

Wissenschaftliche Veröffentlichungen des D. u. Oe.
Alpenvereins
6.

**Untersuchungen
über den Niedersonthofener See
im bayerischen Allgäu**

Versuch einer exakten Zeitbestimmung
im postglazialen Zeitalter

Von

Adolf Reissinger

Bayreuth

Mit 2 Tafeln

INNSBRUCK 1930

VERLAG DES DEUTSCHEN UND OESTERREICHISCHEN ALPENVEREINS

IN KOMMISSION BEI DER J. LINDAUER'SCHEN UNIV.-BUCHHANDLUNG IN MÜNCHEN

Hergestellt durch F. Bruckmann AG., München

Vorbemerkung

Die vorliegende Arbeit möchte die Entstehungsgeschichte des Niedersont-hofener Sees und darüber hinaus Fragen allgemeinerer Natur behandeln. Besonders möchte sie aber auch berichten über Messungen und Untersuchungen, welche der Verfasser viele Jahre hindurch angestellt hat, um Prozesse der post-glazialen Umbildung aufzuhellen. Es handelt sich dabei vor allem um die Auffüllung des tieferen Seegrundes durch den feinen Schlamm, sowohl was sich alljährlich auf ihm niederschlägt, als auch was sich seit dem Bestehen des Sees schon niedergeschlagen hat. Aus beidem wird sich die Möglichkeit einer absoluten Zeit- oder Altersbestimmung ergeben, die ein Hauptziel des 3. Teils dieser Abhandlung sein wird. Zugleich hoffe ich mancherlei Tatsachen und Gesetzmäßigkeiten berichten zu können, welche auch sonst von Wert sind. — Unvorhergesehene Umstände ließen den See, auf welchen ich weniger durch bewußte Wahl als durch das Spiel des Zufalls geführt wurde, schließlich als ein dankbares Untersuchungsobjekt erscheinen.

Hinsichtlich der Untersuchungsmethoden dürfte diese Arbeit manches bieten, was auch sonst nützlich verwendet werden könnte. Die Mächtigkeit der Schlammschicht, die ein See seit seinem Bestehen abgesetzt hat, festzustellen, ist mir bei diesem Objekt wohl gelungen; auch konnte die Schicht in ihrer Zusammensetzung untersucht werden. Ohne Zweifel wäre es auch bei manchen anderen Seen interessant, ein solches Ziel zu verfolgen. Einen Beweis hierfür erblicke ich z. B. darin, daß Autoren schon öfters sich Gedanken darüber gemacht haben, wie tief wohl der Schlamm des Sees sein könnte, dem sie ihre Arbeit und ihre Mühe gewidmet haben. Es scheint, daß man solche Schlamm-tiefen sehr bedeutend zu unterschätzen geneigt ist. Nachdem ich auch bei einem großen und tiefen See (Starnberger See) eine derartige Untersuchung mit gutem Erfolg unternommen habe, glaube ich sagen zu können, daß dieses Ziel mit in die Arbeitsprogramme aufgenommen werden kann, die in bezug auf Seen auf-zustellen sind. Die in neuerer Zeit aufgestellten enthalten diesen Punkt nicht. Wie meine Versuche beweisen, können solche Untersuchungen sowohl im Som-mer als im Winter bei beliebiger Tiefe des Wassers durchgeführt werden.

Albert Heim hat im Vierwaldstätter See sehr interessante Untersuchungen ausgeführt über die Quantität des Schlammabsatzes. An einem viel kleineren Seeobjekt habe ich nun — allerdings zunächst ohne von den Forschungen Heims Kenntnis zu haben — gleichfalls derartige Versuche angestellt, und ich glaube durch sie gezeigt zu haben, daß man den von Heim beschrittenen Weg in ersprißlicher Weise weiterhin verfolgen kann. So würde ich es als einen Erfolg dieser Arbeit ansehen, wenn man sich in erhöhtem Maße angeregt fühlte, solche erdgeschichtlich ohne Zweifel wichtigen und interessanten Fragen auf-zugreifen.

In dem Schlußwort habe ich näher dargelegt, wie ich durch die Tierchen des Sees auf die Arbeit geführt wurde. Aus diesem Grunde glaubte ich ihnen, beson-ders den so schönen und anziehenden Rädertieren, einen Teil der Ausführungen widmen zu sollen.

Bayreuth, den 10. Juli 1929.

Der Verfasser.

Inhalt

	Seite
Erster Teil: Ueber Glazialerosion	5—20
I. Die Entstehung des Sees	5—13
Die Lage im allgemeinen 5. — Die große Moräne 5. — Absper- rung der Iller 6. — Die Antiklinallinie 7. — Andere Moränen 8. — Felsbecken 8. — Die glaziale Erosion 9. — Die besonderen Ursachen der Entstehung 9. — Ueber die Wirkung der letzten Eiszeit 11. — Die Bedingungen der heutigen Erosion 11. — Die Erosionsterrasse am Hauchenberg 12. — Zusammenfassung 13.	
II. Die einschlägige Literatur	13—17
III. Bemerkungen zu Tafel I	17—20
Zweiter Teil: Naturkundliches über den See im allgemeinen	21—27
Chemie des Seewassers. Durchsichtigkeit. Das Plankton. Die sonstige Lebewelt. Der Seeschlamm im allgemeinen. Sein orga- nischer Gehalt und seine chemische Zusammensetzung. Tem- peratur- und Eisverhältnisse.	
Dritter Teil: Besondere Untersuchungen über den Schlamm und Zeit- berechnung	28—69
I. Die Schlammschicht im ganzen	28—34
a) Erstmalige Durchbohrung der Schlammschicht	28—29
b) Nochmalige Durchbohrung der Schlammschicht und ihre Ergebnisse	30—34
II. Der jährliche Schlammniederschlag	34—45
a) Untersuchungen zur Bestimmung des jährlichen Niederschlags und technische Hilfsmittel	34—39
b) Die versenkten Schlammammelkästen	39—40
c) Beobachtungen über den Schlammniederschlag	41—43
d) Zahlenmäßige Bestimmung des jährlichen Niederschlags und vorläufige Zeitbestimmung	43—45
III. Die Veränderung des Schlammabsatzes in horizontalem Sinne	45—48
IV. Chemische Untersuchungen	48—55
a) Die Analysen	48—52
b) Folgerungen aus den chemischen Untersuchungen, auch für die Zeitberechnung	52—55
V. Die schwebenden Teilchen. Ueber die Schlamm- bildung und über die Klärung des Seewassers	55—57
VI. Die räumlichen Veränderungen	58—60
a) Die früheren Raumverhältnisse des Sees	58
b) Weitere Verbesserung der Zeitberechnung mit Rücksicht auf die räumlichen Veränderungen	58—60
VII. Die Gesamtmasse der Alluvionen	60—61
VIII. Das Profil der Schlammschicht	61—64
IX. Nochmals die Zeitberechnung	64—69
a) Die Grenzen der Untersuchung	64—66
b) Glazialgeologisches und Schlußergebnis	66—69
Schlußbemerkungen	69—70

ERSTER TEIL

Ueber Glazialerosion

I. Die Entstehung des Sees.

Die Lage im allgemeinen. Der Niedersonthofener See ist im Alpenvorland gelegen. Bekannt ist er wohl vielen dadurch, daß die Eisenbahnlinie vorbeiführt; denn der Blick wird beim Vorüberfahren unwillkürlich auf dieses hübsche Naturgebilde gelenkt, das in unmittelbarer Nähe der Station Oberdorf b. I. so schön und offen daliegt, während der Stoffelberg und der Hauchenberg in charakteristischer Weise den Hintergrund bilden. — Die Fläche des Sees mißt 1,301 Quadratkilometer, sein Rauminhalt 13,86 Millionen Kubikmeter, seine größte Tiefe, welche unterhalb Zellen dem nördlichen Ufer näher gelegen ist als dem südlichen, beträgt 21,7 Meter. Hinsichtlich der sonstigen Gestaltung seines Untergrundes sei auf die kartographische Verarbeitung hingewiesen, die im Band 8 der Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München enthalten ist. Aber auch in der hier vorliegenden Abhandlung, und zwar auf Tafel 2, Fig. 1, ist eine Darstellung des Seegrundes in kleinerem Maßstabe zu sehen, ebenso von den Inlseen. — Der Niedersonthofener See hat manches Verwandte mit dem Alpsee bei Immenstadt, der unmittelbar am Fuß der emporsteigenden Alpen gelegen ist. Beide sind, wie auch die anderen oben angeführten Seen, eingebettet in die „Molasse“, welche als Felsuntergrund der Gegend, speziell unseres Sees, von großer Wichtigkeit ist direkt oder indirekt für alles, was uns in dieser Schrift beschäftigen wird. Die Mergelschichten, die grauen mergeligen Sandsteine und die Nagelfluhbänke, aus welchen diese Tertiärbildung besteht, kann man in zahlreichen Aufschlüssen der Umgebung des Sees vortrefflich studieren. Man befindet sich da nahe der Linie, die durch den Hauchenberg markiert ist. So sehr auch dieser Berg an die Immenstädter Nagelfluhketten gemahnt, scheint er doch einem entschieden neueren Abschnitt der Molassezeit zu entsprechen. Denn von jenen rauhen Nagelfluhbergen unterscheidet er sich durch seinen Reichtum an Gneis- und Quarzgesteinen, durch den sich bekanntlich die Nagelfluh der ausgesprochen jüngeren Molasse (Kürnacher Waldgebiet!) — wohl noch in höherem Maße — auszeichnet. Auch enthält der Hauchenberg „Austernagelfluh“, die ich im Hintergrund des „Palasts“ an herabgestürzten Blöcken beobachten konnte. Etwas südlich der Linie (Schrattenbachtobel, Wasserfall) traf ich Blättermolasse, welche vielleicht auch zur Charakteristik des hier vorhandenen Molassehorizontes dienen kann.

Die große Moräne. Von der erwähnten Eisenbahnlinie, die von Waltenhofen nach Oberdorf führt, überschaut man die ganze Niederung, die den See enthält. Die Bahn benützt hierbei einen zwischen beiden Stationen sich hinziehenden Höhenzug, um nicht in die Niederung hinabsteigen zu müssen. Dieser Rücken ist, im ganzen betrachtet, sehr lang und schmal; etwas nördlich der Station Waltenhofen beginnend, erstreckt er sich bis südlich von Oberdorf und verliert sich da, wo das Moos von Eckarts und Seifen beginnt. Man könnte ihn selbst einem gewaltigen Eisenbahndamm vergleichen und er wird einem

geübten Auge schon auf der Landkarte (Positionsblatt) in seiner geologischen Eigenart auffallen wegen seiner im Vergleich zu anderen Erhebungen ganz anders gearteten Form und Streichrichtung. Es ist eine sehr bedeutende, einheitlich aufzufassende Moräne. Aber es ist keine Moräne gewöhnlicher Art, wie sie am abschmelzenden Gletscherrand als „Endmoräne“ abgesetzt und angehäuft wird, sondern eine solche, die sehr wahrscheinlich subglazial, unterm Eis, vielmehr in großen Eistoren oder Eistunnels abgelagert wurde am Grund des sich zurückziehenden Gletschers, nicht weit von seinem Rande. Der ganze Höhenzug erstreckt sich in einer Richtung, die mit der Bewegungsrichtung des ehemaligen Gletschereises übereinstimmt; er trägt, selbst eine große Radialmoräne, auf seinem Rücken drumlinartige Erhebungen (vgl. Positionsblatt), als ob er im ganzen eine zu einem einheitlichen schmalen Gebilde zusammengeschmolzene Drumlinlandschaft wäre. In seinem Innern besteht dieses sehr eigenartige Dokument, das uns der Illergletscher zurückgelassen hat, zum größten Teil aus Kies, in den tieferen Lagen vielfach aus Bänderthon, zu aller-oberst aber meist aus blockhaltiger Grundmoräne. Zahlreiche tiefe Schachtbrunnen auf diesem Höhenzug, z. T. aus alter Zeit stammend, sind kennzeichnend für die besonderen hier vorliegenden geologischen Verhältnisse. Sie konnten wie Aufschlüsse zur Erkundung des Innern der Moräne beigezogen werden. Es kommen auch, besonders bei Rauns, reichliche Lagen vor, die aus feingeschlemmtem Material bestehen, aber grobe Steine vereinzelt eingebettet enthalten; das ist wahrscheinlich so zu erklären, daß in Höhlungen des Eises das feine Material als Schlamm in Wasser abgesetzt wurde, während aus dem darüber sich wölbenden Eis eingebackene Steine gelegentlich herabfielen. — Ostwärts von diesem diluvialen Höhenzug findet sich bei Ried gleichfalls eine Niederung vor, die heute von der Iller durchströmt wird und öfters bei Gelegenheit von Hochwasserüberschwemmungen den Anblick einer seenartigen Fläche gewährt. — Für das alles vergleiche die Darstellung auf der Tafel 2, Fig. 1.

Absperrung der Iller. Die große eiszeitliche Ablagerung, welche wir soeben zu charakterisieren suchten, ist für die Geschichte unseres Sees von mehrfacher Bedeutung. Erstens verdanken wir ihr, daß uns der See bis heute erhalten blieb; zweitens bestimmt sie zum Teil seine heutige Gestalt. Gümbel hat in seinem großen geologischen Kartenwerk Bayerns den Höhenzug gekennzeichnet als einen von diluvialen Ablagerungen bedeckten Molasserücken. Dies ist aber ein wesentlicher Irrtum; er ist von Grund auf nichts anderes als eine radial gerichtete große Moräne, und auch die Idee, es könnte wenigstens der Sockel des ganzen Zuges aus der Molasse bestehen, ist abzulehnen. Diese taucht erst bei der Station Waltenhofen auf; allenfalls könnte sie sonst noch in gelegentlichen inselartigen, auf jeden Fall unbedeutenden Erhebungen sich im Untergrund der Moräne verborgen halten. Es gibt sicher folgende Ueberlegung: Würde man allen diluvialen Schutt, desgleichen alle späteren (postglazialen) Aufschüttungsmassen wegräumen, somit alles entblößen bis auf den Felsuntergrund der Gegend, so würden wir ohne Zweifel eine einheitliche, übertiefte Niederung des Molasselandes vor uns haben, die im Westen bei Niedersonthofen beginnt, ostwärts bis auf die andere Illerseite hinüberreicht und nordwärts bis Gstadt sich erstreckt. Dieses übertiefte Gelände wurde nun durch die Moräne in eine östliche und eine westliche Hälfte geteilt; erstere hat nach dem Schwinden des Eises die Iller mit ihrem Schlamm und Sand bald ausgefüllt, während auf der Westseite in einem stillen, vor der Iller geschützten Winkel sich bis heute noch ein Seebecken erhalten konnte. Waren nun hier die Fluten der Iller durch einen gewaltigen

Damm dauernd abgesperrt, so werden wir doch sehen, wie andere feindliche Mächte am Werk gewesen sind, den See seinem Ende näherzuführen. Zuvor müssen wir seine geologischen Verhältnisse noch etwas genatter kennen lernen.

Die Antiklinallinie. Der See ist im Osten, wie aus dem soeben Gesagten mit Notwendigkeit hervorgeht, durch diluviale Schuttmassen begrenzt und in gewissem Sinn abgedämmt; das gilt insbesondere von seinem östlichen, nach Norden gerichteten Teil, dem sogenannten oberen Inselsee. Die scharfe Biegung nach Norden, die er hier macht, ist dadurch bedingt. So ist auch der untere Inselsee, in geringem Maße auch der mittlere, durch diluviale Massen abgedämmt oder mindestens eingengt. Sonst aber ist alles, was sich in der näheren Umgebung über den Seespiegel erhebt, der Molasse zugehörig; das ganze Gelände südlich vom See ist ein typisches Molassehügelland; es besteht sehr einförmig aus grauen Sandsteinbänken mit dazwischengelagerten Mergelschichten. Die Hügel erheben ihre Kämme in der allgemeinen Streichrichtung, die weithin in gleicher Weise herrschend ist, und zwar steigen die Schichten in dieser Region alle nach Norden auf. So ist es auf der Südseite des Sees. Am Nordufer trifft man auf einmal andere Verhältnisse an; zwar sind es zunächst noch die gleichen Ablagerungen, Sandstein und Mergel, aber die Schichten erscheinen auf einmal umgekippt, nämlich steil nach Norden abfallend; es läßt sich das überall nachweisen das ganze Seeufer entlang, so zum Beispiel auch auf der „Insel“, welche eine reine Molasseerhebung darstellt. In dem eben Mitgeteilten ist die sehr bemerkenswerte Tatsache enthalten, daß eine „Antiklinallinie“ durch den großen See geht und mit dessen Längsachse zusammenfällt. Die Verhältnisse werden nun gegen Norden sehr rasch wieder anders und schon der mittlere Inselsee liegt in einer anderen Region, die sich durch Reichtum an Nagelfluh auszeichnet, hinsichtlich Streichen und Fallen im einzelnen vielerlei Wechsel aufweist und als Fortsetzung der Hauchenberg- und Stoffelbergschichten zu betrachten ist.

Wir müssen uns gestehen, daß diese bemerkenswerte Linie vielleicht nicht eine „Antiklinallinie“ im eigentlichen Sinn des Wortes genannt werden kann, denn allzubald kehrt nordwärts die normale Schichtenstellung wieder mit dem bekannten Einfallen nach Süden. Man müßte logischerweise nicht nur von einer Antiklinalen, sondern auch von einer unmittelbar darauffolgenden Synklinalen sprechen; daß aber der Schichtenkomplex der Molasse hier zweimal umbiegt, ist wegen des engen Raumes ganz undenkbar. So müssen wir, um keine irrigen Vorstellungen zu erwecken, genauere Mitteilungen über die vorliegenden Verhältnisse machen, wenn wir die Bezeichnung „Antiklinallinie“ weiterhin gebrauchen. Sie trifft jedenfalls für den Hauptteil unseres Sees zu, insofern sie den einfachen an beiden Ufern zu beobachtenden Tatsachen Rechnung trägt. Wir haben doppelten Anlaß, näher auf die Sache einzugehen, weil auch Gümbel in seinem Kartenwerk für die Region des Hauchenberges eine Antiklinallinie verzeichnet, die aber nicht mit der obigen identisch ist. Bei Gschwend (Trabers), südlich von Schüttenhofen, geht nach Gümbel eine Antiklinallinie hindurch. Diese Feststellung kann ich aus eigener Erfahrung nur bestätigen (vergleiche auch das schöne Profil in Gümbels „Geognostischer Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes“, Tafel 298). An diesem Punkt hat man wirklich eine Grenzscheide vor sich: Südwärts von ihm herrschen die nach Süden einfallenden Schichtensysteme, die sich an das Gebirge anlehnen und es auch aufbauen helfen; nordwärts aber weithin die nach Norden einfallenden Schichten, welche schließlich zu der horizontal gelagerten jüngsten Molasse überleiten. Diese eigentliche Antiklinallinie nimmt nun von Gschwend an gegen Osten einen etwas anderen Verlauf, als es in der Karte von Gümbel verzeichnet ist. Er läßt sie einfach der Streichrichtung folgen und zeichnet sie parallel der Hauchenbergkammlinie ein, etwas nordwärts gerückt, weil ja auch Gschwend etwas nördlich von dieser Linie liegt. Ich fand aber, daß sie in Disharmonie mit der allgemeinen Streichrichtung geradlinig über die Erhebungen Hintereck und Lübeck verläuft und von da weiterhin gradlinig über Moos (Station) zwischen Osterhofen und Hellengerst hindurchgeht, vielleicht nicht immer ganz eindeutig ausgeprägt. Mit dieser Haupt-

antiklinallinie, die nach Gümbel eine Fortsetzung der großzünftig verlaufenden schweizerischen Molasseantiklinale ist, hat unsere Antiklinallinie nichts zu tun. Diese ist eine Störungslinie, vielmehr ein schmaler Störungsbereich, welcher durch steil oder senkrecht gestellte Schichten sich kennzeichnet, durchaus mit der Streichrichtung geht und sichtlich an die nagelfluhreichen Schichten gebunden ist, nämlich ihnen vorausgeht (von Süden her). Es ist, als ob bei der Aufrichtung der Molasse die nagelfluhreichen Systeme durch einen größeren Widerstand, den sie leisten konnten, diese Anomalie verursacht hätten. Unmittelbar südlich der Stuibenkette sehen wir einen solchen Störungsbereich (vgl. Gümbel, Anton Rösch); desgleichen südlich der Denneberg-Prudel-Kette; ebenso südlich der Thaler-Salmaser-Kette (Konstanzer Tal, Alpsee!); und ganz in diese Reihe gehört unsere „Antiklinallinie“. Ich habe sie beobachten können bei Wiederhofen südlich vom Ochsenberg, dann den Hauchenberg entlang, ferner hinab zum See und von da weiter bis auf die östliche Seite der Iller bei Burgratz (Haneberg). Steigt man hinauf zum Kamm der nagelfluhreichen Höhen selbst, so kann man sich leicht überzeugen, daß da ganz und gar wieder das allgemeine Aufsteigen der Schichten gegen Norden herrschend ist.

A n d e r e M o r ä n e n. Es soll mit den bisherigen Darlegungen nicht gesagt sein, daß, abgesehen von der Ostseite im Gebiet des Sees (ich beschränke mich auf das in der Karte dargestellte Einzugsgebiet), nichts von Moränen zu bemerken sei. Spuren davon kann man gelegentlich an den Seeufern wahrnehmen; auch die zahlreichen allenthalben umhergestreuten erratischen Blöcke, die alle aus Molassenagelfluh bestehen, sind Zeugen des einstmaligen Gletschers. Freilich zu Hügeln angehäufte diluviale Massen finden sich nur noch einmal in dem Gebiet vor, nämlich südlich vom „Wasserfall“ des Schrattenbaches (auf der Tafel zu sehen!). Sie bestehen zumeist aus Grundmoränenmaterial, vom Schrattenbach reichlich erschlossen. Stellen, an welchen sonst noch Moräne sich besonders bemerkbar macht, sind auf der Tafel kartiert. Das oberste Vorkommen dieser Art (*m*) findet sich am Hauchenberg eingetragen (geschrammte Steine, Flysch- und Kalkklötze, Meereshöhe 1080 m). Im übrigen ist es die Grundmoräne mit ihren gelegentlichen Blöcken, welche — freilich sehr mit Unterschied — die ganze Gegend überkleidet, auch den großen diluvialen Höhenzug als oberste Schicht, wie das schon erwähnt wurde. Sie wird uns auf dem untersten Grund des Seebodens wieder begegnen.

F e l s b e c k e n. Wie ist nun eigentlich der See entstanden? Nach den obigen Erörterungen könnte man vielleicht an eine Entstehung durch Abdämmung denken. Davon kann aber niemals die Rede sein. Die Moräne engt nur den Raum ein, der unserem See gewährt ist. Würde aller Schutt entfernt werden, wie das oben schon besprochen wurde, so hätten wir ein reines Felsbecken vor uns, und das würde erst recht einen herrlichen, größeren See bedeuten. Der Beweis liegt sehr einfach darin, daß der tiefste Seegrund, zumal wenn man auch noch die Tiefe des Seeschlammes in Abrechnung bringt, erheblich tiefer liegt als das Molassegelände bei Gstadt, woselbst die Iller die Niederung verläßt und dabei allenthalben die Molasse anschneiden muß. In Wahrheit ist somit die Frage nach der Entstehung des Niedersonthofener Sees identisch mit der anderen: Wie ist die Austiefung im Felsuntergrund, welche zweifellos vorliegt, entstanden; wie ist es zu erklären, daß die Oberfläche der Molasse in dieser Gegend erheblich tiefer liegt als das Illerniveau daselbst? — Hat ein Fluß wie die Iller in seinem Lauf „übertiefte“ Partien, so können sie entweder durch Einsenkung entstanden sein (tektonisch „ertrunkene“ Talstücke) oder es kann in glazialen Gebieten die Gletschererosion zur Erklärung in Erwägung gezogen werden. Im ersteren Falle kann an eine auch die weitere Umgebung betreffende Senkung der Oberfläche gedacht werden; dann bliebe immer noch die Ausbildung des merkwürdigen Reliefs im einzelnen zu erklären übrig, und damit wäre man wieder vor dieselben Schwierigkeiten gestellt. Wenn

man aber, um die Ausbildung der Molasseoberfläche hier im einzelnen zu erklären, Grabensenkungen, tektonische Vorgänge jüngeren Alters, annehmen wollte, so müßte man recht sonderbare und komplizierte Annahmen machen; für die irgendwelche Anhaltspunkte in der Natur nicht gegeben sind. Solcherlei Vorstellungen müssen um so unnatürlicher erscheinen, je besser man mit dem Schichtenbau der Umgebung vertraut ist. Die oben besprochenen tektonischen Anomalien scheiden hier ohnedies aus; denn sie sind so alt, als die Zusammenfaltung der Molasse überhaupt.

Die glaziale Erosion. Ich setze im folgenden eine sehr bedeutende Erosionswirkung voraus, die durch den Illergletscher im gesamten Eiszeitalter hervorgebracht wurde. Die Ueberzeugung von der Richtigkeit dieser Anschauung ergibt sich m. E. unbedingt aus der genauen und kritischen Betrachtung der Oberflächengestaltung in den glazialen Gebieten. Das des Illergletschers ist nach meiner Ansicht allein schon ausreichend, oder vielmehr vorzüglich geeignet, um diese Ueberzeugung hervorzurufen, besonders, wenn man auch die peripherischen Teile dieses Gebietes umfassend in die Betrachtung hereinbezieht, auch die allerältesten diluvialen Ablagerungen bedenkt, die darin vorkommen. — Stehen wir südlich vom See, am Rand des Abhanges, der ziemlich steil geböscht gegen das Südufer abfällt, und überblicken die Seefläche, so mag es uns wohl recht sonderbar vorkommen, zu hören, das Becken soll durch den ehemaligen Illergletscher geschaffen worden sein. Unser Standpunkt ist zirka 90 Meter höher gelegen als der Molassegrund des Seebeckens zu unseren Füßen. Wie soll auf so kurze Entfernung ein solcher Höhenunterschied durch glaziale Erosion geschaffen worden sein, noch dazu durch einen Eisstrom, der nicht wie beim Alpsee in der Längsrichtung der Furche durchfloß, sondern ohne Zweifel quer zur Längsachse des Sees das Gelände überströmte. Hat dort, wo heute der tiefe Grund des Sees sich ausdehnt, die glaziale Erosion so stark gewirkt und hier, wo wir stehen, nicht? Die Antwort darauf müßte m. E. lauten: Auch hier, wo wir stehen, auf dem Kamm des Molasserückens, hat eine sehr bedeutende Erosion stattgefunden, aber dort eine etwas stärkere und der erwähnte Höhenunterschied von zirka 90 Meter sagt aus, um wieviel die Tieferlegung der Erdoberfläche dort vorangeeilt ist der Tieferlegung hier auf der Höhe. Wir müssen bedenken, daß zu Beginn des ganzen Eiszeitalters hier am Niedersonthofener See das Gelände wohl um einige Hundert Meter höher war, vielleicht die Höhe des heutigen Stoffelberg hatte. Da wird uns der besprochene, durch Erosion geschaffene Höhenunterschied wohl nicht mehr so sonderbar erscheinen. Es ist gerade so, wie wenn zwei in der gleichen Richtung um die Wette laufen, von denen der eine nur ganz wenig schneller laufen kann als der andere; entsteht dann mit der Zeit ein großer Vorsprung des einen, so ist dies weniger ein Beweis für die größere Lauffähigkeit desselben, als vielmehr ein Beweis für die Größe der Zeitdauer oder für die Länge des von beiden schon zurückgelegten Weges.

