind solche Gebilde im Osten des südlichen Schwedens, wo dieselbe Kluft- oder Spaltenrichtung mit der Längserstreckung der Rinnensenken zusammenfällt. Charakteristisch liegen die Dinge im nördlichen Teil von Kalmar Län, das ist die Gegend von Westervik. Hier verlaufen in gleicher Weise die Gletscherschrammen, die Rinnen (Seen, Fjärde), wie die Streichungsrichtung der Schichtgesteine und oft auch die Grenzlinien zwischen den verschiedenen Gesteinsarten des Grundgebirges NW—SO. Die hauptsächlichsten Fjärde sind in dieser Gegend von Nord nach Süd: Waldemarsviken, Syrsan, Gudingefjärden, Gamlebyviken, Wärkeäckviken und Gåsefjärden. Hier kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die Rinnensysteme ganz wesentlich durch den Verlauf von Verwerfungsspalten vorgezeichnet sind. Hier gehört es beinahe zur Regel, daß die Talfurchen die Grenzen zwischen zwei verschiedenen Gesteinen oder Gesteinsvarietäten innehalten.

Besonders lehrreich ist in dieser Beziehung die lange Reihe von Becken, die sich von Loftahammar in der bezeichneten Richtung landeinwärts erstreckt. Sie beginnt außerhalb des genannten Ortes mit einer gradlinigen, im Süden von Inseln begrenzten, auf der Generalstabkarte keinen besonderen Namen führenden Bucht und wird weiterhin zusammengesetzt von dem Bågviken und der Syrsan-Bucht sowie einer Anzahl von Süßwasserseen, dem Storsjön, Åkervristen, Batsjön u. s. w. Wir begegnen hier in der Regel auf engem Raum drei Gesteinstypen nebeneinander. Im nordwestlichen Teil z. B. schaltet sich eine schmale Norwest—Südost streichende Zone von Hällefintgneis, beiderseits von verschiedenartigen Gesteinen begrenzt, ein. Am Storsjön ferner treffen wir beispielsweise am südwestlichen Ufer Augengneis an, am östlichen Hällefintgneis; dazwischen liegt die Halbinsel von Winäs, die durch den Rammen-See abgetrennt, fast zu einer in gleicher Richtung mit dem Storsjön gestreckten Insel wird und Granitgneis als Anstehendes trägt<sup>1)</sup>. Es ist hiernach natürlich wahrscheinlich, daß es sich auch dort, wo das Gestein auf größerem, durch Seen oder Fjärde zergliederten Gebiete gleichartig bleibt, ebenfalls um Verwerfungsspalten mit geringem Ausschlag handelt, sicher aber um ein System untereinander und mit den benachbarten Dislokationslinien parallel verlaufender Sprungklüfte. Nichts destoweniger handelt es sich auch hier bei den Seen und Fjärden im östlichen

<sup>1)</sup> Vergl. Schwed. Geol. Landesaufnahme.

Schweden nicht etwa um (durch innere Kräfte der Erde entstandene) tektonische Hohlformen. Dagegen spricht entschieden die Einzelgestaltung, vornehmlich die ringsum geschlossene Beckenform. Es kommen vielmehr Erosions-Äußerungen in Betracht, die durch Systeme von Klüften oder Verwerfungsspalten in bestimmte Bahnen geleitet wurden.

Rundhöckerschwärme und Drumlins. Die im gleichen Sinne mit der Richtung der Glazialschrammen erfolgte Durchfurchung der Oberfläche hat nicht selten, wie wir am Lygnern-See bereits gesehen haben, eine so hochgradige Detaillierung erreicht, daß es zur Ausbildung von dichten Schwärmen von Felsrundkuppen gekommen ist, welche durch ihre Gestalt und die parallele Anordnung ihrer Längsachsen Drumlins gleichen. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß die bisher als Drumlins beschriebenen Gebilde aus dem verschiedensten Material aufgebaut sein können und keineswegs ausschließlic, wie es noch heute vielfach als Lehrsatz gepredigt wird, aus Grundmoräne bestehen, so wird uns die Auffassung sehr nahe gelegt, daß dieselben keine Aufschüttungs-, sondern Erosionsformen darstellen. Wir treffen im Alpenvorlande nicht selten Drumformen aus horizontalen Schottern, ebenso solche mit einem Kern von Molassesandstein an; die von Geikie und besonders von Baltzer<sup>1)</sup> als solche beschriebenen Drumlins auf Jasmund (Rügen) bestehen, wie uns zahlreiche gute Aufschlüsse zeigen, fast in ihrer ganzen Mächtigkeit aus Kreide<sup>2)</sup>. Die drumlinartig angeordneten Rundhöckerkuppen sind in der Tat genetisch von Grundmoränen- und anderen Drums nicht zu unterscheiden<sup>3)</sup>. Infolge stärkerer Bewachsung an den mit Glazialschutt bedeckten Gehängen gegenüber dem kahleren Scheitel der Kuppe tritt in den Waldgebieten im Landschaftsbilde die „linsenförmige“ Gestalt bei den Felskuppen weniger hervor, als bei den Moränen- oder Schotter-Drumlins.

