

# Die postarktische Geschichte des Lüner Sees im Rätikon.

Von H. Gams.

(Mit 1 Karte, 7 Tafeln und 10 Textfiguren.)

## Vorwort.

Die Seen sind bevorzugte Gebilde der Erdoberfläche. Nicht umsonst haben so hervorragende Geographen wie F. A. Forel, Ed. Richter und A. Penck ihnen besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Es ist eine Eigentümlichkeit aller geographischen Gebilde und Probleme, daß sie nicht einer einzigen Wissenschaft angehören, sondern daß beinahe alle Anteil an ihnen haben: Physik und Chemie, Geologie, Klimatologie und Hydrologie, Botanik, Zoologie, Anthropologie, Geschichte, Wirtschaftslehre, Technologie u. a.

Daran muß heute wieder erinnert werden, denn manche Vertreter der Seenforschung, für welche Forel den Namen Limnologie eingeführt hat, haben das vergessen und geben vor, eine neue „selbständige Wissenschaft“ zu vertreten. Besonders E. Naumann rechnet es sich zu hohem Verdienst an, der Begründer und Führer der „regionalen Limnologie“ zu sein und ihre Terminologie durch besonders viele „Neuprägungen“ bereichert zu haben. Wenn er die Limnologie oder vielmehr nur die Limnobiologie in limnische Idiobiologie und Biocönologie und in Limnocönologie oder die Lehre von den Seetypen einteilt, so übersieht er, daß diese nichts anderes als ein Zweig der physischen Geographie ist, der allerdings nur von vielseitig und besonders auch biologisch gebildeten Geographen gefördert werden kann. Bloße Geometer, Geophysiker, Schulzoologen und Fischereibiologen sind dazu nicht imstande.

Fast genau im selben Stadium befindet sich heute die Biozönotik, vor allem die am weitesten ausgebaute der Landpflanzen, deren Vertreter die „Phytosoziologie“ auch gern zu einer besonderen Wissenschaft stempeln und ihre Terminologie unbekümmert um die Nachbargebiete vermehren.

Diese Absonderung der Limnologie und der Biocönotik und der vielfach leichtfertige Ausbau ihrer Terminologie bergen eine doppelte Gefahr: einmal für die Limnologen und Biocönotiker selbst, denen infolgedessen die großen geographischen Zusammenhänge nicht mehr genügend bewußt bleiben und welche die sich dadurch ergebenden Lücken mit irgendwelchen „limnologischen“ und „soziologischen“ Schlagworten zudecken, womit sie aber nur erreichen, daß ihre umfangreichen Arbeiten oft nicht einmal mehr für ihre engsten Fachgenossen lesbar bleiben und für alle

fernerstehenden Geographen infolge der terminologischen Inflation gänzlich unverständlich werden. Und dann für die Geographie, der dadurch viele wertvolle Spezialforschung verloren geht und die daher immer mehr Gefahr läuft, zu einer rein „oberflächlichen Wissenschaft“ zu werden. Wer somit einzelne Glieder aus der großartigen Synthese, welche die Geographie sein soll, löst und zu „selbständigen Wissenschaften erhebt“ leistet diesen damit einen höchst fragwürdigen Dienst.

Als Vertreter beider genannter „Wissenschaften“ kann auch ich nicht auf spezielle und teilweise neue Methoden und Termini verzichten, aber diese sollen die gegenseitige Verständigung erleichtern und nicht erschweren und sind daher nur dort anzuwenden, wo die Darstellung dadurch an Kürze und Klarheit gewinnt.

Meine Kollegen von der Limnologie und Phytosoziologie werden wohl finden, daß bei der folgenden Darstellung der Geschichte eines der schönsten und interessantesten Alpenseen ihre speziellen Methoden nicht hinlänglich zur Anwendung gelangt sind. Ich konnte bei der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit und bei der Knappheit der Mittel weder physikalisch-chemische Untersuchungen noch statistische Analysen der heutigen und der früheren Lebewelt durchführen und mußte aus diesen Gründen auch bei der Untersuchung der Profile auf eine streng quantitative Mikrofossil- und Strukturanalyse verzichten, wie sie meine nordischen Kollegen Lundqvist, Thomasson und Perfiljev mit so großen Erfolgen ausgearbeitet haben.

Trotzdem ich die Geländeuntersuchung in zwei Tagen durchführen und die gesammelten Materialien allein und neben starker sonstiger Inanspruchnahme durcharbeiten mußte, glaube ich hiedurch doch wertvolle Materialien für die spätere Forschung gerettet zu haben, die sonst heute für immer verloren wären, wie es leider bei so vielen gestauten Bergseen und abgegrabenen Mooren der Fall ist. Damit, daß ich mich nicht streng auf das beschriebene Objekt beschränke, sondern die daran gewonnenen Erfahrungen mit eigenen und fremden von anderen Seen der Alpen und weiterer Gebiete vergleiche und organisch zu verbinden suche, glaube ich auch der vergleichenden Seenkunde und der Kenntnis von der Geschichte der Lebewelt und des Klimas unserer Berge und damit der allgemeinen Alpenkunde einen Dienst zu erweisen.

## I. Erforschungsgeschichte.

Die erste Beschreibung des Lünner Sees ist in der 1742 niedergeschriebenen „Einfalte Delineation aller Gemeinden gemeiner dreien Bünden“ von Nicolaus Sererhard, Pfarrer in Seewis, enthalten und lautet:

„Von diesem Schaschaplana-Gipfel liessen wir unss auf der andern Seiten durch die todte Alp hinunder zum Lünner See, ist ein Galtvieh-Alp, den Muntafunern gehörig. Allhier ist ein grosser See, einer Stund weit in seiner Circumferenz umzugehen, dieser soll auch die Eigenschaft haben, bey Wetter-Aenderung zu brüllen. Zuvorderst ob dem Brand-Tal hat er einen Damm nicht von Felsen, sondern von durcheinander gemischten Steinen, Leim und Sand, und macht eine Figur, als wenn er mit Menschenhänden gemacht wäre. Hinter diesem Damm soll der See

unergründlich seyn. Von diesem Damm geht ein Weglein hinab ins Brandthal, und von danen weiter auf Pludenz.

Merkwürdig ist weiter von diesem See, dass sein Ausfluss nicht über den Damm hinlaufft, sondern ein namhaftes tiefer unter dessen Bord mitten durch den Damm hindurch durch ein Loch, von welchem sich das Wasser durch einen Fall hinunder in die Tiefe senket. Von diesem See-Damm soll eine Weissagung seyn, er werde einmal ausbrechen und das unden ligende Land bis an den Costanzer See werde davon untergeben. Daher die Pfaffen selbiger Orten jährlich eine Mess wegen des Ausbruchs dieses Sees lesen sollen, und könnte man hiervon schier sagen: es geschechen Miracul, indeme sich dieses Seewasser in Wein verwandele, wan nemlich die Pfaffen von ihrem durch dieses Messlesen erlösten Geld ihnen selbst Wein anschafen.

Dieser See erzeuget keine andere Fisch als nur Groppen, eine Art ganz kleiner Fischen mit breiten Köpfen, die sich bey stillem Wetter häufig am Ufer finden lassen, und hier findet man von allerhand Farben, weisse, grüne, braune, gesprengelte etc., da sonst anderswo nur grau und schwarze zu finden, sie sind aber nicht so gustevoll zum Essen, als die Landfluss-Groppen, man muthmasst auch, als wann ein Drak in diesem See wohnte, und hat mir der Alp-Hirt gesagt: er habe etliche Mal gesehen, dass ein grosses Thier sich aus dem See hervorgelassen und auf einem in dem See hervorragenden grossen Stein ein Stund oder zwey an der Sonnen gelegen, und widerum dann sich in den See hinein gelassen. Ob nicht Draken im See wohnen, ist eine quaestio, NB. die schon pagina 218 in scripto über den Gottshaus-Bund. Von dieser Alp ist auch dieses curios, dass sie auf den Tag St. Verena n. Kal. mit der Haab verrücken müssen, wann sie schon noch Waid hätten, und lieber länger blieben, dann wann sie nur einen Tag das Ziel überschreiten, so kommt in der Nacht etwas Ungerades über die Haab, und jagt sie samtllich so ungestümlich gegen den See, dass alles in Gefahr stehet zu ersäufen. Von diesem See kamen wir in einer halben Stund hinauf auf das Joch, oder in Seewiser Alpen. Von diesem Joch passirt man Sommerszeit ob dem Lünner See hindurch auf dem Gips-Berg, dann das ist ein guter Bezirk Gips von lauterm schönem Gips, und dannen weiter hinab gen Fandans ins Muntafun. Von diesem Joch ein halb Stund weiterhin ist ein anderer Durchpass ins Muntafun, heisst beym Schweizer Thor, ist ein wunderlicher Pass.“

Ähnliche auch z. T. auf Beobachtungen beruhende Überlieferungen meldet F. J. Vonbun in den „Sagen Vorarlbergs“ (1889):

„Dieser See gilt dem gemeinen Manne als ein geheimnisvolles, unergründlich tiefes Wasser. Als einmal einer ein Senkblei in denselben warf, so rief ihm aus der Tiefe eine Stimme entgegen: ‚Ergründest du mich, so verschlinge ich dich!‘ Es ist also dieser See für Vorarlberg (wo man allerdings auch vom Sonderdacher und Körber See dasselbe erzählt), was der Egelsee auf dem Heitersberge dem Kanton Aargau oder der Mummelsee dem Schwarzwalde, der Arbersee dem Böhmerwalde. In ihm hausen nach der Vorstellung des Volkes mancherlei Ungethüme, und viele Geister wurden von Kapuzinern und anderen frommen Priestern in denselben verbannt; auch etwelche Priester selbst sitzen

in demselben und geistern. Es geht auch die Prophezeiung, er werde einmal ausbrechen, sein Wasser werde alsdann bei der Bludenzener Kirchenstiege bis zur siebenten Stufe hinaufreichen, und der ganze innere Walgau werde überschwemmt sein; bisher sei sein Ausbruch nur noch durch einen ungeheuren Felsblock gehemmt, der mit mächtigen eisernen Klammern an die unterirdische Öffnung angeschmiedet sei.“

Auf die erste Periode der sagenhaften Überlieferungen folgt diejenige der vorzugsweise geologischen Erforschung. An die Entwirrung der Schichtenfolge der den See umschließenden Triasgesteine knüpfen sich Namen wie Escher von der Linth, Richthofen und Mojsisovics. Im Jahre 1870 schuf die neue Sektion Vorarlberg des Alpenvereins unter der Leitung von John Sholto Douglas den nach ihrem Gründer benannten Stützpunkt am Nordwestufer des Sees, und seither haben an der Klarlegung des verwickelten tektonischen Baues ostalpine Geologen wie Rothpletz, Mylius und v. Seidlitz mit westalpinen wie Lorenz, Schardt und seinen Schülern Trümpi und Arni um die Wette gearbeitet und ebenso an der Erforschung der Seefauna Zoologen aus Basel und Wien. So ist heute die Darstellung der geologischen Verhältnisse des Rätikons und im besonderen der Schesaplana in Heims Geologie der Schweiz ein nicht minder klassisches Denkmal als die Behandlung der Lünenseefauna in Zschokkes Tierwelt der Hochgebirgseen. Mit der Neuuntersuchung durch seinen Schüler Schmaßmann im Jahre 1911 (gedruckt 1920) und Arnis 1926 erschienenen Arbeiten schließt die Erforschungsgeschichte des unberührten Lünener Sees ab. Die heutige Pflanzenwelt ist bisher, trotzdem auch nicht wenige Botaniker den See besucht haben, sehr stiefmütterlich behandelt worden, und über ihre Geschichte fehlten bisher jegliche Daten. Die klassischen Arbeiten Kerners in Tirol, Schröters im Prättigau und Braun-Blanquets im Engadin griffen nicht auf die Nordseite des Rätikons über, und auch die Glazialbildungen sind noch sehr wenig erforscht.

Eine erste eingehendere Behandlung der Morphologie und eine erste Auslotung des Sees verdanken wir F. Löwl 1888 (seine Tiefenkarte ist auch bei Schmaßmann wiedergegeben).

Eine neue Reihe von Untersuchungen, denen auch die vorliegende angehört, ist veranlaßt durch die 1925 erfolgte Absenkung des Lünener Sees. Um als Staubecken für die Vorarlberger Illwerke dienen zu können, mußte das keinen oberirdischen Abfluß besitzende und ungewöhnlich großen Spiegelschwankungen unterworfenen Becken künstlich abgedichtet werden. Unter der Leitung der Ingenieure J. und R. Rüschi wurde am 26. August 1925 durch die Sprengung eines Ablaßstollens in der Höhe des bisherigen Mittelwassers, 1940 m über dem Meere, mit der schrittweisen Absenkung des Seespiegels begonnen und diese im folgenden Sommer bis auf die Höhe von 1895 m glatt zu Ende geführt.

Damit wurde eine ungewöhnlich günstige Gelegenheit zur Untersuchung eines frisch bloßgelegten Seebodens geschaffen, wie sie ähnlich Lundqvist 1926 an dem ausgebrochenen Flußsee Örträsk in Nordschweden wahrgenommen hat, wogegen ähnliche Gelegenheiten an abgelassenen Alpenseen trotz einigen verdienstvollen Arbeiten, z. B. von Ampferer und Lütseh, bisher nicht ausgenützt worden sind.

In derselben Zeit wurde eine neue Präzisionsvermessung und Auslotung vorgenommen, deren Ergebnis ich dank der Freundlichkeit der Bauleitung für die beiliegende Karte verwenden durfte.

Auf Veranlassung der genannten Bauleiter wurden im Sommer 1926 zwei geologische Untersuchungen vorgenommen: im Juni durch den Wiener Ingenieurgeologen Ministerialrat Max Singer und im Juli durch den Innsbrucker Geologieprofessor R. v. Klebelsberg. Dieser sowohl wie der am Ausgang des Brandner Tales ansässige Alpenschriftsteller W. Flaig haben auch das Bild des abgesenkten Lüner Sees beschrieben. Treffend vergleicht es Klebelsberg mit dem „eines exotischen Salzsees“ (vgl. Taf. XVIII).

Noch ohne Kenntnis dieser Untersuchungen und lediglich im Rahmen einer sich über ganz Vorarlberg erstreckenden Vegetationsaufnahme besuchte ich den Lüner See zum erstenmal am 25. Juli 1927 und führte mit meinem Schwager Dr. Emil Schmid bei einem Wasserstand von etwa 1904 *m* eine erste Untersuchung der bloßgelegten Seeablagerungen durch, über deren überraschende Ergebnisse ich im September des gleichen Jahres dem internationalen Limnologenkongreß in Rom vortragen konnte. Nachdem ich mich mit der Bauleitung des Kraftwerkes, den genannten Geologen und dem Vorstand der Sektion Vorarlberg des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, Herrn Siegfried Fußegger, ins Einvernehmen gesetzt hatte, von ihnen bereitwilligst mit Kartenmaterial und schriftlichen Mitteilungen versehen worden war und mich auch sonst über den Stand der Forschung unterrichtet hatte, führte ich am 4. September 1928 bei einem Wasserstand von 1914 *m* eine weitere Untersuchung zur Klärung einiger noch ungelöster Fragen durch, wobei ich mich der Hilfe des Herrn cand. Eberhard Schmidt von Freiburg erfreuen konnte. Für die Datierung der Seeablagerungen stehen mir Moorprofile zur Verfügung, die von F. Firbas am Tilisunassee, von meinem Schwager und mir am Schweizertor und von P. Keller im Prättigau untersucht worden sind.

Einige von Ingenieur Rüschi gesammelte Mollusken wurden von Reg.-Rat Blumrich in Bregenz, von mir gesammelte von Dr. W. Adensamer in Wien bestimmt, einige Käferreste von Dr. Kühnelt in Mödling, ein Holzrest von Dr. Jurasky in Freiberg.

Allen genannten Herren und insbesondere der Direktion der Vorarlberger Illwerke, welche nicht nur mehrere Vorlagen für die Tafelbeilagen zur Verfügung gestellt, sondern diese auch subventioniert hat, und der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, der ich eine Forschungsbeihilfe verdanke, möchte ich für ihr freundliches Entgegenkommen meinen besten Dank aussprechen.

## II. Die Felswanne.

Zur Begründung der hier gebrauchten Schreibweise einiger Namen und zur Verhütung von Mißverständnissen seien einige toponomastische Bemerkungen vorausgeschickt.

Die Herkunft des wahrscheinlich rätischen, auch Lühn geschriebenen Namens Lün ist unbekannt. Er gilt zunächst wohl nur für die Alpe Lün

im Rels- oder Rellstal, wogegen die oft ebenso genannte und ebenfalls der Gemeinde Vandans gehörige am Südufer des Sees Alp Vera oder einfach Seehütten heißt.

Auf den topographischen Karten wird der 2699 m hohe Dolomitgipfel, welcher allgemein Seekopf heißt, Zirnenkopf genannt. Trotzdem wohl auch einmal an ihm Zirnen oder Arven standen, möchte ich diesen Namen nur für den nördlich vorgelagerten 2294 m hohen Gipfel brauchen, der noch heute Zirben trägt.

Der Name Lüner Krinne (gesprochen Krenna) ist gebräuchlicher als der auf den Schweizer Karten stehende Rellstalsattel. Der Paß östlich des Lüner Ecks heißt auf den gleichen Karten Cavelljoch; da jedoch das gleiche rätoromanische Wort vorliegt wie in Schafgafall usw. und es auch so ausgesprochen wird, schreibe ich wie die neuen Vorarlberger Karten Gafalljoch. Der Gipfel nördlich des Schafgafall (Saulenkopf der österreichischen, Säidenkopf der schweizerischen Karten) wird Saulakopf genannt.

Die bisher auf allen Karten gebrauchte Schreibweise Kirchlispitzen ist nach Barbisch falsch: der Name wird Küachlispitz gesprochen und bedeutet Kuchenspieß, nicht Kirchenspitze. Ich schreibe weiter absichtlich Schesaplana und nicht Scesaplana, weil dieser an und für sich richtige rätoromanische Name von sprachunkundigen Touristen häufig falsch ausgesprochen wird.

„Burgen an der Grenze“ nennt Flaig die Gipfel des Rätikon. Das sind sie nicht nur im politischen, sondern auch im geologischen Sinn: ein Stück Ostalpen überschoben und eingefaltet zwischen dem penninischen Flysch und Bündner Schiefer des Prättigaus im S und dem unterostalpinen und helvetischen Flysch im N.

Vier tektonische Einheiten bauen diese Gipfel auf: die unterostalpinen, vorwiegend aus Jura- und Kreidekalken und Wildflysch zusammengesetzten Decken des Falknis im W und S und der Sulzfluh im O, die Aroser Schuppenzone mit ihren untertriadischen und kristallinen Einlagerungen und darüber die oberostalpine Silvrettadecke mit ihrem mächtigen Triasmantel, dem überragenden Hauptdolomit, den Kössener Schichten, welche den Schesaplanagipfel aufbauen und den jüngern, z. B. im obersten Brandner Tal entblößten Jura- und Kreideschichten. Das Kristallin der eigentlichen Silvretta beginnt erst östlich vom Rellstal, und auch die unterste Trias ist erst jenseits der Lüner Krinne und des Alp-Vera-Jöchli aufgeschlossen (vgl. die Karte Fig. 1).