Die besonderen Ursachen der Entstehung. Warum aber hat da unten im Seegrund die Erosion etwas wirksamer sein können? Hierfür lassen sich drei Gründe anführen. Erstens geht durch den See, mit seiner Achse zusammenfallend die besprochene Antiklinallinie. Die hierdurch bedingte Aenderung, namentlich das Senkrechtstehen, mindestens die Steilstellung der Schichten, hat vermutlich die glaziale Erosion begünstigt. Zweitens sind hier in der Längsfurche des Sees offenkundig weichere Schichten vertreten oder vertreten gewesen; darauf weisen die Aufschlüsse des Schrattenbachtobels hin, welche

in der Verlängerung der Achse des Sees und der Streichrichtung seines Untergrundes gelegen sind. Die Nagelfluhbänke fehlen noch ganz, sie treten erst weiter nördlich auf (siehe oben), hingegen sind hier reichliche Mergelschichten wechsellagernd mit dünneren Sandsteinbänken zu denken. Als dritter Grund mag vielleicht eine gewisse mechanische Stauwirkung vermutet werden, welche der Stoffelberg als vorspringender Riegel auf den mächtigen Illergletscher schon in den ältesten Zeiten der glazialen Epoche ausgeübt haben mag. Seine nagelfluhreichen Schichten dehnten sich früher natürlich noch weiter gegen Osten aus und können durch Verstärkung der vorausgehenden Erosion in den endlos langen Zeitläuften mitgewirkt haben, das heutige Relief als Resultat hervorzubringen. Auffallend ist auf jeden Fall die weite Ausräumung des Molasselandes in der buchtartigen Einhöhlung bei Niedersonthofen, welche dem Stoffelberg gerade vorausgeht. Und so mag auch die Hauptfurche unseres Sees mit ihrem heute tiefsten Teil schon lange in diesem Sinne vorbereitet worden sein. — Ich möchte aber den zweiten Grund besonders hervorheben. Die auffallend geradlinige, gleichmäßige Gestaltung des großen Sees in der Streichrichtung der Molasse spiegelt offenkundig die einförmigen geologischen Verhältnisse wieder, welche da herrschen. Unter eben demselben Gesichtspunkt erscheint aber auch die sehr unregelmäßige Gestalt des „mittleren Inlsees“ interessant; er liegt, wie oben schon dargelegt wurde, in der Region nagelfluhreicher Schichten, die im einzelnen hinsichtlich Streichen und Fallen recht wechsellagernd sind und nicht entfernt die Einförmigkeit des südlich gelegenen Schichtensystems aufweisen. Die „Friesinsel“ ist eine scharf aufragende Molasseerhebung, die noch vor nicht langer Zeit einen Kopf von tertiärer Nagelfluh trug, welcher aber jetzt abgetragen ist; auf der gegenüberliegenden Seite des kleinen, verhältnismäßig tiefen Sees findet sich eine flache Nagelfluherhebung von der gleichen Art. Sogar an seinem Südrand, also zwischen dem mittleren und oberen Inlsees bildet anstehende Molasse noch einen, wenn auch unbedeutenden Höcker. Das alles beweist, daß hier sehr unregelmäßige, scharfe, tiefe Mulden eingegraben sind, über welche die Tiefenkarte des mittleren Sees noch genaueren Aufschluß gibt. Es entspricht das ganz den hier herrschenden tertiären Ablagerungen, ihrer wechsellagernden, launischen Struktur und Ausdehnung. Man hat das Wort „selektive Erosion“ geprägt, d. h. es ist so, als ob die erodierenden Kräfte eine Auswahl trafen unter den Schichten nach ihrer Widerstandsfähigkeit, wodurch ein sehr charakteristisches Relief der Landschaft herauspräpariert wird. Hier aber wirkten Kräfte über die ganze Fläche hinweg, und das war keine Wassererosion. Der Gletscher hat in diesem Sinne gewirkt, und zwar nicht gerade am Schlusse eines Zeitraumes, sondern von lang her muß diese Beeinflussung angenommen werden. Man hat vor sich das Endresultat eines langen, in gleichem Sinne wirkenden Prozesses.

Es ist mir wohl bekannt, daß die hier vertretene Auffassung von der Wirkung der Eiszeit ihre prinzipiellen Gegner hat. Der Streit um die Ausmaße der spezifisch glazialen Erosion, obwohl ja nunmehr schon ziemlich alt, ist noch keineswegs beendet. Da möchte ich nun bemerken: Wenn wir mit unseren noch nicht abgeschlossenen Erörterungen über die Entstehung des Niedersonthofener Sees zu einer Erklärung kommen, welche am ehesten den heutigen Tatsachen gerecht wird, so wird ihr im Vergleich zu anderen Erklärungsmöglichkeiten der Vorrang gebühren und die Voraussetzung einer sehr bedeutenden Glazialerosion wird nicht mehr als reine Willkürlichkeit erscheinen, sondern vielmehr eine Stütze gefunden haben. Und wirklich bin ich der Meinung, daß es keine weniger willkürliche Erklärung gibt. Wir werden aber weiter unten noch andere Umstände anführen, die zum Beweis für die hier vertretenen Anschauungen dienen können. — Wegen des Widerspruches mit den obigen Ausführungen zitiere ich folgenden Satz: „Die moderne Eiszeitforschung

kommt ja ganz allgemein immer mehr davon ab, dem Eise so bedeutende Wirkungen zuzuschreiben“ (Dr. E. Fels, „Die bayerische Seenforschung“, Zeitschrift des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins 1924). Ferner lesen wir in der eben genannten Schrift, daß seit dem Beginn der Eiszeit (gemeint ist des ganzen Eiszeitalters, also nach der Penkschen Terminologie seit dem Beginn der Günzeiszeit) das schon vorliegende Becken des Walchensees ziemlich unverändert geblieben, mit Grundmoräne ausgekleidet und abgedichtet worden ist. Man sieht zum mindesten, daß die Ansichten recht auseinandergehen, und daß es wohl wert ist, solche Fragen an unserem See zu erörtern, welcher, so klein er auch ist, wegen der besonderen zufällig vorliegenden Verhältnisse jedenfalls ein interessantes und wertvolles Objekt im Hinblick auf schwebende glazialgeologische Probleme darstellt.

Ueber die Wirkung der letzten Eiszeit. In Tafel 2, Fig. 1, sind auch die dem See zufließenden Bäche eingetragen, doch so, daß die durch sie eingeschnittenen „Tobel“ außer acht gelassen wurden. Man sieht also die Höhenlinien dargestellt, wie sie vor der Bildung der Einschnitte verliefen. Es gehörte zu dieser Rekonstruktion nicht viel Kombinationsgabe, da die Tälchen ganz frisch und scharf in den Abhang eingegraben sind. Diese echt postglazialen Bildungen machen nicht den Eindruck, als ob es so lange her sei, daß das Wasser ohne jegliche Rinne einfach den Bergabhang herabfloß, wie ihn das schwindende Eis zurückließ. — Im Gegensatz zu den Gebieten, die das Eis nicht mehr bedeckte, etwa dem Eschach-Kürnacher Waldgebiet, wo ein ausgebildetes hydrographisches System vorliegt und in welchem kein Punkt vorhanden ist, der nicht in einen der stark verbreiterten Bachrisse einbezogen wäre, hat man hier an den Böschungen der weiten Mulde des ehemaligen Illergletschers nur ganz vereinzelt scharfe Risse vor sich. Diese „Tobel“, für welche der des Schrattenbaches ein besonders schönes Beispiel darbietet, sind Dokumente dafür, daß ein ganz neuer Abschnitt mit vollständig geänderten Bedingungen eintrat. — Was wäre nun, wenn ein neuer Illergletscher aus dem Gebirg herauswüchse und lange Zeit wieder alles bedeckte. Nach den Anschauungen der modernen Eiszeitforschung, der zufolge das Eis der Gletscher eine mehr konservierende Wirkung hat, würden diese Tobelrisse vielleicht verbreitert, aber nicht zum Verschwinden gebracht werden. Denn damit sie ganz verschwinden, müßte der Gletscher eine sehr bedeutende Erosionsarbeit leisten, die aber gerade in Abrede gestellt wird. Der hier angenommene Fall ist jedoch schon dagewesen. In der letzten Interglazialzeit ist gewiß auch Wasser in Form von Bächen seitlich herabgeflossen und es wurden Tälchen ausgebildet. Aber in dem, was die letzte Eiszeit hinterlassen hat, ist nichts dergleichen zu bemerken. Vielmehr muß man, wenn man mit kritischem Blick die ganze Gegend durchmustert, die Ueberzeugung gewinnen, daß eine radikale Ueberarbeitung des ganzen Gebietes stattgefunden hat, so daß die Erosionsleistung, welche allein der letzten Eiszeit zukommt, schon als sehr bedeutend angenommen werden muß. Es würde zu weit führen, das genauer zu verfolgen. Gerade die Mulde des Illergletschers im Alpenvorland würde viel Stoff für derlei Betrachtungen bieten.

Die Bedingungen der heutigen Erosion. In der Karte auf Tafel 2 sind bei den dem See zufließenden Bächen Zahlen eingetragen, welche die Rauminhalte der Tobel oder Bachrinnen angeben, und zwar in Zehntel-Millionen Kubikmeter als Maßeinheit. Die Inhalte dieser durch Wassererosion geschaffenen Hohlformen konnten leicht auf Grund der topographischen Karten vermittelt Planimeter bestimmt werden. Sofort fällt auf, daß innerhalb des Störungsbereiches (AA) auffallend große Zahlen vertreten sind. Sollte dieser Umstand uns nicht veranlassen, genau das oben von der Gletschererosion Gesagte zu übertragen auf die Wassererosion, nämlich daß in dem genannten

Bereich die Erosion erfolgreicher arbeiten konnte? Die auf den Schrattenbach sich beziehende Zahl (200) ist natürlich auch auf Rechnung der größeren Wasserfülle zu setzen; aber doch erscheint sie immer noch unverhältnismäßig groß. Die Steilstellung der Schichten und die weichere Beschaffenheit scheint auch beim Wasser die Erosion erfolgreicher gestaltet zu haben und wir werden umgekehrt auch wieder bestärkt in dem Glauben an unsere Hypothesen bezüglich der Gletscherwirkung.

Die Erosionsterrasse am Hauchenberg. Der Hauchenberg stellt einen langen Rücken dar, der sich etwa in der Höhe 1220 m hält. Bemerkenswert an ihm ist sein Abbruch nach Osten, welcher besonders auffallend und interessant erscheint, wenn man von Freundpolz aus den Berg besteigt. Bis 1080 m findet man noch Moräne, wie oben schon erwähnt; dann beginnt ein steilerer Aufstieg bis 1229 m Höhe. So folgt nebenbei, daß in der letzten Eiszeit der Gletscher mindestens den Fuß dieses steilen Abfalles bespülte. — Wir möchten den markanten Abbruch des Hauchenbergs nach Osten ansprechen als eine durch den Illergletscher bewirkte Erosionsstufe aus altdiluvialer Zeit, und zwar als eine Stufe, welche sich zu bilden angefangen hat zu einer Zeit, da der Talboden der Iller bedeutend höher war als heute; wir denken dabei an eine Differenz von einigen 100 m. Diese Auffassung wird wahrscheinlich gemacht durch einen gewissen Umstand, zu dessen Darlegung ich etwas weiter ausholen muß. Schon Gumbel hebt hervor, daß den Kern des Bergrückens eine sehr mächtige Nagelfluhschicht bildet. Man sieht sie besonders schön entwickelt und erschlossen im „Palast“; das ist eine südlich von Waltrams gelegene Nische im Nordabhang des Berges, auf welche als ein „kleines aber ausgezeichnetes Kar“ A. E. Forster zum erstenmal aufmerksam gemacht hat (Penck und Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter, S. 198). Ueber dieser mäßig gegen Norden aufsteigenden Nagelfluhbank ist noch ein sehr beträchtlicher Schichtenstoß aufgelagert, der aus durchaus schwächeren Schichten besteht und auch Mergellagen enthält nach meinen bestimmten Feststellungen. Jene Nagelfluhbank pflanzt sich seitlich durch das Innere des Berges fort und tritt in gleicher Höhe offen wieder zutage in den „wilden Gräben“ bei Riggis und im Stoffelberg. Hier aber (von Freundpolz bis zum Stoffelberg) ist das obere Schichtensystem weggeräumt durch Erosion, so daß sozusagen nur der Rumpf des Bergrückens übriggeblieben ist. Ist nun dieser Schichtenstoß von Osten her allmählich abgeräumt worden bis auf etwa vier Kilometer oder ist er von oben her durch Tieferlegung der ganzen Linie gleichzeitig abgetragen worden? Setzen wir Gletschererosion voraus, so kommt meines Erachtens nur das letztere in Betracht; denn im ersteren Fall, also bei allmählich fortschreitender Erosion von der Seite her, müßte der vorderste Teil der Stufe (Stoffelberg) jetzt viel tiefer gelegt sein als der innerste Teil (Gelände oberhalb Freundpolz, das $3\frac{1}{2}$ km weiter innen liegt), da ja die Zeiträume der Bearbeitung ungeheuer verschieden wären. Aber beide Teile sind gleich erhalten, von gleicher Höhe. So wird der genannte Schichtenstoß doch wohl nur von oben her gleichzeitig erodiert worden sein. Dieser Prozeß, besonders seine Einleitung, ist aber undenkbar bei einem Relief der Landschaft, ähnlich dem heutigen; hingegen sehr verständlich, wenn gegenüber dem Rücken des Hauchenberges viel geringere Höhendifferenzen angenommen werden. Er hob sich am Anfang der Diluvialzeit wohl überhaupt wenig hervor aus der allgemeinen Umgebung, die flach und wenig skulpiert gewesen sein mochte. — Würde Wasser die Stufe geschaffen haben, so müßte da eine Iller vorhanden gewesen sein, deren Erosionsniveau erst recht sehr viel höher gelegen wäre als

das der heutigen. Und wollte man versuchen von präglazialen Bildungen zu sprechen, so könnte man hinweisen auf verwandte Erscheinungen weiter nordwärts bei Rechtiß, bei Eschach und beim Blender, die alle auf eines hindeuten, auf das diluviale Zeitalter. Es sind großartige Randerosionserscheinungen, die kaum verständlich sind, außer daß wir sie durch den Illergletscher verursacht auffassen. Beim Blender übrigens findet sich nahe dem Gipfel des Berges (Rauhenstein) in 1050 m Höhe diluviale Nagelfluh. Sie ist horizontal geschichtet, von hartem kalkigen Bindemittel, hat ausgefressene hohle Rollsteine, Flyschstücke, spärliche Quarze; krystallinische Stücke fehlen. Diese Kennzeichen würden passen auf den älteren Deckenschotter der Illergegend. Jedenfalls sieht man, daß das rinnende Wasser damals in ganz anderer Höhe floß wie heute, und das trifft zusammen mit einer Grundvoraussetzung, die bei dieser Arbeit überhaupt gemacht wurde.

Zusammenfassung

Ueber die Entstehung des Sees kommen wir zu folgender Anschauung: Er verdankt sein Dasein dem Umstand, daß in dem Felsuntergrund (Molasse) ein Becken ausgegraben ist. Dieses wird von einer großen Moräne durchquert, welche zwar den See räumlich einengt, aber auch durch Absperrung der Iller vor allzufrüher Zuschüttung bewahrt hat. Das Felsbecken ist aller Wahrscheinlichkeit nach dadurch gebildet worden, daß während des gesamten diluvialen Zeitalters vornehmlich durch Gletschererosion die ganze weitere Umgebung in gewaltigem Ausmaß tiefer gelegt wurde, daß aber im Gebiet des Beckens die erodierenden Kräfte ein wenig erfolgreicher arbeiten konnten, wodurch sich bei der langen Dauer immerhin erhebliche Reliefunterschiede herausbilden konnten. Die speziellen Gründe für die erfolgreichere Erosionstätigkeit liegen im Aufbau und in der Zusammensetzung der Molasseschichten, welche den Untergrund des Beckens bilden. Postglaziale Veränderungen haben im übrigen bewirkt, daß der See räumlich bedeutend zurückgegangen ist.

II. Die einschlägige Literatur

Es sind noch einige Schriften zu besprechen, welche auf unseren See Bezug haben. Ueber „Die Entstehung der voralpinen bayerischen Seen“ schreibt Dr. Ludwig Simon eine Abhandlung in den „Forschungen zur bayerischen Landeskunde“. Der Niedersonthofener See ist nach seiner Auffassung in einem typischen Talzug gelegen. Simon denkt dabei, wie es scheint, an Bildung durch ehemalige Wassererosion und hebt den trapezförmigen Querschnitt hervor, der einem Idealprofil nahekommt. Von den drei Inselseen heißt es, daß ihre Beckenform im wesentlichen von der oberflächlichen Bedeckung des Bodens abhängig ist, daß sie also Schuttlandsseen sind. Sie haben durch Senkung des Hauptpiegels den Zusammenhang mit dem größeren See verloren und begleiten perlschnurartig die Flußrinne. Wir zitieren noch folgende Stellen: Die Molasse im Gebiet des Illergletschers hat eine orographisch stark hervortretende Aus-

bildung. Die Härteunterschiede der einzelnen Schichten, die tektonische Zerlegung derselben in Mulden und Sättel, deren Streichrichtungen sich nicht immer durchweg parallel bleiben, schaffen reichliche Vorbedingungen zu Beckenbildungen in Form von Talerweiterungen. Als nun über dieses wellige Gelände sich der Illergletscher lagerte, mußte sich die Unebenheit der Auflagerungsfläche in einer reichlichen Zerspaltung des Gletschers geltend machen. Bei seiner geringen Mächtigkeit konnten wohl auch die Schmelzwasser leicht auf den Grund gelangen und dort die schärfere Ausprägung der Becken durch glaziale Erosion unterstützen. Die Tiefenkarten von so entstandenen Seen geben im allgemeinen kein ruhiges Bild, wobei besonders die Inseen hervorzuheben sind. — Diese Ausführungen Simons lassen erkennen, daß er das heutige Relief der Molasse in der weiteren Umgebung des Sees im wesentlichen durch Wassererosion gebildet sich vorstellt, schon bevor die diluviale Vergletscherung eintrat. Damit wird das nach meiner Meinung zu Erklärende der Hauptsache nach schon vorausgesetzt und die Schwierigkeit in die präglaziale Zeit verlegt. Das ist aber deshalb unstatthaft, weil das Erosionsniveau der Iller zu Beginn des ganzen diluvialen Zeitalters unzweifelhaft beträchtlich höher lag als heute. Besonders ist es der ältere Deckenschotter mit seiner hochgelegenen tertiären Basis, der auf die bedeutenden Veränderungen innerhalb der Diluvialzeit hinweist und welcher nur verständlich erscheint, wenn man das allgemeine Molasseland von damals überhaupt beträchtlich höher annimmt als heute. Daraus folgt aber, daß die Ausbildung des heute gegebenen Reliefs der ganzen Gegend um Kempten in das diluviale Zeitalter fällt. Wir denken da z. B. an den Mariaberg, die Meeresmolasserhebung bei Lenzfried, den Buchenberg, Rottachberg. So geht Simon bei seinen Erörterungen von Voraussetzungen aus, für welche ein Beweis gar nicht versucht wird, und die Annahme, daß die heutige Gegend im wesentlichen schon präglazial vorlag, ist willkürlicher als irgendeine Voraussetzung, welche wir jemals machen konnten. Der Gletscher fand nach Simons Meinung das wellige, orographisch stark ausgeprägte Gelände schon vor und wurde deshalb reichlich zerklüftet. Doch hat wohl der Gletscher die Unebenheit des Untergrundes selbst geschaffen (selektive Erosion). Hinsichtlich der orographischen Ausbildung ist das Tertiärgelände um den Niedersonthofener See ähnlich den Gegenden bei Füssen oder bei Murnau, welche der Austrittsstelle großer Gletscherströme vorgelagert sind. Diese Landschaften, in welchen „die Härtenunterschiede der einzelnen Schichten“ scharf hervortreten, sind in gewisser Hinsicht vergleichbar mit Deflationslandschaften. Eine weithin gleichmäßig und gleichzeitig die ganze Gegend bearbeitende Kraft, das strömende Eis oder der Wind, schafft Wirkungen und Formen, welche einander ähnlich sind. Aus solchen Erwägungen scheint hervorzugehen, daß vorwiegend das Eis das Relief der Gegend unseres Sees geschaffen hat, nicht wie Simon annimmt, das rinnende Wasser. Dabei möchte ich die Einwirkung des Eises von einer Zeitdauer annehmen, wie es kosmischen Verhältnissen entspricht, das heißt nach menschlichem Ermessen ungeheuer lang.

Eine andere Schrift: „Zur Geologie des Grünten im Allgäu“ von Arnold Heim möchte ich erwähnen und dabei folgende Stelle zitieren: „Die auffallende, sanft bogenförmige Talsperre aus SO fallender Nagelfluh von Immenstadt-Buchwald zum Rottachberg beweist, daß dort nirgends ein großer Illertalbruch durchgehen kann, noch der große Illergletscher die Schwelle oder auch nur ihre auffallende Rippung quer zum Strom niedergeschliffen hat.“ Die Stelle betrifft die interessante Rippe von tertiärer Nagelfluh, die sich bei Immenstadt quer durch den

ganzen Illertalgrund hindurchzieht; sie ist zwar einige Kilometer von unserem See entfernt; aber die Bemerkung, welche Arnold Heim über sie macht, steht in inniger Berührung mit unseren obigen Ausführungen über die Entstehung des Niedersonthofener Seebeckens. Heim will zum Ausdruck bringen, daß die Gletscher so gut wie gar keine Erosionsfähigkeit haben; denn nicht einmal die Rippung ist niedergeschliffen, geschweige denn die Schwelle überhaupt weggeräumt worden. Man kann diese Verhältnisse auch von etwas anderer Seite betrachten. Die Talsperre ist die südwestliche Fortsetzung des Rottachberges, mit dem sie in der inneren Struktur genauestens übereinstimmt. Dieser in das Illertal hereinragende Teil hat eine ganz jämmerliche Dezimierung erfahren. Ist es so sicher, daß bei diesem Vorgang das Eis unbeteiligt war? Kann man es den erodierenden Kräften, möglicherweise dem Gletschereis, verargen, daß diese Nagelfluhrippe übriggeblieben ist, das heißt, daß der schließliche Erfolg der endlos langen Arbeit um einen gewissen, verhältnismäßig kleinen Bruchteil zurückblieb hinter dem, was mit weniger harten Schichten weiter nördlich oder südlich erzielt wurde? Ich habe immer gefunden, daß die Gegner der glazialen Erosion sich ihre Polemik sehr leicht machen, indem sie nur die abhobelnde und abschleifende Wirkung der Gletscher voraussetzen, als ob nur darin der Mechanismus dieser Erosion bestehen müßte. Der Untergrund eines Gletschers ist in einer Hinsicht gleichzuachten einer Karwand. Was an einer solchen locker ist, ob groß oder klein, fällt durch die Schwere herab und macht Platz für neue Einwirkung. Auch am Grunde des Gletschers wird alles, was locker ist, ob groß oder klein, vom Eise umschlossen und ganz gründlich weggeräumt. Es ist das auch eine Art von Herabfallen, denn das Eis fließt, auch wenn es einen Abhang hinaufgeht, unter dem Einfluß der Schwerkraft. Wenn da an einer Stelle die Erosion etwas in die Tiefe gearbeitet hat, ist kein Grund vorhanden, daß die Wirkung nicht im gleichen Sinne weitergeht. So spielt auch am Grund der Gletscher die selektive Erosion eine größere Rolle als die abhobelnde Wirkung, und wenn man von diesem Gesichtspunkt die ganze Illergegend betrachtet mit ihren zahlreichen inselartig herauspräparierten Erhebungen, so wird sie uns als Resultat eines solchen die ganze Fläche gleichzeitig bearbeitenden Prozesses allein verständlich. In der Nagelfluhrippe speziell, welche Arnold Heim in seinem Sinne als Beweis anführt, kann das Dokument einer ganz besonders großartigen Glazialerosion erblickt werden in demselben Sinne, in welchem wir das von den Reliefunterschieden am Niedersonthofener See oben ausführlich dargelegt haben.

Nach Abschluß all dieser Ausführungen über die geologischen Verhältnisse des Niedersonthofener Sees wurde ich mit einer zweiten Abhandlung von Dr. Ludwig Simon bekannt, welche die Umgebung unseres Sees berücksichtigt: „Der Rückzug des würmeiszeitlichen Allgäuvorlandsgletschers“, erschienen in den Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München 1926. Sie enthält eine Karte im Maßstab 1:100 000, welche Moränenwälle, ferner Drumlins, spätglaziale Seen, Schmelzwasserrinnen des Iller- und Lechgletschers in farbiger Darstellung verzeichnet. Ich beschränke mich bei Besprechung dieser Karte auf die nähere Umgebung unseres Sees, obwohl mir das kleinere der beiden Gebiete, nämlich das des Illergletschers, durch jahrelange auf solche Erscheinungen gerichtete Untersuchungen unmittelbar bekannt ist. Da das Gebiet, das sich Dr. Simon zur Bearbeitung vorgenommen hatte, sehr groß ist, die Zeit aber, die ihm zur Verfügung stand, nach seiner Angabe nur kurz war, dürfen wir freilich keine fehlerfreie Darstellung im einzelnen erwarten.

Immerhin wird der naive Beschauer der Karte, wenn er z. B. am Nordufer des Niedersonthofener Sees bei Zellen einen kräftigen Wall eingezeichnet sieht, auch wirklich glauben, daß ein solcher da zu finden sei. Was aber in der Natur vorliegt, ist einfach eine langgestreckte Molasseerhebung ohne jede Moränenbedeckung. Alles was hier an dieser Stelle als Moräne eingetragen ist, wäre zu streichen. Der bei Judenried vermerkte Drumlin ist Molasse. Bei Hitzelberg und Steingaden, jenseits der Illerniederung, sind zwei beträchtliche isolierte Hügel vorhanden, welche nach der Karte gleichfalls diluviale Massen von der Art der Drumlins darstellen. Diese Eintragung ist aber ganz und gar irrtümlich; denn die Molasse ist fast bis zum obersten Gipfel aufgeschlossen. Auch in dem Gebiet zwischen Gopprechts und Akkams ist zuviel eingezeichnet. Interessant ist eine Eintragung gerade zwischen Riggis und Freundpolz. Hier ist nach der Positionskarte (1:25000) eine Erhebung vorhanden, welche aus den sonstigen Formen ziemlich herausfällt. Man kann es dem Zeichner der Karte nicht verdenken, daß er glaubte, das müsse eine Moräne sein. Die Natur eröffnet uns aber etwas anderes, nämlich ein Stück einer Molassenagelfluhdecke, die als Erosionsrest übriggeblieben war. Die mächtige Schicht zeigt ganz wie der Bergabhang selbst ein mäßig steiles Aufsteigen gegen Norden. Sie lagerte dem Abhang auf, war aber bis zu diesem inselartigen Rest abgetragen worden. Ganz so zu beurteilen sind weiter östlich gelegene Erhebungen unmittelbar südlich vom Kamm des Stoffelberges. Auch sie haben den Zeichner der Karte verführt, fälschlicherweise Moränenwälle, und zwar recht kräftige, daselbst einzutragen. Steigt man bei Riggis über den Kamm des Bergrückens hinab, so gelangt man in die Weitnauer Talmulde. Hier, unmittelbar unterhalb Riggis, verzeichnet die Positionskarte ein Gewirr von Hügelchen. In der Meinung, Moränen zu entdecken, habe ich einmal eine Exkursion dahin gemacht, traf aber nur Molassegelände an und so sind auch hier die Moränenwälle, welche Simon verzeichnet, unzutreffend. Wohl gibt es im Weitnauer Tal diluviale Ablagerungen; ich erwähne den schönen Jungmoränenwall, der sich von Weiler schief herabzieht zwischen Hub und Bühl hindurch. Aber Simons Karte nimmt viel zu viel solche Gebilde an. Die diluvialen Ablagerungen spielen überhaupt in der ganzen besprochenen Region, wie man sieht, eine ziemlich bescheidene Rolle. Zwar ist die Anhäufung von Grundmoräne öfters eine etwas beträchtlichere; aber sie tritt für gewöhnlich im Gelände nicht hervor; allenfalls gibt sie Anlaß zu schwachen Moorbildungen. Hier möchte ich auch auf die Eintragungen hinweisen, welche auf der dieser Arbeit beigefügten Karte auf Tafel 2 zu ersehen sind. — Bei der früheren Schilderung der geologischen Verhältnisse des Niedersonthofener Sees habe ich den mächtigen diluvialen Höhenzug hervorgehoben, der vom Seifener Moos beginnend sich bis über die Station Waltenhofen hinzieht, zirka 50 Meter die Niederung überragend. Es ist eine einheitliche Moräne, welche vielleicht eine ganz besondere Phase im Schwinden des Eises bezeichnet. Wir finden in der Karte von Simon eine Anzahl Drumlins eingetragen. Die sind ja ohne Zweifel vorhanden und schon auf dem Positionsblatt ganz unverkennbar. Aber nach meiner Meinung ist damit der Situation nicht entfernt Rechnung getragen; denn Drumlins gibt es auch sonst genug; hier aber liegt ein Wall vor, welcher vielleicht einer der merkwürdigsten Moränen ist, die wir im ganzen Voralpenland haben. Man müßte bei dem speziellen Thema, das sich Simon gestellt hat (Rückzugerscheinungen!), erwarten, daß sie mit besonderer Liebe gekennzeichnet und hervorgehoben sei (vgl. Tafel 2, Fig. 1 und Fig. 15).