Drumlins und Rinnenseen. Besonders lehrreich durch das innige Ineinandergreifen von Bodensenken und Erhebungen war mir ein im nördlichen Seeland aufgefundenes Drumlingebiet (Abbild. 4). Kleine Längsseen und durch Torfwuchs erloschene Becken wechseln so regelmäßig mit den Längsrücken ab, daß man sich unwillkürlich fragt, welches von beiden ist hier im Landschaftsbilde das Maßgebende und

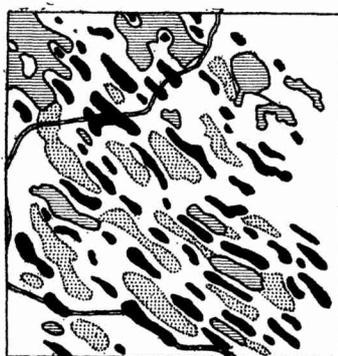
<sup>1)</sup> Ztschr. d. Deutschen Geolog. Gesellsch., Bd. LI, Heft 4, 1899.

<sup>2)</sup> Neuerdings schließt sich auch Philippi (Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. I, 1906) mit Nachdruck der Auffassung an, daß die Jasmunder Drumlins wesentlich durch glaziale Abtragung gebildet sind.

<sup>3)</sup> Vergl. auch Baltzer, Beiträge zur Kenntnis des diluvialen Rhonegletschers. (Eclog. Geol. Helv., Vol. VI, Lausanne 1899, S. 378—391).

Auffallendere, die Höhen oder die Senken? Andererseits besteht zwischen diesen reizenden Waldseen und den kleineren Rinnenseen, etwa den Gebilden der Seenkette des Grunewalds bei Berlin, in der Form gar keiner, in der Größe aber ein so geringer Unterschied, daß man nicht zweifeln kann, daß beide genetisch nicht verschieden sind. Hiermit ergibt sich uns aber wiederum ein Hinweis auf die wahrscheinliche Entstehungsweise der Drumlins. Man kann die Drumlins als die von der Erosion der allgemeinen Landoberfläche verschont gebliebenen Partien zwischen netzartig verzweigten, unter dem Eise entstandenen Schmelzwasserrinnen ansehen. Ähnliche Bilder, wie das dargestellte aus dem Diluvialgelände des dänischen Seeland, treffen wir auch in den Rundhöckergebieten Schwedens an. Wie die Drumlins als Halbinseln sich zwischen schmale Seearme ver-

Abbild. 4.



1 : 50 000.

Drumlin- und Seen-Landschaft bei Hellebaek (Seeland).

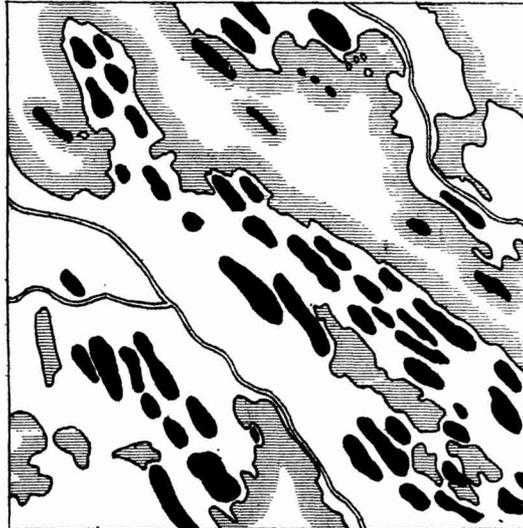
Hügelrücken schwarz, Seen schraffiert, Torfbecke punktiert.

schieben, so gehen hier die drumlinartigen Rundhöckerkuppen auch losgetrennt in Inseln und Schärengruppen über (Abbild. 5).