Das Becken des Lüner Sees wird ausschließlich von der obern Trias gebildet: dem ladinischen Arlbergkalk, welcher jedoch nach allen neuen Aufnahmen im Gegensatz zu älteren Darstellungen nirgends an den See heranreicht, den karnischen Raibler Schichten (Kalke, Mergel, Gips und Rauhwaacke) und dem norischen Hauptdolomit, der die steilen Wände des Seebords, der Zirnen-, See- und Kanzelköpfe bildet. Als leicht zerreibliche und lösliche Schichtenserie haben die Raibler Schichten eine hervorragende Rolle sowohl bei den tektonischen Bewegungen wie bei der Bildung der Seewanne und ihrer Ausfüllungen gespielt.

Schon auf der ersten geognostischen Karte von Vorarlberg des Markscheiders A. R. Schmidt von 1839—1841 ist der auch schon

Sererhard bekannte Gips am Nordostufer des Sees eingezeichnet. An Hand der durch v. Mojsisovics vorgenommenen Aufnahme erkannte 1887 der Czernowitzer Professor Löwl den großen morphologischen und auch lithologischen Unterschied zwischen der nördlichen und südlichen Hälfte der Seewanne: „Die nördliche Hälfte ist ein durch die Auflösung des unterirdischen Gypslagers hervorgerufener Einbruch, die südliche dagegen wurde durch die vereinigten Quellflüsse des Lünser Gletschers ausgeschliffen.“ Aus seiner ausführlichen Begründung, daß

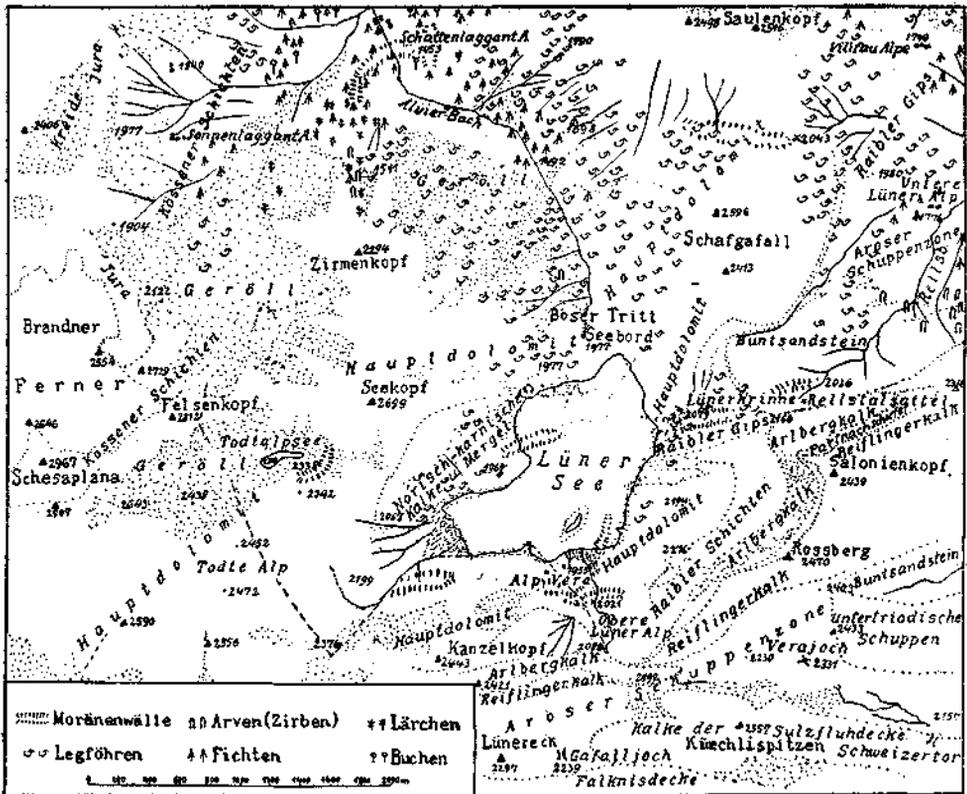


Fig. 1. Geologisch-geobotanische Kartenskizze, z. T. nach Arni.

Beckenform und Gebirgsbau „überhaupt keine andere Erklärung“ zulassen, zitiere ich folgenden Absatz (S. 27), da dieser zum erstenmal eine nur infolge des ungewöhnlich niedrigen Wasserstandes von 1887<sup>1)</sup> möglich gewesene Beobachtung enthält:

„Dem Lünser Seebord fehlen die Merkmale einer glacialen Schwelle. Wer von S her an seinen Absturz heranrudert und in den Seewinkel einläuft, erhält keineswegs den Eindruck, daß er sich hier in dem seichtesten Theil des Beckens befindet. Thurmhoch steigen die Dolomit-

1) Der Wasserstand war zur Zeit von Löwls Besuch im Juli 1887 1937.5 m.

mauern links und rechts empor. Ihre Wände zeigen nirgends einen Schliff<sup>1)</sup>, sondern durchwegs nur die unregelmäßigen Abbruchflächen des klüftigen Gesteins. Erst unterhalb einer alten, 5 m über dem gegenwärtigen Seespiegel<sup>2)</sup> fortlaufenden Uferlinie erscheint der Fels geglättet. Vom Kahn aus nimmt man bald ebene, bald bauchige Flächen wahr, die stellenweise an Rundhöcker erinnern, aber nicht gekritz und geschrammt, sondern durch kreisrunde Höhlungen siebartig durchlöchert sind. Diese seltsame Rauchwackebildung kann man an den steil abstürzenden Wänden noch unter Wasser, so weit eben der Blick eindringt, verfolgen. Im Hintergrund des Seewinkels hat der Wellenschlag sogar tiefe Nischen und Höhlen aus dem Dolomit ausgespült. Hier wird man auch der aus der Karte nicht recht zu entnehmenden Tatsache inne, daß der Seebord das Lüner Becken vollkommen verschließt. Seine tiefste Kerbe liegt immer noch 12 m über dem Wasserspiegel. Der Bach bricht erst jenseits der Schwelle, etwa 50 m tiefer, aus der Stirn der Thalstufe hervor. Da auf dem Boden und an den Wänden eines glacialen Beckens alle Risse durch den Schurfschlamm des Gletschers verstopft werden, so darf man die Art der Entwässerung immerhin als ein wichtiges Merkmal gelten lassen. Am Lüner See unterstützt der unsichtbare Abfluß jedenfalls das Zeugnis, welches der Seebord durch seine eigenthümliche Bauart gegen den glacialen Ursprung des Beckens ablegt. Entscheidend ist die Gestalt des Seegrunds selbst. Die Isobathenkarte zeigt, daß der Lüner See eine Tiefe von 102 m erreicht und daß diese Tiefe nicht etwa am oberen Ende oder in der Mitte des Beckens, sondern im Seewinkel, knapp vor der Schwelle, gelothet wurde. Macht es schon der Betrag der Tiefe unwahrscheinlich, daß das Becken ein Werk des Lüner Gletschers ist, so schließt die Lage der tiefsten Stelle eine solche Annahme vollends aus. Die geräumige Mulde des Lüner Sees kann nur von einem Einbruch herrühren.“

Diese Ergebnisse Löwls gelten zur Hauptsache noch heute.

Aus den seitherigen tektonischen Untersuchungen (Rothpletz, Mylius, Seidlitz, Arni u. a.) sei nur so viel hervorgehoben, daß das Seebecken in der Längsachse von einer großen (und weiter mehreren kleineren) Verwerfung durchzogen wird, welche die Wildberg-Schesaplana-Schuppe im NW von der Lünersee-Roßberg-Schuppe im SO, die beide zum Sedimentmantel der Silvrettadecke (= Lechtaldecke) gehören, trennt.

In einem wesentlichen Punkt glaubten 1925 Schardt und Arni die Ansicht Löwls berichtigen zu müssen: Die Raibler Schichten erreichen nach ihrer Meinung nirgends die heutigen Seeufer, welche mit Ausnahme der gleich zu nennenden Stelle ausschließlich von Hauptdolomit, bzw. seiner „Basalbreccie“ gebildet werden. „Die heutigen sublakustren Abflüsse des Sees treten sehr hoch über dem Alvierbach zutage, verhältnismäßig wenig tiefer als der Seespiegel. Wenn in diesem Tale ein früherer Ausfluß eines solchen Trichters vorhanden gewesen wäre, so hätten nach Verstopfung des Trichters die sich hierauf bildenden

1) Das ist nicht ganz richtig: Gletscherschliffe finden sich auch über der alten Hochwasserlinie, die besterhaltenen allerdings erst unter der Niederwasserlinie, wo sie auch durch Moränenschutt geschützt waren.

2) Siehe Anmerkung auf voriger Seite.

neuen, höherliegenden Ausflüsse unfehlbar ihren Lauf wieder nach dem alten Ausfluß genommen, statt wenig unter dem Seebord auszutreten. Der alte unterirdische Abfluß sowohl als der Trichter selber müssen anderswo gesucht werden. Durch diese Folgerung wurde unsere Aufmerksamkeit auf die Augstenkumme gelenkt, deren anfänglich schwach geneigter Boden sich bis zum Rellstalsattel und dem Salonienkopf erhebt und deren unregelmäßige Oberfläche mit Lokalmoräne (wahrscheinlich Daunstadium) eines einstigen Gletschers überstreut ist, der von besagter Felsabdachung her in die Kumme sich ergoß. Hauptsächlich aus der Morphologie der Oberfläche schlossen wir, da anstehendes Gestein nicht vorhanden ist, daß der Untergrund dieser Kumme nicht aus Fels wie die Steilabstürze beiderseitig von derselben, sondern ausschließlich aus Schutt eines Bergsturzes besteht. Die Steilabdachung bis an den See hinunter, die sich wohl noch unter das Seeniveau erstreckt, läßt diese Tatsachen deutlich erkennen. An einzelnen Stellen treten wohl schwache Quellen hervor, oder es haben sich nasse und sumpfige Rasenplätze gebildet, aber das hier sich sammelnde Wasser findet zumeist unterirdische Abflüsse. Diese durch Bergsturzschutt aufgefüllte Kumme stellt eine ostwärts sich erstreckende Verlängerung des Lünenseebeckens dar, sobald man sich den Schutt wegdenkt. In dem im Hintergrunde der Kumme vorhandenen Raibler Gips lag wohl — bei zirka 1830 m — der Abflußtrichter des Baches, der vor der Seebildung das Lünertal unterirdisch entwässerte. Sein einstiger Ausfluß an die Oberfläche ist im obern Rellstal oder noch tiefer zu suchen.

Die Zusammensetzung der Bergsturzmasse der Augstenkumme deutet durch die darin vorhandenen Gesteine unzweifelhaft auf einen Abbruch vom Roßberg-Salonien-Kopf, dessen Felsen von Arlbergkalk, Partnachschichten und Reiflinger Kalk gebildet sind. Denkt man sich die intensive Erosion um den so tief liegenden Trichter herum und die Steilheit der Felseinfassung, so erscheint die Entstehung eines interglazialen Felsabsturzes von größter Wahrscheinlichkeit. Der später wieder vorstoßende Lokalgletscher hat durch seine Ablagerungen zur Verdichtung der Sturzmasse geführt, wodurch dann der Seestau hervorgerufen ist.

Der See hatte wohl anfänglich einen Überlauf beim tiefsten Einschnitt des Seebordes, an dessen östlichem Ende. Durch allmähliche Öffnung von Sickerspalten in dem verhältnismäßig wenig breiten Felsabschluß des Seebordes haben sich die heute den See entwässernden Quellen gebildet, deren Wasser als malerischer Wasserfall in das obere Brandner Tal hinabfließt“.

Gegen diese vor allem auch durch die beigegebenen Skizzen bestechende und in Arnis Dissertation noch bestimmter formulierte und als Tatsache hingestellte Hypothese sind jedoch eine ganze Reihe Einwände zu erheben.

Einmal ist schon die eingangs gegebene Argumentation nicht stichhaltig, denn wenn auch, wie Löwl annahm und mir auch heute am wahrscheinlichsten scheint, der ursprüngliche Trichter in den in der Tiefe des Sees anstehenden Raibler Schichten liegt, muß er durch die

seither erfolgte Überdeckung mit Grundmoräne, Glazialton und Gyttja längst abgedichtet worden sein, und die Quellen könnten gar nirgends anders liegen, als wo wir sie heute finden, nämlich im Niveau der Gyttja (zirka 1870 m, vgl. die Karten Fig. 1 und Taf. XVI).

Dann aber hatten weder die Ingenieure Rüsich und Singer und Prof. Klebelsberg, welche das Becken gleich nach der Absenkung untersuchten, noch der Verfasser den Eindruck, daß die Augstenkumme nur von Bergsturz- und Moränenschutt erfüllt ist, sondern kamen alle zu der alten Ansicht, daß hier Raibler Gips bis in den See hinein ansteht, der allerdings streckenweise von Gehängeschutt und verrutschter Grundmoräne verdeckt ist, was ja bei den weichen Raibler Schichten so häufig der Fall ist. Herr Ing. Singer teilt mir über seine Beobachtungen folgendes mit:

„In der Ostwand hebt sich der Hauptdolomit als Gewölbe empor, das von Raibler Schichten überlagert wird. Die Insel zeigte über dem ungesenkten Seespiegel ONO streichende, steil NNW fallende Kalkbänke, die den Raibler Schichten angehören. Wie man nach der Absenkung im Juni 1926 beobachten konnte, ist dieser graue, weißgeäderte Kalk in der Tiefe vom schwefelwasserstoffhaltigen Wasser stark angefressen.

Von der Lünerkrinne streicht der Gips der Raibler Schichten am NO-Ufer bis in den See. Im westlichen Teil der Barre wurden durch die Absenkung am Innenabfall blaugraue Sandsteine und dunkelbraune Mergel freigelegt und unterhalb der Douglashütte grauer, weißädriger Kalk, schwarzgrauer Kalkmergel, blättrige Mergel und graue, plattige Kalke. Im Südwestwinkel des Sees schwenkt das Streichen des Hauptdolomits annähernd von der OW-Richtung in die NS-Richtung um. Mit Ausnahme von Resten der Grenzbrecie an der Südwand des Seebeckens liegen die Raibler Schichten hier unter dem Schutt.

Nach diesen neuen Aufschlüssen ist die gelblehmig gebundene Dolomitbrecie des Westufers (Arnis Basalbreccie des Hauptdolomits) noch zu den Raibler Schichten zu rechnen, wodurch Löwls Vermutung bestätigt wird. Es unterliegt keinen Zweifel, daß das ganze Becken des Lünner Sees als großer Lösungstrichter in die Raibler Schichten eingesenkt ist.“

Mag man nun diese Breccie und die dunklen, dolomitischen Kalke, welche den Kreuzbichel und die Insel bilden, schon zum Hauptdolomit oder noch zu den Raibler Schichten stellen, so steht jedenfalls so viel fest, daß diese und der in ihnen enthaltene Gips im See anstehen, was, wie wir sehen werden, für den Chemiesmus und Haushalt des Seewassers und der Sedimente von tiefgreifendem, bisher nicht genügend gewürdigtem Einfluß ist.

### III. Glazialbildungen.

Mit Sicherheit als interglaziale oder als von früheren Vereisungen herrührend zu bezeichnende Bildungen habe ich bisher am Lünnersee noch nicht gefunden, halte jedoch ihr Vorhandensein für sehr wohl möglich. Von dem vermuteten, aber nicht bestätigten interglazialen Bergsturz der Lünner Krinne war bereits die Rede.

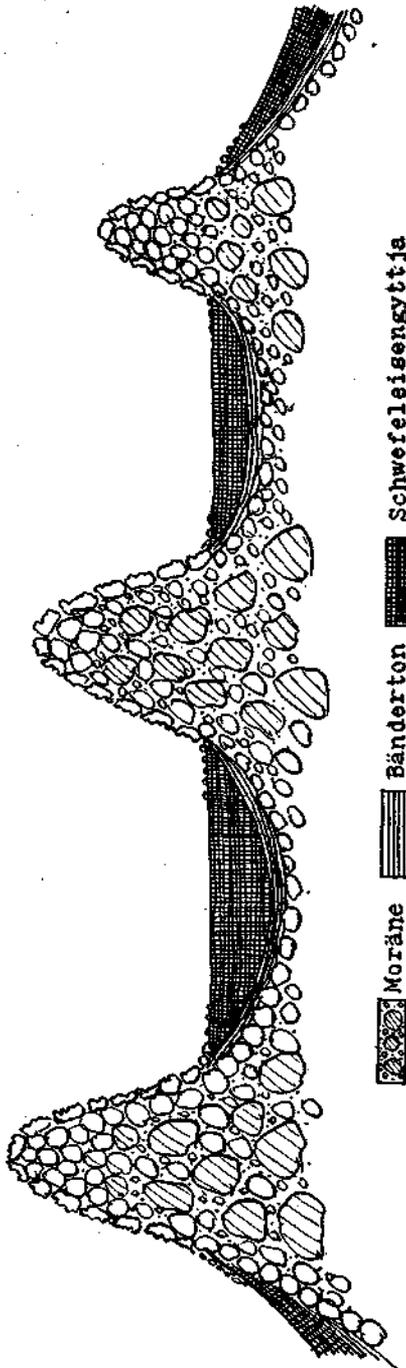
Nach Singer durchschneidet der Verembach „oberhalb 1940 m eine harte, alte Nagelfluh, die auf plattigen Kalken der Raibler Schichten aufliegt“. Auch Arni erwähnt an der gleichen Stelle „verkitteten Bach- und Strandschutt“, dessen Alter aber, abgesehen von den sicher postglazialen Schottern in dem von mir untersuchten Profil (Fig. 6) noch nicht bekannt ist.

Trotzdem der Rätikon im Brandner Ferner noch heute einen echten Gletscher trägt, liegt er doch so weit von den Zentren der Gletscherforschung in der Schweiz, Tirol und Oberbayern entfernt, daß seine Glazialgeschichte bisher sehr wenig bekannt ist. Zur Hauptsache bin ich auf eigene Beobachtungen angewiesen.

Heute liegt die Schneegrenze, wie z. B. auch Penck und Jegerlehner angeben, bei 2600—2650 m, wird also vom Schesaplanagipfel (2969 m) um über 300 m überragt. An dem kleinen Seelein der Todtalpe in 2319 m, das nach Zschokkes Beobachtungen nur 65—85 Tage im Jahr eisfrei ist und in einzelnen Jahren überhaupt nicht auftaut, endet ein von einem Firnfeld genährter Hängegletscher, der jedoch so klein und vielleicht auch so jung ist, daß er weder auf der österreichischen Sektionskarte 1:25.000 (Blatt 5143) noch auf der schweizerischen Siegfriedkarte 1:50.000 (Blatt 273) dargestellt ist (Taf. XX). Eine geringe Senkung der Schneegrenze, wie die des Daunstadiums, genügte, um dieses kleine Kar zu einer Firnmulde zu machen. Ein entsprechendes, auch von Moränen umschlossenes Kar weist auch die Alpe Vera oder Lün auf.