Die soeben behandelte Schrift von Dr. L. Simon hat in der Zeitschrift für Gletscherkunde (Band XV, Heft 4/5) eine Besprechung durch den nunmehr verstorbenen Professor Eduard Brückner erfahren. Darin wird aus dem Schlußergebnis Simons der Satz zitiert: „Ueberall tritt die voreiszeitliche Bodenplastik im Allgäuvorland bestimmend hervor“. Brückner setzt dabei, dem Satz eine wohlwollende Deutung gebend, hinter das Wort „voreiszeitlich“ zur Erläuterung „d. i. vorwürmeiszeitlich“. Hier klaffen die Anschauungen wieder auseinander. Zweifellos hat Simon, der sich immer ganz der „modernen Eiszeitforschung“ anschließt, doch an die präglaziale Zeit gedacht. Das geht aus seinen glazialgeologischen Erörterungen genugsam hervor. So führe ich z. B. an, was er in fast wörtlicher Uebereinstimmung mit E. Fels vom Walchensee schreibt: „Die Eiszeit hat das vorgefundene Becken nur durch Auskleidung mit Grundmoräne abgedichtet, ohne aber einen vollkommenen Abschluß erzielen zu können.“ Das Becken ist hier ebenso wie bei Fels präglazial im eigentlichen Sinne des Wortes vorgebildet gedacht. Jedenfalls kann unsere frühere Kritik über Simons Auffassungen von der Niedersonthofener See-Gegend bestehen bleiben. — Zu erwähnen sind ferner die Ausführungen von Martin Kellenberger, welche auch die Illergegend betreffen („Die Zungenbecken des Illergletschers und die Illerdurchbrüche bei Reicholzried und Kempten.“ Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München. Band XVI. 2. Heft. S. 337). Da wird ganz in Uebereinstimmung mit Penk vor der Ablagerung des älteren Deckenschotters eine Peneplain angenommen. Sie reichte bis an die Allgäuer Alpen heran. Nun ist man voller Erwartung, wie der Verfasser sich den Werdegang bis zu den heutigen orographischen Verhältnissen des Kemptener Landes denkt. Wir lesen: „Ueber diese Fastebene schob sich nun der Illergletscher in der Weise vor, daß eine Zungenfurche in zwei Wannenecken (bei Kempten und Wildpoldsried) endete.“ Mit diesem kühnen Schwung ist man plötzlich von der Peneplain versetzt in das heutige Relief und jede Schwierigkeit ist überwunden. Die sonstigen Grundlagen der Kellenbergerschen Schrift zu erörtern, ist hier nicht der Platz, da keinerlei Beziehungen zu unserem See vorhanden sind.

In dem Becken des Niedersonthofener Sees und auch der Inselseen macht sich nach den früheren Erörterungen die Streichrichtung, die Stellung, die Struktur der Molasseschichten, auch die Antiklinallinie geltend in auffallendem Maße. Der Schluß, daß der See deshalb tektonisch entstanden sein müsse, wäre natürlich ohne jegliche Beweiskraft. Denn ein in der Gestaltung ganz und gar tektonisch bedingtes Seebecken kann doch ganz und gar ein Erosionsgebilde sein. Ja gerade durch die Erosion haben die Verhältnisse, welche den Aufbau der Schichten betreffen, Streichrichtung, Verschiebungen, Verwerfungen usw., Gelegenheit, sich bemerkbar zu machen und sich auszuprägen. Daher lesen wir mit Verwunderung, daß aus der Neuauslotung des soeben erwähnten Walchensees, die allerlei Tektonisches zum Vorschein kommen ließ, auch die tektonische Entstehung des Beckens gefolgert wurde. Die These von Dr. Fels müßte nach meiner Meinung auf andere Schlüsse gegründet werden, nur nicht auf diesen.

III. Bemerkungen zu Tafel 1.

Es ist unmöglich, die Entstehung eines Seebeckens, wie das des Niedersonthofener Sees, ernsthaft zu erörtern, ohne die Geschichte der Gegend überhaupt in Betracht zu ziehen.

In Tafel 1 ist das obere Illertal abgebildet in Höhengschichten von 50 zu 50 m. Von 1000 m Meereshöhe an ist alles schwarz dargestellt. — Man hat das Bett des Illerwürmglatschers vor sich. Die Umrandung des Vorlandeises einzuzeichnen erschien kaum nötig. Denn, denkt man sich die Hohlform ausgefüllt, so hat man eine ganz und gar ausreichende und zutreffende Vorstellung von dem Gletscher in der würmeiszeitlichen Ausdehnung. Dieser Abschnitt des Illertales, der vom Gebirgsinnern bis zum Bereich der äußersten Endmoränen im Norden reicht, hebt sich in sehr bemerkenswerter Weise hervor gegenüber dem weiter nordwärts gelegenen Teil. Besonders auffallend muß dieser Unterschied schon rein äußerlich hervorgetreten sein, als nach dem Rückgang des Würmglatschers eine Kette von Seen von dem heutigen Oberstdorf an bis nach Grönenbach den Illerlauf begleitete. Hat sich der Gletscher in die ganze Hohlform einfach hineingelagert oder hat er sie sich erst geschaffen? Das letztere ist zutreffend. Die breite, sackartige, ungegliederte Form dieses Gletscherbettes, die reichliche Uebertiefung des Tales, ferner der unterschiedliche Charakter gegenüber dem weiter nordwärts gelegenen Teil, den das Eis nicht erreichte, weist auf Glazialerosion hin. Natürlich wirkten da alle vier Eiszeiten zusammen. Dem Leser sei es hauptsächlich selbst überlassen, sich nach der Tafel über dieses Erosionsgebilde seine Gedanken zu machen. Nur einiges möchte ich selbst hervorheben. Vor der Austrittsstelle des Gletschers aus dem Gebirge steht rechter Hand der Rottachberg, als ein richtiger Inselberg herauspräpariert. Auf der anderen Seite tritt das Alpeetal auffallend hervor; daß seine ganze Herausbildung in das diluviale Zeitalter hineinfällt, scheint mir ohne weiteres wahrscheinlich. Hervorgehoben zu werden verdient die interessante Ausräumung des Molasselandes, welche dem besonders umbrandeten Stoffelberg gerade vorausgeht. Der Wildpoldsrieder Seitenarm, der bis gegen Günzach sich erstreckt, ist als Hohlform durch den Gletscher geschaffen worden. Das Gebiet des „Kemptener Waldes“, woselbst Iller- und Lechglatscher zusammen nordwärts flossen, hat sich das Eis ganz erobert und angepaßt. Gegenüber, beim Kürnacher Waldgebiet, kann das nur zum Teil gesagt werden. Hier blieb ein Gegensatz bestehen zwischen den Bergen und dem vom Gletscher ganz verarbeiteten Gebiet. Hinsichtlich des letzteren sehe man sich auf der Tafel etwa die Umgebung des Buchenberges an. — Das Gletschereis schützt in seinem Bereich den Untergrund vor Unterteilung und Zergliederung, insofern es die gewöhnliche Wassererosion hintanhält. Es ist das ohne Zweifel ein vielsagender Gesichtspunkt, nach welchem das Bild von Tafel 1 betrachtet werden kann. Natürlich ist damit nichts gesagt gegen die eigene, nach meiner Meinung großartig schöpferische erodierende Wirkung der diluvialen Gletscherströme. — Von Kempten an nordwärts, wo nach Uberschreitung der Meeresmolasse die jüngeren weichen Miozänschichten erreicht werden, kann man wieder eine besondere Ausräumung und Tieferlegung des Untergrundes wahrnehmen (Zungenbecken). Die schnurgerade lange Seitenrinne von Altusried macht uns aber darauf aufmerksam, daß wohl auch neuere tektonische Vorgänge bei der Herausbildung des heutigen Reliefs mitgewirkt haben; doch wahrscheinlich nur im Sinne des Einleitens eines Prozesses oder des Richtungsgebens für die weitere Ausbildung. Die diluviale Erosion hat jedenfalls die eigentliche Arbeit geleistet und in übermächtiger Weise wie auch in den sonstigen Teilen des Gebietes dem Untergrund ihren Stempel aufgedrückt. Man wird an das benachbarte Bodenseegebiet erinnert. Die Altusrieder Rinne ist fast parallel zum Ueberlinger See. Freilich hat man zu beweisen gesucht,

daß gegenüber den jungen tektonischen Vorgängen, welche im Bodenseegebiet sicher nachgewiesen sind, der Rheingletscher einen „sehr geringen“ Anteil an der Schaffung des Beckens gehabt hat (vgl. Gams u. Nordhagen „Postglaziale Klimaschwankungen“ S. 162). Aber man muß bedenken, daß die besprochenen weichen Miozänschichten, welche im Illergebiet nordwärts von Kempten eine unzweifelhafte erhöhte Ausräumung durch Erosion bedingten, im Bodenseegebiet bis an die Austrittsstelle des Gletschers aus dem Gebirg heranrücken, da wo der heutige See beginnt, und daß diese weicheren Schichten ganz in dem Bereich des Sees bis an sein Ende herrschen. Ferner darf man nicht außer acht lassen, daß der südlich von der heutigen Rheinmündung ins Gebirg hinein sich erstreckende, fjordähnliche, jetzt ausgefüllte Teil des ganzen Beckens, bei welchem von Bruchspalten und Grabenbrüchen nicht geredet werden kann, ja doch eine bedeutende glaziale Erosion noch dazu in härteren Schichten anzunehmen erheischt. Ich halte daher entgegen den neueren Anschauungen eine sehr bedeutende Mitwirkung des Rheingletschers für wahrscheinlich und bleibe bei der Ueberzeugung, daß im Illergebiet der Anteil der glazialen Erosion bei den obigen Ausführungen richtig eingeschätzt wurde. — Ich muß noch aufmerksam machen auf das Gebiet zwischen dem ehemaligen Iller- und Rheingletscher (die Grenze des letzteren reicht bis an die Kürnacher Berge heran, also noch in das von der Tafel umgrenzte Gebiet). Daß das ganze merkwürdige hydrographische System, das heute in diesem Zwischenbereich herrscht, in Abhängigkeit von der beiderseitigen Ausdehnung des Iller- und Rheineises entstanden ist und hinsichtlich seiner ersten Anlage in den Beginn des diluvialen Zeitalters zu setzen ist, scheint mir klar zutage zu liegen. Man sehe sich das Relief an etwa von der Nordkante des Alpseetales bis zur Gegend von Kimratshofen. Besonders unterstützt wird diese Auffassung durch die Tatsache, daß die Erosionsrinnen alle nach innen laufen, d. h. in den zwischen beiden Gletschern freigelassenen Raum hinein, und daß die Molasseketten durchbrochen werden (Schüttentobel, Seltmanns, Willhams). Die absperrende und beiseitedrängende Wirkung ging dabei hauptsächlich vom Illergletscher aus, weniger vom Rheingletscher, der für diese Gegend vielleicht später zur vollen Entwicklung gelangte als jener. — Bei dieser Gelegenheit sei als auffallend und vielsagend hervorgehoben, daß das Wengener und das Kürnacher Tal nach Osten, also dem Illertal zu, ganz und gar geöffnet erscheinen. Die Gletscher müssen wohl ungemein lang ihre Maximalausdehnung innegehabt haben.

Für irgendeinen Punkt des Illertales bedeutet eine so gedachte diluviale Erosionswirkung allerdings eine sehr beträchtliche, vielleicht 200—300 m betragende Tieferlegung, welche zum größten Teil zu setzen wäre auf Rechnung einer durch das Eis bedingten Erosion. Einem Vertreter der modernen Eiszeitforschung würde das freilich nur ein Lächeln erwecken. Aber vielleicht könnte eine Lösung des Rätsels nach folgender Richtung zu suchen sein: Ein diluvialer Gletscher könnte hundertmal länger in seiner Maximalentwicklung verharret haben als er nötig hatte, um eine sogenannte äußerste Endmoräne anzuhäufen; die könnte er erst am Schluß bei bereits geänderten klimatischen Bedingungen hervorgebracht haben. Was einen Gletscher in seiner Ausdehnung stationär erhält, kann ein Zusammenspiel von verschiedenen, wechselnden klimatischen Faktoren sein. In jener hundertmal längeren Zeit konnte er unter sich den Grund aufzehrend und zugleich in dem Gelände vor sich (durch Gletscherflüsse) erodierend gewirkt haben, wobei es zu gar keiner Anhäufung

von Randmoränen kam. Ist diese Idee irrig, so möchte ich doch glauben, daß hinter dem Phänomen der Eiszeit noch etwas Unaufgeklärtes steckt, was geeignet wäre, gewisse Rätsel zu lösen. Sind uns ja die Ursachen der Eiszeit überhaupt noch unbekannt. So greift man m. E., um Denkschwierigkeiten zu beheben, mit Unrecht allzugerne nach der präglazialen Zeit, die aus der Verlegenheit helfen soll. Diese Denkschwierigkeiten können einfach daher kommen, daß man sich über den Verlauf und die Wirkungsweise der großen diluvialen Gletscherströme Vorstellungen gebildet hat, die als voreilig oder dogmatisch zu bezeichnen sind.

ZWEITER TEIL

Naturkundliches über den See im allgemeinen

Ehe ich zu unseren Spezialuntersuchungen übergehe, möchte ich mancherlei berichten, was zur Charakteristik des Niedersonthofener Sees dienen kann, vielleicht auch sonst geeignet ist, Interesse zu erwecken. Zunächst über das Wasser selbst, worin sich die pflanzlichen und tierischen Bewohner des Sees wohlfühlen sollen und woraus sie auch die Stoffe zum Aufbau ihres Körpers entnehmen können. Aus 17 Meter Tiefe inmitten des Hauptsees holte ich mir Wasser hervor zum Zweck einer chemischen Untersuchung. Es stammte nicht aus dem untersten Grund, der zirka 21 Meter Tiefe mißt, sondern aus einer mittleren Schicht. Das Ergebnis war, daß an gelösten Stoffen in 1 Kubikmeter Wasser 174 Gramm enthalten waren, ein Betrag, welcher als ziemlich normal bezeichnet werden kann. Von diesen Stoffen waren 76,9 Prozent kohlenaurer Kalk und 17,9 Prozent kohlenaurer Magnesium; die Karbonate betragen also zusammen 94,8 Prozent, d. h. fast die gesamte Summe des Gelösten. An dem noch übrigen Rest waren beteiligt Kieselsäure, Eisen, Aluminium und Organisches, worüber später noch mancherlei mitgeteilt werden wird. — Sodann wurde gelegentlich eine Untersuchung über die Durchsichtigkeit des Wassers angestellt. Sie ist entschieden als gering zu bezeichnen; wenigstens verschwand die nach der üblichen Methode verwendete weiße Scheibe den Blicken schon in 3 bis 4,1 Meter Tiefe. Diese Untersuchung fand statt anfangs August bei schönem Wetter. Von großer Klarheit ist, was die Illerseen betrifft, bekanntlich der Christlessee; aber auch der Freibergsee fiel mir auf durch sein im Vergleich mit dem Niedersonthofener See entschieden durchsichtigeres Wasser.

In diesem Medium tummelt sich jahraus, jahrein in wechselnder Zusammensetzung die liebenswürdige und wunderbare Welt des Planktons, bestehend aus Krestierchen aller Art, Rädertieren, Infusorien, Wurzelfüßlern, Geißelträgern, bunten Algen und Diatomeen. Ich nenne eine Anzahl bemerkenswerter Vertreter dieser Klassen, Bewohner unseres Sees. Unter den Krestierchen (Krustazeen) ragt hervor durch Größe und vollendete Durchsichtigkeit *Leptodora hyalina*. In erwachsenem Zustand hat sie eine Körperlänge von 1,2 cm und ist daher mit bloßem Auge schon sehr gut in allen ihren Teilen zu erkennen. Nimmt man noch ein schwach vergrößerndes Mikroskop zu Hilfe, so hat man eine vorzügliche Gelegenheit, die innere Organisation eines solchen Tieres zu beobachten, und zwar in lebensfrischer Tätigkeit. Man sieht das lebhaft pulsierende Herz, die Speiseröhre, den Magendarm und was er gerade enthält, das bewegliche Auge mit dem dahinterliegenden „Gehirn“ und dem sonstigen einfachen Nervensystem, die Muskulatur der Ruderarme und deren wunderbar feine Fiederung. Die Durchsichtigkeit im Verein mit der Farblosigkeit bewirkt, daß das Tier oft geradezu unsichtbar wird. Auffallend ist nur das große tiefschwarze Auge. Man hat hier im Süßwasser einen Vertreter der sog. „Glastiere“ vor sich, welche aus der Biologie der Meere bekannt sind. Es handelt sich um die Anpassung an die Farbe oder besser an die Farblosigkeit des Wassers, eine Mimikryerscheinung, welche vermutlich dem Tier bei

seiner Jagd auf andere Kriebstierchen zustatten kommt. Leicht kann man eine frischgefangene *Leptodora* in ein kleines Aquarium sperren und etwa acht Tage lebend erhalten. Sie ist da bequem zu beobachten, wie sie mit den langen Ruderarmen ruhig ausholend daherschwimmt, ganz anders als ihre zappeligen Verwandten. Dieser Planktonkrebs ist eine ausgesprochene Sommerform; andere Vertreter der Krustazeen dauern auch im Winter fort. Ich nenne etwa *diaptomus graciloides*, ein Tierchen, das wir mit Sicherheit antreffen, wenn wir von einem in das Eis gehauenen Loch das Netz aus feinmaschigem Müller-Gaze bis auf den Grund versenken und wieder langsam heraufziehen. Die Schönheit des frisch lebendigen Tierchens unterm Mikroskop ist bemerkenswert, sowohl nach Form, Farbe und Leben, das ihm innewohnt. —

An Rädertieren habe ich in dem Plankton des Sees gegen 30 Arten feststellen können. Sicher ist aber ihre Zahl noch größer. Ich greife heraus als besonders bemerkenswert die Gattung *polyarthra*, welche in drei Arten vertreten ist: *aptera*, *platyptera*, *euryptera*. Von diesen ist zweifellos die schönste und merkwürdigste *euryptera*, ein Tierchen, das nur in der warmen Jahreszeit vorkommt und welches ausgezeichnet ist durch einen phänomenalen Bewegungsapparat, bestehend aus zwölf blattähnlichen breiten Flügeln, mit Hilfe derer es in blitzartigem Sprung sich im Wasser vorwärtsbewegen kann. *Platyptera* ist die häufigste der drei Arten, hat schmale, schwertähnliche Flügel und ist zu jeder Jahreszeit anzutreffen. *Aptera* ist flügellos; das überaus bewegliche die Gestalt immerwährend ändernde Tierchen kommt anscheinend nur in der kalten Jahreszeit vor. Kurz vor Bildung der Eisdecke, in gleicher Weise kurz nach dem Schwinden derselben hat es der Verfasser in das Wurfnetz bekommen (am 12. Februar und 18. April). Hervorzuheben ist auch die Gattung *floscularia*. Diese „Blumentierchen“ gehören wohl zu dem schönsten, was man unter dem Mikroskop sehen kann. Durch drei Arten sind sie in unserem See vertreten: *mutabilis*, *pelagica* und *libera*. Alle stecken in einer gallertartigen Hülle, aus welcher sie ihren „Blumenkranz“ entfalten. Dieser ist zum Teil besetzt mit feinen flimmernden Härchen, zum Teil mit langen geradlinigen starren Wimperborsten, welche oft den Eindruck erwecken, als ob der Kopfteil mit einer herrlichen Strahlenkrone umgeben sei. So schwimmen diese Tierchen in der warmen Jahreszeit frei umher und sind trotz ihres Gehäuses echte Vertreter des Planktons. Eine andere Rädertierart, *asplanchna priodonta*, verdient erwähnt zu werden, obwohl sie auch sonst in den meisten Seen vorkommt. Es ist ein prachtvolles Geschöpf, ausgezeichnet durch überragende Größe sowie durch vollendete Durchsichtigkeit, an Gestalt einer dicken bauchigen Flasche ähnelnd. Wie *Leptodora* ihresgleichen frißt, so frißt auch *asplanchna* mit Vorliebe andere Rädertiere und öfters kann man eine ganze Anzahl solcher im Magen angesammelt wahrnehmen. Im Gegensatz zu den meisten anderen Rädertiergattungen ist *Asplanchna* lebendig gebärend, das heißt nicht als Ei, sondern in entwickeltem Zustand verläßt das Junge den Leib der Alten. Daher kann man oft das heranwachsende Junge sehen, wie es mehr oder weniger ausgebildet im Innern des Muttertieres eingeschlossen ist. Bei der glasartigen Durchsichtigkeit ist dabei die ganze Organisation, sogar das Geschlecht des Sprößlings mühelos zu erkennen. Andere Arten der im See vertretenen planktonischen Rädertiere interessieren durch gewisse Schwebevorrichtungen, die sich an ihrem Körper ausgebildet haben und der ganzen Organisation ein sehr auffallendes Gepräge verleihen. Allen voran ist da *notholca longispina* zu nennen. Die Erscheinung ist eine Anpassung an das ständige Flottieren im

freien Wasser, an die mechanische Aufgabe, den Körper die ganze Lebenszeit frei schwebend im Wasser zu erhalten. — Ein originelles Tierchen ist ferner *gastropus stylifer*, das in einen engen Panzer eingeschlossen ist und unter dem Mikroskop ein schönes, buntfarbiges Bild darbietet. Es findet sich das ganze Jahr über, vor allem auch im Winter, unterm Eise. Als Besonderheit möchte ich erwähnen *pterodina bidentata*; ich habe diese Art in einem Exemplar Mitte Oktober angetroffen, und zwar ganz so, wie es Ternez dargestellt hat. Die von Wierzcjski abgebildete Form (*pt. emarginata*) hat man vielleicht mit Unrecht mit jener zu identifizieren gesucht. Von den planktonischen Infusorien nennen wir *codonella lacustris*. Es hat etwas sehr Anziehendes, dieses Tierchen in größerer Schar im Gesichtsfeld des Mikroskops hin- und herschwimmen zu sehen, während der lebhaft bewegte Wimperbüschel vorne aus dem Panzergehäuse herausragt. Auch Glockentierchen beteiligen sich am planktonischen Leben, insofern sie sich mit ihren dünnen langen Stielen gerne auf den gewandtesten Schwimmern, den schon erwähnten *Diaptomuskrebschen*, festsetzen und mit ihnen im Wasser herumflottieren. Sie bilden oft ganze Kolonien auf denselben und gewähren dann unterm Mikroskop ein besonders lebensvolles Bild. Unter den Geißelträgern (Flagellaten) spielen sowohl gepanzerte wie ungepanzerte Arten eine große Rolle im Plankton. Die ersteren machen meist einen schwerfälligen Eindruck und leben immer nur als Einzelindividuen. Viele der letzteren aber schließen sich zu interessanten und charakteristischen Zellverbänden zusammen. Besonders wichtig ist *dinobryon sociale*, deren Einzelwesen sich zu zierlichen Zweiglein vereinigen und als solche frei umherschwimmen. Durch ihre große Menge erlangen sie oft eine dominierende Stellung im Haushalt unseres Sees. Auch Kieselalgen oder Diatomeen bilden charakteristische und vielfach sehr schöne Verbände, die je nach der Art verschieden sind. Die wichtigsten in unserem See sind: *asterionella formosa* und *melosira granulata*. Sie vermehren sich oft so ungeheuer, daß sie die Wassermasse färben. Da sie zur Pflanzenwelt gehören, produzieren sie reichlich Sauerstoff, welcher wiederum den Tieren des Planktons zugute kommt. — Es wurde mehrfach des Lebens unter dem Eis gedacht. Darüber kann ich nach bestimmten Untersuchungen noch mitteilen, daß das planktonische Leben in der Tiefe recht spärlich ist, vielmehr sich ganz überwiegend auf die obersten Meter konzentriert, das heißt auf den Bereich des Lichtes, das durch die Eis- und Schneedecke tagsüber reichlich hindurchschimmert. — Was die Menge der Produktion überhaupt betrifft, so kann unser See wohl nicht zu den planktonreichen gerechnet werden; namentlich scheint er wie alle unsere bayerischen Voralpenseen in dieser Hinsicht hinter den norddeutschen Seen recht erheblich zurückzustehen.