Zusammenfassung. Radiales Rinnensystem; Zentral-Depression. Wir haben also gesehen: die zahlreichen Rinnen der südschwedischen Platte bilden, hier mit, dort quer zu dem herrschenden Kluft- oder Spaltensystem verlaufend, im ganzen einen Fächer. Ihre Erstreckung ist im einzelnen gleichsinnig mit der aus der Form der Rundhöcker oder der Schrammenrichtung geschlossenen ehemaligen Bewegungsrichtung des Eises und mehr oder weniger senkrecht auf den durch Endmoränenbildungen gekennzeichneten einstigen Eisrand gerichtet. Die Rinnen stehen also zweifellos in direkter Beziehung zur stattgehabten Vergletscherung des Landes. Durch Ausfurchung lediglich durch das Eis als solches können

wir ihre Entstehung meines Erachtens nicht erklären, dagegen spricht die ausgesprochen flächenhafte Abnutzung des Untergrundes durch das Eis. Dasselbe würde an sich eine einheitliche fächerförmige Wanne erodiert haben. Wohl aber können wir in den radial gerichteten Seenketten und rinnenförmigen Wasserbecken Erosionswirkungen der subglazial sich bewegenden Schmelzwässer erblicken. Denn unter dem Drucke des über ihm lastenden Eises muß das Wasser nicht nur imstande sein, an den Endböschungen der Becken aufwärts zu fließen, sondern auch selbständig geschlossene Hohlformen auszufurchen, zumal das Eis ihm beim Transport des ausgehobenen Materiales behülflich

Abbild. 5.



1 : 100 000.

Seen und drumlinartig angeordnete Rundhöcker am Gamleby-Viken (Ostküste Süd-Schwedens), mit Übergang in Schärenlandschaft.

ist. Im Gegensatz zu einem Thalgletscher ist die Inlandeismasse in sehr hohem Grade unabhängig von den präexistierenden Landformen. Seine Bewegung regelt sich im wesentlichen nach physikalischen Gesetzen; sie ist, nach allen Seiten einen Ausgleich anstrebend, von den dickeren gegen die dünneren Eisgebiete gerichtet<sup>1)</sup>. In gleicher Weise muß das unter dem hohem Drucke der ungeheuren Eismasse arbeitende Schmelzwasser allseits in der Richtung der Druckentlastung sich bewegen, es muß also den Gebieten geringeren Druckes, d. h. dem Eisrande zustreben. Da nun das Wasser im Gegensatz zum Eise stets

<sup>1)</sup> Drygalski, Grönland-Expedition d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin.

in einer Linie zu erodieren trachtet, so wird es unter dem fächerförmig ausgebreiteten Gletscher, irgend welche immer vorhandene Differenzen in Festigkeit, Gefüge und den Höhenverhältnissen des Untergrundes ausnützend, ein radialstrahliges System von Rinnen bilden. Zunächst werden diese letzteren wenig tief und sehr zahlreich sein und, dicht nebeneinander gelegen, netzförmige Verzweigungen bezüglich viele Anastomosen bilden (wobei in günstigen Fällen drumlinartige Rundhöckerschwärme entstehen), bis nach und nach bestimmte Tiefenlinien mehr und mehr bevorzugt zu großen talähnlichen Vertiefungen werden. Bei nachlassendem Drucke am peripheren Rande des Eises wird die Erosionskraft des Wassers auf das Maß des subaërisch fließenden zurückgeführt und damit eine entsprechend abgeschwächte Erosionswirkung an dieser Stelle erzielt, welche sich im Auftreten einer Felsschwelle an den Seeabschlüssen äußert.

In Übereinstimmung hiermit weisen die zahlreichen Erdmoränen-Bildungen darauf, daß es sich beim Rückzuge des skandinavischen Eises nicht um einige wenige ausgesprochene, d. h. langandauernde Stillstandsphasen, sondern um successive aufeinanderfolgende zahlreiche, vorübergehende Rückzugsetappen handelt. Auch die, nach allgemein anerkannter Ansicht vor dem Eisrande entstandenen ausgedehnten Sandr-Flächen des südlichen Schwedens sind nicht auf bestimmte Zonen beschränkt, sondern durchziehen das ganze Land.

Im Zentrum des Fächers, wo die verschiedenen Radialstrahlen zusammenlaufen und wo die Erosion am längsten in Tätigkeit gewesen ist, haben sich, natürlich immer unter Ausnutzung aller durch Kluftsysteme, Spalten, Verwerfungen u.s.w. gebotenen Vorteile die Becken der großen schwedischen Seen gebildet. Sie entsprechen den „Zentral-Depressionen“ in den kleinen Gletscherfächern des nördlichen Alpenvorlandes; von ihnen als Hauptbecken strahlen die radialen Teilbecken aus.