Die nächsten deutlichen Endmoränen durchziehen das Becken des Lüner Sees selbst. Am Ostufer ziehen sie sich von der Lüner Krinne herunter, und am Westufer bilden sie, nordwestlich vom „Kreuzbichel“ bei der Douglashütte, drei parallele, durch die Absenkung bloßgelegte Wälle aus stark zerfressenen und weiß inkrustierten Kalk- und Dolomitblöcken. Singer und Klebelsberg, welche die Stelle gleich nach der Absenkung besuchten, als der Seeschlamm noch so weich war, daß er nur mit Skiern begangen werden konnte, gewannen den Eindruck, daß es sich um auf dem Seeschlamm liegende „Schuttzungen“ handle. Nach Singer beträgt der Abfall bei der nördlichsten und höchsten nach innen 3—4, nach außen 6—8 m. Auch Klebelsberg stellt sich vor, daß dieses Blockwerk „unter Vermittlung heute nicht mehr vorhandener Firnflecken am Fuße des Gehänges so weit in seine isolierte, von ähnlichen Schuttbildungen am Lande abgetrennte Lage am Seegrund hinausgelangt“ sei, da für Lawinen die Neigungen zu gering sind. Es würde sich also, wenn nicht um einen Gletscher-, so doch um einen Firnvorstoß nach Ablagerung eines großen Teiles des Seeschlammes handeln.

Meine 1928 ausgeführten Bohrungen (mit einem Kammerbohrer, Lunzer Modell) und Sondierungen ergaben das in Fig. 2 fünffach erhöht dargestellte Profil. Aus sieben zwischen den drei Wällen und einer südlich von ihnen vorgenommenen Bohrung geht hervor, daß durchwegs unter 50—75 cm Gytija ein 10—30 cm mächtiger Bänderthon und darunter grober Moränenschutt liegt, welcher somit überall älter als die Seesedimente und nur von den Rändern der Wälle ein wenig auf diese hinuntergerutscht ist, wodurch sich die früheren Beobachter haben



Schwefeleisengyttja  
 Bänderton  
 Moräne

Fig. 2. Fünffach überhöhtes Profil durch die Moränen unterm Kreuzbichel. Längen ca. 1:600, Höhen ca. 1:120.

täuschen lassen. Daß die den Schlamm überragenden Wälle frei von Bänderton und Seeschlamm sind, kann entweder daher kommen, daß sie von jeher die Sedimentationsgrenze überragt haben, oder daher, daß sie nachträglich freigespült worden sind. Wie wir bei der Bestimmung des Alters des Schlammes und der so auffallenden Korrosionserscheinungen sehen werden, sind beide ungefähr gleichaltrig, so daß also wohl der erste Fall vorliegt.

Es fragt sich, mit welchen Moränen des Ostufers diese nur scheinbar isolierten Moränen zu verbinden sind. Da die mächtige Grundmoräne der Augstenkumme stark verrutscht ist und wohl einem früheren Gletscherstand zuzuschreiben ist, und auch nach dem Verlauf der Tiefenkurven scheint mir eine Verbindung mit den Moränen am Verembach am wahrscheinlichsten. Was südlich von diesem Moränenkranz von Singer und mir an Glazialbildungen gefunden worden ist, sind teils Grundmoräne und fluvioglaziale Kiese überdeckende Bändertone, teils in diese eingebettete Blöcke, die offenbar aus Treibeis abgestürzt sind (vgl. Taf. XXII). Eine Überlagerung der im VII. Kapitel zu behandelnden Seeablagerungen durch Moränen kommt, von den genannten Randabstrichungen abgesehen, auch am Südufer nirgends vor.

Die nächstälteren Moränen liegen auf der Alpe Schattenlagant in 1450—1490 *m* Höhe. Weitere Moränenkränze folgen am Alvierbach oberhalb Brand in etwa 1200—1230 *m* Höhe und unterhalb Brand bei etwa 1000 *m*.

In dem von der Zimba herabziehenden Sarotlatal liegt ein mächtiger Moränenkranz, der wohl dem von Schattenlaggant entspricht, in 1650 *m* Höhe, und ein wahrscheinlich dem unteren von Brand entsprechender am Ausgang des Tales bei zirka 950—1000 *m*. Mehrere dieser Moränen, wie die der Alpen Lün und Schattenlaggant und die untere von Brand, scheinen teilweise von Bergstürzen überlagert zu sein.

Wenn wir die postarktische Geschichte des Lüner Sees ermitteln wollen, d. h. die ganze seit der Eiszeit verfllossene, nicht nur diejenige seit der Bildung der jeweils letzten Moränen (die postglaziale im faziellen Sinn), so müssen wir eine Altersbestimmung der genannten Moränen versuchen. Mit Sicherheit läßt sich eine solche, solange nicht das ganze Diluvium des Ilgebietes gründlich untersucht und kartiert ist, noch nicht vornehmen, doch sprechen folgende Tatsachen dafür, daß diese Moränen älter sind als Trümpi und Arni annehmen. (Beide suchen die Gschnitzmoränen in etwa 900—1100 *m*, die Daunmoränen an der Nordseite in 1300—1500 *m*, an der Südseite in 1577—2000 *m*, wogegen nach Penck schon die Bühlmoränen am Bürserberg über 1400 *m* liegen.)

1. Für den Südhang der Schesaplana und der Küchlispitzen errechnet P. Beck aus den heutigen Gletschergrenzen, der Größe und mittleren Höhe des Nährgebietes, daß hier Talgletscher nur bei einer Senkung der Schneegrenze um über 1200 *m* bestehen konnten, wogegen die Gletscher der Silvretta schon bei einer solchen von 600 *m*, wie sie Penck für das Gschnitzstadium errechnet, bis über Davos und Serneus vorstoßen und bei einer solchen von 1000 *m* die ganze Sohle des Prättigaus einnehmen. Becks mit den bisherigen Parallelisierungsversuchen in Widerspruch stehender Befund, daß sich der Rheingletscher viel früher vom Bodensee zurückgezogen hat als die Gletscher der Linth, Reuß und Aare von den Alpenrandseen, wirkt überraschend, stimmt aber aufs schönste mit einer ganzen Reihe pflanzengeographischer Tatsachen überein, deren Anführung hier zu weit führen würde.

Für die Nordseite des Rätikons fehlen noch ähnliche Berechnungen, doch sprechen die folgenden Umstände dafür, daß auch das Samina-, Gamperdona- und Brandner Tal schon sehr lange eisfrei sind.

2. Der westliche Rätikon, besonders der Falknis und die Drei Schwestern waren ähnlich wie die Grauen Hörner, Churfürsten und ein großer Teil des Alpsteins während aller Vereisungen Nunatakter und besitzen noch heute eine reiche Nunatakflora (z. B. *Cystopteris sudetica*, *Delphinium elatum*, *Aquilegia alpina*, *Dracocephalum Ruyschiana*, *Saussurea discolor*). Dazu gehört wohl auch *Juniperus sabina*, die sich am Südhang der Schesaplana wie im obersten Montafon, Säntis- und Churfürstengebiet erhalten hat.

3. Auch das Brandner Tal besitzt, vor allem auf den Dolomitschutthängen unterhalb Brand, eine Föhrenwaldvegetation von ausgesprochenem Reliktcharakter (u. a. mit *Festuca amethystina* und *Helleborus niger*), wie sie sich nur in sehr früh eisfrei gewordenen oder überhaupt nicht vergletschert gewesenen Gebieten findet.

4. Im Schutt des Schesatobels sind 1859/60 zwei Stoßzähne des Mammuts gefunden worden, welches im Nordalpengebiet schon vor dem Ende des Magdalenien ausgestorben ist und dessen Reste infolgedessen

kaum irgendwo innerhalb der inneren Jungmoränen gefunden werden, vor allem nirgends in stärker vergletschert gewesenen Alpentälern.

5. Sowohl im Brandner wie im Gamperdonatal sind sehr wahrscheinlich interglaziale Konglomerate erhalten.

Aus diesen Gründen nehme ich an, daß schon die Moränen von Brand als Würmendmoränen anzusehen sind. Diejenige oberhalb Brand möchte ich dem Ammerseestadium, diejenigen von Schattenluggant und Obersarotla dem eigentlichen Bühlstadium und diejenigen des Lüner Sees dem Gschnitzstadium zuschreiben. Im Daunstadium dürften bei der geringen Größe und Höhe des Einzugsgebietes wohl nur die Kare der Todtalp und obersten Lüner Alp noch eiserfüllt gewesen sein. Aber selbst wenn noch der Daungletscher bis zum See hinabgereicht haben sollte, war dies seit dem Beginn der Wärmezeit sicher nie mehr der Fall.

#### IV. Morphometrie.

Die Gestalt der Seewanne ist schon 1888 von Löwl auf Grund seiner Lotungen sehr treffend dargestellt worden und ergibt sich im übrigen aus unserer nach den Aufnahmen der Illwerke gezeichneten Karte und den beigegebenen Photographien. Die Oberfläche des Sees betrug bei einem Wasserstand von 1943 *m* 1.4 *km*<sup>2</sup>.

Wasserstand	1900	1930	1940	1944 <i>m</i>
Größte Länge	1180	1560	1590	1670
Größte Breite	860	1045	1110	1150
Größte Tiefe	64.6	84.6	104.6	108.6

Die tiefste Stelle liegt nur etwa 140 *m* von der vom unterirdischen Abfluß durchbrochenen, fast senkrechten Stirnwand entfernt. Rechnet man zu den angegebenen Tiefenzahlen noch die unbekannte Sedimentmächtigkeit dazu, so ergibt sich die bereits von Löwl erkannte Trichterform des untern Seebeckens, welche mit einer glazialen Entstehung desselben unvereinbar ist.

Der obere, sehr viel flachere Teil der Seewanne wird durch den vom Kreuzbichel und Verenbach um die Insel herum ziehenden Moränenkranz abgetrennt.

Daß der Seespiegel lange Zeit niedriger war als heute, geht aus den schon von Löwl bei ungewöhnlichem Niederwasser und dann nach erfolgter Absenkung von Klebelsberg untersuchten, auch auf Taf. XVIII erkennbaren alten Uferlinien hervor: unter der dem historischen Mittelwasser entsprechenden Strandmarke mit bis 5 *m* breiter Terrasse in 1940 *m* Höhe liegen mehrere tiefere, die ausgeprägteste in 1933 *m* Höhe. Z. B. an der Insel ist sie als bis 2 *m* breite Terrasse, an der steilen Stirnwand durch 3—4 auffallend helle Horizontalstreifen dicht übereinander ausgebildet. Unter diesen liegen hier zahlreiche bis zu 3.2 *m* tiefe Gletschertöpfe (s. Fig. 3 und Taf. XIX).

Unter den oberen Strandlinien sind die Felswände regelmäßig gletschergeschrammt.

Außerdem fand Klebelsberg an den vom See bedeckt gewesenen Wänden Verkarstungserscheinungen, die älter sind als der Gletscher-

schliff — ihre Erhabenheiten sind großenteils niedergeschliffen. An den Felsen über dem Normalspiegel gibt sich auch jüngere, postglaziale Verkarstung zu erkennen in Form von Aufrauung der Gletscherschliffe.

Wenn diese Beobachtungen und die im vorigen Abschnitt gegebene Datierung der den See durchziehenden Moräne als Gschnitz den Tat-



Phot. Ing. R. R. Sch.

Fig. 3. Strudellöcher unterm Seebord.

sachen entsprechen, muß die ältere Verkarstung älter als das Gschnitzstadium sein, also wohl dem Bühl-Gschnitz-Interstadial angehören.

Ob der alte Wasserstand von 1933 *m* ebenso alt ist oder erst der postglazialen Wärmezeit entspricht, kann ich vorerst nicht feststellen. Ein Ansteigen des mittleren Spiegels eines solchen Trichtersees braucht nicht unmittelbar auf der subatlantischen Klimaverschlechterung zu beruhen, sondern könnte auch durch eine Verstopfung und Höherverlegung des alten Ausflusses durch die wärmezeitliche Sedimentation verursacht sein.

## V. Klima und Wasserhaushalt.

Für das Verständnis der hydrographischen und biologischen Verhältnisse müssen in erster Linie die heutigen Klimaeinflüsse herangezogen werden, über welche erst in den letzten Jahren zuverlässige Daten gesammelt worden sind.

Niederschlag: In der Regenkarte des österreichischen Hydrographischen Zentralbureaus von 1918 wird für die Schesaplana und den höchsten Teil der Silvretta und in derjenigen Brockmanns von

1923 für den ganzen Rätikon von etwa 1900 *m* aufwärts eine Niederschlagssumme von über 2 *m* angenommen. Nach den Ergebnissen der von den Illwerken am Seebord des Lüner Sees, am Tilisunasee und im Ferwall (leider haben diese beiden noch keine brauchbaren Werte ergeben) und von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt auf der Silvretta (Silvrettahütte und Eckhorn) aufgestellten Niederschlagssammler (Totalisatoren) ist es jedoch sehr unwahrscheinlich, daß dieser Wert hier überhaupt erreicht wird. Die Station Silvrettahütte in 2370 *m* Höhe ergab 1925/26 160 *cm*, 1926/27 151 *cm*, im Mittel 1901—25 nach der Reduktion von Jean Lugeon 149 *cm*; der Totalisator am Lüner See in 1928 *m* Höhe im Jahre 1926 148 *cm*, 1927 191.5 *cm*, 1928 154 (nach den täglichen Ablesungen jedoch 169) *cm*, extrapoliert nach den langjährigen Beobachtungen von St. Antönien und Gargellen 168 *cm*, nach denen von Brand nur 137 *cm*.

Die Normalmittel der benachbarten Stationen sind folgende:

Station	Meereshöhe	Beobachtungsjahre	Niederschlagssumme
Feldkirch	459	1876—1900	1137
Bludenz	590	1876—1900	1252
Schruns	654	1896—1905	1186
Brand	1050	1896—1900	1303
Gargellen	1436	1888—1894	1440
St. Antönien	1460	1892—1905	1363
Seewis	954	1896—1905	1167
Schiers	660	1885—1905	968

Die Prättigaustationen St. Antönien, Schiers und Seewis haben somit entsprechend ihrem verstärkten Regenschatten durchwegs geringeren Niederschlag als die Montafoner Stationen auf gleicher Höhe, und ebenso nimmt, wie die Totalisatorbeobachtungen zeigen, die Niederschlagsmenge vom Rätikon zur Silvretta ab. Die am Lüner See gemessene Summe von im Mittel 168 *cm* ist die bisher höchste des ganzen Rätikons, und es ist fraglich, ob sie in größerer Höhe noch sehr wesentlich übertroffen wird.

Die Monatssummen des Niederschlags sind in

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bludenz	58	80	79	83	100	163	184	144	134	91	65	71
Seewis	91	83	111	109	104	93	114	134	111	80	60	77

Luft- und Wassertemperatur sind während der letzten Jahre regelmäßig bei den Baracken am Seebord gemessen worden, doch liegt darüber noch keine Zusammenstellung vor. 1926 und 1927 waren nur 2, 1928 3 Monate frostfrei. Ich begnüge mich daher mit einer graphischen Zusammenstellung der von Zschokke (1900, S. 22), Schmaßmann und mir während verschiedener Jahre gemessenen Oberflächentemperaturen des Sees (Fig. 4). Das normale Sommermaximum scheint 12° (im September 1926 12.3°) zu betragen, doch hat Zschokke 1893 bis 14° gemessen.

Die Eisbedeckung dauert von Mitte November (1925 6. November, 1926 23. November, 1927 16. November, 1928 27. November) oder Anfang Dezember bis Ende Mai oder Anfang Juni (1928 15. Juni) durchschnittlich 180 bis 190 Tage.

Über die Eisdicke liegen folgende Angaben vor:

Winter	1926	1927	1928
Schnee:	50	23	20 cm
Schnee mit Wasser:	90	115	45 cm
Eis:	zirka 20	zirka 20	110 cm

Weiter sei hier eine Mitteilung von Prof. Klebelsberg wiedergegeben und durch eine Aufnahme von Ing. Rüschi illustriert (Taf. XX). Im Februar 1926, als der See erst auf 1920 m abgesenkt war, erzeugte ein durch Tauwetter ausgelöster Erdsturz einen gewaltigen Seegang. Dadurch wurde die noch  $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  m dicke Eisdicke völlig zersplittert und in dem weiter abgesenkten See eine Art Polygonboden erzeugt. „Für den ersten Blick war das Bild ganz rätselhaft. Bis sich in einzelnen der flachen Negative auch noch Reste der zugehörigen Positive, der Eisschollen nämlich, fanden und durch die „historischen“ Daten, die Ing. R. Rüschi dazu gab, das Problem restlos aufgeklärt wurde.

Die Felder waren meist vier- bis fünf-, selten dreieckig, oft rhombisch-deltoidisch, oft aber auch ganz unregelmäßig, einzelne Seiten häufig mehr oder weniger bogenförmig ausgebildet. Die den Fugen entsprechenden Wülste ragten 10—20 cm hoch über den plattgedrückten Polygonboden auf; häufig war der Wulst nur auf 1 bis 2 Seiten ausgebildet und grenzte das Polygon an den anderen Seiten lediglich mit feinen „Nähten“ an benachbarte. Wo die Neigung des Untergrundes etwas stärker wird, verlor sich die Polygonskulptur rasch und trat ein Fließ- und Rutschrelief an ihre Stelle.“ Mit den echten arktischen, in den Alpen seltenen Polygonböden hat diese Bildung natürlich nichts zu tun.

Als durchschnittliche Wasserstandsschwankung des abflußlosen Sees, dessen tiefste Schwelle 12 m über der früheren Hochwasserlinie liegt, gibt bereits Löw 7 m, Zschokke 5 m an. Im nassen Sommer 1879 lag der 1943 m hohe Gipfel der Insel ganz unter Wasser, wogegen er bei Löw's Besuch im trockenen Sommer 1887 5—6 m aufragte. Über die Wasserstände vor der Absenkung verdanke ich der Bauleitung folgende Daten:

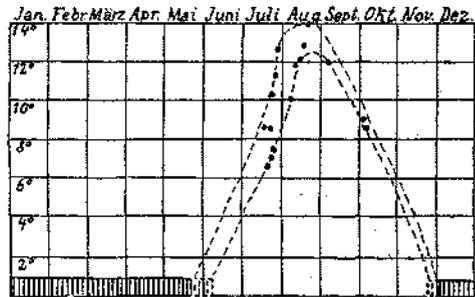


Fig. 4. Eisbedeckung und Oberflächentemperaturen in warmen und kalten Jahren nach den Beobachtungen Zschokkes, Schmassmanns und des Verfassers.