Wir wollen noch einen Blick werfen auf die Großtier- und Pflanzenwelt im Gegensatz zu der mikroskopischen. An dem flachen Strand südlich der „Insel“ findet sich eine große Anhäufung von niedlichen Schneckenhäusern. Sie bezeugen, daß in dem See mindestens 17 Arten solcher kleiner Mollusken vorkommen. Es verlohnt sich wohl einmal mit diesen tierischen Resten das nicht uninteressante Experiment eines Aufgusses zu machen, das heißt ein paar Handvoll dieser ausgetrockneten und gebleichten Gehäuse in einem großen Aquariumglas mit Wasser zu übergießen. Man wird verwundert sein, was da im Laufe einer Anzahl Wochen oder Monaten nacheinander an kleinen Lebewesen zum Vorschein kommt. So nenne ich, was die nicht mikroskopischen Tiere betrifft, die durch ihre ungewöhnliche Kleinheit ausgezeichnete, unter

Wasser lebende Wasserwanze Sigara, die einmal bei einem derartigen Versuch in mehreren Exemplaren hervorkam. Sie hat musikalische Eigenschaften und mit einem gewissen Erstaunen wendet man den Kopf nach dem Glase, wenn man zum erstenmal ihr Zirpen unter Wasser vernimmt. — Unter den Bewohnern unseres Sees sind auch die sogenannten Moostierchen oder Bryozoen vertreten. Im oberen Insee auf einer unter Wasser befindlichen Treppe einer Badeanstalt fand ich einmal eine frisch lebendige Kolonie dieser Tiere. Sie war lang und wurmförmig schmal, was zur Charakteristik ihrer Art dienen mag; sonst ist mir nie etwas von dieser Tierklasse zu Gesicht gekommen. Auch ist es mir niemals gelungen, etwa einen Süßwasserschwamm im See zu entdecken. — Beim Ausmessen des Sees brachte das Lot gelegentlich Zweige von *chara rudis*, einem Armeleuchtergewächs, mit herauf, ein Beweis, daß diese Pflanze am Grunde vorkommt. Es kann aber nur ein sporadisches Vorkommen sein; denn allen meinen sonstigen Erfahrungen entsprechend ist der tiefere Grund unseres Sees ein öder, krautfreier, ganz und gar ausgeglichener, grauer Schlamm Boden. Dieser hat seine eigene charakteristische Tierwelt, welche das ganze Jahr über die obersten Schichten des Schlammes bewohnt und welche im wesentlichen aus folgenden vier Vertretern besteht: Erstens den Tubifexwürmern, welche den Regenwürmern ähnlich, doch kleiner, vor allem dünner sind und ein rötliches Aussehen haben. In großen Mengen sind sie auf dem Grunde verteilt. Sie schauen in der Regel aus ihren selbstgeschaffenen röhrenartigen Löchern mit einem Teil ihres Körpers heraus, durch unablässiges Schlängeln sich Atemwasser zuwendend. Auch fressen sie oft den Schlamm und scheiden ihn als Fäkalien wieder ab. Das so durch den Körper hindurchgewanderte Material wird zu ganzen Pyramiden angehäuft, ein Vorgang, der sich mit bemerkenswerter Geschwindigkeit abspielt. So sind diese Tiere für die Bildung des Schlamm Bodens im See nicht ganz ohne Bedeutung. Aehnliches gilt ja bekanntlich auch von den Regenwürmern in bezug auf die Urbarmachung des Bodens. Zweitens sind es Kyklopskrebse, die sich an den Schlammgrund halten, sei es, daß sie in Menge über ihm herumschwimmen, oder daß sie sich unter Erregung einer kleinen Schlammwolke in ihm einwühlen, auch sich länger verborgen halten. Als weiteres Glied dieser Schlammfauna ist zu nennen die blutrote, träge auf oder in dem Schlamm herumkriechende Zuckmückenlarve (*chironomus*), die sich von den Verwesungsstoffen auf dem Grunde ernährt. Viertens ist es die glasartige durchsichtige Larve der Büschelmücke (*corethra plumicornis*), die sich am Grunde aufhält, meist ziemlich dicht über ihm schwebt, oft aber auch sich ähnlich wie die Forellen in den Schlamm einwühlt und zentimetertief darin verborgen hält. Holt man eine größere Quantität des Seeschlammes herauf und schlämmt ihn durch ein Sieb, so wird man unfehlbar eine Anzahl dieser Tiere erbeutet haben, ganz gleichgültig ob man den Versuch im Hochsommer anstellt oder im kältesten Teil des Winters. Die Larve kommt ja auch sonst vor in Weihern und Tümpeln. In Seen aber hält sie sich an den Grund und fühlt sich dem Schlamm verwandt. Ich fand es auffallend, daß die aus dem See stammenden Exemplare immer absolut hyalin waren im Gegensatz zu den aus Weihern und Tümpeln stammenden; auch kamen mir die ersteren zierlicher, weniger plump vor als die letzteren. Wenn man bedenkt, daß am Grund der Seen ganz andere Licht-, Temperatur- und Druckverhältnisse herrschen als in den gewöhnlichen stehenden Gewässern, so erscheint es wohl nicht verwunderlich, wenn da Unterschiede in der äußeren Erscheinung der Tiere hier und dort sich bemerkbar machen. Wahrscheinlich sind auch die Ernährungs-

verhältnisse von Bedeutung, indem besonders in den Moortümpeln viel mehr organische Stoffe gelöst sind. Daß die dem See entnommenen Tierchen lebendes Getier, nämlich Tubifexwürmer und Kyklopskrebse, sich erhaschen, habe ich bestimmt und öfters beobachtet. Die Beute wird im Schlundkopf behalten, längere Zeit ausgesogen und wieder ausgespien. Muß man nicht sagen, daß die eigentümlichen hakenförmigen Mundteile wie geschaffen sind, um die Tubifexwürmer aus dem Schlamm zu holen? Und erscheinen nicht die fächerartig aneinandergereihten, abwärtsgerichteten Borsten am letzten Segment wie ein Schlammewühlapparat? Die ganze auffallende Organisation mit ihrer hervorragenden Hyalinität und den Schwebvorrichtungen scheint dafür zu sprechen, daß sie sich unter den besonderen Verhältnissen des tieferen Grundes von Seen herausgebildet hat und daß die Tierchen nur sekundär in die pflanzenreichen Weiher und Moortümpel gekommen sind, wo sie wie degeneriert erscheinen (sonstige Mitteilungen siehe die Zeitschrift „Die Kleinwelt“, 1. Jahrgang, 9. Heft; Buchners Verlag, Bamberg). — Von den Fischen des Sees weiß ich nichts Außergewöhnliches zu berichten, außer daß der Waller vorkommt, und zwar mit Vorliebe sich im unteren Inselfee aufhält.

Nachdem wir den Schlamm des Sees schon in unsere Betrachtung hereinbezogen haben, wollen wir auch seine Zusammensetzung vorläufig kennenlernen. Wir erwarten vielleicht in ihm eine Anhäufung von Resten einer abgestorbenen Planktonwelt zu erkennen. Man liest wohl auch, daß der Schlamm unserer Seen Diatomeenschlick oder ähnliches sei. Die unmittelbare Untersuchung bei unserem See ergibt aber ein erheblich anderes Bild, gerade was den Anteil des Organischen betrifft. Frisch aus dem See genommen, in noch feuchtem Zustand, ist der Schlamm aschgrau und läßt einen gewissen, nicht eben starken Fäulnisgeruch wahrnehmen. Aber im eingetrockneten Zustand macht sich das Organische kaum bemerkbar und man hat dann eine viel hellere, gelblich lichtgraue Masse vor sich, die zwischen den Fingern leicht zu feinem Pulver zerrieben werden kann und den Eindruck eines reinen anorganischen Gesteinsmehles macht. Ein Versuch unterm Mikroskop tierische und pflanzliche Reste darin zu erkennen, wird nicht ohne weiteres zum Ziele führen. Man kann aber doch das, was an organischen Resten enthalten ist, aus dem Schlamm nach einem einfachen Verfahren ziemlich gut absondern. Das geschieht dadurch, daß man die Schlammprobe, am besten die niemals eingetrocknete, in verdünnter Salzsäure auflöst, wobei ein sehr lebhaftes Aufbrausen erfolgt, alsdann die ganze Masse unter Wasser durch feinste Müllergaze (Nr. 20) hindurchschlämmt. Der so erhaltene Rückstand ist — mindestens dem Gewicht nach — unbedeutend im Verhältnis zur ganzen Masse. Betrachtet man ihn unterm Mikroskop, so erkennt man darin Reste von kleinen Kriebstierchen, vereinzelt auch Rädertierpanzer, spärliche Diatomeen und Gehäuse von Panzerinfusorien, auch fadenförmige Bakterien; die Hauptmasse dieses Rückstandes aber ist eine Anhäufung von nicht weiter definierbaren organischen Flocken. Den Anteil des Organischen an der Zusammensetzung des Schlammes zahlenmäßig in Prozent durch quantitative chemische Analyse genau zu bestimmen, ist keine so leichte Sache. Man müßte, um zu einem einwandfreien Ergebnis zu gelangen, nach verschiedenen Methoden an die Lösung heranzukommen suchen. Ganz sicher aber ist zu sagen, daß bei den Schlammproben dieses Sees die Reste einer abgestorbenen Organismenwelt nur einige wenige Prozente des gesamten Trockengewichtes ausmachen. Was den übrigen Teil des Schlammes betrifft, so kann ich, weil seine Zusammensetzung nicht überall die gleiche ist, nur Durchschnittswerte

angeben. Was ich jetzt beabsichtige, ist überdies nur eine vorläufige Orientierung. Der kohlensaure Kalk (CaCO_3) beträgt etwa 50 Prozent. Kohlensaures Magnesium (MgCO_3) macht etwa den zehnten Teil davon aus, 5 Prozent. An Eisenoxyd (Fe_2O_3) sind etwa $2\frac{1}{2}$ Prozent enthalten. Immer etwas stärker ist der Anteil an Tonerde (Al_2O_3), zirka $3\frac{1}{2}$ Prozent. Die Silikate mit Quarz durchschnittlich 30 Prozent. Wie sich das Bild gesetzmäßig ändert auf dem Seegrund, wie überhaupt der so zusammengesetzte Schlamm zustande kommt, das werden wir später ausführlich auseinandersetzen müssen. Jedenfalls kann das Sediment unseres Sees als ein Mergel bezeichnet werden. — Bemerkenswert muß werden, daß die Proben, auf welche sich die soeben gemachten chemischen Angaben beziehen, aus den obersten Zentimetern des Schlammes genommen zu denken sind, daß ferner keine obere Schicht vorhanden ist, die im Vergleich zu einer weiter unten befindlichen einen nennenswert anderen Charakter hätte, etwa im Sinne einer dunkleren, noch nicht ausgefaulten Oberschicht und einer gleichbleibenden unteren Masse, obwohl schwache Verwesungsprozesse vorhanden sind (Gase!). Noch weniger kann natürlich von Jahresschichten gesprochen werden. Wie einwandfreie Feststellungen hierüber gemacht werden konnten, wird aus unseren späteren Erörterungen hervorgehen. Ein Naumannscher Glasrohrapparat, ein Becherlot und dergleichen, wurde niemals verwendet. — In einer Hinsicht können wir von einer gewissen Schichtung sprechen: Oben wurde die Farbe des frischen feuchten Schlammes als aschgrau bezeichnet; das gilt nicht von der allerersten Oberfläche des Schlammgrundes; also der Fläche, welche den Schlamm gegen das Wasser abgrenzt. Diese ist hellbraun und geht erst in einigen Millimetern Tiefe in die graue Farbe über, die der Schlamm dann dauernd beibehält. Ich bin der Meinung, daß diese „Schicht“ verständlich wird, wenn man bedenkt, daß die Schlammteilchen sich zunächst fein flockig, locker absetzen, unten aber sich zu der homogenen Masse zusammenschließen von etwas sulzigem Charakter. Zwischen beiden Zuständen muß doch wohl ein Uebergang vorhanden sein, der eben in den obersten Millimetern sich darstellt. Weiter hat diese Schichtung, wenn man sie so nennen will, nach meiner Vermutung nichts zu bedeuten.

Hinsichtlich der Temperaturverhältnisse unseres Sees kann ich von einigen gelegentlich ausgeführten Messungen berichten. Einmal im Sommer — es war der 14. August — untersuchte ich von dem verankerten Kahn aus durch ein an ein Stahlmeßband gebundenes Maximum- und Minimumthermometer die Temperatur des Wassers in der Tiefe von Meter zu Meter. Die sogenannte Sprungschicht war zwischen 5,5 und 7,5 m; am Grund (bei 21,3 m Tiefe) herrschte die Temperatur 7,9 Grad Celsius. Dieser Betrag scheint die gewöhnliche sommerliche Maximalerwärmung zu bedeuten, welche die untersten Wasserschichten erfahren. Daß aber in ganz besonders heißen Sommern der tiefste Grund auch eine nicht unbeträchtlich höhere Temperatur erhalten kann, das geht hervor aus der Angabe eines Maximumthermometers, das ich bei anderer Gelegenheit im Winter vom Eise aus in einem oben offenen Behälter aus Glas versenkte, und zwar vier Jahre lang, von Februar 1910 bis Februar 1914. Der Zeitraum enthält den außergewöhnlich heißen Sommer 1911, und dem ist es offenbar zuzuschreiben, daß das Thermometer als Maximum für diese vier Jahre 11,3 Grad Celsius anzeigte. Auch die beiden anderen Seen untersuchte ich vom Kahn aus am gleichen Tage wie den großen. Dabei war ich etwas überrascht, am Grund des 12,6 m tiefen mittleren Sees nahezu die gleiche Temperatur wie im großen, nämlich 8,2 Grad, anzutreffen. Der 10 m tiefe untere See hatte 11,1

Grad am Grund. — An die hier berührten Temperaturverhältnisse ist anzuschließen, was ich über die winterliche Eisbedeckung zu bemerken habe. Hat eine kräftige Kälteperiode lang genug gedauert, und hat sich damit eine Eisdecke von vielleicht 25 cm Dicke gebildet, so ist diese überall gleich dick, am Uferrand wie in der Mitte. Sie ist dann auch nicht leicht zu dezimieren, überdauert siegreich so manche folgende Wärmeperiode und hält sich leicht bis Ende März, auch wohl noch weit in den April hinein. Wie eine Art Akkumulator ist eine solche Eisdecke, doch gibt es Fälle, bei welchen eine kräftige Eisdecke über Nacht verschwindet. Darüber schreibt Alois Geistbeck in seinem Werk: „Die Seen der deutschen Alpen“ sehr treffend: „Weniger der milde Sonnenschein als vielmehr die warmen Föhnfluten sind die ungestümen Verderber aller Eispracht.“ Aehnlich E. Bayberger: „Nicht der Sonnenschein, ja nicht einmal Regen schadet dem Eis; der ärgste Feind ist der Südwind. Vor seinem Wehen verschwindet das mächtige, feste Eisgefüge wie die Eisblumen vor dem Hauche des Kindes.“ Auch ist bezeichnend, was mir einmal ein alter Fischer sagte: solange das Eis „keine Luft hat“, taut's nicht auf.

Besondere Untersuchungen über den Schlamm des Sees und Zeitberechnung

I. Die Schlammschicht im ganzen

a) Erstmalige Durchbohrung der Schlammschicht.

Ist ein See mit einer Eisdecke überzogen, so sind von der Natur Bedingungen geschaffen, welche in eleganter Weise Untersuchungen ermöglichen, die ohne sie schwierig, zum Teil fast nicht denkbar wären. Um die Gesamtdicke der auf dem tieferen Grund des Sees abgesetzten Schlammschicht zu messen, benötigt man ein leichtes Bohrgestänge (gut verwendbar hierzu sind nahtlose, kaltgezogene Stahlröhren von 13 mm äußerem Durchmesser und 2 mm Wandstärke, mit Gewindköpfen versehen und in Stücken von etwa 1 bis 2,5 m aneinanderschraubbar; der laufende Meter 0,9 kg schwer). Wollte man damit von der Eisdecke aus inmitten des Sees in den Grund hineinbohren, so wäre das natürlich nicht möglich; denn ein solches Bohrgerät wäre gut für unmittelbare Erdbohrungen, um etwa in Moor oder sonstigem weicherem Boden bis vielleicht 10 m Tiefe vorzudringen. Hier aber soll vom Eis aus gebohrt werden und es liegen ungewöhnliche Bedingungen vor, welche technische Schwierigkeiten von besonderer Art mit sich bringen. Da im Wasser der nötige seitliche Widerstand mangelt, würde das leichte Hohlgestänge sich schon bei mäßiger Tiefe ausbiegen wie ein Seil. Man muß es in gewissem Sinne zu versteifen suchen und das geschieht dadurch, daß man es durch dünnwandige Stahlröhren hindurchsteckt, die gleichfalls in Einzelstücken aneinanderschraubbar zu beliebigen Längen sich zusammensetzen lassen. (Die von mir verwendeten waren Mannesmannröhren von 1 Millimeter Wandstärke und 30 Millimeter äußerem Durchmesser, mit eingefügtem Gewinde versehen, und konnten durch äußere Muffe miteinander verbunden werden.) Eine Durchbohrung der auf dem tieferen Grund des Niedersonthofener Sees abgelagerten Schlammschicht konnte mit Erfolg zum erstenmal im Februar 1914 ausgeführt werden. Mitten im See bei 21,2 m Tiefe des Wassers — der Ort ist auf Tafel II in Fig. 1 und Fig. 2 als Bohrstelle B eingetragen — wurde zunächst mittels eines Eisbohrers ein Loch von 5 cm Durchmesser durch das Eis gebohrt, darüber alsdann ein Brettchen gelegt, das in der Mitte eine ganz gleiche Oeffnung hatte. Durch diese versenkte man nun ins Wasser hinein die „Umhüllungsrohre“, in Stücken von zumeist 2 m Länge aneinandergeschraubt. An das obere Ende des obersten Stückes wurde ein Quereisen geschraubt, d. h. eine länglich rechteckige Eisenplatte, die in der Mitte eine runde Oeffnung mit entsprechendem Gewinde hatte. Der Sinn dieses Quereisens ist klar; mit ihm konnte die etwa 21 Meter lange Röhre oben am Brettchen eingehängt und sich selbst überlassen werden (Gesamtgewicht etwa 18 Kilo). Mit ihrem unteren Ende schwebte sie zirka $\frac{1}{4}$ Meter über der Ober-

fläche des Schlammes. Durch diese lange und hinreichend weite Röhre, die hier lediglich dem Zweck der Versteifung diente, wurde nun das Bohrgestänge hindurchgesteckt mitsamt dem zu allerunterst angeschraubten eigentlichen Bohrer. Dieser war eine sogenannte „Schappe“, eine bekannte, besonders bei weichem Erdreich häufig angewendete Form von Erdbohrer, die man am besten mit einer schmalen hohlen Hand vergleichen kann. Die von mir verwendete hatte nur 22 Millimeter Arbeitsdurchmesser. Ungefähr 4 Meter tief brauchte zunächst überhaupt nicht gebohrt werden, weil das Gestänge mit dem Bohrer soweit in den Schlammgrund von selbst eindrang, teils durch die eigene Schwere, teils durch einen mit der Hand ausgeübten Druck. Alsdann mußte gebohrt, d. h. durch Drehen das Eindringen in die Schlammsschicht gefördert werden; das ging anfangs recht flott vorwärts, mit der Zeit aber immer langsamer. Mehrmals wurde das Gestänge hinabgelassen und wieder herausgezogen, indem man es jedesmal tiefer eindringen ließ. So war bei 16,5 Meter noch kein Ende zu verspüren. Zuletzt wurde noch einmal in den Grund gebohrt 18,7 Meter tief, das Gestänge aber nicht wieder herausgezogen, sondern man ließ es über Nacht stecken, um das nächstemal sogleich mit dem Bohren selbst weiterfahren zu können. Das nunmehr etwa 40 Meter lange Gestänge federte stark und leistete erheblichen Widerstand, auch kam man recht langsam vorwärts. Doch gelang es bei angestrenzter Arbeit, den ganzen Tag bohrend, noch $3\frac{1}{2}$ Meter tiefer einzudringen. Trotz der Ungewißheit, ob man am Ende der Schlammsschicht angelangt sei, wurde nun aufgehört. Das Herausziehen des Gestänges war aber aus zwei weiter unten zu besprechenden Gründen zunächst unmöglich. Als es schließlich doch gelang, den Bohrer an das Tageslicht herauszubefördern, zeigte es sich, daß die untersten 70 Zentimeter des Bohrgerätes ganz von Steinen verkratzt waren. So tief war man also in die steinhaltige Grundmoräne hineingekommen, während darüber sich nirgends ein Kratzer am Gestänge zeigte. Somit konnte die rezente postglaziale Schlammsschicht hier an dieser Stelle 21,5 Meter tief in maximo angenommen werden.

Die erwähnten unerwartet eingetretenen Schwierigkeiten hatten ihren Grund einmal darin, daß das Gestänge ungemein fest im Boden stak und ganz besondere Mittel beigezogen werden mußten, um es überhaupt heben zu können. Sodann kam das ganze Bohrgerät dadurch in große Gefahr, daß durch das ständige angestrenzte Drehen des Bohrgestänges die Umhüllungsrohren von innen her aufgeschraubt wurden. Die Röhre löste sich hoch oben nahe der Eisfläche an einer Muffe und der untere gegen 20 Meter lange Teil rutschte an dem Bohrgestänge hinab in die Tiefe, ein Umstand, der bei den nun eintretenden sehr großen Schwierigkeiten beinahe den Verlust des ganzen Bohrgerätes zur Folge gehabt hätte, aber auch den Verlust der Sicherung des Ergebnisses. Daher erscheint es bei einer solchen Arbeit als großes Versäumnis, wenn die Umhüllungsrohre nicht auf irgend eine Weise völlig gesichert wird gegen die Gefahr des Aufdrehens. Auf weitere Mängel des soeben beschriebenen Bohrverfahrens soll weiter unten hingewiesen werden. — Auch wird man bei einer solchen Arbeit nicht versäumen, alle Stücke des Bohrgestänges mit einer Nummer zu versehen, über ihre Länge ein genaues Verzeichnis anzulegen und sie immer in derselben Reihenfolge zusammenzuschrauben; dann hat man den Vorteil, daß man während der Bohrarbeit immer genau unterrichtet ist, wie weit man in den Grund eingedrungen ist. In Abzug kommt natürlich die Seetiefe an der Bohrstelle; aber das ist ja eine vorher genau zu bestimmende konstante Größe.

b) Nochmalige Durchbohrung der Schlammschicht und ihre Ergebnisse.

Bei dem schon mitgeteilten Zweck dieser Untersuchung konnte es nicht genügen, einfach nur die Dicke der Schlammschicht überhaupt zu bestimmen, wie das im vorigen Abschnitt beschrieben wurde. Es mußte damit gerechnet werden, daß der Schlamm je nach der Tiefe, aus der er stammt, auch verschieden dicht ist. Dieser Umstand aber ist von großer Bedeutung, wenn man die Gesamtablagerung nach ihrer wahren Menge richtig abschätzen oder berechnen will. Eine genauere Untersuchung hat es vollauf bestätigt, daß der Schlamm unseres Sees mit zunehmender Tiefe im allgemeinen auch dichter wird. Was soll man aber unter der „Dichte“ hier verstehen? Ein Schlamm kann sehr weich und locker sein, so daß er in Wasser leicht aufwirbelbar ist; er kann auch weich sein, doch einen gewissen sulzartigen Zusammenhang an sich haben, so daß er nicht so leicht aufzuwirbeln ist; er kann auch einen absolut festeren Zusammenhang haben, so daß er plastisch wird und in dieser Hinsicht etwa mit Butter vergleichbar ist. Ein Hauptumstand dabei auf jeden Fall ist der sehr verschiedene Gehalt an Wasser. Wir erklären nun unter Dichte des Schlammes folgendes zu verstehen: Es sei das Gewicht an Material, das in der Volumeneinheit enthalten ist, nach Abzug des sämtlichen darin enthaltenen Wassers. Oder es ist das in Gramm angegebene Gewicht, das man erhält, wenn man 1 Kubikzentimeter Schlamm, gerade wie er in Natur vorhanden ist, bei 100 Grad eintrocknen läßt. Als selbstverständliche Folge ergibt sich daraus: Will man Schlamm nach seiner „Dichte“ untersuchen, so darf er nicht vorher irgendwie in Wasser aufgerührt worden sein, oder sonst eine Aenderung etwa durch Verdunstung erfahren haben; vielmehr muß man ängstlich darauf bedacht sein, ihn in seinem natürlichen Zustand zum Zweck der Untersuchung zu fassen und zu bergen. Man schließt ihn frisch, wie er ist, in passende Gefäße ein, wobei aber weder Luft noch Wasser mit eindringen darf. Am besten geschieht das durch beiderseits offene Röhrchen, die man in die Schlammmasse eindrückt und dann auf beiden Seiten mit ebenen Plättchen abschließt. Ich verwendete zylinderische Metallröhrchen aus gezogenem Hartmessing, vernickelt, mit eingeschlagenen Nummern versehen, von 11 bis 15 Millimeter äußerem Durchmesser und einer Länge von 35 und 30 Millimeter; zum beiderseitigen Abschluß dienten kleine quadratische Platten von Spiegelglas oder auch von Messing; letztere haben den Vorzug, daß man bei ihrer Verwendung die frisch gefüllten Röhrchen mittels starken verzinkten Eisendrahts kräftig zuschnüren kann, während die Glasplättchen zarter behandelt werden müssen. Natürlich darf der Schlamm in den Röhrchen, falls es sich nur um die Bestimmung der Dichte handelt, auch eintrocknen, bis man irgendwann einmal die Untersuchung vornimmt, wenn nur ein bestimmtes Volumen von ihm in seinem ursprünglichen Zustand abgegrenzt wurde. Zur Untersuchung selbst diente außer dem nötigen Trockenschrank eine analytische Wage mit entsprechendem Gewichtssatz. Betreff der Einzelheiten ist einfach hinzuweisen auf die Untersuchungen, welche in der Physik mit dem „Pyknometerfläschchen“ ausgeführt zu werden pflegen und mit welchen die hier zu erledigenden im Grunde fast identisch sind. Auch alle besonderen Feinheiten dieser physikalischen Methode können angewendet werden und wurden auch tatsächlich bei unseren Untersuchungen berücksichtigt; erwähnt sei auch, daß die sog. „hygroskopische“ Feuchtigkeit, welche ein bei 100 Grad ausgetrockneter

Schlamm aus der freien Luft wieder aufsaugt, in Abrechnung gezogen wurde. Sie betrug bei diesen Seeschlammproben nicht immer gleich viel, durchschnittlich 2,73 Prozent des ganzen Trockengewichtes.

Wie aber konnte die Schlammschicht hinsichtlich der Dichte in ihren verschiedenen Teilen einer Untersuchung unterzogen werden? Es mußte mit einem besonders hierzu konstruierten Bohrer von Meter zu Meter tiefer hineingebohrt und eine Schlammprobe in ihrer natürlichen Beschaffenheit von dem jeweilig untersten Punkt heraufgeholt werden. Fast an der gleichen Stelle wie das erste mal wurde drei Jahre später die nochmalige Durchbohrung in Angriff genommen, dabei aber in mancher Hinsicht von vorneherein anders verfahren. Die Umhüllungsrohre wurde diesmal länger genommen, und zwar so, daß ihr unteres Ende nicht frei im Wasser endete, sondern zirka $\frac{1}{2}$ Meter in den Schlamm hineinreichte. Damit wurde erreicht, daß sie noch einen anderen Zweck erfüllte als den des Versteifens des Bohrgestänges, nämlich den Zweck der Führung, das heißt bei dem nun oftmals sich wiederholenden Hineinbohren wurde das Bohrgestänge mit Sicherheit immer wieder genau in dasselbe Bohrloch eingeführt. Dieser Umstand brachte eine sehr angenehme Ueberraschung mit sich: Indem das Gestänge immer längs ein und derselben Linie je ein Meter tiefer eindrang und dann immer wieder hochgezogen wurde, veränderte sich die Konsistenz des Schlammes längs derselben derart, daß beim Hinabgehen der Bohrer fast mühelos hineinversenkt werden konnte und daß nur jeweils der unterste neue Meter durch Bohren, das heißt Drehen, zu durchdringen war, ohne nennenswerte Schwierigkeit im großen Gegensatz zum früheren Fall, und das so fast bis zum Schluß. Deshalb konnte man auch das Gestänge, selbst als es am untersten Punkt, das heißt an der Moräne angekommen war, fast mit der Hand wieder herausziehen, was bei der erstmaligen Durchbohrung mit Eisenhebelstangen kaum gelang.