Es mag vielleicht überflüssig erscheinen, wenn ich noch besonders darauf hinweise, daß es sich bei dem ausgesprochen radialen Rinnensystem der südschwedischen Halbinsel auch seiner Anlage nach nicht um eine Wirkung einer der natürlichen Abdachung des Landes folgenden Flufs-Erosion handeln kann. Das Zentrum des Fächers liegt ungefähr im nördlichsten Teile der großen Seen-Depression, während die Höhengschwelle des Landes die letztere mondsichelförmig im Süden umfängt. So wird diese nicht zum Ausgangspunkt des fächerförmigen Rinnensystems, sondern wird von den Strahlen derselben ziemlich genau in der Mitte von deren Längsausdehnung durchschnitten. Das System ist also nicht nur in seiner Ausgestaltung, sondern auch in seiner Anlage glazialen Ursprungs.

Entwicklung der Rinnenseen. Wir können uns den Entwicklungsgang bei der Bildung der typischen Rinnenseen so vorstellen, daß entweder mehrere unregelmäßig und beliebig gestaltete kleinere Becken, die zufällig in einer günstigen Linie liegen, durch Vertiefung und damit verbundene Vergrößerung miteinander verwachsen, oder auch, indem eine in der gegebenen Richtung gestreckte kleine Senkung allmählich aber direkt durch tiefer greifende Erosionswirkung verlängert und vergrößert wird. Nach der Form und gegenseitigen Lagerung der zahlreichen kleinen, gewissermaßen unfertigen, bezüglich Jugendstadien darstellenden Seebecken zu urteilen, werden beiderlei Fälle, sowie auch Kombinationen derselben stattgehabt haben. Selbstredend ist auch die reine Eiserosion nicht unbeteiligt geblieben an der definitiven Ausgestaltung der Rinnenseen, wie die von den Höhen bis zum Wasserspiegel herab und zweifellos auch unter denselben sich noch fortsetzenden Rundhöcker und Schliffflächen beweisen. Die Seen und Fjärde in Gebieten mit Kluftsystemen oder Dislokationslinien, welche gleichsinnig der aus Schrammen u. s. w. rekonstruierten Gletscherbewegung gerichtet sind, haben erklärlicherweise einen geraderen Verlauf als die mehr geschlängelten und unregelmäßigen anderer Gegenden. Dies tritt besonders deutlich bei einem Vergleich zwischen den Meeres-Buchten und Süßwasserseen der Umgebung Westerviks (im Osten) und denen des Göteborger Bezirkes (im Westen) hervor.

Wenern und Wetterern. Eine Sonderstellung nehmen in gewisser Beziehung die riesigen Becken des Wenern, Wetterern und Hjelmaren ein. Hier wird man sich der herrschenden, besonders für den Wetterern mit seinen parallelen Ufern näher begründeten Auffassung anschließen müssen, daß es sich bei der Bildung dieser Seen um umfangreiche Krustenbewegungen und nachträgliche glaziale Ausräumung der in die Tiefe gesunkenen jüngeren und weichen (silurischen) Schichten handelt. So liegt der Wetterern in einem in das archaische Gebiet eingesenkten Grabenbruche; Reste der abgesunkenen silurischen Gesteine treffen wir noch in der niedrigen Insel Visingsö an. Der Wenern wird von Nordost-Südwest streichenden Verwerfungs-linien begleitet. Sie bestimmen namentlich den Verlauf des Westufers und machen sich weiterhin bemerkbar als scharf ausgeprägter Bruchrand in dem Abfalle des Kroppe Fjall, welcher hier eine Gesteinsgrenze bildet. Zweifellos steht unter ihrem Einflusse wohl auch das Fjärdgebiet von Bohuslän.

Interessant ist es nun, daß gerade hier im Westen des Wenern-Sees die südwestlich gerichteten Rinnenseen und Talzüge übergehen in ein System nordwest-südöstlicher, und zwar geschieht dies nicht

etwa plötzlich oder indem Kreuzungen stattfinden, sondern in sanften Bogenlinien. Man vergleiche z. B. den Lee Langen und seine östlichen Nachbarn.

Christiania-Fjord. Auch noch in der Konfiguration des Christiania-Fjordes und seiner Umgebung macht sich ein System nordost-südwestlich verlaufender tektonischer Linien auffallend bemerkbar. Entlang derselben streichen die zerbrochenen und gefalteten silurischen Schiefer von Christiania und bedingen so Anordnung und Lappung der Inseln und Halbinseln des Fjords. In gleicher Linie sind auch die Schiefer gegen die steil aufragenden Höhen von Eruptivgesteinen im Westen abgeschnitten. Im übrigen ist die Christiania-Bucht kein einheitlicher Fjord oder Fjärd, sondern setzt sich, an einer Stelle gelegen, wo zwei selbstständige Gletscherfächer sich berührten, aus verschiedenen gerichteten Rinnensenken zusammen.

(Schluss folgt.)

---