Wasserstände:	1919	1920	1921	1922
Minima:	—	1938·17 (V)	1938·68 (V)	1936·62 (V)
Maxima:	1942·13 (VIII)	1943·83 (IX)	1940·90 (VII)	1943·01 (X)
Differenz:	—	5·74	2·22	6·37
Wasserstände:	1923	1924	1925	
Minima:	1939·88 (V)	1939·12 (IV)	1938·50 (V)	
Maxima:	1943·29 (VII)	1943·99 (VIII)	1940·60 (VIII)	
Differenz:	3·41	4·87	(2·10)	

Die durchschnittliche Differenz der Jahre 1920 bis 1924 beträgt somit 4·5 m, die maximale zwischen 1922 und 1924 7·37 m.

Über die Abflußverhältnisse machen Schardt und Arni nach Angaben von Ing. Grass einige Mitteilungen, nach welchen die Ausflußmenge bei den Hauptquellen unterhalb des Seebords vor der Absenkung 360—370 *sek/l* betrug und nur geringen Schwankungen unterlag. Ob die Abflußmenge der Niederschlagsmenge des Einzugsgebietes entspricht, wird von Arni bezweifelt, kann jedoch, solange nicht die Höhe der Zone maximalen Niederschlags im Rätikon durch weitere Totalisatormessungen ermittelt ist, nicht entschieden werden.

Als Anzeichen einer Art von Seiches deutete ich zwei parallele Schaumstreifen in der Längsachse des Sees, die ich am Morgen des 5. August 1928 beobachtete und die völlig solchen gleichen, wie ich sie öfters auf dem Silser See im Oberengadin gesehen habe.

Leider liegen mir nur zwei sehr unvollständige und unter sich nicht direkt vergleichbare chemische Analysen des Lünnerseewassers vor.

An der Wasserfassungsstelle, also ziemlich tief, fand Arni am 3. August 1925 mit der hydrotimetrischen Methode:

Wassertemperatur	9·5°	Organische Substanz	15·8 mg pro l
Totalhärte	11·5°	Ca CO <sub>3</sub>	25 mg pro l
Permanenthärte	9°	Mg CO <sub>3</sub>	48·4 mg pro l
Chloridgehalt	1·5°	Ca SO <sub>4</sub>	7 mg pro l
Kohlensäure	2·5 cm <sup>3</sup>		

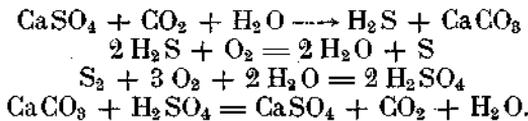
Am 18. Juni 1926 von der Bauleitung geschöpfte Proben wurden im Hygienischen Institut der Universität Innsbruck unter der Leitung Moells analysiert und ergaben:

Wassertiefe	Trockenrückstand	SO <sub>3</sub>	Cl
Oberfläche	—	—	7·1
10 m	182·0	24·1	10·65
20 m	—	24·6	7·1
33 m	175·3	27·1	7·1

Während somit die Härte, wie auch Arni fand und mit der sommerlichen Verdunstung erklärt, mit der Tiefe abnimmt, nimmt der Sulfatgehalt mit der Tiefe zu. Er ist heute nach den mitgeteilten Zahlen nicht größer als z. B. im Kochelsee (26·2) und Tegernsee (25·8, beides nach der Zusammenstellung Thienemanns 1926), und sehr viel niedriger als z. B. im Ritomsee, dessen Wasser in der Tiefe nach J. Eder-Schwyzler zirka 2·5 kg Gips pro Kubikmeter enthält.

Die Vergleichung mit dem Rítomsee im Gotthardgebiet ist deshalb besonders lehrreich, weil in beiden an und für sich nährstoffarmen Alpenseen Gips ansteht und in Lösung geht. Während nun in dem nur 1831 m hoch gelegenen Rítomsee noch heute aus dem Gips durch *Microspira desulfuricans* reichlich Schwefelwasserstoff abgeschieden und Schwefeleisenschlamm gebildet wird, scheint das heute im Lüner See nicht mehr oder in sehr viel geringerem Grad der Fall zu sein. Der Schwefeleisenschlamm des Lüner Sees ist eine, wie die stratigraphische Untersuchung ergeben hat, fossile Bildung aus der postglazialen Wärmezeit.

Die Vorgänge, die sich damals, wahrscheinlich wie im Rítomsee, im Schwarzen Meer und anderwärts unter der Mitwirkung von *Microspira* und anderen Bakterien abgespielt haben müssen, können folgendermaßen formuliert werden:



Daß tatsächlich ein solcher Kreislauf auch im Lüner See stattgefunden hat und vielleicht auch in beschränktem Ausmaß noch heute stattfindet (über die Verhältnisse in der Tiefe sind wir ja bisher nicht unterrichtet), beweisen außer dem Sediment auch die sehr auffallenden Korrosions- und Inkrustationserscheinungen, die schon mehreren Beobachtern aufgefallen sind (vgl. S. 538 und 562 und Taf. XXIII).

Wenn auch heute noch eine gewisse Korrosion, namentlich eine Anätzung von Eisengeräten, beobachtet wird (ob nur durch Kohlensäure oder auch durch Schwefel- und Salzsäure, wofür der beträchtliche Chlorgehalt spricht, ist nicht untersucht), so scheint die stärkste Korrosion der Kalk- und Dolomitwände und der Moränenblöcke doch in der Zeit der wärmezeitlichen Schwefeleisensedimentation stattgefunden zu haben und mit dieser in ursächlichem Zusammenhang zu stehen. Nur die über die Schlammoberfläche ragenden Gesteinspartien sind wabenförmig zerfressen, und andererseits hat nach Beendigung der Hauptkorrosionsphase eine Inkrustation mit  $\text{CaCO}_3$  stattgefunden. Da sich beide Prozesse wohl abschließen, müssen wir daraus wohl auf eine Abnahme des Säuregehaltes schließen. (Vgl. auch Grüner bei Ampferer und Pinter, 1927, S. 317.)

## VI. Die heutige Vegetation und Tierwelt.

Die ganze Umräumung des Lüner Sees ist heute baumfrei und gehört der oberen Hälfte der Krummholzstufe an, welche hier von zirka 1500 bis 2100 m (am Südhang der Lüner Krinne bis 2160 m) reicht.

Darüber folgt die sich zungenförmig bis zum Seespiegel herab erstreckende alpine Stufe. Sie wird von *Dryas*- und *Carex firma*-Heiden beherrscht, die am Nordosthang der Schesaplana bis 2550 m hinaufreichen. Der darüber folgende subnival-nivale Gürtel der einzelnen Dikotylenpolster endet am Schesaplanagipfel schon bei 2960 m, welche Höhe hier nur noch *Cerastium latifolium* erreicht.

Einzelne Fichten, Arven oder Zirnen, nach welchen der 2294 m hohe Zirnenkopf benannt ist, Lärchen und Birken (*Betula tortuosa*) steigen

im Tal des Alvierbachs bis zirka 1700 m, die letzten Birken- und Fichtenkrüppel bis 1750 m; doch liegt die Grenze des geschlossenen Fichtenwaldes heute bereits bei 1500 m, ja ist stellenweise durch die mit Krummholz und Alpenrosen bedeckten Dolomitgeröllhalden bis unter 1400 m hinabgedrückt (siehe die Karte Fig. 1).

Auf Kalk und Werfener Schichten reichen um Brand Buchenwälder mit eingestreuten Bergahornen und Eschen bis etwas über 1100 m, fast so hoch auch Haselgebüsche mit anderen wärmeliebenden Sträuchern (z. B. Liguster) und Trockenwiesen von *Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum* und *Koeleria pyramidata*.

Im übrigen weisen die Dolomithänge des Brandner Tales eine ausgesprochene Reliktvegetation auf, insbesondere Wald- und Bergföhrenwälder mit *Erica*-Unterwuchs, welche stellenweise vom Alvierbach bis zum Krummholz hinaufreichen und allmählich in dieses übergehen.

Das ehemalige Seeufer umsäumen außer kleinen Krummholzbeständen die Zwergstrauchheiden des *Rhododendron hirsutum*, der *Daphne striata* und *Dryas*, die Gras- und Polsterheiden der *Carex firma*, *Saxifraga caesia* und *Silene acaulis*, die Geröllvegetation mit *Thlaspi rotundifolium*, *Linaria alpina*, *Valeriana supina* usw., magere Weiden und in den länger schneeerfüllten Mulden eigentliche Schneeböden mit *Salix herbacea*, *Anthelia* usw. und von *Cratoneuron falcatum* beherrschte Quellfluren.

Schon 1927, zwei Jahre nach der Spiegelsenkung, war ein großer Teil dieser Quellflurbestände infolge Austrocknung abgestorben.

Dagegen hatten sich auf den früher von Blütenpflanzen freien Schuttböschungen der ehemaligen Seehalde des Westufers folgende Arten neu angesiedelt: *Agrostis alba*, *Polygonum viviparum*, *Möhringia ciliata*, *Silene inflata* var. *alpina*, *Thlaspi rotundifolium*, *Hutchinsia alpina*, *Arabis alpina*, *Biscutella levigata* und *Linaria alpina*, auf nacktem Seeschlamm besonders die Moose *Bryum argenteum* und *Funaria hygrometrica* und Fadenalgen der Gattung *Mougeotia*. 1928 stellte ich außer diesen Arten an den früher unterseeischen Moränen unterm Kreuzbichel noch fest: *Poa alpina* und *minor*, *Agrostis alpina*, *Cerastium caespitosum*, *Minuartia verna*, *Plantago alpina* und *Tussilago farfara*; 1929 noch *Arabis bellidifolia*, *Viola calcarata* und *Epilobium angustifolium*.

Von höherer Wasserpflanzenvegetation sind aus dem See ausschließlich *Chara*-Wiesen bekannt, u. zw. konnte ich nur die auch im Tilisunasee vertretene *Chara gymnophylla* feststellen. Daß andere Arten, wie der in jenem See und in noch viel höher gelegenen gefundenen *Ranunculus flaccidus confervoides* fehlen und überhaupt die Pflanzen- und Tierwelt des Sees so außerordentlich arm ist, haben bereits Zschokke und Schmaßmann auf die ungewöhnlich hohen Seespiegelschwankungen zurückgeführt. Außerdem dürfte aber auch eine zeitweise stärkere Entwicklung von Schwefelwasserstoff und Mineralsäuren etwaige Bestände vernichtet haben.

Von Phytoplankton fanden Bachmann und der Verfasser fast ausschließlich *Synedra delicatissima*. Die etwas reichere, aber noch nicht genauer untersuchte Grundalgenvegetation besteht aus einer größeren Zahl von Zygnemalen, Diatomeen (*Eunotia*, *Pinnularia*, *Campylodiscus* u. a.) und Blaualgen, welche einerseits „organische Filze“ (Forels feutre organique) auf dem Schlamm (der ävja im Sinne Sernanders) bilden

und anderseits die bloßliegenden Gesteinsflächen inkrustieren. An der Bildung der meist von Kalkausscheidungen weißen und harten, stellenweise aber auch violetten und sehr vergänglichen Überzüge dürften ähnliche Algengesellschaften (mit *Gongrosiren*, *Chamaesiphoneen* usw.) beteiligt gewesen sein, wie sie Geitler aus dem Lunzer Untersee, Lauterborn, Zimmermann und Oberdorfer aus dem Bodensee und K. Meyer aus dem Baikal beschrieben haben, darunter vielleicht auch solche aus heute nicht mehr im See lebenden Arten. Insbesondere dürfte das von höchst eigenartigen, auf Taf. XXIII abgebildeten Konkretionen gelten, welche an mehreren Stellen nördlich und südlich der Douglashütte einen bestimmten, mit Hilfe der Pollenanalyse als subboreal datierten Horizont erfüllen. Sie sind bryozoen- oder korallenförmig verzweigt und schließen stellenweise zu mehrere Millimeter dicken, harten, netzförmig durchbrochenen Krusten zusammen. Nach Auflösung des Kalkes in Salzsäure fand ich in ihnen Fadenreste, die von einer *Vaucheria* oder vielleicht noch wahrscheinlicher von einer *Siphonocladiale* herzurühren scheinen. Ähnliche Bildungen sind meines Wissens noch aus keinem anderen See bekannt.

Der Faunenbestand ist durch Zschokke und seine Schüler, vor allem Schmaßmann, so genau und auch einigermaßen quantitativ festgestellt worden, daß wenige Angaben genügen. Er umfaßt 23 Rhizopoden (besonders viel *Diffugia lebes* und *constricta*), *Hydra vulgaris*, 5 Turbellarien, 12 Nematoden, mindestens 5 Oligochäten, 7 Rotatorien, 3 Cladoceren (*Macrothrix hirsuticornis*, *Alona affinis* und *Chydorus sphaericus*; von den noch von Zschokke beobachteten *Daphnia longispina* und *pulex* fanden Schmaßmann und ich nur noch leere Ehippien), 7 Copepoden (*Cyclops strenuus* hat stark abgenommen, der noch 1890—1893 häufige *Diaptomus bacillifer* war schon 1911 völlig verschwunden), 6 Ostracoden, 11 Tardigraden, 1 Hydracarine (*Arrhenurus conicus*), 1 Trichoptere (*Metanoea flavipennis*), mindestens 10 Chironomiden (Tanypinen, Tanytarsiden und Orthocladiiden), sehr wenig andere Wasserinsekten (nach Zschokke auch *Corethra plumicornis*), die 1911 und später nicht mehr lebend gefundene Schnecke *Limnaea truncatula*, 2 Erbsmuscheln (*Pisidium ovatum* mit der Tiefenform *fragillimum* und seltener *P. nitidum*) und als einzigen, 1911 und 1927 nur noch ganz vereinzelt beobachteten Fisch die Groppe *Cottus gobio* (vgl. S. 533). Von 1887 bis 1902 wurden Saiblinge, Bach- und Regenbogenforellen eingesetzt, doch ist seit 1910 wohl der ganze Bestand zugrunde gegangen, wahrscheinlich, weil er den See buchstäblich leergefressen hat, denn 1911 war das Zooplankton qualitativ wie quantitativ sehr viel ärmer als während Zschokkes Untersuchungen 1890 bis 1897. Daß an dieser Verarmung aber auch andere, wohl physikalisch-chemische Vorgänge mitschuldig sind, lehren die stratigraphischen Untersuchungen und das Ausbleiben einer Regeneration des Planktons seit der Vernichtung des Fischbestandes. Gänzlich fehlen dem See Gammariden (mit Ausnahme des im Verenbach gefundenen *Niphargus tatrensis*) und anscheinend auch Amphibien.

Daß aber der Volksüberlieferung von großen Tieren im See doch insofern ein wahrer Kern zugrunde liegt, als er Gebeine verschwundener Wiederkäufer birgt, und daß überhaupt einmal seine Lebewelt sehr viel reicher als heute war, wird im folgenden gezeigt werden.

## VII. Die Seesedimente.

Wir müssen drei Gruppen von Seesedimenten scharf auseinanderhalten:

1. die glazialen Bändertone, fluvioglazialen Sande und Kiese und Treibeisblöcke. Sie sind wohl durchwegs fossilfrei und reichen kaum irgendwo über die Quote 1920 hinauf;

2. den unterwegs an Ton, im mittleren Teil an Kalk und oberwärts an Feinsand reichen, durchgehend steifgallertartigen und von Schwefel-

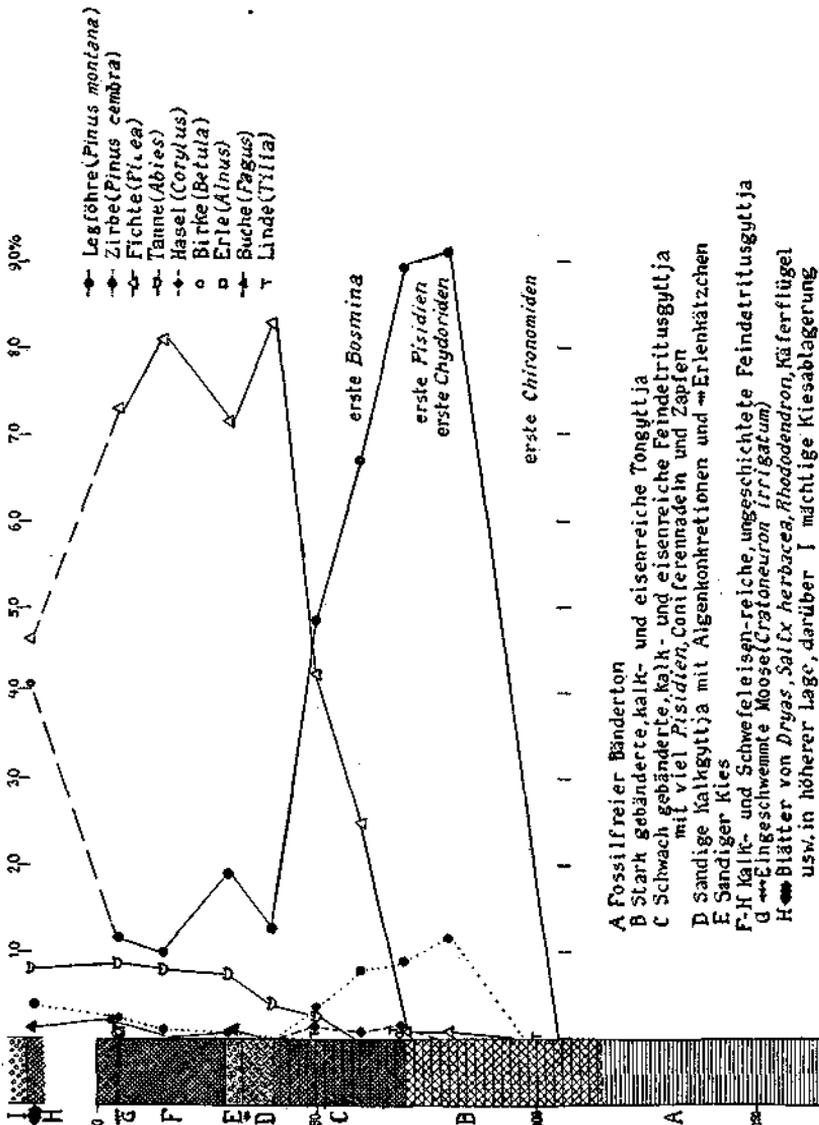


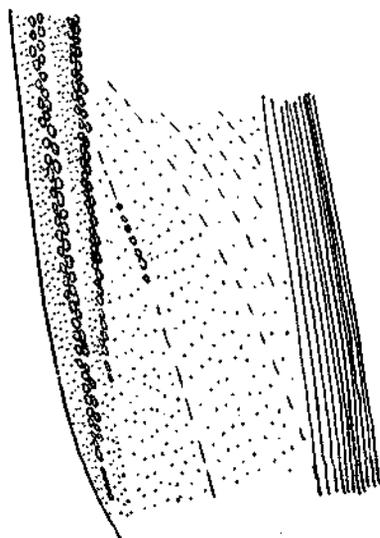
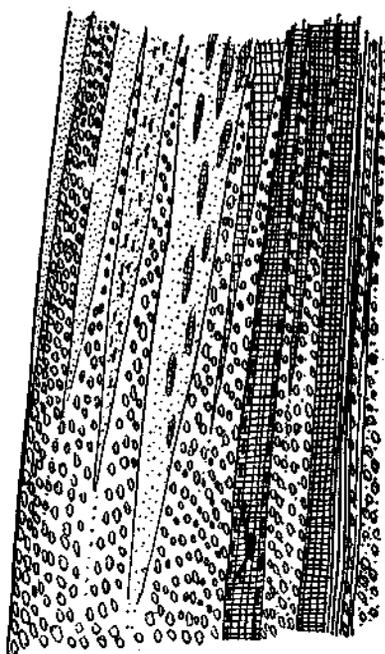
Fig. 5. Sedimentprofile und Pollendiagramme unterhalb der Douglashütte.

eisen<sup>1)</sup> schwarz gefärbten, an der Luft durch dessen Oxydation hellbraun und bei Austrocknung grau und hart werdenden Seeschlamm, der am besten als Schwefel-eisengyttja bezeichnet wird. Er ist sehr reich an organischem Feindetritus und an Fossilien und reicht in der Südhälfte des Sees bis etwa zur Quote 1930, im N, wo die Fels- und Geröllhänge steil zur Tiefe abfallen, nur in Spuren bis 1920 m;

3. die Kiese und Sande, welche die Hauptmasse der deutlich terrassierten Uferböschungen und die Schwemmkegel unter der Todtalm und Verenalp (Alp Vera = Lün unterm Gafalljoch = Cavelljoch der Karten) bilden und die heute noch im See zur Ablagerung kommenden Tone.