Die Einrichtung des von mir konstruierten und verwendeten Bohrers, welcher von dem jeweilig untersten Punkt Schlamm in unverändertem Zustand heraufbringen sollte, ist sehr natürlich abzuleiten aus dem Zweck einerseits, andererseits aus der Beschaffenheit des Schlammes in unserem See. Ich gehe aus von dem obenerwähnten Bohrer, der „Schappe“, und ihrer Einrichtung. Sie mag zu orientierenden Bohrungen in einem Seegrund für viele Fälle recht nützlich sein. Für die besonderen Zwecke hier kann sie uns aber natürlich keinesfalls genügen; der Grund ist klar, wenn man sich an ihre Einrichtung erinnert. Ich habe sie oben mit einer schmalen hohlen Hand verglichen. Auf ihrer Rückseite ist zumeist eine größere oder kleinere Oeffnung vorhanden, damit das unten eingedrungene Material oben eine gewisse Möglichkeit hat, wieder hinauszuwandern. Bei dem normalen Gebrauch, wofür eine Schappe gedacht ist, wird diese aber, sobald sie als gefüllt anzunehmen ist, immer wieder herausgezogen und entleert. Daran kann jedoch bei unseren Arbeiten aus verschiedenen Gründen nicht gedacht werden. Wenn man aber mit der Schappe im Seegrund einfach zubohrt, so mag wohl der eingedrungene Schlamm, der alsbald den Innenraum erfüllt, zum Teil zu der hinteren Oeffnung wieder hinauswandern, aber viel zu langsam, unter Umständen gar nicht, aus dem einfachen Grund, weil die Reibung zu groß ist. Das Hindurchwandern des Materials würde keinesfalls dem Vorwärtsdringen entsprechen und man würde beim Hochziehen des Gestänges Material erhalten, das lange nicht dem untersten Punkt entspräche, sondern viel früheren, höher gelegenen Partien der Schlammmasse. Wir müssen, um den Zweck zu erreichen, den Gesamt-

widerstand verringern. Dieser Widerstand hängt von der Länge des Weges ab, den der Schlamm beim Durchwandern durch das Innere des Bohrers zurückzulegen hat, sodann von der Weite der Oeffnung, durch die er hinauswandert. Gehen wir bei Verkleinerung des Widerstandes so radikal vor als nur möglich. Aus einem Stahlrohr von 20 Millimeter äußerem Durchmesser und der Wandstärke 1 Millimeter, das wir uns senkrecht nach unten gehalten denken wollen, seien vier gleich große Fenster 47 Millimeter lang herausgearbeitet, und zwar alle vier nebeneinander, jedes von einer Breite, daß die zwischen ihnen verbleibenden Leisten 3,5 Millimeter breit sind. Diese Fenster lassen wir 7 Millimeter über dem unteren Rand der Röhre beginnen, schärfen diesen zu und biegen ihn leicht nach innen. Verwendet man diese Vorrichtung an Stelle der Schappe, so ist die Reibung oder der Widerstand für den Schlamm ungemein verringert, so daß er beim tieferen Eindringen in die Schicht sehr leicht hinein- und wieder hinauswandert. Doch fehlt dem neuen Bohrer noch etwas sehr Wichtiges. Würde er nämlich nach dem Eindringen in den Schlammgrund wieder herausgezogen werden, so ginge der von ihm gefaßte Schlamm keineswegs mit ihm herauf. Der Bohrer nimmt wohl leicht Schlamm auf, vermag ihn aber beim Herausziehen nicht länger festzuhalten; dazu ist die Reibung mit dem Schlamm außen durch die Fenster hindurch zu groß. Man würde ihn sicher leer herausbekommen. Lassen wir aber eine zweite Stahlröhre (äußerer Durchmesser 23 Millimeter und Wandstärke 1 Millimeter) über der ersten verschiebbar sein so, daß sie zurückgeschoben die Fenster vorne ganz frei läßt, dann wird beim Hineindringen in die Schlammschicht die weitere Röhre — wir wollen sie die Hülse nennen — infolge der äußeren Reibung sich hinaufschieben; die vier Fenster werden daher offen bleiben und der Schlamm kann fast hemmungsglos hinein- und wieder hinausdringen. Zieht man aber nun das Bohrgestänge in die Höhe, so schließen sich die Fenster, indem die weitere, äußerlich gerippte Röhre sich relativ vorschiebt. Sie wird durch vorne angebrachte Vorsprünge festgehalten und mit dem Gestänge in die Höhe gezogen. So erhält man wohl geschützt und unverfälscht die Probe herauf. Nun wird, wie oben schon angedeutet, ein Röhrchen vorne in den Schlamm eingedrückt, die Hülse zurückgeschoben, und das Präparat den früheren Angaben gemäß zur weiteren Untersuchung hergerichtet. — Eine Abbildung des Bohrers ist enthalten in der dieser Arbeit beigelegten Tafel 2, Fig. 6. — Daß er tatsächlich so wirkt, wie es hier gedacht und dargestellt ist, wurde vielfach erprobt. Um den Bedenken, die etwa der Leser haben könnte, Rechnung zu tragen, erwähne ich, daß der Schlamm unseres Sees nicht etwa besonders weich und flüchtig ist, wie man vielleicht sich vorstellt. Er ist besonders in tieferen Lagen fest wie Butter, behauptet seine Existenz und ist weit davon entfernt, etwa im Wasser beim Heraufziehen ausgespült zu werden. Darüber kann kein Zweifel bestehen, wenn man den prall gefüllten Bohrer mit der vorgeschobenen schützenden Hülse an das Tageslicht kommen sieht. Die Ueberzeugung, daß die Probe auch von dem jeweilig untersten oder nahezu untersten Punkt stammt, kann aus den weiter unten mitzuteilenden Zahlen gewonnen werden, welche die jeweilige Dichte von Meter zu Meter darstellen. Ich führe aber auch noch einen direkten Beweis an, den ich gelegentlich dieser Bohrungsarbeiten erbringen konnte. Von den zwanzig Proben, die ich von Meter zu Meter tiefer bohrend heraufbeförderte, waren besonders zwei auffallend, nämlich die in fünf Meter Tiefe und die in dreizehn Meter Tiefe. Die erstere, weil sie die einzige war, welche infolge von eingeschwemmten pflanzlichen Resten einen

einigermaßen mulmartigen Charakter zeigte, die zweite, weil sie durch eine gewisse Beimengung von Feinsand die größte „Dichte“ aufwies. Ich verlegte, nachdem ich an der einen Stelle mit den zwanzig Bohrungen ganz und gar fertig war, die Bohrstelle auf dem Eis um einen Meter seitlich, fing da nach den entsprechenden Vorbereitungen gleichfalls das Bohren an. Doch wurde dabei in doppelter Hinsicht anders verfahren, zunächst insofern der Bohrer eine Abänderung erfuhr, welche darauf beruhte, daß der ganze vordere Teil, das heißt die innere Röhre mit den vier Fenstern überhaupt weggelassen wurde. Er bestand also nur aus einem massiven, mit stumpfer Spitze endigenden Teil, über welchen eine Hülse vorschiebbar war, so daß sie sechs Zentimeter über das Ende vorragte. Beim Hineindringen in den Schlamm bleibt die Hülse eines solchen Bohrers natürlich wieder zurückgeschoben und alle Masse wandert am stumpfen Ende restlos vorbei. Hält man dann aber an und zieht zunächst das Gestänge nur wenig in die Höhe, so bleibt natürlich die verschiebbare, zur Erhöhung der Reibung gerippte Hülse an Ort und Stelle, während das stumpfe Ende sich in die Hülse zurückzieht; in den nun entstehenden luftleeren Raum im Innern dringt jetzt der unter Druck stehende Schlamm langsam ein. Läßt man ihm daher etwas Zeit zum Eindringen, so kann man unter dem Schutze der vorgeschobenen Hülse eine Probe hervorholen, die dann vom untersten Punkt stammt. Mit einem solchen Bohrer ging man nun direkt in fünf Meter Tiefe hinab und traf jetzt aufs erstemal jene mulmige Schicht an. In sechs Meter Tiefe war sie nicht mehr vorhanden. Als dann ging man sofort zum dreizehnten Meter über und kam da auch wieder auf die mit Feinsand verunreinigte Schicht; das bewies insbesondere die spätere Untersuchung, indem sich für die beiden Proben aus dem dreizehnten Meter fast die gleiche Zahl als „Dichte“ ergab, die Höchstzahl, die überhaupt unter allen Proben vertreten war. — Hinsichtlich der beiden „Hülsenbohrer“ möchte ich bemerken, daß die soeben beschriebene Form, obwohl sie wegen ihrer Einfachheit interessant erscheinen mag, vielleicht doch nicht immer so zuverlässig arbeitet und daß daher die erste Form vermutlich den Vorzug verdient. — Während bei der erstmaligen Durchbohrung, die im vorigen Abschnitt beschrieben wurde, der steinhaltige Untergrund mit $21\frac{1}{2}$ Meter erreicht wurde, erreichte ich ihn diesmal schon mit $20\frac{1}{2}$ Meter, obgleich die beiden Bohrstellen nur wenige Meter voneinander entfernt waren. Wir werden darüber später noch einige kritische Bemerkungen zu machen haben. Unser neuer Bohrer brachte diesmal von dem tiefsten Punkt, soweit er überhaupt etwas enthielt, nur etwas Feinsand herauf; im übrigen war der Beweis, daß das Ende der Schlammschicht erreicht war, in sehr drastischer Weise dadurch erbracht, daß der zart gebaute Bohrer mit seinen Fenstern und schmalen Fensterrahmen zusammengedrückt war wie ein Strick. Das hatte der Widerstand der Moränensteine bewirkt in $20\frac{1}{2}$ Meter Tiefe, während er aus der Tiefe von 20 Meter noch ganz unversehrt heraufgebracht worden war, erfüllt mit feinstem homogenen Schlamm.

Nun mögen die Ergebnisse folgen, das heißt wir wollen zahlenmäßig beschreiben, in welchem Maße die Dichte des Schlammes mit zunehmender Tiefe sich änderte. Angeführt sei hierbei auch die Dichte des Schlammes ganz oben, genauer gesagt, in den obersten Zentimetern der Schicht, also sozusagen in 0 Meter Tiefe, ein Resultat, das sich bei anderen, später zu besprechenden Untersuchungen ergeben hat und das hier vorweggenommen sein möge. Bei 0 Meter Tiefe: 0,345 Dichte (das heißt also 0,345 Gramm in 1 Kubikzentimeter);

bei 1 Meter 0,633; bei 2 Meter 0,664; bei 3 Meter 0,558; bei 4 Meter 0,675; bei 5 Meter 0,721; bei 6 Meter 0,845; bei 7 Meter 0,864; bei 8 Meter 0,897; bei 9 Meter 1,178; bei 10 Meter 1,183; bei 11 Meter 1,286; bei 12 Meter 1,365. Wie man sieht, findet soweit, abgesehen von untergeordneten Schwankungen, eine ziemlich stetige Zunahme der Dichte statt. Nun kommt der oben schon erwähnte Höchstwert bei 13 Meter Tiefe, nämlich 1,562. Nimmt man das als Anomalie, die übrigens bei den auch sonst vorkommenden Schwankungen gar nicht so sehr als solche hervortritt, so kann man sagen, daß von hier an durchschnittlich ein Gleichbleiben der Dichte zu verzeichnen ist bis zum 20. Meter. Die Zahlen sind: bei 14 Meter 1,482; bei 15 Meter 1,344; bei 16 Meter 1,397; bei 17 Meter 1,366; bei 18 Meter 1,484; bei 19 Meter 1,410; bei 20 Meter 1,435. Benutzt man diese Zahlen als Grundlage zu einer Kurvendarstellung, wobei die verschiedenen Werte der Dichte als Ordinaten angetragen werden, so hat man eine noch klarere Vorstellung über das Anwachsen der Dichte. Die Kurve steigt zuerst ziemlich stetig an und biegt etwa beim 13. Meter mehr ins Wagrechte um (Tafel 2, Fig. 4). — Die Tatsache, daß die größte Dichte nicht ganz unten, sondern beim 13. Meter angetroffen wurde, hängt wohl zusammen mit dem Feinsandgehalt, welcher bei dieser Probe ein wenig auffallender hervortrat (siehe oben). Es liegt nur eine Beimengung, sozusagen eine Verunreinigung vor. Feinsand selbst stellt der Schlamm niemals dar. Vermutlich haben besondere klimatische Verhältnisse zur Zeit der Ablagerung den etwas veränderten Charakter des Schlammes bedingt. — Eine gute graphische Darstellung gewährt uns schließlich die Möglichkeit, mit Hilfe eines Planimeters das Gesamtgewicht zu bestimmen, welches für unsere Rechnung wichtig ist. Indem wir die Schlammtiefe bis auf weiteres zu 20,1 Meter annehmen, ergibt sich nach diesem Verfahren (siehe Tafel 2, Fig. 4) als mittlere Dichte des Schlammes der Wert 1,10 und als Gesamtgewicht 2208,2. Zum Verständnis der letzteren Zahl sei gesagt: Denkt man sich eine Säule von 1 Quadratmeter Querschnitt vom untersten Grund an bis zur Oberfläche des Schlammes herausgeschnitten, also 20,1 Meter hoch, so enthält diese nach Abzug sämtlichen Wassers 22080 Kilogramm oder 22,08 Tonnen Gewicht.

II. Der jährliche Schlammniederschlag.

a) Untersuchungen zur Bestimmung des jährlichen Niederschlags und technische Hilfsmittel.

Der Sinn der nun folgenden Untersuchungen ist schon anfangs angedeutet worden. Es mag an sich interessant erscheinen, eine genauere Vorstellung darüber zu erhalten, welcher Betrag dem Jahr für Jahr erfolgenden Schlammniederschlag zukommt. Wir müssen uns hierüber auch Aufklärung zu verschaffen suchen in Rücksicht auf das besondere Ziel, das wir verfolgen. Nur der Versuch kann uns lehren, wie groß die Zahl ist, welche die für unseren See charakteristische Größe des Schlammniederschlags zum Ausdruck bringt. Wir definieren sie als das in Kilogramm angegebene Gewicht derjenigen Schlammmenge, die sich auf dem tieferen Grund niederschlägt, auf 1 Jahr (= 365¼ Tag) und 1 Quadratmeter reduziert und bei 100 Grad getrocknet. Die diesbezüglichen Arbeiten wurden wiederum nur von der Eisdecke aus durchgeführt; sie bestanden im Versenken und Wiederhervorholen von Schlammstammelkästen, die man jahrelang auf dem Seegrund ruhen ließ. Die Länge des Zeitraumes, welcher diese Arbeit umfaßt, war hauptsächlich dadurch bedingt, daß man

einen befriedigenden Jahresdurchschnitt zu erhalten suchte, und das war nicht anders möglich, als durch langjährige diesbezügliche Beobachtungen. Ganz nahe bei der Stelle, an welcher ich die Schlammschicht durch Bohrungen hinsichtlich ihrer Mächtigkeit, ihrer Dichte, ihrer Gesamtmenge untersucht habe, wurden auch die jetzt zu behandelnden Untersuchungen vorgenommen. Um so mehr habe ich Anlaß, diese Stelle im See genauer zu bezeichnen. Sie ist eingetragen in der Karte auf Tafel 2, Fig. 1, aus welcher auch der Verlauf der Isobathen zu ersehen ist. Maßgebend für die Wahl des Ortes war die Gestaltung des Seeuntergrundes. Aus der Kartendarstellung ist ersichtlich, daß die Stelle nicht etwa die tiefste ist, sondern da liegt, wo der tiefere Grund jenseits des Niedersonthofener Anschwemmungslandes wieder sanft anzusteigen beginnt. Hier konnte man annehmen, daß die heutigen Raum- und Tiefenverhältnisse noch am ehesten den früheren gleichen, welche da bald nach dem Schwinden des eiszeitlichen Gletschers geherrscht haben. In Rücksicht auf spätere Kalkulationen wird diese Wahl des Ortes als ein günstiger Umstand erscheinen. — Da ich von ähnlichen Untersuchungen nicht gehört hatte, war ich bei diesen Arbeiten ebenso wie bei den oben beschriebenen Bohrungen ganz darauf angewiesen, meine eigenen Erfahrungen zu machen, Hilfsmittel zu beschaffen und Methoden auszubilden. Hinsichtlich der Versenkung von Schlammstammeln liegen zwar Untersuchungen vor, welche an Schweizer Seen angestellt wurden; ich erfuhr von ihnen aber erst, nachdem ich den ersten Kasten versenkt und auch wieder hervorgeholt hatte. Das hatte vielleicht das Gute, daß ich mir ein anderes Verfahren ausbildete, das auch brauchbar ist, je nach Umständen vielleicht als das günstigere erscheint. Auf der Eisfläche wurde ein Punkt bestimmt und gerade unter ihm der Schlammkasten versenkt. Auf diesem war zum Einhaken eine dreiseitige Drahtpyramide angebracht. Nach einem oder auch nach mehreren Jahren, wenn der See wiederum zugefroren war, wurde dann derselbe Punkt wieder aufgesucht, an einem Stahlmeßband ein harpunenartiges Eisen hinabgelassen, das sich in der Drahtpyramide einhakte. So konnte der Kasten wieder heraufgebracht werden. Als Beweis für die Brauchbarkeit dieser Methode möge angeführt werden, daß ich nun im Laufe meiner Untersuchungen 19 Sammelkästen auf diese Weise versenkt habe und davon nur einen infolge eines Mißgeschickes nicht mehr heraufbefördern konnte. Der erste „Kasten“ war ein weiter, ziemlich niedriger, aus einer Masse gefertigter Glaszylinder, wie er zu Aquariumszwecken gebraucht wird (Durchmesser 40,8 cm, Höhe 22,5 cm); er wurde am 13. Februar 1910 an der obenbezeichneten Stelle hinabgelassen und nach vier Jahren, am 24. Februar 1914, wieder gehoben. Der Punkt auf dem Eise wurde in diesem Falle bestimmt als Schnitt zweier Geraden. An dem nördlichen und am südlichen Ufer wurden nämlich je zwei Eisenpfähle eingerammt, so daß sie zusammen ein Viereck darstellten. Der Schnitt der beiden Diagonalen war dann jener Punkt. Das Visieren wurde natürlich mit einem Fernrohr und mit passenden Visierscheiben besorgt. Als ich denselben Glaskasten nochmals versenkte, habe ich nur je einen Eisenpfahl an beiden Ufern eingerammt und den Punkt auf der Verbindungsgeraden durch Abmessen mit einem in Zentimeter eingeteilten 50-Meter-Stahlmeßband bestimmt. Diesen beiden Methoden ist gemeinsam, daß keine Winkel gemessen werden müssen, daß sie also sozusagen Nullmethoden darstellen. Man braucht keinen Theodoliten, nur ein Fernrohr zum Visieren. Doch wurde später gelegentlich auch ein Theodolit verwendet. Dann konnte natürlich anders und — in gewissem Sinne — einfacher verfahren werden. Es

wurde nur an einem Ufer ein Pfahl eingeschlagen, von da eine Richtung bestimmt und dann in dieser die Entfernung mit dem Stahlmeßband abgemessen. Eine Richtung wird bekanntlich mit dem Theodoliten dadurch bestimmt, daß man zuerst einen gewissen Punkt, etwa die Spitze eines Kirchturmes, anvisiert und von da den Winkel mißt bis zu der festzulegenden Richtung. Natürlich kann man die Lage des Versenkungspunktes auf dem Eise auch nur mit dem Theodoliten bestimmen, indem man in passender Entfernung voneinander zwei Pfähle an einem Ufer einschlägt und von diesem aus je eine Richtung bestimmt. Der Punkt ist dann der Schnitt der beiden Geraden. Die zwei letzten Methoden haben den Vorzug, daß man mit dem jenseitigen Ufer nichts zu tun hat, was unter Umständen von großer Bedeutung sein kann. Je nach dem See wird man sich von diesen vier Möglichkeiten eine auswählen. Beim Niedersonthofener See war die zweite Methode jedenfalls sehr sicher und bequem. Die „Harpune“ hakte sich da immer sogleich ein, wenn man den Kasten wieder heben wollte. Bei sehr großen Seen wäre ohne Zweifel die erste ganz vorzüglich, insofern sie noch anwendbar ist (das hängt vor allem von dem Grad der Durchsichtigkeit der Luftschichten über dem See ab); wenn nicht, so kann man immer noch zur vierten greifen. Es müßte wohl eine besonders reizvolle Aufgabe vom Standpunkt der Vermessungskunde sein, etwa auf der weiten Fläche des Chiemsees einen Punkt der Eisdecke zu bestimmen und nach einer Reihe von Jahren wieder aufzusuchen zum Zweck solcher Schlammuntersuchungen. Daß sie sehr gut lösbar ist, darüber kann bei dem, was sonst auf dem Gebiet der Vermessung mit modernen Apparaten geleistet wird, kein Zweifel bestehen. Friert ein See selten zu, so kann darin, wenn es nicht allzuseiten ist, auch ein Vorteil erblickt werden, insofern dann mit der Länge der Zeitdauer das Ergebnis um so wertvoller wird. Hier heißt es: „Man säe nur, man erntet mit der Zeit.“ Das Einrammen von Eisenpfählen ist eine mißliche Sache. Schlägt man sie tief ein, so daß sie nur recht wenig oder fast nicht herausragen, so sind sie wegen der winterlichen am Boden meist verkrusteten Schneedecke oft schwer wieder auffindbar, läßt man sie weiter herausragen, werden sie von mißtrauischen Bauern entfernt; es sind mir sehr viele Schwierigkeiten aus derlei Ursachen erwachsen. Daher ist dringend zu raten, den Punkt, von welchem aus die Richtungs- und Entfernungsbestimmung ihren Ausgang nehmen soll, mittels des Stahlmeßbandes genau festzulegen, indem man die Entfernungen von in der Nähe befindlichen Fixpunkten irgendwelcher Art bestimmt. Man mag dann noch einen Pfahl einschlagen oder auch nicht; auf jeden Fall ist man dann gesichert und das betrifft eine wichtige Sache, weil von dem Ausgangspunkt das Wiederauffinden des Schlammkastens abhängt. Zum Bearbeiten des Eises ist unerlässlich der Besitz einer leichten, handlichen, schmalen Eissäge und eines Eisbohrers; als sehr nützlich erwies sich auch die kleine „Teklenburgschaufel“ (zu beziehen von der Firma Brust u. Post, vorm. P. Gräf, Darmstadt), geschraubt an eine 2 m lange, massive, eiserne Bohrstange. Sie kann z. B. verwendet werden, um die Scheidewand zwischen nahe aneinander gelegenen Bohrlöchern im Eis durchzustoßen, damit die Säge eingefügt werden kann. Es sind rechteckige Stücke aus der Eisdecke auszusägen an der Stelle, wo ein Kasten versenkt oder herausgeholt werden soll; im ersteren Fall läßt man eine Seite des Rechteckes durch den auf der Eisdecke vorher bestimmten Punkt selbst gehen; dann hat man die Bequemlichkeit und den Vorteil, daß man das Stahlmeßband, an dem man den Kasten hinabläßt, in dem Punkt selbst am Rand des Eises anlegen und langsam hinabgleiten lassen kann. Den heraus-

gesägten großen Eisklotz hat man vorher unter die übrige Eisdecke geschoben. Die an dem Stahlmeßband befestigte „Harpune“ ist ein zirka 70 cm langer, etwas zugespitzter Eisenstecken, an welchen vorne etwa fünf gerade Eisenstücke wie Widerhaken gleichmäßig ringsherum angeschweißt sind (siehe Tafel 2, Fig. 6 b). Der Sinn dieser Einrichtung ist sehr klar und einfach. Sie entspricht der „Drahtpyramide“. Diese besteht aus drei am kreisförmigen Rand des Schlammkastens befestigten Drähten, die in einem Punkt gleichmäßig zusammenlaufen, so daß sie eine dreiseitige Pyramide darstellen. Es wurden immer Nickelindrähte, 1,5 bis 2 mm stark, verwendet und niemals haben sie versagt. Allenfalls muß bemerkt werden, daß sie nach vielen Jahren der Einwirkung durch das Seewasser etwas spröde und brüchig werden und daß dann eine Erneuerung ratsam ist. Zum Hinablassen wurde der Kasten mit der Spitze der Pyramide in einen Widerhaken der „Harpune“ eingehängt; am Grunde angelangt, hakte er sich natürlich ebenso leicht wieder aus, so daß das Stahlband mit der „Harpune“ allein emporgezogen werden konnte. Wenn andererseits ein Sammelkasten heraufgeholt werden sollte, brauchte man nur das Meßband mit der „Harpune“ in die entsprechende, genau bekannte Tiefe hinabzulassen und einigemal auf- und abzufahren, bis sich die Widerhaken in die Pyramide einhaken. Bei tieferen Seen wird man wohl zum Hinablassen eine andere Vorrichtung verwenden, nämlich einen einfachen Haken; beim Wiederhervorholen hingegen eine „Harpune“ mit weiter ausgreifenden Widerhaken. Nur mit Stahlmeßbändern darf dabei gearbeitet werden, mit nichts anderem aus mancherlei Gründen. Natürlich müssen sie vorne mit sehr zuverlässigen, festen Vorrichtungen versehen sein, welche auf bequeme Weise dies und jenes anzuhängen gestatten; man muß große Lasten damit heben können. Beim Heraufholen der oft schweren und je nach Umständen auch schwer vom Boden wegzubringenden Kästen ist die „Harpune“ an mindestens zwei Stahlmeßbändern gleichzeitig zu befestigen. Aus dem gelegentlichen Unterlassen dieser Vorsichtsmaßregel sind mir manche Schwierigkeiten und Schäden erwachsen. Erwähnen möchte ich auch als recht nützlich zu mancherlei Zwecken die Verwendung von gewachsenen Schnüren und runden Holzpfählen. Letztere haben einen solchen Durchmesser, daß sie gerade in die Bohrlöcher eingesteckt werden können, die man hierfür mit dem Eisbohrer gemacht hat.

Als der erste Sammelkasten nach vierjähriger Versenkung wieder heraufkam, zeigte es sich, daß eine überraschende Menge von Schlamm enthalten war; er bedeckte die 13,11 qdm große innere Bodenfläche des weiten Glasgefäßes nicht ganz gleichmäßig, durchschnittlich mit 5 cm Tiefe; das Gesamtgewicht bei trockenem Zustand betrug 2,250 Kilogramm. An den senkrechten Wänden, sowohl innen wie außen, hatte sich nichts von Schlamm angehängt; höchstens war ein schwacher, organischer Filz als Ueberzug zu bemerken. An der Drahtpyramide und auch sonstwo am Kasten hatten sich weiße, flockige Kolonien von langstieligen Glockentierchen (*Carchesium polypinum*) angesiedelt. Innen fand sich die oben schon mitgeteilte Schlammfauna. Die Oberfläche des Schlammes erschien teilweise ziemlich rau und uneben, namentlich da, wo die Tubifexwürmer ihre Tätigkeit ausgeübt hatten. Der erwähnte leichte Ueberzug, welcher der Glaswandung anhaftete, ließ an der Außenseite die Grenze erkennen, bis zu welcher der Kasten im Schlamm gesteckt war; der Ueberzug fehlte unten bis zu zirka 5 cm über dem Boden des Zylinders; da der äußere Schlamm aber natürlich auch um mehrere Zentimeter in die Höhe gewachsen war, so dürfte der Glaskasten beim Versenken nur etwa 1 cm tief

ingesunken sein. Das stimmt mit meinen sonstigen Beobachtungen an diesem See überein und steht im Gegensatz zu vielen anderen Seen, in welchen der Schlamm weicher und weniger dicht sich niederschlägt. Auch geht aus der gemachten Wahrnehmung hervor, daß die Vorstellung, es könnte etwa ein versenkter Körper durch die Länge der Zeit an sich tiefer in den Schlamm hineinsinken, abzuweisen ist; er verharrt in der zuerst eingenommenen Lage. Beim Heben des Kastens drang auch — wie das bei solchen Gelegenheiten immer der Fall war — Sumpfgas herauf, in einigen mächtigen Blasen. Es hatte sich wohl unter dem Boden des Gefäßes angesammelt. Dieses Gas zeugt von gewissen Verwesungsprozessen, die sich in den obersten Schichten des Grundes abspielen. Ueber die Farbe der Schlammoberfläche ist oben schon das Nötige mitgeteilt worden. Bei einer solchen Gelegenheit kann man natürlich einwandfreie Beobachtungen und Feststellungen über allenfallsige Jahresschichten machen und deren Zusammensetzung; denn völlig ungestört sieht man da ein größeres Stück Seegrund, wie er leibt und lebt, an das Tageslicht kommen*). Oben wurde schon erwähnt, daß die „Dichte“ des Schlammes auch für die obersten Zentimeter des Grundes bestimmt wurde; das konnte in sehr bequemer und einwandfreier Weise dadurch geschehen, daß man aus der mit dem Kasten gehobenen Schlammmasse eine Probe zur Untersuchung nach dem früher angegebenen Verfahren entnahm.