Die Verteilung dieser Sedimente konnte ich 1927 an den natürlichen Bachanrissen unter der Todtalm (südlich der Douglashütte, Fig. 5) und 1928 im Delta des Verenbaches (Fig. 6) genau feststellen und weiter durch Sondierungen und Bohrungen mit einem Lunzer Kammerbohrer zwischen diesen Stellen und bei den Moränen am Kreuzbichel (Fig. 2) nachprüfen.

Die glazialen Bändertone erreichen unter der Douglas-hütte eine Mächtigkeit von mindestens 50 cm, auf der Kreuzbichelmoräne, der sie



Bändertone Kies Sand Gyttja Mooslage Hirschskelett

Fig. 6. Östliche und westliche Wand des Verenbachaufschlusses.

<sup>1)</sup> Das Schwefeleisen tritt regelmäßig in Form gegen Salzsäure recht widerstandsfähiger Kugeln auf, wie sie Naumann aus schwedischer Gyttja als „kugelförmige Pyritkonkretionen“ beschreibt. Seine Beweisführung, daß wirklich Pyrit vorliegt, halte ich jedoch für nicht zwingend und ziehe daher die neutrale Bezeichnung Schwefeleisen vor.

direkt aufgelagert sind, dagegen nur von 10 bis 30 cm. Es sind typische, mäßig kalkhaltige und durchwegs eisenarme, hellgraue Bändertone, die öfters größere, zweifellos von Treibeisschollen abgestürzte Blöcke umschließen. Fossilien konnte ich darin nirgends finden. Zu ihrer Bildungszeit, also nach dem Rückzug des Gletschers von der den See durchquerenden Moräne, dürfen wir wohl ähnliche Verhältnisse annehmen, wie sie an dem rund 400 m höher gelegenen Todtalpsee (Taf. XX) noch heute bestehen.

Über dem Bändertone folgen in dem vollständigsten, südlich der Douglashütte entnommenen und in Fig. 5 und Tafel XXI/XXII dargestellten Profil 35 cm einer auch noch deutlich gebänderten, mäßig kalk- und schwefeleisenreichen Tongyttja. Die Breite der Bänder beträgt bis zu 2—3 cm. Die unterste Schicht enthält noch keinen Baumpollen und nur spärliche Moosreste, aber schon 10 cm höher beginnt mit dem ersten Feindetritus der Pollen von *Pinus montana*. Ein zugleich gefundenes Korn von Lindenspollen beweist wohl, daß diese Ablagerung bereits der postglazialen Wärmezeit, u. zw. ihrem borealen Abschnitt, angehört. Der Pollen der Legföhre nimmt, wie das Diagramm Fig. 5 zeigt, rasch zu (von 2 bis 10 auf 30 bis 70 pro Quadratzentimeter der Präparate), und gleichzeitig erscheint Pollen von Zirbe, Lärche und Fichte. Während die Zirbe bald mit 12% (übereinstimmend in 2 Profilen) ihr Maximum erreicht, währenddessen die ersten Rhizopoden, Cladoceren (*Alona* und *Chydorus*), Tanytarsiden und sonstigen Insektenreste erscheinen, beginnt die stärkere Zunahme des Fichtenpollens erst in der folgenden Schicht.

Diese besteht aus einer im Durchschnitt der untersuchten Profile 70 cm mächtigen, weniger kalk- und tonhaltigen, dafür sehr feindetritusreichen und daher stark gallertigen und kaum geschichteten Gyttja, deren schwärzliche Farbe von fein verteiltem kolloidalem Schwefeleisen herrührt.

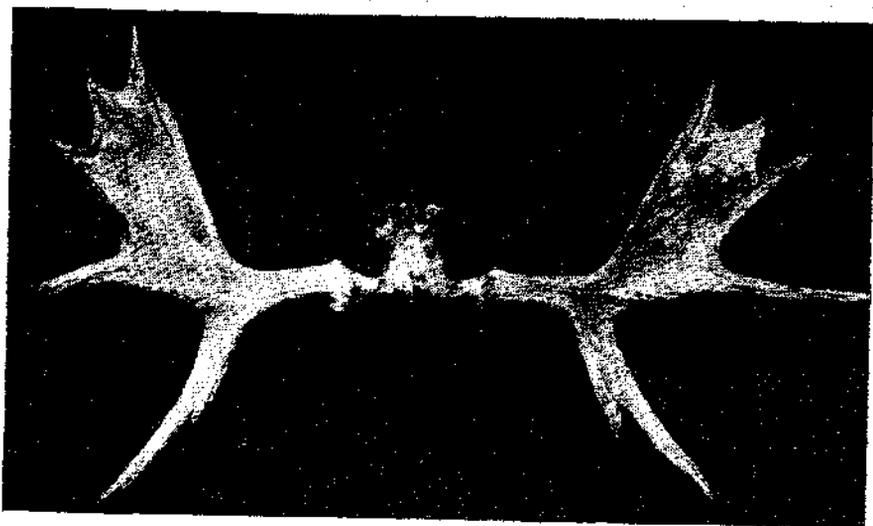
Unterhalb beider Bachmündungen wird die am Kreuzbichel einheitliche Schichtenfolge durch grobklastische Einlagerungen in zwei Teile gesondert, deren unterer dem ersten Fichtenanstieg bis zu einem ersten Maximum von 83% entspricht, während der obere ein zweites, ungefähr gleich hohes Fichtenmaximum enthält. Der untere Teil, welcher im Gegensatz zum oberen noch schwache Bänderung erkennen läßt, ist reich an *Pisidium fragillimum* (det. Adensamer), Insekten- und Cladocerenresten, namentlich an Schalen der schon lange aus dem See verschwundenen, dagegen einen Hauptbestandteil der Felchennahrung des Bodensees ausmachenden *Bosmina coregoni*. In ihm erreicht der Hasel- und Lindenspollen mit je 1—2% sein Maximum, und die Tanne tritt auf, so daß wir seine Bildung in die atlantische Zeit verlegen müssen. Diese atlantische Gyttja enthält ziemlich viele Holz-, Nadel- und Zapfenreste von Legföhre und Fichte, was ebenso wie das Pollenspektrum Fichtenwälder mit Legföhrenunterholz um den See bezeugt.

Die darauf folgende klastische Einlagerung, die wohl zur Hauptsache einem kurzdauernden Hochwasser zuzuschreiben ist, wie solche in der postglazialen Wärmezeit mehrfach nachgewiesen sind (so zwischen den beiden neolithischen Kulturschichten im Bodensee- und Federseegebiet), besteht unterhalb der Douglasshütte aus einer 7 cm mächtigen sandigen



Phot. Ing. Rüs ch.

Fig. 7a. Im Lännersee unter der Douglashütte gefundener Rothirschschädel.



Phot. R. Geilhofer.

Fig. 7b. Elchgeweih aus dem Spullersee.

Kalkgyttja, welche die bereits S. 551 genannten Kalkkonkretionen, viele Fichtennadeln und vereinzelt Erlenkätzchen (wohl von *Alnus viridis*) enthält, und einer 5 cm dicken Kiesschicht darüber. Im Verembachdelta, das, wie Fig. 6 zeigt, eine mehrfache Verzahnung von Kies- und Gytjtja-schichten aufweist, erreichen die entsprechenden Kies- und Sandeinslagerungen eine Mächtigkeit bis zu  $\frac{1}{2}$  m. In beiden Profilen erscheint in diesen Ablagerungen der erste Buchenpollen, wodurch sie wohl als subboreal, u. zw. jungsteinzeitlich datiert sind.

Die obere, gar nicht mehr gebänderte Schwefeleisengyttja enthält weniger *Pisidien* als die untere und schon keine *Bosmina* mehr, dafür namentlich in ihren obersten und am Verembach auch in ihren untersten Schichten viele Einlagerungen von Holz (wohl zumeist *Pinus montana*) und Moos, u. zw. fast ausschließlich das Bachmoos *Cratoneuron irrigatum*. In dieser oberen Gytjtja sind nach den Angaben von Ing. Rüsck und eigenen Knochenfunden die beiden Hirschskelette unter der Douglashütte (Fig. 7a) und im Veradelta (Fig. 6) gefunden worden, deren Geweihe die Direktionsräume der Illwerke schmücken. Das vom Veradelta ist sehr viel breiter ausladend als das abgebildete, welches dafür stärkere Stangen besitzt. Die jenes umschließende Gytjtja enthält 68% *Picea*- und 13% *Abies*-Pollen und ist, da allgemein diese obere Gytjtja das zweite Fichten- und das absolute Tannenmaximum enthält, als spätsubboreal, d. h. bronzezeitlich, zu datieren.

Während die Profile bei der Douglashütte mit dieser subborealen, die Konkretions- und Moos-schichten enthaltenden Gytjtja abschließen, folgen darüber am Südostufer und besonders im Veradelta (Fig. 6 und Taf. XXI/XXII) sehr mächtige, in die Seehalden übergehende Sand- und Kiesschichten, in welchen der Gehalt an Baumpollen und namentlich an Fichtenpollen sehr rasch abnimmt. Der Übergang in den Sand erfolgt meist sehr rasch; dagegen läßt sich im Verembacheinschnitt ein allmähliches Ausklingen des Feindetritus erkennen, der schließlich noch in Form linsenförmiger Gytjtjaeinlagerungen in den durchwegs schon ganz pollenarmen, vielfach tonigen Feinsanden auftritt. Diese Ablagerungen sind somit zweifellos subatlantisch.

Es ergibt sich die wichtige Tatsache, daß mit dem Verschwinden des Fichtenwaldes die Gytjtjabildung im Lünser See aufhört und durch eine rein minerogene Sedimentation ersetzt wird, wie sie sich heute vollzieht.

Die obersten Gytjtja- und untersten Ton- und Sandschichten sind stellenweise reich an Fossilien: Käfer (nach Bestimmung von Dr. W. Kühnelt besonders Elytren einer *Chrysochloa* aus dem Subg. *Romalorina*, von welcher Ing. Rüsck auch zahlreiche ganze Stücke in einer unterseeischen Kluft unter dem Seebord zusammen mit den Schnecken *Succinea oblonga* und *Limnaea truncatula* fand, ferner *Hoplia farinosa*, *Aphodius* cf. *inquinatus* u. a. nicht bestimmbar Resten), Cladoceren (*Alona affinis* und Ehippien von *Daphnia pulex*), Rhizopoden (*Diffugia* und *Centropyxis* sp.), Diatomeen (Arten von *Cyclotella*, *Fragilaria*, *Campylodiscus*, *Surirella*, *Gyrosigma*, *Pinnularia*, *Cymbella* u. a.), Conjugatén (z. B. *Cosmarium* sp.), Moose (außer viel *Cratoneuron* auch *Brachythecium* und *Polytrichum* sp.) und Blütenpflanzen (*Carex firma*, *Salix herbacea*, *Dryas*

*octopetala*, *Rhododendron hirsutum*, *Campanula pusilla*, Compositen-achänen u. a.)

Da diese Arten wohl noch alle heute am und im See leben und ihre Reste somit auch weiterhin in seine Sande und Tone eingebettet werden, liegt somit die Bildung eines subatlantisch-rezenten Dryastons vor. Ein ähnlicher Fall war meines Wissens bisher nur vom Tornetråk in Schwedisch-Lappland bekannt (vgl. Gams 1927).

Herrn Ing. Singer verdanke ich noch folgende Beobachtungen über das Verembachdelta:

„Der in den Südostwinkel des Sees mündende Cavelljochbach durchschneidet oberhalb 1940 *m* eine harte alte Nagelfluh, die auf plattigen Kalken der Raibler Schichten aufliegt. Das jüngere Delta des Baches besteht in Höhe des Seebordes aus Sand mit Schotterlagen und tiefer unten aus braunem Sand, der in Höhe 1910 auf kohligem Schweb (= Schwefeleisengyttja, Verf.) mit Wurzelstöcken und Holzresten aufruchte. Im Bacheinschnitt reichte der Seeschlamm einige Meter höher bis an den Steilabbruch der durch dünne Sandsteinblättchen schrägschichteten Nagelfluh des älteren Deltas. Auffallend war die Zähigkeit des von Pflanzenfasern durchzogenen Schlammes, der beim Anschlagen mit dem Hammer federte ohne zu brechen, und der im Bachgeschiebe in runden Knollen vertreten war.

Das westlich anschließende kleine Schotterdelta ruhte etwa bei 1930 *m* auf braunem und blauem Seeschlamm auf, dessen sanft gerundete Oberfläche von einem mehr als 1 *cm* starken Filz aus langen grünen Fadenalgen überzogen war, der sich in großen Flecken abheben ließ.“

Ob die erwähnte Nagelfluh wirklich eine so alte, eventuell interglaziale Bildung darstellt, muß ich dahingestellt sein lassen.

Die paläobiozönotische und klimageschichtliche Auswertung der stratigraphischen Befunde bleibt dem folgenden Kapitel vorbehalten. Zwei Fragen geologisch-hydrologischer Natur seien aber vorweggenommen: die bereits bei der Morphometrie berührte nach den früheren Wasserständen und diejenige nach den Ursachen für den geschilderten Fazieswechsel.

Lundqvist weist mit Recht darauf hin, daß man bei Schlüssen auf frühere Wasserstände äußerst behutsam sein muß und solche in der Regel nur aus der Abflussschwelle (dem „Paßpunkt“) benachbarten Linienprofilen ziehen kann. Die Sedimentationsgrenze kann in verschiedenen Teilen desselben Sees in sehr verschiedener Tiefe liegen, und das ist zweifellos im Lünensee von je her der Fall gewesen. Einen oberirdischen Abfluß hat er, seitdem er vom Gletscher verlassen ist, wohl nie mehr besessen, und gerade an den senkrecht abstürzenden Dolomitwänden unterm Seebord liegt die Sedimentationsgrenze in großer, überhaupt noch nicht festgestellter Tiefe. Die in Klüften der Stirnwand gefundenen Sinterbildungen sagen darüber nichts aus. Da heute bei der großen Armut an Plankton wohl auch in größerer Tiefe keine Gyttja mehr, sondern nur Ton zu erwarten ist, können wir auch die Bedingungen für die Bildung der Schwefeleisengyttja im Lünensee selbst nicht mehr direkt ermitteln.

Es ist aber wohl sehr wahrscheinlich, daß die eingelagerten Kies- und Sandschichten einer vermehrten Wasserführung der Bäche entstammen und auch einen höheren Seestand anzeigen und für die Bildung der obersten Kies- und Sandschichten des Veradeltas, die über die unteren mit sehr deutlich viel geringerem Gefälle transgredieren (Taf. XXI, Fig. 10), dürfen wir wohl eine länger dauernde Folge von Hochwasserständen verantwortlich machen.

Weitere Anhaltspunkte bieten die alten, bereits von Löwl und Klebelsberg beschriebenen Uferlinien. Löwl konstatierte deren 11, von denen diejenige des Niederwassers von 1887 bei 1937·5 *m*, die 2. bei 1938·5 *m*, die 7., dem historischen Mittelwasser entsprechende, bei 1940·8 *m*, die 8. bei 1941·5 *m*, die 9. bei 1942·2 *m* und der Saum des Strandgürtels, entsprechend den höchsten Hochwässern, bei 1945·0 *m* liegt. Erst durch die Absenkung wurden noch tiefere Strandlinien bloßgelegt, so nach Klebelsberg eine 2 *m* breite und auch an den Stirnwänden durch 3 bis 4 auffallend helle Horizontalstreifen angedeutete in 1933 *m* Höhe. Ob wir diese in die Wärmezeit und besonders in deren subborealen Abschnitt ansetzen dürfen, dessen Mittelwasser darnach durchschnittlich 7 *m* unter demjenigen der historischen Zeit gelegen hätte, oder aber in die Zeit vor der Bildung der Gyttja, kann ich nicht entscheiden. Die in den Kjesalden ausgeprägten, z. B. auf Taf. XVIII sichtbaren Uferlinien sind selbstverständlich sehr viel jünger.

Zu einem Verständnis der Schwefeleisenablagerung und der sehr wahrscheinlich mit ihr in Verbindung stehenden Korrosionsercheinungen können wir nur durch Analogieschlüsse aus anderen Seen gelangen, wo sich ähnliche Vorgänge noch heute abspielen. Leider wissen wir in dieser Hinsicht über die meisten Alpenseen noch fast gar nichts. Beide Erscheinungen sind durch Götzinger aus dem Lunzer Obersee und durch F. Heim aus dem Walchensee beschrieben worden. Dieser ist, wie der Lünser See, ein durch tektonische Vorgänge geschaffener, rein oligotropher Alpensee, der jedoch in nur 802 *m* Höhe liegt. Die Schwefeleisengyttja bildet in ihm eine dünne Schicht über den glazialen Bänder-tonen und wird von mächtigen Kalksedimenten überlagert. Damit ergibt sich dasselbe Bild, das ich für den auch schon von Götzinger untersuchten Lunzer Untersee feststellen konnte, welcher nur 608 *m* hoch liegt. Die Schwefeleisenschicht gehört in ihm einem sehr frühen Abschnitt des Postglazials, wahrscheinlich dem Bühl-Gschnitz-Interstadium an. Ähnliches dürfte auch für andere kalkreiche Seen der Nordalpen und des Alpenvorlands gelten, so für den Würm-, Kochel- und Tegernsee, aus welchen sämtlich zwischen 580 und 730 *m* gelegenen Seen Ule und Breu See-Erzbildungen anführen, über deren Bildungsverhältnisse und Alter aber nichts bekannt ist, außer, daß sie sich heute schwerlich bilden können. Ähnlich wie der Walchensee scheint sich nach Ampferer auch der 830 *m* hoch gelegene Achensee zu verhalten, aus dem jedoch noch keine Eisensedimente bekannt sind, wogegen der 1802 *m* hoch am Arlberg gelegene Spullersee nach den spärlichen vorliegenden Angaben (Ampferer, Geilhofer) mehr dem Lünser See gleichen dürfte, mit dem nach einer 1929 gemachten Feststellung auch der benachbarte Tiilsunasee übereinzustimmen scheint.

Bisher kenne ich nur drei Alpenseen, in welchen noch heute eine Ablagerung von Eisensedimenten stattfindet. Es sind dies der Lunzer Obersee (1113 m), der Seealpsee im Allgäu (1629 m), aus welchem ich Herrn H. Lotze in Obersdorf Schlammproben verdanke, und der Ritomsee im Val Piora (1831 m). (Vgl. Fig. 8.) Ob sich im Ritom, der bis 1917/18 im Tiefenwasser große Mengen Schwefelwasserstoff enthielt, der aber mit der künstlichen Ablassung in den genannten Jahren verschwand, noch heute Schwefeleisensedimente in größerer Menge bilden, scheint mir fraglich und könnte erst durch stratigraphische Untersuchung der Sedimente dieses Sees entschieden werden.

Da im Lunzer Obersee die Bildung der Eisensedimente nach Götzingers Bodenfazieskarte erst in Tiefen von mehr als 5 m stattfindet und nach meinen Untersuchungen wohl erst im Subboreal be-

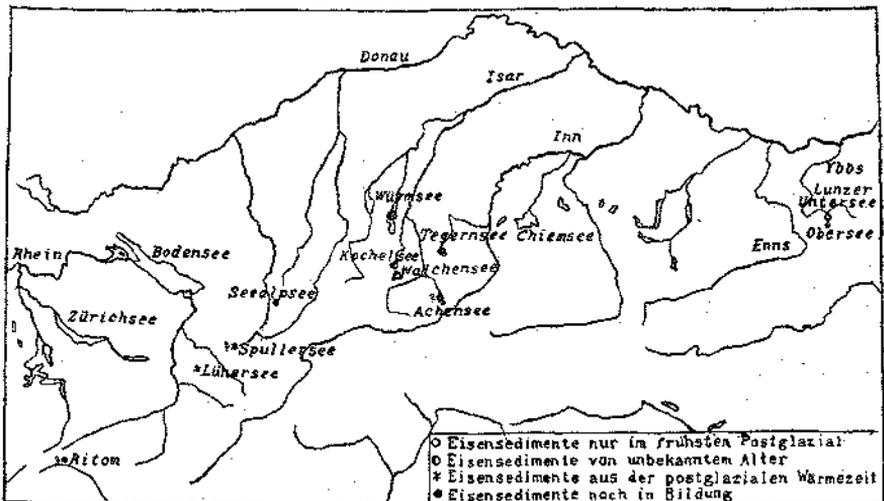


Fig. 8. Verbreitung der Eisensedimente in einigen Alpenseen.

gonnen hat und da der Schwefeleisenschlamm des Ritomsees mindestens zum großen Teil auch schon eine fossile Bildung sein dürfte, liegt der Schluß sehr nahe, daß die Bedingungen für die Bildung von Eisensedimenten heute in den Alpen nur in einer Höhe von etwa 1100—1800 m verwirklicht sind. Damit würde aufs schönste übereinstimmen, wenn ähnliche Bildungen in tiefergelegenen, wärmeren Seen nur im Spätglazial, in höher gelegenen, wie im Lüner See, nur in der Wärmezeit entstehen könnten.

Bevor wir die Bedingungen für die Eisenablagerung in Alpenseen weiter untersuchen, wollen wir die Verhältnisse in Fennoskandien und Nordrußland heranziehen, wo die Verbreitung der See-Erze genauer als in den Alpen bekannt ist. Aus der im wesentlichen nach Lundqvist und Lamanskij zusammengestellten Kartenskizze, Fig. 9, geht hervor, daß die See-Erze in Fennoskandien streng an das Fichtengebiet gebunden sind und nur ganz vereinzelt in das Areal der Buche übergreifen. Wenn mir auch für Nordschweden und Norwegen keine genügenden

Daten vorliegen, scheint es doch, daß sich weder in den am meisten ozeanischen, noch in den kontinentalsten, noch in den arktischen Teilen Fennoskandiens See-Erze bilden.

Auf die regionale Verteilung der Erzseen in Südschweden haben vor allem Naumann und Lundqvist hingewiesen. Aus flüchtiger Betrachtung ihrer Arbeiten und Karten könnte man den Eindruck gewinnen, als ob sich in Fennoskandien See-Erze und Kalksedimente ausschlossen und somit ein prinzipieller Gegensatz gegenüber den Alpen bestünde. Das ist aber nicht richtig. Vielmehr beschreibt Lundqvist ausdrücklich solche Seen, in denen sich zuerst Kalk- und später Eisensedimente gebildet haben, z. B. Lovsjön und Sjögarpsjön, die sich somit ähnlich verhalten wie der Lunzer Obersee.

Wenn er jedoch (z. B. 1927, S. 106) seine so wertvollen Befunde so auslegt, als ob allgemein die „Kalkseen“ die Tendenz hätten, sich in „Eisenseen“ umzuwandeln, so ist dazu zu bemerken, daß sein Untersuchungsgebiet zum weitaus größten Teil in dasjenige Gebiet fällt, in welchem die Eisensedimente offenbar mit der heutigen Klimaxvegetation in einem Abhängigkeitsverhältnis stehen, was aber eben nur für ganz bestimmte Klimagebiete gilt.

Die schon 1918 von Sundelin und 1924 von Lundqvist an småländischen Seen und 1927 von demselben auch am Örträsk gemachte Feststellung, daß hier die Bildung der Eisenschlamme regelmäßig erst mit der subatlantischen Klimaverschlechterung nach der Ausbreitung der Fichte einsetzt, verdient besondere Beachtung. Wenn auch für die Eisenausfällung, wie Lundqvist annimmt und für Schweden Naumann, für Karelien und das Weiße Meer Perfiljev nachgewiesen haben, in erster Linie Wasserorganismen, sowohl Bakterien wie Algen, verantwortlich zu machen sind, ergibt sich doch aus der räumlichen und zeitlichen Verbreitung der Eisensedimente ein ganz auffallender, auch schon von Lundqvist angedeuteter Zusammenhang mit der Podsolierung der Wald- und Heideböden, d. h. der Auswaschung der Humus- und Eisenkolloide. Diese Podsolierung ist am stärksten im eigentlichen Nadelwaldgebiet und nimmt nicht, wie man nach älteren Darstellungen vermuten könnte, mit zunehmender Ozeanität und abnehmender Temperatur unbegrenzt zu, sondern nimmt, ganz ähnlich wie auch das Hochmoorwachstum, nach einem in der Nadelwaldzone gelegenen Optimalbereich sehr rasch wieder ab, um über der Waldgrenze ganz aufzuhören, wie Nordhagen 1928 sowohl für Skandinavien wie für die Karpathen und Alpen nachweisen konnte.

Damit glaube ich den Schlüssel für das Verständnis der Verbreitung der Eisensedimente auch in den Alpen gefunden zu haben, denn auch in ihnen deckt sich ihr Verbreitungsgebiet mit dem der Nadelwälder und der in den Kalkgebieten allerdings nur sehr schwachen Podsolierung. Leider wissen wir über die Verbreitung und klimatische Bedingtheit der Böden in den Alpen noch sehr wenig, können aber aus den von Maurer, de Quervain u. a. für die einzelnen Höhenstufen und besonders die Wald- und Baumgrenze zusammengestellten Daten soviel entnehmen, daß ein einfacher Parallelismus etwa mit bestimmten Isothermen nicht besteht. Wenn somit z. B. die 9°-Januar-Isotherme in den Nordalpen

ungefähr in der Höhe der oberen Fichtengrenze verläuft, während sie in Skandinavien ungefähr mit der Laubwaldgrenze zusammenfällt, so ist vor allem auch die andere jahreszeitliche Verteilung der Sonnenstrahlung in Erwägung zu ziehen. Sicher aber entsprechen sich die Fichtengebiete im N und im S auch klimatisch und edaphisch, und es kann kein Zufall sein, daß in beiden Gebieten Eisenseen gerade in den Gebieten stärkster Humusbildung und Podsolierung auftreten.

Durch die Auswaschung der Eisenverbindungen aus den oberflächlichen Bodenschichten sind die Vorbedingungen zu ihrer Anreicherung in Gewässern und namentlich in solchen ohne oberirdischen Abfluß, wie dem Lünen See und Lunzer Obersee, gegeben, und es bedarf dann

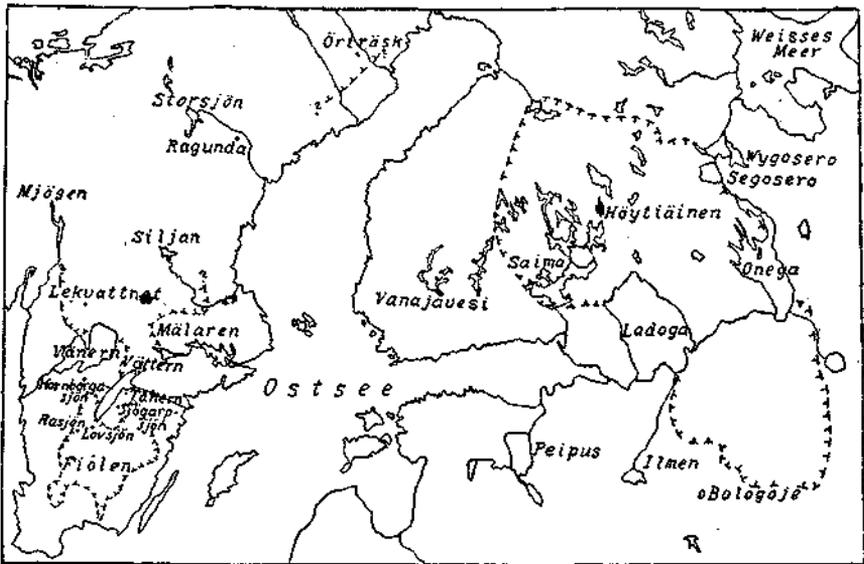


Fig. 9. Verbreitung der See-Erze in Schweden (nach Lundqvist), Finnland und Nordrußland (nach Lamanski) und Lage einiger stratigraphisch besonders gut untersuchter Seen.

nur noch günstiger Lebensbedingungen für die eisenausscheidenden Organismen, damit es zu organogenen Eisenablagerungen kommt. Auf die sehr umfangreiche, die Alpenseen allerdings sehr vernachlässigende Literatur hierüber braucht um so weniger eingegangen zu werden, als eine treffliche neue Übersicht von Cholodny vorliegt. Es sei nur entgegen verbreiteten Ansichten in Erinnerung gebracht, daß organogenes Schwefeleisen sich sowohl in eutrophen Süß- und Salzwässern (besonders in echtem Faulschlamm) wie in oligotrophen und dystrophen Binnengewässern und, wie z. B. Perfiljev gezeigt hat, auch im Meere bilden kann. Eine gewisse Eutrophierung oder genauer Anreicherung organischer, fäulnisfähiger Stoffe scheint jedoch das Zustandekommen solcher Ablagerungen sehr zu begünstigen, und eine solche ist ja in den Waldgebieten überall gegeben.

Mit Naumann (1918) können wir folgende Gruppen von Eisenverbindungen in Süßwasserablagerungen unterscheiden: 1. Ferrioxyde und Hydroxyde, 2. Schwefelverbindungen (FeS und Zwischenstadien zu hexaedrischem Pyrit und rhombischem Markasit), 3. Ferroverbindungen (Siderit und Vivianit).

Während im Lunzer Obersee nach Mulley und Wittmann ähnlich wie in den fennoskandischen Erzseen anscheinend nur oder doch stark vorwiegend oxydische Eisenverbindungen abgelagert werden, stimmt der Lüner See darin mit dem Ritom überein, daß mindestens der überwiegende Teil des Eisens als Sulfid gebunden ist. Der Ursprung des Schwefelwasserstoffs ist wohl auch derselbe, indem in beiden Seen anstehender Gips die Schwefelquelle bildet. Wie Dügge für den Ritom nachgewiesen hat, wird  $H_2S$  hauptsächlich durch *Microspira desulfuricans* aus dem Gips reduziert (vgl. S. 549). Da der Lüner See nicht bakteriologisch untersucht ist, gehe ich auf die Rolle der verschiedenen Schwefelbakterien nicht ein (vgl. Bavendamm, Dügge). Zur Vermeidung von Mißverständnissen sei jedoch betont, daß solche Schwefeleisengyttjen, wie die des Lünerees, Tilisunasees und Ritomsees nicht oder nur zum kleinsten Teil durch Fäulnisprozesse zustande kommen, also keine eigentlichen Faulschlamme oder Sapropel sind (im ursprünglichen Sinne Lauterborns, nicht in dem von Potonié unzweckmäßigerweise erweiterten, wie er sich leider in der deutschen, skandinavischen und russischen Literatur eingebürgert hat).

Bei der Desulfuration des Gipses und bei der Fäulnis von Eiweißkörpern wird außer Schwefelwasserstoff auch Kohlensäure gebildet, und hiemit, eventuell auch mit der Bildung freier Mineralsäuren (vgl. S. 549), möchte ich die außerordentlich starken Korrosionserscheinungen am anstehenden Gestein und auf den Moränenblöcken in Zusammenhang bringen, die bereits Löwl und Klebelsberg treffend beschrieben haben (Taf. XIX und Taf. XXIII). Völlig entsprechende Bildungen haben Götzing in den Lunzer Seen und F. Heim im Walchensee gefunden. Das Gestein ist wabenförmig zerfressen, u. zw. bilden sich lauter mehr oder weniger kugelige, oft nur mit kleinen Poren nach außen mündende und teilweise miteinander verschmelzende Hohlräume von 1—4 cm Durchmesser. Soviel scheint sicher, daß bei dieser wabenförmigen Korrosion im Gegensatz zu der rillenförmigen der Karren und Furchensteine weder endopetrische Algen noch grabende Trichopterenlarven beteiligt sind, es sich vielmehr um eine rein chemische Auflösung handelt. Von ihr ergriffen sind alle unter dem früheren Niederwasserniveau gelegenen, nicht durch Sedimente geschützt gewesenen Felsflächen, sowohl die des Hauptdolomits wie die der Raibler Schichten, dagegen nicht die Strudellöcher unterm Seebord und andere durch Moränenmaterial geschützt gewesene Flächen. Wie bereits Klebelsberg festgestellt hat, ist die Korrosion durchwegs jünger als die Gletscherschliffe, dagegen mindestens zur Hauptsache älter als die Inkrustation durch Kalkalgen, da diese stellenweise, allerdings nur ausnahmsweise, auch in die Hohlräume hineinreicht. Dieser Umstand spricht dafür, daß die Korrosion schon lange vor der Spiegelsenkung zur Ruhe gekommen ist oder doch an Intensität stark abgenommen hat. Die ein-

fachste Erklärung scheint mir die zu sein, daß die Korrosion wie die Bildung der Schwefeleisengyttja zum größten Teil in der Wärmezeit vor sich gegangen ist, indem durch Bakterientätigkeit reichlich Kohlensäure gebildet wurde, von der sich Bläschen im Algenbesatz der Felsflächen fingen und diese anätzten. Zu einer ähnlichen Erklärung ist auch F. Heim für den Walchensee gekommen.

Über eine noch ältere, jedenfalls nicht subaquatische, sondern subaerile Korrosion vgl. S. 544.

### VIII. Vegetations- und Klimageschichte.

Einen allgemeinen Überblick über die Vegetationsgeschichte des Rätikons habe ich in der Heimatkunde von Vorarlberg (Wien 1929) gegeben und in der beigegebenen Moorkarte 1:200.000 auch die etwa 50 Punkte eingetragen, aus welchen Moorprofile von mir und meinen Kollegen in Vorarlberg, Liechtenstein und den Grenzgebieten gesammelt und untersucht worden sind. Im folgenden beschränke ich mich auf den Rätikon und stütze mich außer auf die Lüner-See-Profile auf folgende drei Moorprofile: ein von mir im Paß des Schweizertors 2150 m Höhe entnommenes und untersuchtes, ein von Firbas über dem Tilisunasee in 2200 m Höhe geholt und ein von P. Keller auf Lischgads 960 m über Seewis im Prättigau untersuchtes; doch gründet sich die Datierung auf die Vergleichung mit den Befunden der weiteren Umgebung, namentlich auch des Bodenseegebiets. Sämtliche Profile ergänzen und bestätigen sich auf das schönste.

Aus präborealer und borealer Zeit haben wir nur Seeablagerungen aus dem Lüner See und von Lischgads. In beiden erreicht der Föhrenpollen vom gewöhnlichen Typ 88—91 %, doch handelt es sich im Lüner See offenbar um *Pinus montana*, im Prättigau um *P. silvestris*. Der übrige Baumpollen besteht auf Lischgads aus Fichte, Birke und Hasel, im Lüner See aus *Pinus Cembra* (in zwei Profilen bis zu 12 %), zu welcher erst etwas später Lärche und Fichte hinzutreten.

Sehr wahrscheinlich bestand zunächst nur eine untere *Pinus silvestris*- und eine obere *Pinus montana*-Stufe, jene mit eingestreuten Birken und rasch einwandernder Hasel, diese mit eingestreuten Lärchen und Arven; doch bildete sich frühzeitig, wohl auch noch im Präboreal, zwischen beiden ein Fichtengürtel aus.

Sehr bemerkenswert ist der Fund von zwei Pollenkörnern von *Hippophae* in der ältesten pollenführenden Gyttja unmittelbar über dem Bändertone des Verembachprofils. Der Sanddorn war im Präboreal nicht nur rings um die Ostsee, sondern auch im Alpengebiet sicher verbreiteter als heute, wie aus Pollenfunden in den Schweizer Alpen (Keller), in Oberschwaben (Bertsch), im Allgäu und in Tirol (noch unveröffentlichte Untersuchungen) hervorgeht. Dasselbe gilt sehr wahrscheinlich auch für die noch im obersten Montafon und am Südhang der Schesaplana erhaltene *Juniperus sabina*, trotzdem der paläontologische Nachweis noch aussteht.

Die Hasel und die Arten des Eichenmischwalds haben sich in den Alpen, wie P. Keller an Hand zahlreicher Diagramme ausführt, in den

Bündner Tälern erst später ausgebreitet als im Alpenvorland; doch dürfte das Haselmaximum von Lischgads auch noch boreal sein.