Es wurde schon einmal angedeutet, daß es mit dem Wiederauffinden von Schlammkästen nicht immer so glatt herging, z. B. wenn ich einen Eisenpfahl, den ich vor Jahren am Ufer eingeschlagen hatte, nicht mehr finden konnte. In solchen Fällen gelang es mir aber doch fast immer, den Kasten, dessen Stelle auf dem Grund nur ungefähr bekannt war, wieder zu heben. Der Seegrund wurde in dem einschlägigen Bereich sozusagen abgesucht dadurch, daß man eine vielleicht vier Meter lange, bifilar an beiden Enden aufgehängte, horizontale Stange (aneinandergeschraubte Bohrstangen oder leichte, aneinandergesteckte Stahlrohre) dicht über dem Schlamboden hinschweben ließ. Zu diesem Zweck hatte man oben aus der Eisdecke eine vielleicht 10 Meter lange und $\frac{1}{2}$ Meter breite Rinne herausgesägt. Die oberen Enden der beiden (gewachsenen) Aufhängeschnüre waren gesondert in etwa 30 cm Abstand an einem horizontal gehaltenen Stecken angeknüpft, den man quer zur Rinne hielt und nahe über dem Wasser langsam vorwärts bewegte. Zeigten die zwei Schnüre beim Vorrücken eine anormale Verschränkung, so wußte man, daß die Stange unten durch den Kasten eine Hemmung erfahren hatte, das heißt, wo er sich längs der Linie befand. An dem Sinn der Drehung konnte man

*) An dieser Stelle ist wohl erwähnenswert die folgende brieflich an mich gerichtete Äußerung eines Hydrobiologen, des leider so früh verstorbenen Dr. Friedrich Kurt Reinsch: „Die Hydrobiologen mühen sich seit Jahren einen Apparat zu konstruieren, der ermöglicht, in ihrer Schichtung unversehrte Ausschnitte des Seebodens zu erhalten. Wir sind aber bisher nicht über den Naumannschen Glasrohrapparat hinausgekommen. Ab und zu erhält man eine gute Schichtenzeichnung, im allgemeinen liefert der Apparat aber doch kein getreues Abbild der wirklichen Verhältnisse. Ich halte Ihr Vorgehen, Glaskästen zu versenken, wohl für die einzig einwandfreie Methode. Nur ist sie sehr zeitraubend. Uns interessiert natürlich die chemische Zusammensetzung, womöglich von Zentimeter zu Zentimeter Tiefe. Und schließlich findet noch die in den obersten Schichten lebende Mikrofauna Berücksichtigung. Doch werden die ganzen Analysen so stümperhaft betrieben und trotzdem weittragende Hypothesen daraufhin aufgestellt, daß es besser wäre, die Hydrobiologen würden die Finger davon lassen.“ — Hierzu möchte ich nur bemerken, daß schon lange vor mir Albert Heim und vielleicht auch andere Untersuchungen mit Schlammstammkästen angestellt haben. Heim im Vierwaldstätter See im Sommer (mit chemischen Analysen).

zugleich erkennen, ob er rechts oder links von der Achse der Rinne zu suchen sei.

Außer dem oben beschriebenen ersten Versuch, den ich an dem See zur Ermittlung des jährlichen Schlammabsatzes anstellte, habe ich aber noch zahlreiche andere vorgenommen; sie verfolgten den besonderen Zweck, die Gesetzmäßigkeiten zu eruieren, welche bei der Schlamm Bildung im See maßgebend sind. Daß diese Bemühungen nicht nur wohl begründet, sondern auch um des besonderen Zieles dieser Arbeit willen unumgänglich notwendig waren, das haben die Ergebnisse zur Genüge bewiesen.

b) Die versenkten Schlamm sammelkästen.

Zunächst sollen unter Hinweis auf die zeichnerischen Darstellungen (Tafel 2) die einzelnen Sammelkästen vorgestellt und kurz erörtert werden. Dabei kann ich nicht umgehen, einige Versuche qualitativer Art zu besprechen, welche ich im Alpsee bei Immenstadt anstellte, obwohl es meine Absicht eigentlich war, diesen gesondert zu behandeln. Niedersonthofener See und Alpsee sind nahe verwandt, beide im Molassegebiet gelegen, von ähnlicher Gestalt und fast gleicher Tiefe, so daß die Beziehung des Nachbarsees zur Beurteilung mancher Verhältnisse unter Umständen erwünscht und wohl motiviert erscheint.

A. Der schon besprochene „Glaskasten“ (siehe Tafel 2, Fig. 7). Zu den bereits gemachten Mitteilungen sei hinzugefügt: Er wurde am 1. März 1914 ganz in der Nähe der ersten Versenkungsstelle zum zweitenmal hinabgelassen und nach rund drei Jahren, nämlich am 25. Februar 1917, wieder heraufgeholt. Obwohl der Zeitraum um ein Jahr kürzer war, enthielt er mehr Schlamm als bei der ersten Versenkung. Die Trockengewichte, reduziert auf ein Jahr und 1 Quadratmeter, waren entsprechend 4,30 kg und 7,534 kg. Da die äußeren Bedingungen in beiden Fällen die gleichen zu sein schienen, wird man versucht sein, den Schluß zu ziehen, daß die Schlammabsätze je nach den Jahren sehr verschieden groß sein können, also in hohem Maß davon abhängig sind, ob ein Jahr heiß oder kalt, regnerisch oder trocken ist. Diese Folgerung ist aber, was die genannte Beobachtung betrifft, unberechtigt, da andere Dinge mit hereinspielen, wie bald näher dargelegt werden wird. Es soll damit nicht gesagt sein, daß gar keine Abhängigkeit vom Jahresklima bestehen wird; nur ist sie sicher wesentlich geringer, als es nach obigen Zahlen scheinen könnte.

B. Ein niedriger Zinkkasten, der auf Tafel 2, Figur 8, im Grund- und Aufriß dargestellt ist. Seine Höhe betrug nur 4,5 cm. Die Bodenfläche hatte den Durchmesser 40,7 cm; jedoch ließ ich, weil ich glaubte, interessante Beobachtungen dadurch machen zu können, den „Kasten“ so anfertigen, daß der Blechboden nach allen Seiten noch 10 cm herausragte (siehe Zeichnung), somit also im ganzen 60 cm Durchmesser hatte. Dieser Sammelkasten wurde für meine quantitativen Untersuchungen, wie es sich zeigte, von besonderer Bedeutung. Im ganzen ruhte er 11 Jahre auf dem Grund des Sees, und zwar wurde er dreimal versenkt, nämlich zuerst drei Jahre, dann wieder auf drei Jahre und schließlich auf fünf Jahre, immer fast genau an derselben Stelle (Punkt B auf Tafel 2). Die genauen Angaben mögen hier folgen:

1. Versenkung: 1. März 1914 — 25. Februar 1917;
2. Versenkung: 24. Februar 1919 — 31. Januar 1922;
3. Versenkung: 31. Januar 1922 — 1. Februar 1927.

Auf diesen niedrigen Zinkkasten und die mit ihm erzielten Resultate muß ich noch ausführlich zurückkommen; die Rechnung wird sich auf ihn gründen müssen.

C. Eine mit Wasser füllbare Blechdose. Es war das ein flacher, aus Zink gefertigter Zylinder (Durchmesser 49,5 cm, Höhe 4,2 cm), der oben auch geschlossen war. Der Punkt auf dem Eise, welcher bestimmt wurde zur Versenkung des Glaskastens (zweite Versenkung) diente zugleich dazu, noch zwei andere Kästen mitzubestimmen; das war eben der unter B behandelte niedrige Zinkkasten und diese Zinkdose C. So wurden also drei Kästen zu gleicher Zeit versenkt, die in einer geraden Linie in je 4 m Abstand auf dem Grund ruhten (1. März 1914 — 25. Februar 1917). Ueber den Sinn dieses Versuches sowie die Ergebnisse wird unten bei G Näheres mitgeteilt werden.

D. Neun verzinkte Eisenblechscheiben. Bei diesen wurden die Seitenwandungen, die bei dem obigen Zinkkasten immerhin noch 4,5 cm hoch waren, ganz weggelassen; es waren also gar keine „Kästen“ mehr. Sie wurden auf dem ganzen Seegrund verteilt. (Die Versenkungsstellen a bis i sind aus Tafel 2 zu ersehen, sowohl auf der Karte als auch in dem Längsschnitt.) Am 24., 25. und 26. Februar 1919 versenkte ich die Scheiben und holte sie nach drei Jahren, nämlich am 30. und 31. Januar und am 1. und 2. Februar 1922, wieder hervor; — die bei c versenkte habe ich nicht wieder finden können. Vorläufig bemerke ich über diese Scheiben nur dies, daß sie alle leicht vom Boden wegzubringen waren, obwohl der Schlamm, der, wie immer, sich reichlich angesammelt hatte, am Rand mit dem sonstigen Schlamm des Grundes verwachsen war. Im Gegensatz hierzu war der niedrige Zinkkasten immer sehr schwer vom Boden wegzubringen, weil eben der Blechboden durch die aufgesetzte 4,5 cm hohe Wandung versteift war.

E. Ein großer Schlammkasten aus Zinkblech. Er wurde im Al্পsee versenkt auf dem tiefsten Grund. Zwar nicht an der allertiefsten Stelle selbst, sondern zirka 150 m östlich von ihr. Der Durchmesser war 47,5 cm, die Höhe der Wandung 24,5 cm. Der Punkt auf dem Eise, welcher zum Zweck des Versenkens bestimmt wurde, diente auch hier dazu, gleichzeitig noch zwei andere Kästen mitzubestimmen, nämlich die unter F und G genannten. So wurden also drei Kästen versenkt in einer geraden Linie in je 4 m Abstand, alle am gleichen Tag, nämlich am 28. Februar 1915, und ebenso am gleichen Tag wieder heraufbefördert, nämlich am 27. Februar 1919.

F. Ein niedriger Zinkkasten. Der Durchmesser war 50,1 cm, die Höhe der Wandung betrug 7,8 cm.

G. Ein umgestürzter Zinkkasten. Er war 25,5 cm hoch und hatte einen Durchmesser von 49,2 cm. Seine Bodenfläche war nach oben gekehrt. Wie aus den Spuren an der Außenwand (Inkrustierung!) zu erkennen war, hatte der Kasten beim Hinablassen 9 cm tief sich in den Schlammgrund hineingesenkt. Indem aber während der vier Jahre der Grund um 3 cm höher gewachsen war, steckte der Kasten schließlich 12 cm im Schlamm Boden; das war nach dem Heben deutlich an der äußeren Blechwand zu sehen. Der Zweck war ebenso wie bei C, eine Fläche zu schaffen, welche sicher über dem sonstigen Schlamm Boden emporgehoben war, und festzustellen, wie unter diesen Umständen der Schlammniederschlag sich gestaltet. Erwähnen möchte ich, daß alle hohen Kästen, welche viel Wasser faßten, auch dieser umgestürzte, unten offene, im Wasser schwebend sehr viel schwerer erschienen als die niedrigen.

c) Beobachtungen über den Schlammniederschlag.

Als nach dreijähriger Versenkung die neun verzinkten Blechscheiben wieder zutage gefördert wurden, zeigte es sich zu meiner nicht gerade angenehmen Ueberraschung, daß der reichlich angesammelte Schlamm in sonderbarer Weise auf ihnen verteilt war. Um die Anknüpfungspunkte der Drähte, welche nicht am Rand, sondern 4 cm weiter innen sich befanden, zeigte sich die Fläche in ziemlich weitem Umkreis nur wenig bedeckt mit Schlamm, während auf den übrigen Teilen der Scheiben die als normal zu betrachtende Schlammbedeckung zu sehen war. Bei allen war diese Erscheinung wahrzunehmen, wenn auch nicht in gleichem Maße; bei einer so stark, daß um die Eckpunkte der Pyramide herum das Metall ganz unbedeckt und blank war, während sonst der Schlamm zirka 5 cm hoch aufgeschichtet sich zeigte. Man könnte vielleicht daran denken, es möchte die sonderbare Verteilung des Schlammes durch Abspülen verursacht worden sein. Dagegen sprach die braune Oberfläche der Ablagerung; außerdem bemerke ich, daß die „Schlammkästen“ immer langsam heraufgeholt wurden, der Schlamm selbst einen gewissen sulzartigen Zusammenhang zeigte (siehe oben) und die beschriebenen Verhältnisse bei einigen Scheiben sogar noch zu sehen waren, als man sie vom Schlamm gereinigt und abgewaschen hatte. Die Metalloberfläche zeigte sich nämlich nach jahrelanger Schlammbedeckung mehr oder weniger inkrustiert von dem Schlamm und diese Inkrustierung fehlte in einem gewissen Umkreis um die drei Anknüpfungspunkte. — Auch bei dem niedrigen Zinkkasten B zeigte sich die gleiche Erscheinung. Zwar von der ersten Versenkung kann ich das nicht berichten, denn ich war damals noch nicht auf diese Dinge aufmerksam geworden; aber nach der zweiten und besonders nach der dritten Versenkung habe ich die Erscheinung sehr schön mit fast mathematischer Regelmäßigkeit ausgebildet wahrnehmen können (siehe Tafel 2, Figur 8 β , γ , δ). Die kreisförmigen Bereiche um die drei Anknüpfungspunkte waren gerade so groß, als ich es in der maßstäblichen Zeichnung durch Grund- und Aufriß dargestellt habe.

Wie die Erscheinung meiner Ansicht nach zu erklären ist, möchte ich nun in Kürze darlegen. Man hat in diesem wenig tiefen See damit zu rechnen, daß vertikal gerichtete Konvektionsströmungen reichlich oft vorkommen und sich bis zum Grund erstrecken. Geht nun da, wo ein solcher „Kasten“ sich befindet, eine Strömung abwärts, so erleiden die Wasserteilchen rings an der Oberfläche eines Drahtes eine Hemmung in ihrer Bewegung; es bildet sich ein Wirbel, ähnlich dem Rauchring, welchen ein Raucher aus dem Mund bläst; er wird in etwas abgeänderter Richtung den Draht entlang sich bewegen, an den Grund geraten, sich daselbst seitwärts ausbreiten und dabei entweder eine ruhige Schlammablagerung in einem gewissen Umkreis verhindern oder schon niedergesetzte Teilchen mit fortnehmen. Die Bewegungsrichtung der Teilchen in dem Wirbel wird eine umgekehrte sein als wie in den Rauchringen, weil die beiden Fälle sozusagen reziprok sind. Was hier der freie Raum ist, ist dort die feste Wand und dem Draht hier entspricht die Oeffnung dort. Der Fall erscheint uns fremdartig und künstliche Versuche hierüber dürften mit großen Schwierigkeiten verknüpft sein. Ich habe versucht, in der Darstellung auf Tafel 2, Figur 8 γ , einen solchen Wirbel im Durchschnitt zu zeichnen.

Bei den hohen Kästen zeigte sich in der Schlammablagerung diese Erscheinung natürlich nicht. Dafür wurde bei ihnen etwas anderes wahrgenommen. Man beachte die naturgetreue zeichnerische Darstellung der Schlammbedeckung

einerseits in dem Glaskasten (erste Versenkung) und andererseits in dem hohen Kasten, den ich im Alpsee versenkte (Tafel 2, Figur 9 a und β). In dem ersteren stellte sich die Oberfläche hohl dar, in dem anderen hingegen so, daß in der Mitte ein Berg zu sehen war. Beiden Fällen gemeinsam war, daß die abgelagerte Masse einen regelmäßigen Rotationskörper bildete, woraus unzweifelhaft hervorgeht, daß beim Niederschlag des Schlammes eine Abhängigkeit von der rings umgebenden Zylinderwandung bestand. Man wird hier wiederum auf die vertikalen Strömungen aufmerksam. Soll in einem oben offenen Glas, das man vor sich stehen hat, die Luft erneuert werden, so kann das geschehen entweder, indem man hineinbläst oder indem man die Luft herausaugt. Beide Fälle sind nach meiner Meinung hier vorliegend, und es erscheint mir sehr wahrscheinlich, daß diese besonderen Schlammoberflächen sich unter solchen Umständen wirklich so herausgebildet haben. Die Pfeile in den Zeichnungen sollen die Bewegungsrichtung des Wassers kennzeichnen. Daß diese zwei entgegengesetzten Fälle vertreten sind, darf uns nicht so sehr wundern; denn wenn irgendwo Wasser herabsinkt auf den Grund, dann muß auch an anderer Stelle Wasser wieder emporsteigen. Was das Material betrifft, so spielt es wohl kaum eine Rolle; das heißt ob Glas, Nickel, Zink oder verzinktes Eisenblech vorliegt, ist gleichgültig. Eine vergleichende Betrachtung aller Umstände und Tatsachen macht das meines Erachtens hinreichend deutlich. Es handelt sich einfach um Vorgänge, die der reinen Mechanik angehören.

Was den hohen Kasten E betrifft, der in Tafel 2, Figur 9 β , dargestellt ist, so fiel es bei der Hebung desselben sofort auf, daß überhaupt sehr wenig in ihm enthalten war. Eine genauere Untersuchung ergab, daß der Schlammabsatz 3,6mal weniger reichlich war als in dem gleichzeitig daneben versenkten niedrigen Kasten F, in welchem nach allen sonstigen Erfahrungen der Absatz quantitativ als normal zu betrachten war und in welchem die Schlammoberfläche nichts Besonderes an sich hatte. Das ist ein Beweis, welch großen Einfluß die Wandung haben kann auf die Gesamtmenge der Ablagerung, und daß man im Falle einer anormalen Ausbildung der Schlammoberfläche das größte Mißtrauen hegen muß in bezug auf die Quantität des abgelagerten Schlammes. Hinsichtlich des Glaskastens kann ich zwar eine entsprechende Vergleichszahl nicht mitteilen, weil er ja wenigstens bei der erstmaligen Versenkung, um die es sich hier handelt, allein auf dem Grunde ruhte. Aber es ist kaum zu bezweifeln, daß sich in ihm viel weniger als normal niedergeschlagen hat. Das lehren alle anderen Ergebnisse und das Mißtrauen ist auch hier sehr am Platz. Bei der zweiten Versenkung des Glaskastens war die Oberfläche in viel geringerem Maße konkav gestaltet als im ersten Fall; siehe Tafel 2, Figur 7. Dafür war auch viel mehr Schlamm enthalten (die reduzierten Trockengewichte waren 4,30 kg und 7,534 kg). Man sieht also wieder den Zusammenhang: Der anormalen Ausbildung der Oberfläche entspricht eine Aenderung oder Fälschung der Quantität. Damit wiederhole ich die schon oben ausgesprochene Behauptung, daß der große Unterschied dieser Zahlen nicht, wie man glauben könnte, durch eine Aenderung des Jahresklimas bedingt war.

Was die unter C und G beschriebenen „Kästen“ betrifft, so möchte ich mitteilen, daß sich auf ihnen weniger angesammelt hat als in den gleichzeitig neben ihnen versenkten niedrigen Zinkkästen. Verhältnis ungefähr 55:41 und 44:38. Es ist so, als ob die über dem sonstigen Schlammgrund emporgehobenen Flächen doch mehr den Bewegungen des Wassers ausgesetzt seien, so daß der Schlammniederschlag nicht unter so günstigen Bedingungen vor sich gehen

kann. An dem Rand dieser Flächen (C und G) brach die Schlammschicht nicht etwa scharf und senkrecht ab, sondern verlor sich allmählich gegen denselben. Der Schlammgrund des Sees ist im ganzen von vollendeter Ausgeglichenheit, welche durch das Fehlen jeglicher Erhöhung gekennzeichnet erscheint und durch eine sehr genaue, von der Eisfläche aus vorgenommene Auslotung erwiesen ist. Gleichwohl ist er im einzelnen keineswegs vollkommen eben. Der Schlamm in diesem See, indem er sich auf freier Fläche niederschlägt, bildet, wie ich aus zahlreichen nicht näher beschriebenen Beobachtungen entnehmen mußte, sanfte, wellige, unregelmäßige, flache Erhebungen. Wir kommen zu einer abschließenden und zusammenfassenden Beurteilung all dieser Verhältnisse, wenn wir hervorheben, daß man es mit einem wenig tiefen See zu tun hat, daß die Konvektions- und sonstigen Ströme die Wassermassen am Grund reichlich mit ergreifen, und daß dieser lebhaftere Austausch der Wassermassen sich in all den besprochenen, zum Teil seltsamen Erscheinungen beim Schlammabsatz widerspiegelt. Ist diese Auffassung richtig, so ist die logische Folge die: Versenkt man entsprechende Kästen in tiefen Seen, so müssen alle diese Erscheinungen in Wegfall kommen; denn da haben die Wassermassen der Tiefe das ganze Jahr über nahezu die gleiche Temperatur von zirka 4 Grad, kommen kaum irgendwie in Bewegung und ermöglichen einen so gleichmäßigen ungestörten Schlammabsatz, daß es bei hinreichender Tiefe sogar zur Bildung von Jahresschichten kommen kann.

Um auch an einem tieferen See die Verhältnisse kennen zu lernen, habe ich seit zwei Jahren den Starnberger See in Angriff genommen und zunächst einen Schlammkasten versenkt auf dem tiefsten Grund. Ueber Resultate nach dieser Richtung kann ich noch nichts berichten. Dagegen ist es mir gelungen, die Schlammschicht dieses Sees nach ihrer Mächtigkeit näher zu untersuchen. Die Bohrmethode freilich mußte bei der weit größeren Tiefe (an der betreffenden Stelle betrug sie 117 m) ganz wesentlich gegenüber der oben beschriebenen abgeändert werden. Nach den bisherigen Resultaten ist die eigentliche Seeschlammschicht ungefähr 8 m tief anzunehmen. Bis zur steinhaltigen Moräne wie beim Niedersonthofener See konnte ich bisher allerdings noch nicht vordringen, aber ich habe immerhin eine ausgesprochene und keineswegs feine Sandschicht erreicht. Die Versuche hoffe ich solange fortzusetzen, bis völlige Klarheit geschaffen ist. Diese vorläufige Mitteilung möge dem Verfasser gestattet sein, da eine Veröffentlichung all der den Starnberger See betreffenden Untersuchungen wohl erst nach einer unbestimmten Reihe von Jahren möglich sein wird.

d) Zahlenmäßige Bestimmung des jährlichen Schlammniederschlags und vorläufige Zeitberechnung.

Zur zahlenmäßigen Berechnung des durchschnittlichen jährlichen Niederschlags pro Quadratmeter ist folgendes in Erinnerung zu bringen: Zunächst war es der Glaskasten, welcher für sich allein vier Jahre lang versenkt war; sodann kommt allein noch in Betracht der niedrige Zinkkasten B, welcher anschließend an jene vier Jahre im ganzen elf Jahre auf dem Grunde ruhte. So verlockend es nun wäre, den durchschnittlichen Jahresabsatz aus 15 Jahren zu berechnen, so müssen wir dem doch entsagen, weil nach all den obigen Erörterungen der Glaskasten überhaupt außer Betracht zu ziehen ist; denn ganz besonders hinsichtlich seiner ersten Versenkung muß das mit ihm erzielte Ergebnis als gefälscht angesehen werden. Hingegen kann der niedrige Zinkkasten als zweckmäßig gelten, da die Oberfläche des auf ihm abgesetzten Schlammes, abgesehen von den Anomalien um die Anknüpfungspunkte der Drähte, sich normal ausgebildet zeigte. Ich verweise hierzu auf die entsprechenden drei naturgetreuen zeichnerischen Darstellungen Tafel 2, Figur 8 β , γ , δ . Besonders schön

und ebenmäßig war die Fläche, die sich nach der letzten fünfjährigen Versenkung ausgebildet hatte. Der innere Raum in diesem Kasten hatte als Grundfläche 13,07 qdm. Die drei Zeiträume sind oben genau angegeben. Ich teile nun in bezug auf sie die Gewichte der im inneren Raum des Kastens enthaltenen Schlammmassen mit, bei 100° getrocknet zu denken: 1) 2,434 kg, 2) 2,657 kg, 3) 3,237 kg. (Die entsprechenden Schlammteufen waren ungefähr 57, 62 und 75 mm.) Die Unregelmäßigkeiten der Ablagerung um die Anknüpfungspunkte der Drähte müssen als störend für die Rechnung empfunden werden. Denn so unbedeutend waren sie dem Rauminhalt nach keineswegs. Ich will sie in der Rechnung zu berücksichtigen suchen, obwohl der Prozeß, welcher der Erscheinung zugrunde liegt, problematisch ist und vor allem es zweifelhaft erscheint, ob die Schlammteilchen, indem sie die Nähe der Anknüpfungspunkte mieden, sich in der weiteren Umgebung um so reichlicher absetzten. Mit dieser Möglichkeit muß nämlich gerechnet werden, obwohl hierüber nichts Auffallendes zu beobachten war. Zunächst berechnete man die Vertiefungen um die Aufhängedrähte dem Inhalt nach in Prozent des Gesamtraumes (es waren durchschnittlich etwa 9%); dieser Prozentsatz wurde um der bestehenden theoretischen Ungewißheit willen nur mit der Hälfte berücksichtigt und dementsprechend das Gewicht neu berechnet. Es ergaben sich statt der obigen die folgenden Zahlen 1) 2,520 kg, 2) 2,749 kg, 3) 3,438 kg.

Reduziert man die Größen auf 1 qm und 1 Jahr, so erhält man

- 1) 6,447 kg berechnet aus 1092 Tagen,
- 2) 7,164 kg berechnet aus 1072 Tagen,
- 3) 5,257 kg berechnet aus 1827 Tagen.

Der Durchschnitt ist:

$$\frac{6,447 \cdot 1092 + 7,164 \cdot 1072 + 5,257 \cdot 1827}{1092 + 1072 + 1827} = 6,095.$$

So ergibt sich, aus elf Jahren berechnet, die Zahl

6,1 kg,

das heißt auf 1 qm schlägt sich im Jahr durchschnittlich 6,1 kg nieder.

Andererseits entnehmen wir dem Ergebnis des obigen Abschnittes über die Schlammbohrungen: Die an der genannten Stelle in einer Säule von 1 qm Querschnitt enthaltene Schlammmenge beträgt

22 080 kg.

Das wäre die Gesamtmenge, die sich darin niedergeschlagen hat seit der Zeit, in welcher aus der Gegend des Sees das diluviale Eis endgültig geschwunden ist.

Wäre nun der Niederschlag an Schlamm in diesem Zeitraum ein gleichmäßiger, und zwar ein dem soeben berechneten Mittelwert entsprechender gewesen, so würde sich die Länge des Zeitraumes durch einfache Division ergeben, und zwar zu

3,6 Jahrtausenden.

Das würde etwa auf die Zeit 1700 v. Chr. zurückführen.

Anmerkung: Es ist merkwürdig, daß auf dem tiefsten Grund des Alpsees sich durchschnittlich viel weniger niederschlägt als im Niedersonthofener See, nämlich 2,38 kg pro Jahr und pro Quadratmeter. Das wurde mit dem sehr geeigneten Kasten F bestimmt aus vierjähriger Beobachtung (1460 Tage).

Im folgenden wird es unsere Aufgabe sein, alles zu erörtern, was das Resultat dieser Zeitmessung zu verbessern geeignet ist, soweit wenigstens unsere Kenntnisse und geflissentlich hierzu angestellte Untersuchungen es ermöglichen. Zwar hoffe ich, daß vieles von dem, was ich noch mitzuteilen habe, auch an sich von Interesse sein wird; aber doch werden wir uns nach jedem Abschnitt in bestimmter Weise die Frage vorlegen: Was hat das für eine Bedeutung im Hinblick auf die Rechnung und welche Korrektur kann oder muß man in Anschlag bringen, um mit dem Ergebnis der Wahrheit möglichst nahe-zukommen.