Die Weißtanne tritt schon vor dem Haselmaximum, die Erle dagegen sowohl auf Lischgads wie in den Lünser Profilen erst nach diesem auf; es bestätigt sich somit die schon 1923 von Firbas vertretene Ansicht, daß die Drose (*Alnus viridis*) in einem großen Teil der Ostalpen die letzte Eiszeit nicht überdauert hat. Wohl aber scheint dies am Alpenrand der Fall gewesen zu sein, sowohl im Rheintal (nach einem Profil vom Bödele über Dornbirn), wie am Ostrand (nach den Lunzer Profilen, in denen die Erle gleichfalls lange vor dem Haselmaximum, wahrscheinlich schon im Gschnitz-Daun-Interstadium, auftritt) und erst recht am Südrand, von wo sie frühzeitig über den Brenner gewandert zu sein scheint (Fund im Gschnitztal, vgl. Gams 1927, S. 377).

Wo die Alpenrosen überdauert haben, läßt sich auf Grund der spärlichen Fossilfunde noch nicht übersehen, doch treten ihre charakteristischen Schildhaare in den Profilen vom Schweizertor, Bödele und Bregenzer Wald (Alberschwend, Sulzberg) durchwegs erst nach der Ein-

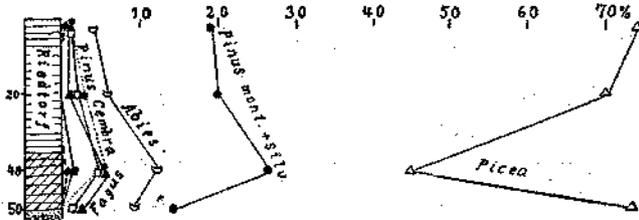


Fig. 10. Pollendiagramm aus dem Moor am Schweizertor 2150 m.

wanderung der Tanne auf. Wären die Alpenrosen schon präboreal in den Nordalpen vorhanden gewesen, so wäre ihr gänzlich Fehlen in allen bisher untersuchten Dryasfloren des Alpenvorlands unverstänlich.

Für ein früheres Vorkommen der Zwergbirke im Rätikon haben sich bisher keinerlei Anhaltspunkte ergeben; dagegen sind die Beweise für die wärmezeitliche Erhöhung der Vegetationsgrenzen hier besonders eindrucksvoll (Fig. 5 und 10).

Das Moor am Schweizertor ist wie das von Schreiber und Firbas von Tilisuna beschriebene ein totes „Riedmoos“. Es besteht aus 50 cm mächtigem Radicellentorf und trägt in den trockeneren Teilen ein stark erodiertes *Trichophoretum caespitosi*, in den feuchteren Bestände von *Carex Goodenowii*, *Eriophorum angustifolium* und *Scheuchzeri* und *Juncus triglumis*. Die unterste Schicht, unmittelbar über Sand, besteht aus Radicellen von *Carex Goodenowii* und *inflata* und Moosen der Gattungen *Philonotis*, *Drepanocladus* und *Brachythecium*. Sie enthält ziemlich viel Rhizopoden und Algen (*Cosmarium* sp., *Euastrum oblongum* u. a.), ist also in einem sauern Tümpel gebildet worden. Im Torf darüber treten Schuppen von *Rhododendron hirsutum*, Sporen von *Selaginella selaginoides* und Pollen von *Menyanthes* und Compositen auf. Das Pollendiagramm stimmt mit dem von Tilisuna bis in Einzelheiten überein und entspricht

ganz offenbar dem der Schwefeleisengyttja des Lüner Sees: Während der ganzen Zeit des Moorwachstums ist *Picea* viel stärker vertreten als *Pinus* und ihre Kurve zeigt überall deutlich zwei Gipfel, zwischen welche ein solcher der Tanne und Buche fällt, welcher offenbar früh-subboreal ist. Die Moorbildung beginnt sowohl am Schweizertertor wie am Tilisunasee zur Zeit des ersten Fichtenmaximums und des ersten Auftretens der Buche, also am Übergang vom Atlanticum zum Subboreal (4. Jahrtausend v. Chr.), und reicht nur bis ins Subboreal, wahrscheinlich nicht einmal bis zu dessen Ende, da der Rückgang der Fichtenkurve kaum mehr angedeutet ist. Ganz dasselbe zeigt ein Profil vom Silbertaler Winterjöchel (Harder und Lorenz, S. 697).

Auch im Profil von Lischgads dominiert die Fichte zweimal: einmal zu Beginn der Wärmezeit vor dem hier wohl spätborealen Haselmaximum und dann erst wieder in geschichtlicher Zeit. Den beiden Fichtengipfeln der höher gelegenen Profile entsprechen dagegen zwei Tannengipfel.

Auch am Lüner See erreicht der Tannepollen 13%, am Schweizertertor 12.2 und auf Tilisuna 15.3%. Diese scheinbare Zunahme mit der Höhe ist wohl wie die von Auer, Overbeck u. a. konstatierte Zunahme des Föhrenprozents über der Waldgrenze mit dem besseren Flugvermögen dieser Arten zu erklären.

Unmöglich ist es aber, das wärmezeitliche Überwiegen des Fichtensporens hierauf zurückzuführen und wenn vielleicht auch über dem Tilisunasee keine Fichten und Tannen mehr wuchsen, so doch jedenfalls um den Lüner See, dessen wärmezeitliche Ablagerungen auch eine reine Waldflora (unter anderem Sporen von *Dryopteris*- und *Asplenium*-Arten) und Waldfauna (Fig. 7a und b) enthalten. In vermutlich gleichaltrigen Ablagerungen des Spullersee wurde auch ein Elchskelett gefunden (vgl. Geilhofer). Firbas schloß aus dem Tilisunaprofil auf eine Erhöhung der Baum- bzw. Waldgrenze um wenigstens 300—400 m. Nachdem heute die Waldgrenze schon bei 1500 m, die Baumgrenze bei 1700 m liegt, dürfte die maximale Verschiebung sogar eher über 400 m als weniger betragen haben.

Es fragt sich nun, in welchem Abschnitt der Wärmezeit die Vegetationsgrenzen ihren höchsten Stand erreicht haben und ob, wie bisher die meisten Autoren stillschweigend angenommen haben, die größte Ausbreitung mit der größten Wärme zusammenfällt. Während ich 1922—1923 mit Sernander und Nordhagen der Ansicht war, daß das Wärme maximum ins Subboreal falle, schloß ich mich 1924 gleich v. Post und Sandegren der Meinung G. Anderssons an, daß die atlantische Eichen-schwaldzeit das Wärmemaximum enthält.

Aus den Profilen vom Lüner See, Schweizertertor und Tilisuna geht wohl hervor, daß der Fichtenwald am Ende des Atlantikums und im späteren Subboreal seinen höchsten Stand zweimal erreicht hat. Andererseits kulminieren aber einerseits die Hasel und Arve und andererseits eine Reihe wärmeliebender Sumpf- und Wasserpflanzen (*Phragmites*, *Cladium*, *Najas flexilis* u. a.) ganz bestimmt schon im Boreal und ich neige daher ebenso wie Rudolph, Firbas und Bertsch zu der früher besonders von Schreiber und Sundelin vertretenen Ansicht, daß das Wärmemaximum bereits in die boreale Zeit, ja vielleicht noch vor deren

eigentlichen Beginn fällt. Dafür würde besonders auch die Strahlungskurve von Milankovitsch mit ihrem Maximum der Sonnenstrahlung vor zirka 10.000 Jahren sprechen. Daß damals, wie z. B. aus den neuesten Karten Sauramos und Munthes hervorgeht, das nördliche Fennoskandien noch von Inlandeis bedeckt war und de Geers mit der Bipartition des Inlandeises zusammenfallender „Beginn des Postglazials“ erst über 1000 Jahre später (um 6810 v. Chr.) fällt und auch in den Alpen die Fichtenwälder (wohl aber vielleicht die Arven- und Lärchenwälder, worüber aber noch zu wenig Daten vorliegen) noch nicht ihren höchsten Stand erreicht hatten, läßt sich ungezwungen damit erklären, daß die Abschmelzung der gewaltigen Eismassen und die Ausbreitung der Bäume erhebliche Zeit beanspruchten, wesentlich mehr als die der genannten Sumpf- und Wasserpflanzen, und die Abschmelzung überhaupt erst bei einer stark erhöhten Sonnenstrahlung erfolgen konnte.

Früher hat auch C. A. Weber eine ähnliche Ansicht vertreten und die Grenzhorizontzeit für boreal gehalten, sich aber später von ihrem subborealen Alter überzeugt. Umgekehrt sind eine ganze Reihe früher von Nordhagen und mir als subboreal gedeutete Austrocknungshorizonte, wie die des Pollinger Kalktuffs, des Kolbermoors und Krutzelfrieds, boreal.

So ist das präboreale und boreale Klima noch reich an Rätseln, worauf besonders v. Post und Firbas hingewiesen haben, z. B. in bezug auf die Ausbreitung der Fichte und anderer Pflanzen. Manches mag durch die ganz andere Richtung des Golfstromes erklärt werden können, der sich noch nicht durch den Kanal in die Nordsee ergießen konnte. Ich halte v. Posts hauptsächlich auf die Verbreitung der winterblütigen Hasel und des ebenfalls milde Winter fordernder *Cladium* gegründete Annahme, daß im ganzen milde Winter und trockene, heiße Sommer vorherrschten, für zutreffend und somit die zuletzt von P. Keller vertretene Ansicht, daß das Maximum der Kontinentalität in die boreale Haselzeit falle, für unzutreffend. So kehre ich mit Bertsch, dessen auf ein zu kleines Gebiet gegründeten klimageschichtliche Folgerungen ich im übrigen für übereilt halte, zu der schon längst von Briquet, Beck v. Mannagetta u. a. vertretenen Ansicht zurück, daß die Haupteinwanderung des xerothermen oder richtiger xerischen Elements schon in präborealer Zeit erfolgt ist, wie ich unter anderem für *Hippophae* und *Juniperus sabina* angedeutet habe.

Für die frühatlantische Zeit stellt Keller elf Durchschnittsspektren aus verschiedenen Höhen der Ostschweiz zusammen, wodurch ein gutes Bild von den damaligen Höhenstufen entsteht, das in den Hauptzügen jedenfalls auch für den Rätikon gilt: Bis etwa 900 m herrscht der Eichenmischwald (über Dornbirn zeitweise sogar bis über 1100 m), von zirka 900 bis 1200 m der Tannen- und von 1200 bis 2100 m der Fichtenwald, der in den Zentralalpen wohl auch noch den größten Teil der subalpinen Lärchen-Arvenwälder und in den Ostalpen die ganze heutige Krummholzstufe durchsetzt. Wäre eine solche über den damaligen Fichtenwäldern ausgebildet gewesen, so könnte der Fichtenpollen in den damaligen Torfschichten an und über der Waldgrenze nicht so stark vorherrschen.

Die Hauptausbreitung der Buche fällt in den Übergang von der Stein- zur Bronzezeit. Im Gegensatz zu den Nadelhölzern scheint sie als ein Baum der mittleren Höhenlagen nie wesentlich höher gestiegen zu sein als heute, sondern hauptsächlich nur ihre horizontale Verbreitung geändert zu haben; doch dürfte sie in der Wärmezeit ähnlich wie heute in den Südalpen stärker als heute an nebelreiche Berglagen gebunden gewesen und hier früher als weiter unten erschienen sein, in den östlichsten Alpen bereits im Boreal. Während des Linden-Eichenmaximums erreicht sie am Bödele über Dornbirn bereits 4·3, am Lüner See 2·5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, in der eigentlichen Buchenzeit am Schweizertor (Ferntransport!) 5·2 und auf Tilisuna 2·5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>. Ins Prättigau ist sie erst wesentlich später eingewandert als in den Bregenzer Wald, wo sie auch heute höher steigt.

Mit den Vegetationsgrenzen haben sich auch die des Moorwachstums, der Podsolierung und der Gytjtabildung gehoben und später wieder gesenkt. Daß alle Moore über der heutigen alpinen und polaren Waldgrenze und mindestens die große Mehrzahl der subalpinen und subarktischen Moore tot sind oder daß mindestens der Abtrag den Zuwachs überwiegt, kann nach den Untersuchungen von Rudolph, Firbas, Keller und dem Verfasser in den Alpen und im Riesengebirge, von Peterschilka u. a. in den Karpaten, von Stark u. a. im Schwarzwald, von Hesmer im Harz, von Auer in Lappland als gesicherte Tatsache gelten. Wie ich in meiner ersten Lunzer Arbeit ausgeführt habe, liegt die Grenze des Hochmoorwachstums in den Nordalpen heute fast überall bei ziemlich genau 1000 m, was auch meine seitherigen Beobachtungen in Vorarlberg und Tirol bestätigen. Auch wenn wir mit einer wärmezeitlichen Erhöhung dieser Grenzen um 400—500 m rechnen, hätten sich über der heutigen Waldgrenze im Rätikon keine eigentlichen Hochmoore bilden können, was auch durch alle bisher untersuchten Profile bestätigt wird.

Auch die Tatsache, daß sich über der Waldgrenze heute keine eigentliche Gytja mehr bildet, ist in Schweden schon länger bekannt, ist aber meines Wissens in den Alpen bisher nicht beachtet worden.

Die Art, wie die wärmezeitliche Gytja des Lüner Sees und wahrscheinlich auch des Tilisunasees nach dem Sinken der Fichtengrenze von Feinsand (und in größerer Tiefe vermutlich von Ton) abgelöst wird, dürfte ebenfalls noch aus keinem anderen Alpensee bekannt sein, ist dagegen für Interglazialprofile geradezu charakteristisch. Auch nach dem Fossilbestand können wir daher sagen, daß die wärmezeitlichen Ablagerungen hier gewissermaßen in interglazialer Fazies erscheinen.

Die subatlantische Dryasablagerung stimmt mit den spätglazialen Dryastonen im Vorkommen von Käfern, Moosen (*Cratoneuron* sp., *Bryum* sp., *Polytrichum* sp. u. a.), *Salix herbacea* und *Dryas* überein, unterscheidet sich jedoch außer durch ihre mehr sandige Beschaffenheit durch das Fehlen von *Betula nana*, höhere Wassertemperaturen anzeigenden Wasserpflanzen und Mollusken, wogegen die in den Alpen allgemein vertretene Landschnecke *Arianta arbustorum* zusammen mit aus Dryastonen bisher nicht bekannten Blütenpflanzen, wie *Carex firma* und *Rhododendron hirsutum* auftritt.

Der Pollengehalt dieser Schicht ist sehr gering und entspricht im wesentlichen schon den heutigen Höhenstufen (fast so viel *Pinus* wie *Picea*). Anzeichen für eine subatlantische Erniedrigung der Höhengrenzen unter den heutigen Stand, wie sie unbedingt zu erwarten wären, wenn Schreibers früher auch von mir vertretene Datierung des Daunstadiums als subatlantisch zurecht bestünde, konnte ich ebensowenig finden wie Firbas.

Anfänglich glaubte ich in den von Singer und Klebelsberg als über dem Seeschlamm abgelagert angesehenen Moränen endlich ein solches Anzeichen gefunden zu haben; aber nachdem sich diese Annahme als irrtümlich herausgestellt hat, bin ich gleich Firbas und Rudolph zur Ansicht gelangt, daß eine wesentliche Erniedrigung der Vegetationsgrenzen unter den heutigen Stand mit der postglazialen Klimaverschlechterung nicht eingetreten ist.

Wohl aber dürften auch noch in geschichtlicher Zeit vorübergehende Erhöhungen eingetreten sein. In den Lüner-See-Profilen und in den toten Alpenmooren sind Beweise hiefür nicht zu erwarten, doch sehe ich einen Anhaltspunkt darin, daß, wie mir Herr Landesforstinspektor Hofrat Henrich mitteilte, die Alpe Lün oder Vera, die heute nur noch eine Galtviehalpe ist, in früheren Zeiten von Milchvieh bestoßen war. Für mehrere Pässe des Montafon ist ganz wie für die des Wallis u. a. im Mittelalter ein stärkerer Verkehr als in der Neuzeit sicher bezeugt.

Dagegen dürften die Sagen, daß auch einmal an Stelle des Schesaplanagletschers und der Todtalp einst blühende Alpen gewesen seien, falls ihnen ein historischer und nicht einfach aus anderen Gebieten entlehnter Kern zugrunde liegt, in vorgeschichtliche Zeiten zurückreichen.

## Literatur.

Ampferer O. und Ascher H., Über geologisch-technische Erfahrungen beim Bau des Spullerseewerkes. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 75, Wien 1925.

Ampferer O. und Pinter K., Über geologische und technische Erfahrungen beim Bau des Achenseewerkes in Tirol. Ebenda, 77, 1927.

Ampferer O. und Berger J., Vom geologischen Aufbau der Achenseeufer, seine Auswirkung bei der Spiegelabsenkung. Schweizer Bauzeitung, 93, 1929.

Arni Paul, Geologische Forschungen im mittleren Rätikon. Diss. Zürich, Solothurn 1926 (siehe auch Schardt und Arni).

Auer V., Untersuchungen über die Waldgrenzen und Torfböden in Lappland. Comm. Inst. quæst. forest. Finl., 12, 1927.

Bachmann H., Das Phytoplankton der Fioraseen nebst einigen Beiträgen zur Kenntnis des Phytoplanktons schweizerischer Alpenseen. Zeitschrift für Hydrologie, 4, Aarau 1923.

Barbisch Hans, Vandans. Eine Heimatkunde aus dem Tale Montafon. Innsbruck 1922.

Bavendamm W., Die farblosen und roten Schwefelbakterien des Süß- und Salzwassers. Pflanzenforschung, 2, 1924.

Beck Paul, Eine Karte der letzten Vergletscherung der Schweizer Alpen. Mitteilungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft in Thun, 1, 1926.

Bertsch K., Klima, Pflanzendecke und Besiedlung Mitteleuropas in vor- und frühgeschichtlicher Zeit nach den Ergebnissen der pollenanalytischen Forschung. Berichte der Römisch-germanischen Kommission, 18 (1923), 1929.

Bourcart F. E., Les lacs alpins suisses. Etude chimique et physique. Thèse Arch. sc. phys. et nat. Genève, 1906.

Cholodny N., Die Eisenbakterien. Pflanzenforschung, Jena 1926.

Düggeli M., Die Schwefelbakterien. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 1919.

— Bakteriologische Untersuchungen am Ritomsee. Zeitschriften für Hydrologie, 2, Aarau 1924.

Eder-Schwyzler Jeanne, Chemische Untersuchungen am Ritomsee vor und nach der Absenkung. Ebenda, 1924.

Escher von der Linth A., Geologische Bemerkungen über das nördliche Vorarlberg und einige angrenzende Gegenden. Denkschriften der Schweizer Naturforschenden Gesellschaft, 1853.

Firbas F., Über einige hochgelegene Moore Vorarlbergs und ihre Stellung in der regionalen Waldgeschichte Mitteleuropas. Zeitschrift für Botanik, 18, 1926.

Flaig W. und H., Burgen an der Grenze. Selbstverlag, Dornbirn 1928.

Gams H., Übersicht der organogenen Sedimente nach biologischen Gesichtspunkten. Naturwissenschaftliche Wochenschrift, 36, 1921.

— Die Geschichte der Lunzer Seen, Moore und Wälder. Internationale Revue der Hydrobiologie und Hydrographie, 18, 1927.

— Beiträge zur Kenntnis der Vegetation schwedischer Seen. Ergebnisse der IV. I. P. E. 1925, Bern 1927.

— Der Bergsturz von Balderschwang im Allgäu. Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereines für Schwaben und Neuburg, 1928.

— Sedimentation und Vermoorung der Lunzerseen und des Lünnersees. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie, 4, Rom 1929.

Geilhofer R., Das Spullerseeewerk. Schriften des Vereines für Geschichte des Bodensees, 53, 1926.

Geitler L., Über die Tiefenflora an Felsen im Lunzer Untersee. Archiv für Protistenkunde, 62, 1928.

Götzinger G., Die Sedimentierung der Lunzerseen. Verhandlungen der Geologischen Reichsanstalt, 1911.

— Geomorphologie der Lunzer Seen und ihres Gebietes. Internationale Revue der Hydrobiologie und Hydrographie, 1912.

Harder R. und Lorenz A., Pollenanalytische Untersuchungen an alpinen Mooren. Zeitschriften für Botanik, 21, 1929.

Heim Albert, Geologie der Schweiz. Leipzig 1919—1922.

Heim Fritz, Die Sedimente des Walchensees. Suppl. Archiv für Hydrobiologie (in Vorbereitung).

Keller Paul, Beiträge zur Kenntnis der nacheiszeitlichen Waldentwicklung in der Ostschweiz. Beihefte zum Botanischen Zentralblatt, 45, 1928.

Klebensberg R. v., Vom abgesenkten Lünnersee. Mitteilungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines, 28. II 1927.

Lamanskij, Karte der Bodenschätze Rußlands. Enzyklopädie Brockhaus-Jefron, 1899.

Löwl F., Der Lünnersee. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines, 19, 1888.

Lütschig O., Über Niederschlag und Abfluß im Hochgebirge. Veröffentlichung der hydrologischen Abteilung der Schweizer Meteorologischen Zentralanstalt. 1926.

Lugeon Jean, Niederschlagskarte der Schweiz (Periode 1901—1925). Zürich 1929.

Lundqvist G., Linnisk diatoméockra och dess bildningsbetingelser. Sveriges Geol. Unders. C 320, 1924.

— Utvecklingshistoriska insjöstudier i Sydsverige. Ibid. 330, 1925.

— Methoden zur Untersuchung der Entwicklungsgeschichte der Seen. Aberhaldens Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. IX, 2, 1925.

— Örtträsket och dess tappningskatastrofer, Sver. Geol. Unders., C 340, 1927.

— Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. Die Binnengewässer, 2, Stuttgart 1927.

Maurer J., Billwiler R. und Hess Cl., Das Klima der Schweiz. Frauenfeld 1909.

Mojsisovics, E. v., Beiträge zur topischen Geologie der Alpen, 3. Der Rätikon (Vorarlberg). Jahrbuch der Geologischen Reichsanstalt, 23, Wien 1873.

Munthe H., Några till den fennoskandiska geokronologien och isavsmältningens knutna frågor. Sver. Geol. Unders., C 358, 1929.

- Mylius H., Geologische Forschungen an der Grenze von Ost- und Westalpen. München 1912.
- Naumann Einar, Om järnerts förekomstssätt i limniska avlagringar. Sver. Geol. Unders., C 289, 1919.
- Die Bodenablagerungen des Süßwassers. Archiv für Hydrobiologie, 13, 1921.
- Södra och mellersta Sveriges sjö- och myrmarker, deras bildningshistoria, utbredning och praktiska betydelse. Sver. Geol. Unders., C 297, 1929.
- Oberdorfer E., Lichtverhältnisse und Algenbesiedlung im Bodensee. Zeitschrift für Botanik, 20, 1928.
- Penck A. und Brückner E., Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1901—1909.
- Perfiljev B., Zur Methodik der Erforschung von Schlammablagerungen. Berichte der Borodinschen Biologischen Station in Karelien, 5, 1927.
- Über die Mikrobiologie der limnischen Bodenablagerungen. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie, 4, Rom 1929.
- Post, L. v., Vänerbassängens strandlinjer. Geol. Fören. Förh., 51, 1929.
- Rothpletz A., Geologische Alpenforschungen, II. München 1905.
- Rndolph K., Die bisherigen Ergebnisse der botanischen Mooruntersuchungen in Böhmen. Beihefte zum Botanischen Zentralblatt, 45, 1928.
- Sauramo M., The quaternary geology of Finland. Bull. Comm. geol. Finland, 86, 1929.
- Schardt H. und Arni P., Die Entstehung des Lünnersees. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 71, 1926.
- Schmassmann W., Die Bodenfauna hochalpiner Seen. Suppl. Archiv für Hydrobiologie, 3, 1920.
- Schmidt A. R., Geognostische Karte von Vorarlberg. Innsbruck 1839—1841.
- Schreiber Hans, Die Moore Vorarlbergs und des Fürstentums Liechtenstein. Staab 1910.
- Seidlitz, W. v., Geologische Untersuchungen im östlichen Rätikon. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg i. Br., 1906.
- Sererhard Nicolaus, Einfalte Delineation aller Gemeinden gemeiner dreien Bünden, 1742, herausgegeben von C. v. Moor. Chur 1872.
- Singer Max, Gutachten über den Lünner See mit Karte und Profilen. Manuskript, 1926.
- Thomasson H., Methoden zur Untersuchung der Mikrophyten der limnischen Litoral- und Profundalzone. Abderhaldens Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden, IX, 2, 1926.
- Trümpy D., Geologische Untersuchungen im westlichen Rätikon. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, 46, II, 1916.
- Vonbun F. J., Die Sagen Vorarlbergs. Innsbruck 1889.
- Zimmermann W., Über Algenbestände aus der Tiefenzone des Bodensees. Zeitschrift für Botanik, 20, 1927.
- Zschokke Fr., Die zweite zoologische Exkursion an die Seen des Rätikon. Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel, 9, 1891.
- Die Tierwelt der Hochgebirgsseen. Denkschriften der Schweizer Naturforschenden Gesellschaft, 37, 1900.
- Die Tiefenfauna hochalpiner Wasserbecken. Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel, 21, 1910.

Karte des Lünernersees 1: 7500. Topographische Aufnahme von der Direktion der Illwerke zur Verfügung gestellt, geologische Eintragungen nach den Aufnahmen von Arni und Singer und eigenen Beobachtungen von H. Gams.

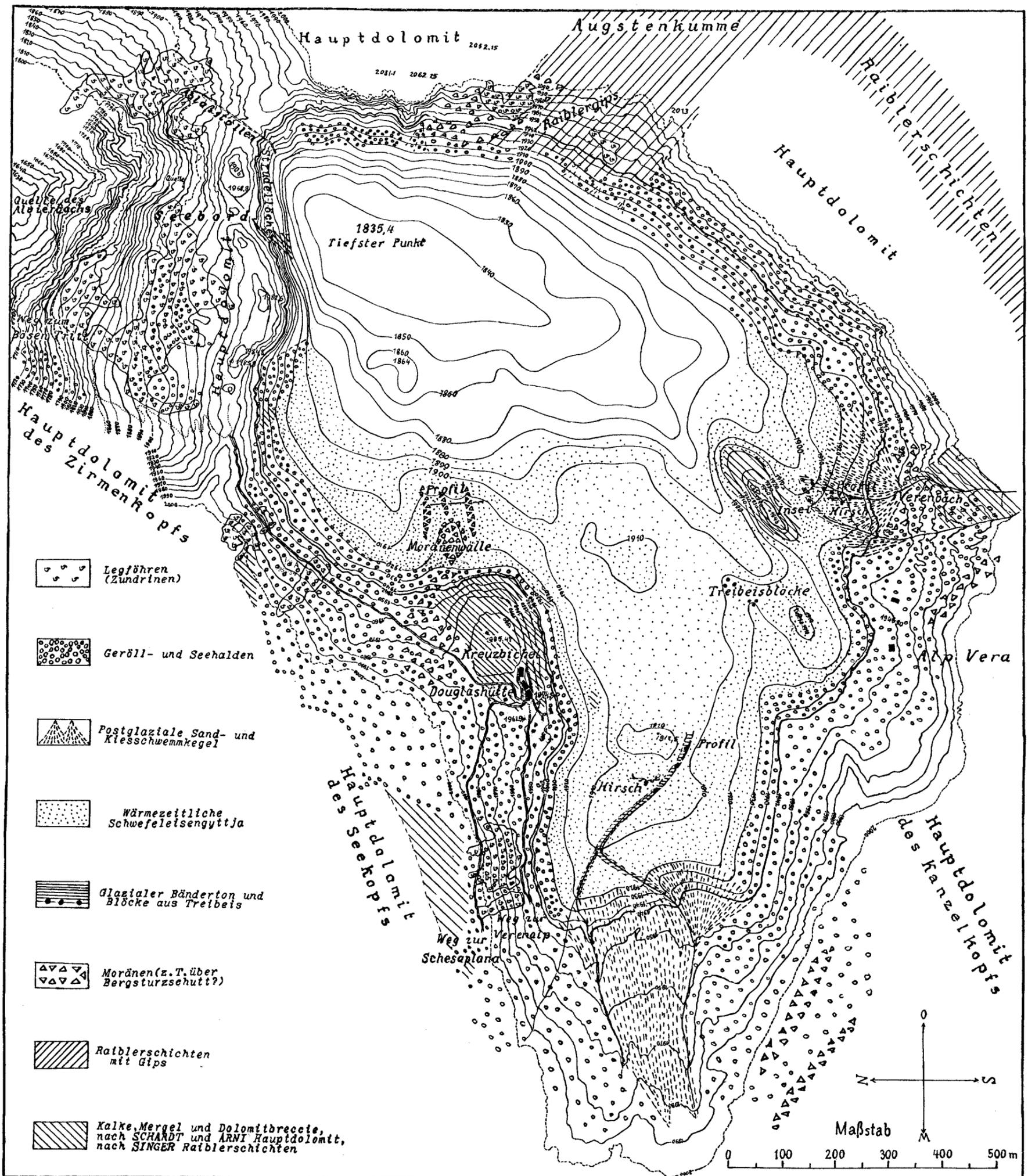




Fig. 1. Der Lünensee vor der Absenkung gegen die Lünerkrinne.  
Aufnahme des Vorarlberger Heimatbilderverlags.



Fig. 2. Die Quellen am Bösen Trilt vor der Absenkung.  
Phot. C. Risch-Lau.



Fig. 3. Der Lünersee bei maximaler Absenkung.  
Nach Postkarte des Vorarlberger Heimatbilderverlags.



Fig. 4. Der Lünersee bei maximaler Absenkung.  
Nach Aufnahme von J. Heggenbart.

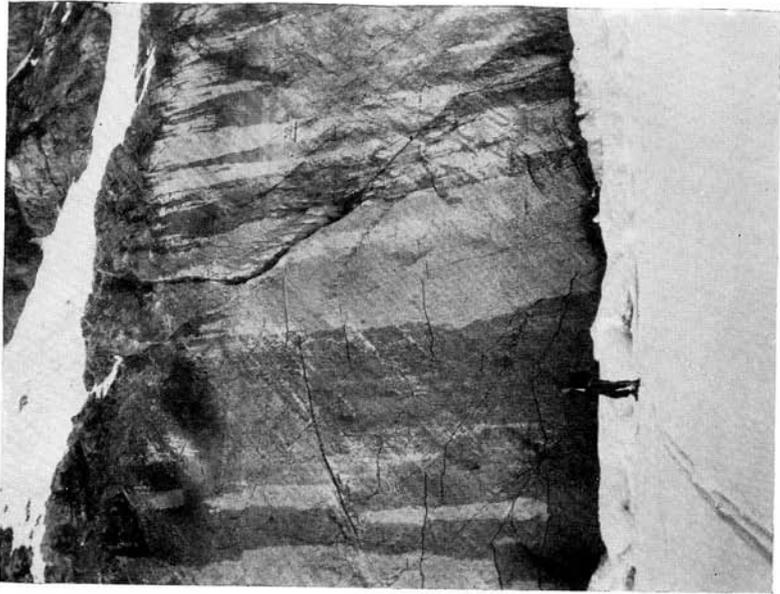


Fig. 6. Korrodierte Hauptdolomitwand mit Strandmarken.  
Phot. Ing. Rössch.

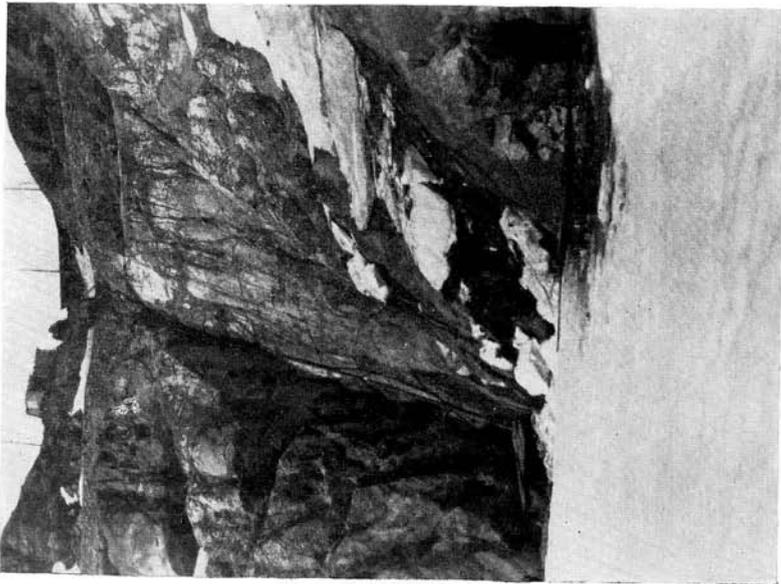


Fig. 5. Verwerfungsstelle unterm Seebord.  
Phot. Ing. Rössch.

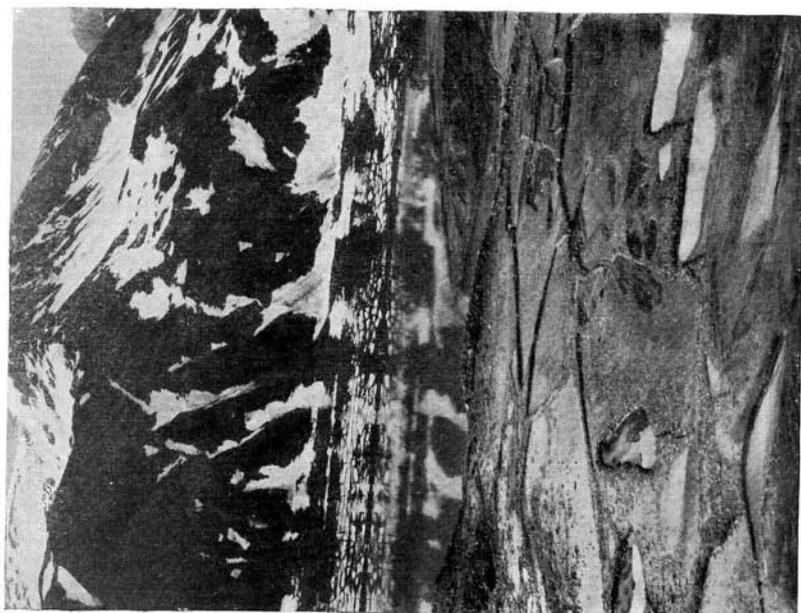


Fig. 8. Felderung der Gytja durch von einem Erdsturz im  
Feber 1926 zersprengte Eistafeln.  
Phot. Ing. Rünsch.

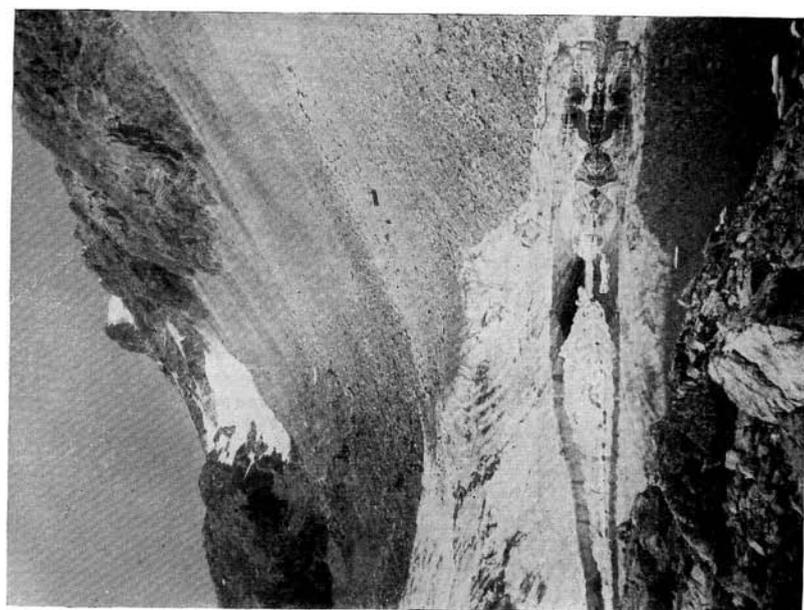


Fig. 7. Der Todtalpsee mit kalbendem Firnfleck.  
Phot. H. Gams. — 4. IX. 1928.



Fig. 9. Bachanriß unterhalb der Douglasshütte mit dem in Textfig. 5 und Tafel XXII links dargestellten Profil.

Phot. H. Gams. 1927



Fig. 10. Die in Textfig. 6 dargestellte Ostseite des Verembachdeltas.

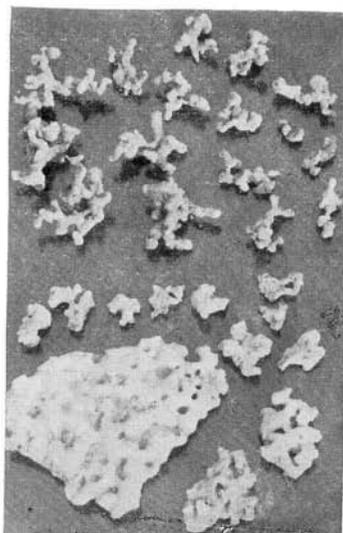
Phot. H. Gams. 1928.



Fig. 12. Ausschnitt aus dem in Textfig. 6 rechts dargestellten Vererbachprofil, einen Hirschtatbknochen in der Gylja zeigend, von der Stange links 80cm sichtbar.



Fig. 11. Das in Textfig. 5 dargestellte Profil unter der Douglas-  
hütte, im Bändertone ein aus Treibeis abgestürzter Block.  
Phot. H. Gams, 1927.



Oben links und unten: Korrodierte und inkrustierte Blöcke auf der Kreuzbichelmoräne.  
Rechts: Algenkonkretionen aus der subborealen Gylltja unter der Douglashütte.

Phot. H. Gams, 1928.