III. Die Veränderungen des Schlammabsatzes in horizontalem Sinne.

Der Niedersonthofener See stellt ein langgestrecktes ziemlich gleichmäßig breites Becken dar. Der einzig nennenswerte Zufluß ist der Schratzenbach. Er kommt am westlichen Ende herein und fließt am anderen Ende wieder hinaus, so daß in dieser Hinsicht bei unserem See entschieden recht einfache und klare Verhältnisse vorliegen. In früheren Zeiten erstreckte sich der Hauptteil des Beckens, ohne daß es nennenswert breiter gewesen wäre, beträchtlich weiter nach Westen, annähernd bis dahin, wo heute die Bockmühle steht. Daraus folgt, daß unsere Untersuchungsstelle *B* (siehe Tafel 2) früher viel weiter vom Einfluß des Schratzenbaches entfernt war als heute, und es drängt sich unwillkürlich die Frage auf: Was hat die größere Entfernung vom Einfluß für eine Bedeutung hinsichtlich der Quantität des Schlammabsatzes. Vermutlich wird man es für selbstverständlich erachten, daß er mit dieser Entfernung bei sonst gleichen Verhältnissen immer geringer wird. Die Wichtigkeit der Frage für die speziellen Ziele dieser Untersuchungen ist ohne weiteres einleuchtend. Um größere Sicherheit des Urteils zu gewinnen, gründet man sich am besten auf die Erfahrung und stellt zunächst die Frage: Was hat es heute für eine Bedeutung bezüglich des Schlammabsatzes, wenn man sich immer weiter vom Einfluß entfernt? Das entsprechende Experiment habe ich nun wirklich ausgeführt. Längs der tiefsten Sohle des langgestreckten Seebeckens versenkte ich jene schon besprochenen neun verzinkten Eisenblechscheiben, und zwar an den Stellen *a*, *b*, (*c*), *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, welche auf Tafel 2 in Horizontal- und Vertikalprojektion ersichtlich sind. (Auch bei *e* nahe der Stelle *B* wurde eine solche Scheibe versenkt.) Nach drei Jahren — die genaueren Angaben siehe oben — holte ich sie wieder hervor, so daß sie also alle gleichzeitig und gleich lang auf dem Grunde ruhten. Die Schwierigkeit der Schlammengenmessung bei der sonderbaren, oben beschriebenen Ablagerung auf den Scheiben wurde dadurch behoben, daß man die Tiefe der Schlammsschicht in Millimeter maß, wo sie normal aufgelagert schien, oder auch so, daß man wie in einem Teig einen Model eindrückte und so ein enger umgrenztes Stück der aufgelagerten Schlammsschicht herausstach. Nicht versäumt wurde bei jeder Scheibe aus der Masse eine Probe zum Zweck der Dichtebestimmung zu entnehmen nach dem früher angegebenen Verfahren. Bei der Stelle *a*, die dem Einfluß am nächsten lag und bei welcher das Wasser 13,2 m tief war, betrug die Tiefe des Schlammes auf der Blechscheibe 4,2 cm. Bei *b* war der See 17,6 m tief. Die Höhe der Schicht betrug 5,6 cm. Also trotz der etwa doppelt so großen Entfernung vom Einfluß hatte sich mehr Schlamm abgelagert. Man sieht jetzt schon, daß nicht sowohl die Entfernung als die Tiefe des Wassers von Bedeutung ist. Die weiteren Resultate sind: Bei *d* war das Wasser 21,4 m tief, die Schlammsschicht 6,2 cm. Bei *e* entsprechend 21,2 m und 6,2 cm. Bei *f* 19,2 m und 5,0 cm. Bei *g*

18,8 m und 6,2 cm. Bei *h* hatte die Seetiefe stärker abgenommen, und zwar auf den Betrag 15,9 m; dafür maß die Schlammschicht 4,8 cm, also entsprechend weniger, jedoch immer noch mehr als bei *a* — bei zehnmal größerer Entfernung von der Schrattenbachmündung! Schließlich im „oberen Inselfee“ bei *i* war die Seetiefe 6,5 m und die Höhe der Schlammschicht 2,3 cm.

Setzt man die Schlammtiefe ins Verhältnis zur Wassertiefe, so erhält man

1)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
	32	32	29	29	26	33	30	35

Die Schwankungen lehren, daß es hier nicht rein mathematisch hergeht, eine Tatsache, die nichts Ueberraschendes haben kann und aus all dem Bisherigen schon genugsam hervorgeht. So hat man, was zunächst das Aeuerliche der Schlammablagerung in diesem See betrifft, allen Grund auszusprechen: Die Quantität des jährlichen Niederschlags scheint allein abhängig von der Tiefe des Wassers, und zwar ihr ungefähr proportional.

Die Zahlen, welche die Tiefe der auf den Scheiben abgelagerten Schlammschichten angeben, sind, wenn man gleiche Flächen, etwa 1 qdm, voraussetzt, natürlich proportional zu den Rauminhalten der Massen. Dürfte man nun die „Dichte“ des Schlammes, wie er sich auf dem Grund niederschlägt, überall gleich annehmen, so würden jene Zahlen selbstverständlich auch proportional sein den Gewichten, die sich in gleichen Zeiten absetzen. Wie wenig man aber zu dieser Annahme ohne weiteres berechtigt ist, dafür möge folgendes als Beispiel angeführt werden: Auf dem tiefsten Grund des Alpsees schlägt sich der Schlamm erheblich lockerer nieder als auf dem tiefsten Grund des Niedersonthofener Sees. Während nämlich dort in den obersten Lagen 1 ccm 0,21 g Schlamm enthält, finden sich hier in 1 ccm 0,35 g. Das Verhältnis der Dichten ist also 3:5. Das hat sich durch meine Versuche mit den versenkten Kästen als unzweifelhaft herausgestellt. Auch bei der Auslotung dieser Seen fiel mir diese Tatsache auf, indem das Lot verschieden tief einsank. — Ich will nun mit Beziehung auf die Stellen *a* bis *i* in unserem See die Zahlen folgen lassen, welche gemäß der früheren Definition die „Dichte“ zum Ausdruck bringen:

2)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
	0,47	0,39	0,35	0,35	0,35	0,31	0,32	0,22

Man sieht, daß tatsächlich Unterschiede bestehen. So setzt sich z. B. bei *i* der Schlamm etwa halb so dicht ab wie bei *a*. Im ganzen herrscht eine gewisse Tendenz zur Abnahme der Dichte bei wachsender Entfernung vom Einfluß. Das ist besonders am Anfang der Reihe auffallend.

Die Tatsache, daß die Dichte nicht überall gleich ist, hat zur Folge, daß die Reihe 1) oben, welche diesem Umstand nicht Rechnung trägt, eigentlich etwas Trügerisches an sich hat. Es wird daher besser sein, statt der Volumina die Gewichte zu nehmen. Diese erhält man, wenn man die Schlammhöhen entsprechend mit den „Dichten“ multipliziert. Es ergeben sich die Zahlen:

3)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
	199	218	219	217	174	193	156	52

Um aber das Gesetz von der Proportionalität von neuem zu prüfen, dividiert man wiederum mit der jeweiligen Seetiefe. Es ergibt sich folgendes Bild:

4)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
	150	124	102	103	91	104	98	79

Wie man sieht, kommt bei den Stellen *a* und *b* nun doch einigermaßen zur Geltung, daß sie dem Einfluß am nächsten gelegen sind, und auch bei *i*, daß diese Stelle weitaus die größte Entfernung hat. Im ganzen bleibt es dabei, daß eine weitgehende Unabhängigkeit von der Entfernung des Einflusses besteht. Auch die Proportionalität zur Tiefe kann festgehalten werden ganz und gar; nur muß man jetzt einräumen, daß die Tiefe des Wassers doch nicht allein maßgebend ist.

Aus diesen Ergebnissen kann mancherlei gefolgert werden, was für die Ziele dieser Arbeit von Wichtigkeit ist:

1. Wollte man an der Stelle *a* durch eine Bohrung die Gesamttiefe des Seeschlammes feststellen, so würde sich keinesfalls ein größerer Betrag ergeben als bei *B*, wo die Schicht wirklich durchbohrt wurde. Denn in der Gegenwart schlägt sich absolut genommen bei *a* trotz der größeren Nähe des Einflusses weniger Schlamm nieder als bei *B*, sowohl dem Volumen als dem Gewicht nach. In früheren Zeiten war das nun auch niemals anders, weil ja die Tiefe des Wassers immer eine geringere war. Keinesfalls war die Menge des Niederschlags jemals eine größere als bei *B*. So folgt die obige Behauptung. Dementsprechend wurde (gestrichelt) in Tafel 2, Figur 2, ein Eintrag gemacht an der Stelle *a*, als ob hier eine Bohrung ausgeführt worden wäre. Diese Schlußfolgerung gründet sich immerhin auch auf Erfahrung; sie bot einen willkommenen Anhaltspunkt für die zeichnerische Darstellung des Längsprofils durch den See und seine Ablagerungen, nachdem eine in dem sumpfigen Gelände des Bachdeltas versuchte Bohrung (siehe Zeichnung: Tafel 2, Figur 1 und 2) ihr Ziel nicht ganz erreicht hatte. Auch folgt, daß der tiefste Grund des Sees in früheren Zeiten auch nicht anderswo sich ausdehnte als in der Gegenwart, wie sehr auch die Alluvionen die Gestalt des Beckens geändert haben. An der Zeichnung (Profil, Tafel 2, Figur 2) wird dies, hoffe ich, vollends deutlich werden. Die Untersuchungsstelle *B* insbesondere lag von jeher auf dem tiefsten Grund.

2. Die durch den Versuch festgestellte Tatsache, daß nämlich die Menge des Niederschlags fast nur davon abhängig erscheint, eine wie hohe Wassersäule über der betreffenden Stelle des Grundes sich befindet, mag wohl geeignet sein, eine besondere Erklärung über die Schlamm-bildung herauszufordern. Man hat sich danach wohl die ganze Wassersäule gleichmäßig trüb zu denken. Der Proportionalität könnte man durch allerlei Annahmen gerecht werden, die aber wohl immer auf Schwierigkeiten und Widersprüche führen, wenn man sich dabei das Herabsinken so vorstellt, als ob die suspendierten Teilchen alle einzeln langsam Millimeter um Millimeter tiefer kommen, so daß die dem Grund näher befindlichen auch früher am Grund anlangen. Das mag mit den größeren Teilchen in der Nähe der Einmündung nach starken Regengüssen wirklich der Fall sein. Aber für die Teilchen draußen im See ist diese Vorstellung wohl unzutreffend. Vielmehr wird es so sein, daß diese feinsten Teilchen sich zuerst zu Flockenaggregaten zusammenschließen und als solche herabsinken. Dieses Sinken kann dann auch schneller vor sich gehen und die ganze Wassersäule nimmt gleichzeitig Anteil an dem Prozeß der Schlamm-bildung. So würde meines Erachtens am einfachsten jene (ungefähre) Proportionalität verständlich werden. Die Mikroorganismen mögen da wohl auch mithelfen zu diesen Vorgängen, etwa als Veranlasser zu jenen Flocken-bildungen. Aus zahlreichen direkten Beobachtungen ist mir mindestens für diesen See wohlbekannt, daß der Schlamm, wie er sich zunächst niederschlägt,

flockigen Charakter hat. Hat man solche Flocken vor sich, etwa in einem Schälchen mit Wasser, noch niemals eingetrocknet, gerade wie sie sich niedergeschlagen haben, so erscheinen sie bräunlich. Läßt man sie aber ganz eintrocknen, dann kommt eine gelblich-lichtgraue Masse zutage, die zwischen den Fingern verrieben den Eindruck eines feinen Gesteinsmehles macht. Auch möchte ich hier erinnern an das, was oben über den Charakter, die Farbe und die Bildungsweise der allerobersten Schicht des Schlammgrundes mitgeteilt wurde.

IV. Chemische Untersuchungen.

a) Die Analysen.

Der Schlamm des Niedersonthofener Sees ist zum weitaus größten Teil aus anorganischen Stoffen bestehend zu denken, so daß für die Reste einer abgestorbenen Organismenwelt in der eingetrocknet gedachten Masse nur vielleicht 2 oder 3 Prozent des Gewichtes übrigbleibt. Er ist zu charakterisieren als ein Mergel, welcher aus der geologischen Umgebung des Sees abzuleiten ist. Im folgenden machen wir die zunächst unbewiesene Annahme, daß das Sediment ganz oder fast ganz seine Entstehung verdankt den suspendierten Teilchen, die das zuströmende Wasser in den See spült. Ich werde diese Anschauung im Laufe unserer Erörterungen näher zu begründen Gelegenheit haben.

Wenn ich nun dazu übergehe, zuerst die durchgeführten Analysen nacheinander aufzuzählen, muß ich vorher bemerken, daß die Materialien durchweg mit Salzsäure aufgeschlossen wurden. Alles, was bei diesem Verfahren unlöslich bleibt, wird bekanntlich als „Gangart“ bezeichnet. Diese besteht in allen unseren Fällen aus Quarztrümmerchen und Silikateilchen, welche ganz unverändert bleiben. So werden gerade durch den Salzsäureaufschluß all die Mineralteile als unlöslich abgeschieden, welche zusammen einen für unsere Betrachtung sehr wesentlichen Bestandteil des Ganzen darstellen.

Als wichtigstes Ursprungsmaterial wurde betrachtet der tertiäre Mergel. In dem tief die Molasse anschneidenden „Tobel“ des Schratzenbaches ist er reichlich vorhanden; zwar tritt auch der Molassesandstein häufig genug zutage; aber der ist vielfach als weicher mergeliger Sandstein zu bezeichnen, oder hat zum mindesten mergeliges Bindemittel, so daß es für unsere Fragen (Aufnahme feiner und feinsten Bestandteile durch das Wasser) doch fast nur auf den Mergel ankommt. Zur Untersuchung wurde ein Gemisch aus einer Anzahl frischer Mergelproben vom Gebiet des Schratzenbaches und des Niedersonthofener Sees verwendet und nach den Hauptbestandteilen analysiert. Das Ergebnis war:

	I.				
Gangart	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Glühverlust
34,7%	40,7	12,5	3,3	7,2	1,1

Hier ist wie bei all den folgenden Analysen unter Gangart die ausgeglühte Gangart zu verstehen, unter „Glühverlust“ die Gewichtsabnahme, welche die Gangart durch das Ausglühen erleidet gegenüber der bei 100 Grad getrocknet zu denkenden Gangart. Dieser Glühverlust kann in vielen Fällen ein gewisses Interesse beanspruchen, zum Beispiel deshalb, weil ein Bruchteil seines Betrages auf Rechnung eines eventuell vorhandenen organischen Gehaltes zu setzen ist. Ich habe, um diesen Prozentsatz einwandfrei herauszubekommen, ein besonderes Verfahren angewendet.

In zweiter Linie seien als Ursprungsmaterial die Moränen des Einzugsgebietes genannt. Sie liefern ohne Zweifel immer ihren Beitrag zur Bildung der Sedimente im See, bei jedem Wetter. Wie aus der Karte (Tafel 1, Figur 1) ersichtlich ist, werden die diluvialen Ablagerungen vom Schratzenbach auch direkt angeschnitten. An den Abhängen des Bacheinschnittes ist ihr Material reichlich erschlossen, meist in gestörter Lage, indem es massenhaft herabgerutscht ist, bis zum Bach selbst. Uns interessieren natürlich besonders die feineren Bestandteile. An manchen Stellen liegen sie von der Natur ausgeschlemmt vor und aus einer solchen Lage stammt auch die Probe, die einen Begriff von der Zusammensetzung des in Betracht kommenden diluvialen Materials liefern soll. Das Bild ist folgendes:

II.

Gangart	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Glühverlust
39,75	39,85	10,56	2,0	2,45	1,23

Als Ursprungsmaterial im gewissen Sinne konnte ferner der Verwitterungsboden des Gebiets betrachtet werden. Die Probe zur Untersuchung entnahm ich dem Humus aus der näheren vegetationsreichen Umgebung des Schratzenbaches. Das Resultat war:

III.

Gangart	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Glühverlust
57,11	16,8	7,63	3,53	5,05	2,51

Das wichtigste hierbei ist die Tatsache, daß das Kalziumkarbonat eine so starke Reduktion erfahren hat gegenüber I und II. Das bringt von selbst mit sich, daß der andere Hauptbestandteil, die Gangart, zahlenmäßig auch stark verändert hervortritt. In Wirklichkeit ist aber diese Komponente (die Gangart) wohl am wenigsten durch Naturprozesse umwandelbar, soweit die Verhältnisse an unserem See in Frage kommen.

Von allem, was sich aus diesen drei Ursprungsmaterialien ableitet, sei zunächst das im Wasser Gelöste behandelt. Eine erste diesbezügliche Untersuchung wurde gemacht am Wasser des Schratzenbaches, geschöpft in der zweiten Hälfte des August nach einer Reihe schöner Sommertage, während der Bach normal und scheinbar ganz klar dahinfloß. Man kann dieses Wasser identifizieren mit dem Wasser des Sees beim Einfluß. Zweitens wurde Wasser zur Untersuchung hervorgeholt um die gleiche Zeit im mittleren, tiefsten Teil des Sees etwa an der Stelle *d* aus 17 m Tiefe. Drittens in dem sogenannten oberen Insee ungefähr bei der Stelle *i* aus etwa 4½ m Tiefe. Im ersten Fall enthielt das Wasser pro Kubikmeter zirka 150 g gelöste Substanzen, im zweiten Fall 174 g, im dritten Fall 158 g (die suspendierten Teilchen sind dabei ausdrücklich vorher abgedondert und ausgeschieden worden). Zu diesen Werten ist nichts Besonderes zu sagen; denn sie entsprechen ungefähr den durchschnittlichen gewöhnlich vorkommenden Beträgen in den Gewässern der Kalkgebiete. [Im Gegensatz hierzu sei ein Beispiel für Quellwasser aus einem reinen Silikatgebiet angeführt: In dem Wasser der die Stadt Bayreuth größtenteils versorgenden Wasserleitung aus der Warmensteinacher Gegend (Fichtelgebirg) findet sich nur 10 g Gelöstes in 1 cbm.] Die Rückstände nach dem Abdampfen wurden nun selbst analysiert; es ergaben sich entsprechend den drei genannten Proben folgende Resultate:

	SiO ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	(Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)
G ₁ . . .	zirka 2	70	17,8	0,34
G ₂ . . .	zirka 2	76,91	17,88	0,33
G ₃ . . .	1,72	69,08	17,51	1,11

Man sieht, daß die Karbonate fast die Alleinherrschaft haben. Die „Gangart“ ist hier vertreten durch die Kieselsäure, die durch das mehrfache radikale Abdampfen unlöslich geworden war. Das Bild der Zusammensetzung in diesen drei Fällen ist so sehr übereinstimmend, daß man sagen kann: Das Wasser des Sees ist am Ende wie am Anfang von gleicher Zusammensetzung.

Der Bach vermittelt den Transport fester Teile von den Bergabhängen herab in die Niederung des Sees. Manchmal sind es bei Wolkenbrüchen große Klötze, die er herabwältzt und nebst Kies und Sand auf die Wiesen bei Niedersonthofen verstreut, den großen Schuttkegel daselbst weiter ausbildend (siehe Tafel 1). Viel wichtiger aber als diese gelegentlichen Ergüsse ist die Tätigkeit, die der Bach alltäglich ausübt. Um diese aufzuhellen, wurden zweierlei Proben (α und β) beschafft:

Nach einer bedeutenden Schneeschmelze Ende Dezember, als der angeschwollene Schrattenbach schon wieder ziemlich zurückgegangen war, aber immer noch Trübe zeigte, holte ich Wasser zur Untersuchung. Sie ergab zunächst, daß die Menge der mitgeführten festen Bestandteile pro Kubikmeter ungefähr 85 g betrug. Die Analyse hatte folgendes Resultat:

	Gangart	CaCO ₃	MgCO ₃	(Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)	Glühverlust
α)	60,2	25	(sehr wenig)	7	7,8

Wie man sieht, erscheinen die Karbonate sehr dezimiert, dafür treten die silikatischen Bestandteile stark hervor. Der große Glühverlust deutet vielleicht auf reichlich mitgeführte organische Stoffe. Das alles befestigt die Anschauung, daß in regnerischen Zeiten das rasch und oberflächlich abfließende trübe Wasser besonders Stoffe der Verwitterungsschicht und des Humus in den See spült. Den Hauptgewinn in solchen Fällen haben ohne Zweifel die in der Nähe des Einflusses gelegenen Teile des Deltaschuttkegels, auf welchem die gröberen Teilchen sich ablagern, aber auch weiterhin auf dem Seegrund machen sich weniger feine Bestandteile noch geltend, welche offenbar in Zusammenhang mit Naturvorgängen dieser Art zu bringen sind.

Eine zweite Untersuchung über die chemische Zusammensetzung suspendierter Teilchen machte ich an dem Wasser, das zu der obigen Analyse G₁ aus dem Schrattenbach geschöpft worden war. Wenn auch nicht eine ausgesprochene Trockenperiode vorlag, so herrschte doch sommerlich schönes Wetter und es hatte wenigstens eine Woche gar nicht mehr geregnet. Um den suspendierten Bestandteilen des scheinbar klaren Wassers beizukommen, hatte ich eine größere Menge zur Untersuchung mitgenommen. Da kein Filter verwendet werden sollte, blieb zunächst nichts anderes übrig als langes, völlig ruhiges Stehenlassen. Der Teil des Suspendierten, welcher sich so nach einigen Wochen abgeschieden hatte, wurde analysiert; es ergab sich:

	Gangart	CaCO ₃	MgCO ₃	(Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)	Glühverlust
β)	19,24	59,1	5,39	5,81	9,92

Der Glühverlust ist, wie man sieht, auch hier auffallend groß; doch hat das vielleicht andere Zusammenhänge als bei α . Der hohe Prozentsatz des Kalkes lehrt, daß hier das Wasser seine Bestandteile durch Berührung mit unver-

witterten Schichten geholt hat. Dabei hat es von dem Kalk unverhältnismäßig mehr aufgenommen als von anderen Teilen, zum Beispiel dreimal soviel als von den silikatischen Teilchen, während doch sowohl im Mergel als in den diluvialen Lagen das Verhältnis zwischen Kalk und Gangart ein ganz anderes ist. Somit hat man die Vorstellung festzuhalten, daß bei schönem Wetter sehr feine schwebende Teilchen immerwährend dem See zugeführt werden, die vielleicht schon dem Quellwasser entstammen und unter welchen Kalkteilchen eine absolute Vorherrschaft haben.

An den Stellen *a* bis *i* des Seegrundes wurden bei Gelegenheit des Herausgehens der neun Blechscheiben Schlammproben entnommen, die zur Bestimmung der „Dichte“ (siehe oben), aber auch zur chemischen Untersuchung dienen konnten. Schon die zunächst ausgeführte Bestimmung der Gangarten ließ deutlich eine Gesetzmäßigkeit erkennen. Die Reihe, in Prozent des jeweiligen Trockengewichtes dargestellt, lautet:

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
37,3	34,1	31,2	31,3	29,9	28,3	27,4	19,4

Die Proben *a*, *e*, *h* und *i* wurden nun auch genauer analysiert; es ergab sich:

	Gangart	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Glühverl.
S _a	37,29	40,56	7,06	2,62	2,97	2,21
S _e	31,3	49,33	5,38	2,86	3,72	4,2
S _h	27,42	52,34	4,95	2,39	3,23	2,18
S _i	19,42	64,38	3,34	1,90	3,70	3,85

Die Zunahme des Kalkes mit wachsender Entfernung vom Einfluß springt sofort in die Augen. Auch sonst machen sich regelmäßige Veränderungen bemerkbar. Wir stoßen hier auf Tatsachen, die unser ganz besonderes Interesse beanspruchen müssen. Denn es ist uns ja wesentlich darum zu tun, womöglich über die geheimnisvollen, im See sich abspielenden Prozesse der Schlamm-bildung Klarheit zu erhalten. Doch können wir uns erst später auf eine genauere Erörterung hierüber einlassen.

Die an der Hauptuntersuchungsstelle *B* herausgeholtten Schlammproben, welche durch Bohrung in die Tiefe von Meter zu Meter gewonnen wurden, habe ich nach dem Prozentgehalt der Gangart untersucht. Denn beabsichtigt war, zuerst eine allgemeine Orientierung zu erzielen über die wechselnde Zusammensetzung des Schlammes nach der Tiefe hin. Die Werte sind:

0 m	31,3 Prozent	7 m	39,4 Prozent	14 m	40,8 Prozent
1 "	42,7 "	8 "	35,4 "	15 "	49,1 "
2 "	48,9 "	9 "	41,9 "	16 "	46,6 "
3 "	41,2 "	10 "	42,8 "	17 "	44,5 "
4 "	51,9 "	11 "	40,7 "	18 "	42,6 "
5 "	41,9 "	12 "	41,8 "	19 "	42,8 "
6 "	42,8 "	13 "	41,4 "	20 "	41,7 "

In dieser Zahlenreihe fällt sofort auf, daß der oberste Wert, welcher 0 m entspricht, der kleinste ist. Da die Gangart immer mit dem Prozentgehalt des Kalkes in Wechselbeziehung steht, insoferne ihr Anwachsen vermehrte Kalk-armut bedeutet, so sagen die obigen Zahlen auch aus: Der in der Gegenwart sich am Grund absetzende Schlamm ist kalkreicher als aller Schlamm, welcher darunter bis zu 20,1 m Tiefe abgelagert ist. Wenn man nicht etwa annehmen will, daß ausgerechnet jetzt das Klima anders geworden ist gegenüber dem ganzen früheren Zeitraum, so muß man schließen, daß im obersten Meter des

Grundes eine Reduktion des Kalziumkarbonats vor sich geht, welche wohl im Zusammenhang mit den schon erwähnten schwachen Verwesungsvorgängen steht. Die große Bedeutung dieser Erkenntnis für unsere Zeitrechnung ist ohne weiteres einleuchtend.

Die Probe aus 4 m Tiefe, welche den Höchstwert der Gangart aufweist, ferner die aus 20 m Tiefe habe ich genauer analysiert; ich teile die Ergebnisse hier mit, indem ich zugleich die Analyse des Schlammes der allerobersten Lage noch einmal beifüge:

	Gangart	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Glühverl.
B ₀ (=S _e)	31,3	49,33	5,38	2,86	3,72	4,2
B ₄	51,88	18,35	8,95	6,04	9,15	3,8
B ₂₀	41,7	35,65	8,92	3,24	4,95	2,18

Diese Zahlenreihen seien an dieser Stelle vorläufig mitgeteilt, um das Bild der durchgeführten chemischen Untersuchungen zu vervollständigen.

b) Folgerungen aus den chemischen Untersuchungen, auch für die Zeitberechnung.

Zur Fortführung unserer Zeitberechnung knüpfen wir an die obige Feststellung an, daß in dem obersten Meter der Schlammsschicht Umwandlungen vor sich gehen. Wenn der Karbonatgehalt wirklich in der obersten Schicht eine Reduktion erleidet, so ist die nächste Folgerung die, daß der früher verwendete Wert des jährlichen Schlammabsatzes 6,1 kg für die Rechnung wohl als zu groß eingesetzt war. Der Zeitraum — 3,6 Jahrtausende — ist zu klein. Man könnte nun die oberste Schicht der übrigen Masse des Schlammes angleichen, das heißt den Wert 6,1 nach gewissen, den sonstigen Erfahrungen entsprechenden Annahmen durch einen kleineren ersetzen. Aber es ist besser, den bisher eingeschlagenen Weg überhaupt zu verlassen. Anstatt den gesamten Schlamm in Betracht zu ziehen, nimmt man besser nur eine Komponente. Es kann kein Zweifel bestehen, daß nur die Gangart als der beständigste Teil in der Zusammensetzung des Schlammes Verwendung finden kann. Man hat, falls man sie wählt, nur Vorteile, Ausschaltung von „Annahmen“, größere Sicherheit und Vereinfachung, keinerlei Nachteile.

Um nun dieser Absicht entsprechend die Rechnung zu revidieren, muß man zuerst das Gesamtgewicht der Gangart berechnen. Man multipliziert nacheinander die früher mitgeteilten Zahlen, welche von Meter zu Meter (der Tiefe) die jeweilige Dichte des Schlammes darstellen, mit den Zahlen, die nach der obigen Tabelle den entsprechenden Prozentgehalt der Gangart zum Ausdruck bringen. Dann erhält man eine Reihe von 21 Zahlen, die proportional sind den Gewichten der Gangart pro Volumeneinheit (etwa 1 ccm) des Schlammes im natürlichen Zustand. Stellt man das Ergebnis graphisch dar, indem man die Zahlen als Ordinaten senkrecht zur Abszissenachse in gleichen Abständen anträgt, die Kurve zeichnet und durch einen Planimeter die ganze auf dem Papier umgrenzte Fläche mißt, so ergibt sich sofort der Mittelwert und das Gesamtgewicht. Man findet auf diese Weise:

9380 kg.

Die Zahl bedeutet: Soviel Kilogramm Gewicht an Quarz- und Silikattrümmern sind enthalten an der Stelle B in der 20,1 m hohen Schlammssäule von 1 qm Querschnitt nach Abzug von allem anderen, was darin enthalten ist.

Andererseits multipliziert man die Zahl 6,10 kg mit 0,313. Man erhält:
1,91 kg.

Das ist für die Gegenwart an der Stelle B das durchschnittliche Gewicht des jährlichen Absatzes an Quarz- und Silikateilchen pro Quadratmeter. Durch Division beider Zahlen würde sich der Zeitraum ergeben zu

4,9 Jahrtausenden.

Das entspräche der Zeit um 3000 v. Chr. und diese verbesserte Zahl möge jetzt als das vorläufige Resultat betrachtet werden.

Betreff der Ablagerung des Schlammes längs der Sohle des Beckens ist aus der oben mitgeteilten Reihe der Analysen S_a , S_e , S_h , S_i schon bei flüchtiger Betrachtung zu erkennen, daß eine ganz bestimmte Gesetzmäßigkeit vorhanden ist. Um eine bessere Beurteilung der hier vorliegenden Verhältnisse zu ermöglichen, wird es am besten sein, die Ablagerung jedes Bestandteiles für sich, z. B. der Gangart, längs des Seegrundes genauer zu verfolgen. Man geht aus von den früher berechneten Zahlen, welche den absoluten Gewichten der Schlammengen proportional sind, die sich an den Stellen a , e , h , i in gleichen Zeiten auf gleichen Flächen niederschlagen. Sie sind:

199 217 156 52

Um auf die Gangart zu kommen, berechnet man von diesen Zahlen entsprechend 37,3 Prozent, 31,3 Prozent, 27,4 Prozent und 19,4 Prozent. Dadurch ergibt sich:

74 67,8 42,7 10,1

Diese Zahlen sind aber wenig befriedigend, insofern in ihnen sehr stark der Einfluß der wechselnden Seetiefe enthalten ist. Um ihn zu eliminieren, dividiert man die vier Zahlen durch die entsprechenden Tiefen. Jedoch muß die Berechtigung und die Bedeutung dieser rechnerischen Operation noch genau erörtert werden. Aus dem früher Mitgeteilten war zu ersehen, daß die Quantität des Schlammabsatzes an einer Stelle des Seegrundes in ganz ausgesprochenem Maße abhängig ist von der Höhe der darüber befindlichen Wassersäule. Man konnte sich darüber die Vorstellung bilden, daß diese Säule wenigstens bei den Verhältnissen unseres Sees gleichmäßig erfüllt ist mit suspendierten Teilchen und daß sie in ihrer ganzen Höhe mitwirkt an dem Zustandekommen des Niederschlags. Aber selbst wenn die Annahme von der gleichmäßigen Verteilung der Teilchen nicht zuträfe, so hätte das Dividieren mit der Höhe doch einen Sinn, nämlich den, daß man dann die Menge des abgesetzten Schlammes berechnet hätte, welcher durchschnittlich für je einen Meter der Gesamthöhe der Säule in Anrechnung zu bringen wäre. Würde man bei Berechnung dieses durchschnittlichen oder „reduzierten“ Schlammabsatzes für alle Stellen im See den gleichen Wert erhalten, so könnte man sagen, daß der Niederschlag überall genau proportional der Seetiefe wäre und daß die Bedingungen für den Absatz überall als gleich günstig angesehen werden dürften. Im Falle aber, daß die Werte nicht gleich wären, würde man wohl auf ungleich günstige Bedingungen schließen müssen. „Reduziert“ man also in obigem Sinne die Gewichte des Schlammabsatzes, so darf man die erhaltenen Zahlen wohl zum Maßstab nehmen für die Beladung des Wassers mit schwebenden Teilchen von der in Betracht kommenden Art oder für den Grad der Klärung, die das Wasser an der jeweiligen Stelle bereits erlangt hat.

Führt man nun die Division aus, so ergibt sich:

α	e	h	i
56	32	26,8	15,4

Aus der bedeutenden Abnahme dieser Zahlen ersieht man, daß das Wasser beim Durchgang durch den See hinsichtlich der silikatischen Teilchen sich entschieden klärt in stetiger Zunahme vom Einfluß bis zum Ausfluß.

Nimmt man nun in gleichem Sinne auch die anderen Komponenten des Seeschlammes her, so ergeben sich, nach einheitlichem Maß gemessen und übersichtlich zusammengestellt, folgende Zahlen:

	a	e	h	i
Gangart	56	32	26,8	15,4
CaCO ₃	61	50,8	51,3	50,9
MgCO ₃	10,6	5,5	4,8	2,6
Fe ₂ O ₃	3,9	2,9	2,3	1,5
Al ₂ O ₃	4,5	3,8	3,2	2,9

Die Horizontalreihen in diesem Schema geben einen Begriff von der zunehmenden Klärung des Wassers in bezug auf die betreffenden Bestandteile. Die Vertikalreihen sind nichts anderes als unsere Analysen; denn es sind Zahlen, welche jenen unter S_a , S_e , S_h , S_i mitgeteilten proportional sind. In entsprechendem Sinne ist auch die graphische Darstellung auf Tafel 2, Figur 10, zu verstehen, durch welche man wohl noch besser die Verhältnisse überblicken kann. Die Abszissen von links an gerechnet bedeuten die Entfernungen der Punkte a , e , h , i vom Einfluß. Die obigen Zahlen sind als Ordinaten angetragen. Zunächst seien die Kurven der beiden Hauptkomponenten ins Auge gefaßt: Oben wurde festgestellt, daß der Kalkgehalt mit wachsender Entfernung vom Einfluß immer mehr zunimmt. Das ist in gewissem Sinn auch richtig. Aber wie die Kurve zeigt, wird in Wahrheit der Kalkabsatz gegen den Ausfluß hin doch geringer, freilich sehr wenig. Letzteres ist besonders zu betonen im Gegensatz zu den Silikaten, welche stark zurückweichen. Von der Divergenz der beiden Hauptkurven kommt das relative Anwachsen des Kalkes im Bild der Zusammensetzung des Schlammes gegen den Ausfluß. Die feinen Kalkteilchen, die nach dem Früheren in trockenen Zeiten so reichlich in den See geliefert werden, fliegen weit hinaus (siehe Analyse β). So ist der Kalk schuld, daß das entschiedene Geringerwerden der Silikate in der Gesamtmenge einigermaßen ausgeglichen wird, und die früher festgestellte angenäherte Unabhängigkeit des Schlammabsatzes von der Entfernung des Einflusses wird durch die Besonderheit des Kalkes allein verständlich. Diese Unabhängigkeit besteht prinzipiell genommen überhaupt nicht und das war ja auch eigentlich von vorneherein logisch zu fordern. Für den Kalk allein würde sie allerdings in sehr hohem Maße Geltung haben. — Was die übrigen Bestandteile des Schlammes betrifft, so sieht man aus der Kurvendarstellung, daß das Magnesiumkarbonat sich mehr dem Charakter der Gangart nähert. Das Gewichtsverhältnis beider bleibt sich merkwürdig gleich. Der Eisenanteil zeigt eine stetige geradlinige Abnahme. Die Aluminiumkurve hingegen verrät, daß dieser Anteil in seinem Verhalten dem Kalk zu vergleichen ist, das heißt die Tendenz zeigt zu einer weithin gehenden Verschleppung der Teilchen durch das Wasser. Jene vier Analysen hat man in der Figur sozusagen vor Augen, nämlich in den rot ein-

getragenen Ordinaten von *a*, *e*, *h*, *i*. Man sieht die Aenderung in der Zusammensetzung des Schlammes, man sieht aber auch, warum die Analysen ein so geändertes Bild zeigen müssen.

V. Die schwebenden Teilchen. Ueber die Schlamm- und über die Klärung des Seewassers.

Nach den oben mitgetheilten Untersuchungen sind im Wasser unseres Sees pro Kubikmeter ungefähr 160 g gelöste Substanzen enthalten. Wie mag sich dagegen die Menge der suspendierten oder im See schwebenden Teilchen verhalten? Ebenso wie der Gehalt an gelösten Stoffen eine gewisse Konstanz aufweist, so könnte dies einigermaßen wenigstens auch der Fall sein in bezug auf die suspendierten Bestandteile. Ich habe darüber zweierlei Untersuchungen angestellt, welche eine annähernde Uebereinstimmung an den Tag gebracht haben. Das Resultat war, daß die gelösten Substanzen jedenfalls weit überwiegend zu denken sind und daß die suspendierten an Menge ungefähr nur 15 oder 20 Prozent von jenen ausmachen. Es soll damit nur eine allgemeine Vorstellung gegeben sein. (Dabei ist an gewöhnliches Seewasser gedacht, nicht etwa an Wasser, das in der Nähe des Deltas infolge von Regengüssen eine außergewöhnliche Trübe aufweist.) — Hat man eine größere Menge Wassers dem See entnommen, sei es von der Oberfläche geschöpft oder aus irgendeiner Tiefe hervorgeholt, und läßt man es zu Hause ruhig stehen, so wird man bald etwas von einer Schlammabscheidung wahrnehmen. Es bilden sich im Wasser mit der Zeit flockige Aggregate, die sich am Grund absetzen. Das völlig ruhige Stehen im Zimmer scheint das Zusammenschließen suspendierter Bestandteile besonders zu begünstigen und man kann sich andererseits leicht denken, wie hin und her und in sich bewegtes Wasser einem solchen Vorgang hinderlich ist. Bei der einen der obenerwähnten Proben, nämlich derjenigen, welche ich aus 4½ m Tiefe im oberen Inselfsee hervorholte, zeigte sich nach Verlauf von sechs Wochen ein gewisser Niederschlag in dem soeben beschriebenen Sinne. Er wurde entfernt. Nach weiteren neun Tagen hatte sich ein neuer geringerer Ansatz von vielen kleinen Flocken gebildet, welche mikroskopisch betrachtet sich als richtige Aggregate von kleineren Einzelpartikelchen darstellten. In dem abgeschiedenen Schlamm konnte man leicht das Kalziumkarbonat nachweisen; ein kleinerer Teil blieb unlöslich. Das war für mich ein Beweis, daß man es hier mit dem normalen Seeschlamm zu tun hatte, wie er von den Schlammkästen aufgefangen wurde. Die Beobachtungen in diesem Sinne wurden nun beendet. Doch konnte bei der nun folgenden Untersuchung festgestellt werden, daß ein großer Teil des Suspendierten sich immer noch im Wasser schwebend erhalten hatte, nämlich ungefähr doppelt soviel als die bereits niedergeschlagene und abgeschiedene Menge. Ganz ähnliche Erfahrungen in bezug auf die schwebenden Teilchen habe ich mit dem Wasser gemacht, das bei weiterer Behandlung die Analyse G₁ lieferte. — Hier muß ich folgende Bemerkungen über die angewandte Methode beifügen: Es wurde bei der Untersuchung die Voraussetzung gemacht, daß ein Filter, wie er für quantitative Analysen normalerweise verwendet wird, alle suspendierten Teile zurückhält, so daß man nach dem allmählichen Abdampfen des durch den Filter gegangenen Wassers die gelösten Bestandteile allein als Rückstand im Porzellantiegel hat. Es ist mir zwar bekannt, daß allerfeinste, vielleicht kolloidale Teilchen allenfalls durch den Filter gehen können, aber diese würden dem Gewicht nach verhältnismäßig viel zu wenig bedeutend haben, als daß sie

bei diesen Untersuchungen Beachtung verdient hätten. So wäre das Verfahren sehr klar und einfach, wenn es sich nur darum handelte, die Menge des im Wasser Gelösten zu bestimmen. Aber um die suspendierten Teile zu erhalten, sie abzusondern und ihr Gewicht festzustellen, ist die Verwendung eines Filters aus verschiedenen Gründen nicht angängig. Es bleibt nichts anderes übrig, als die zu untersuchende Wassermenge, welche nicht zu gering sein darf, wohl mindestens mehrere Liter betragen muß, in zwei Teile zu teilen, welche man getrennt behandelt. Der eine Teil wird ohne weiteres abgedampft, so daß der Rückstand die Summe des Gelösten und Suspendierten darstellt; der andere Teil aber wird vor dem Abdampfen durch den Filter geschickt. So ist dann leicht zu ermitteln, wieviel Gramm von dem einen und von dem anderen Bestandteil in 1 cbm Seewasser enthalten ist. Zu beachten ist natürlich, daß das Wasser gegen Verdunstung geschützt werden muß, wenn nicht das zahlenmäßige Resultat eine Fälschung erleiden soll.

Bei den soeben beschriebenen Beobachtungen, welche an Seewasser im Laboratorium angestellt wurden, wird wohl kaum der Gedanke aufkommen können, daß der Schlammabsatz zum Teil durch Ausfall aus dem Gelösten entstanden sein könne. Aber doch wird es nicht überflüssig sein, diese Möglichkeit in bezug auf den im See so reichlich sich bildenden Schlamm in Erwägung zu ziehen. Könnte nicht z. B. eine eigentliche Seekreidebildung stattfinden etwa unter Mitwirkung der Organismenwelt? Solche Ausfallprodukte könnten sich ja vielleicht den sich niederschlagenden suspendierten Teilchen beimengen. Obwohl ich dies bei den Verhältnissen unseres Sees von vorneherein für unwahrscheinlich halte und obwohl bei allen bisherigen Erörterungen in dieser Arbeit eine Entstehung des Schlammes aus eingeschwemmten festen Partikelchen eigentlich immer vorausgesetzt wurde, muß doch gesagt werden, daß ein strikter Beweis für diese Annahme wohl nicht leicht zu erbringen ist. Die oben mitgeteilten Analysen G_1 , G_2 , G_3 geben wohl keinen sicheren Anhaltspunkt, zum mindesten, was das Kalziumkarbonat betrifft. Aber im allgemeinen scheint es mir ganz unzweifelhaft, daß der weitaus größte Teil des Schlammes doch von den suspendierten Teilchen herrührt. Man braucht nur hinweisen auf den immer bedeutenden Prozentsatz der Gangart im Seeschlamm, der es geradezu undenkbar macht, daß dieser Bestandteil abgeleitet werden kann aus dem geringfügigen und ziemlich gleichbleibenden Kieselsäuregehalt des Seewassers (zirka 2 Prozent des Gelösten). Und so glaube ich, daß alle die bisherigen Auffassungen und Voraussetzungen zu Recht bestehen.

Die Beobachtungen und Feststellungen über die Quantität des Schlammniederschlages an den verschiedenen Stellen des Seegrundes, wie sie oben mitgeteilt und verwertet wurden, geben eine gewisse Grundlage zu einfachen theoretischen Betrachtungen, welche für unseren See oder für Seen von dem gleichen Typus Geltung haben mögen. Es sei zunächst ein Seebecken von sehr einfachen räumlichen Verhältnissen vorausgesetzt, nämlich ein See von immer gleicher Breite und Tiefe, dazu von einer Länge, die beliebig, jedenfalls sehr groß gedacht sei. Der Einfluß komme, ähnlich wie beim Niedersonthofener See, nur von der einen Seite herein und bringe das Material in feinverteilter suspendierter Form in das Becken. Der jährliche Schlammabsatz nimmt dann mit der Entfernung vom Einfluß erfahrungsgemäß ab. Das entsprechende Aufschüttungsgebilde zeigt dann, theoretisch gesprochen, eine gewisse Abdachung (siehe Tafel 2, Figur 11), welche bei den angenommenen einfachen Verhältnissen recht regelmäßig sein wird. Doch wird der „Schlammkegel“ vermutlich

in den entfernteren Teilen eine immer geringere Neigung gegen die Unterlage annehmen. Denkt man sich nun in dem einförmigen langen Seebecken ein Stück von doppelter Tiefe, während die Breite gleich bleibt, so wird die Schlammablagerung in diesem Teil ungefähr doppelt so tief sein, so daß es gerade so ist, als ob (siehe Figur 11 β) die zwei Abschnitte *ab* und *bc* des Schlamm-aufschüttungskegels sich übereinanderlagern würden. Es steht das in Einklang mit den wirklich in unserem See gemachten Erfahrungen. Denkt man sich aber dafür einen Teil, bei welchem die Tiefe einfach, die Breite aber doppelt so groß ist, so würde der Schlamm in dem verbreiterten Teil ungefähr ebenso tief sich ablagern wie kurz vor oder nach der Verbreiterung, d. h. es wäre dann gerade so, als ob die beiden Abschnitte des Schlammkegels, *ab* und *bc*, nebeneinander sich ablagern würden. Fragt man nach der Abnahme des Schlammabsatzes, so ergibt sich, daß dieselbe Abnahme von *a* bis *c* im ersten Fall, ungefähr auch im zweiten und dritten Fall erreicht wird, und es geht aus dieser Ueberlegung hervor, daß es das Volumen der vom Wasser durchflossenen Seeteile ist, welches im wesentlichen bestimmend für die Abnahme des Schlammabsatzes ist, und das auch bei komplizierterer Gestaltung des Beckens.

Für wichtig halte ich außerdem noch folgende Feststellung: Wird ein Becken von der einfachen Art, wie oben angenommen, zuerst mit einer gewissen, natürlich sehr geringen Geschwindigkeit, dann mit der doppelten Geschwindigkeit durchströmt gedacht, während alle sonstigen Verhältnisse (Tiefe, Art des Wassers hinsichtlich Beladung mit suspendierten Teilchen) die gleichen bleiben, so hat diese Aenderung für die Quantität des pro Quadratmeter in gleicher Zeit abgesetzten Schlammes zunächst gar keine Bedeutung; der Schlammabsatz bleibt der gleiche. Der Grund liegt darin, daß die vertikale Geschwindigkeit der sich niederschlagenden Teilchen, wie auch der Prozeß vor sich gehen mag, gleich groß zu denken ist, unabhängig von der horizontalen Geschwindigkeit des Seewassers. Nur wird der eine Unterschied bestehen, daß die Klärung des Wassers im Falle des langsameren Fließens raschere Fortschritte macht, falls man das Becken entlang geht, oder daß der Schlammkegel sich auf eine weniger große Strecke hin ausdehnen wird. Also wird für eine bestimmte Stelle im zweiten Fall der Absatz doch ein größerer sein.

In diesem Zusammenhang ist wohl auch folgendes erwähnenswert. Im Niedersonthofener See mag der durchschnittliche Zufluß pro Sekunde ungefähr 0,8 cbm betragen. Soviel Wasser hereinfließt, soviel wird auch wieder hinausgedrängt und so entspricht dem ununterbrochenen Zufließen auch im allgemeinen ein ständiges Vorwärtsdrängen aller Wasserteilchen im See. Da nun in der Mitte des Hauptsees (ungefähr bei *B*) der Querschnitt der Wassermasse zirka 8300 qm enthält, so ist leicht zu errechnen, daß hier die Wasserteilchen in je 24 Stunden ungefähr 8,3 m vorwärtskommen. Da die Geschwindigkeit in allen Teilen des Querschnitts bekanntlich nicht gleich ist und auch sonst die Dinge in Wirklichkeit viel komplizierter sein mögen, so ist mit der genannten Zahl natürlich nur ein gewisser Durchschnittswert gemeint. Das Becken des Alpsees bei Immenstadt ist beträchtlich rascher durchströmt; faßt man für ihn einen Querschnitt ins Auge, welcher durch den tiefsten Grund geht, so ergibt eine analoge Rechnung den Betrag 20,6 m. Das sehr langsam durchströmte Becken des Starnberger Sees hat als entsprechende Zahl ungefähr 1,8 m (Querschnitt Tutzing—Ammerland). Diese Zahlen mögen für das Urteil einen gewissen Anhaltspunkt bieten und allzu vage oder irrige Vorstellungen hierüber beseitigen.

VI. Die räumlichen Veränderungen.

a) Die früheren Raumverhältnisse des Sees.

Der See war früher viel ausgedehnter. Ich verweise sofort auf die beiden Darstellungen der Tafel 2. Hier ist im Grund- und Aufriß das heutige Becken zu sehen, und auch das älteste, wie es kurz nach Schwinden des Eises existiert haben mag. Daß der Wasserspiegel in der ersten Zeit $12\frac{1}{2}$ bis 13 m höher war als gegenwärtig, ergibt sich aus den Verhältnissen bei der Station Waltenhofen. Hier hat der Abfluß des Sees, heute Waltenhofener Bach genannt, eine Erosionsrinne geschaffen in die Umrandung. Die Dinge liegen so klar, daß man mit Leichtigkeit die ehemaligen orographischen Verhältnisse sich rekonstruieren kann. Da hiermit die Meereshöhe des ältesten Seespiegels ungefähr bekannt ist, kann man leicht in eine heutige topographische Karte die ehemaligen Umrisslinien annähernd einzeichnen. Nur muß man natürlich den alluvialen Aufschüttungsboden, namentlich den großen Schuttkegel von Niedersonthofen, zunächst weggeräumt denken. Zur Feststellung der Höhe des ältesten Seespiegels habe ich selbst ein Nivellement ausgeführt; jedoch bleibt immer noch eine Unsicherheit bestehen; der wahrscheinlichste Betrag jener Höhendifferenz ist der oben mitgeteilte. Alte Seeterrassen wurden nirgends mit Sicherheit beobachtet. Figur 2 zeigt im Längsschnitt auch die Tiefenverhältnisse des ältesten Beckens. Als Anhaltspunkte für diese Rekonstruktion diene vor allem die genaue Auslotung des heutigen Sees, sodann die Bohrungen und auch das oben über die Stelle *a* Gesagte. Die größte Tiefe des Sees in jener ersten Zeit ergibt sich demnach zu etwa 54 m. Einen Begriff von dem Schwinden des Sees gibt auch die hypsographische Darstellung der früheren Ausdehnung und des heutigen Rückstandes (d. h. die drei jetzigen Seen zusammengenommen). Der älteste See hatte zirka 87 Millionen cbm; davon sind heute noch 15,38 Millionen übriggeblieben. Das Verhältnis der Flächen sieht man auf der Karte.

b) Weitere Verbesserung der Zeitberechnung mit Rücksicht auf die räumlichen Veränderungen.

Aus der Tatsache, daß eine beträchtliche Veränderung mit der räumlichen Ausdehnung des Sees vor sich gegangen ist, folgt, daß der oben zahlenmäßig angegebene durchschnittliche Schlammniederschlag vielleicht wesentlich anders zu veranschlagen ist, wenn man ihn auf frühere Zeiten bezieht. Die klimatischen Verhältnisse mögen dabei zunächst als die gleichen gedacht werden wie in der Gegenwart. Bei einer eingehenden Erörterung dieser Frage ist zu bedenken, was diese Veränderungen für die Quantität des Niederschlages bei *B* zu bedeuten haben, das heißt, man hat lediglich die Änderung des Beckens vom Einfluß bis zur Untersuchungsstelle *B* ins Auge zu fassen. Günstig ist dabei, daß dieser westliche Teil des Sees (bis *B*) wenigstens der Breite nach während der ganzen Zeit so ziemlich gleichgeblieben ist und immer ein einförmiges Bild dargeboten hat im Gegensatz zu den östlich davon gelegenen Teilen des Beckens. In Figur 10 der Tafel 2 ist durch die Gangartskurven dargestellt, in welcher Weise die quarzitären und silikatischen Bestandteile des Schlammes längs der Sohle des heutigen Seebeckens abnehmen. Genauer gesagt stellen die Ordinaten die auf 1 m der Tiefe „reduzierten“ Schlammabsätze dar. Die zugehörigen Abszissen sind proportional zu den linearen Entfernungen der Stellen vom Einfluß des heutigen Schrattenbaches. Mit dieser Darstellung

soll, wie schon einmal hervorgehoben, lediglich ein auf wirkliche Messungen gegründeter erfahrungsgemäßer Zusammenhang für diesen See festgelegt sein. Die genannte Kurve ist aber für den Zweck der Rekonstruktion der früheren Verhältnisse des Schlammabsatzes nicht zu gebrauchen. Die Abszissen, welche die linearen Entfernungen bedeuten, müssen ersetzt werden durch Abszissen, die proportional sind zu den Volumina der Seeteile vom Einfluß bis zu den betreffenden Stellen. Das ist geschehen in Figur 12 der Tafel 2. Die Rauminhalte bis zu *a, b, d, e, f, g, h, i* betragen in Millionen Kubikmeter:

0,72 2,2 5,4 7,2 8,6 10,3 11,4 13,3;

die entsprechenden Zahlen für die Niederschläge der „Gangart“ (vgl. oben):

56 42,3 31,9 32 27,2 29,3 26,8 15,4

In der Zuordnung der Ordinaten mit Abszissen solcher Art kann zunächst auch lediglich ein erfahrungsgemäßer Zusammenhang gültig für diesen See erblickt werden. Aber nach den obigen theoretischen Betrachtungen über die Gesetzmäßigkeit des Schlammabsatzes haben die Volumina der vom Wasser durchflossenen Seeteile eine besondere kausale Beziehung zu dem Grad der Klärung des Wassers, ganz anders als die linearen Entfernungen, und so hat man ohne Zweifel in der graphischen Darstellung der Figur 9 eine Grundlage zur Beurteilung dessen, was bei *B* sich in früheren Zeiten abgesetzt hat bei bestimmten anderen Raumverhältnissen (gleiche klimatische Bedingungen vorausgesetzt!).

Zur weiteren Durchführung der Rekonstruktion wurde nun der ganze zu berechnende Zeitraum in fünf gleiche Teile geteilt gedacht. Sodann wurden die Tiefenkarten rekonstruiert, welche den Anfangs- bzw. Endpunkten jener fünf Zeiträume entsprachen und daraus die Volumina vom jeweiligen Einfluß bis *B* ermittelt. Die Ergebnisse in Millionen Kubikmeter waren:

I	II	III	IV	V	VI
7,2	12,5	17,5	24,9	31,3	39,3

Diese Werte wurden nun in der gleichen Figur im gleichen Sinne wie die obigen als Abszissen angetragen, dazu die Senkrechten in ihren Endpunkten errichtet. Jetzt bleibt noch übrig, die Kurve in ihrem weiteren Verlauf zu entwerfen. Dazu dienen folgende Ueberlegungen: Für den vorderen Teil ist eine starke Abnahme der Ordinaten bei wachsender Abszisse erfahrungsgemäß erwiesen und diese Abnahme hält ohne Zweifel auch weiterhin an. Jedoch wird sie später geringer und die Neigung der Kurve gegen die horizontale Achse kleiner. Man weiß ja, daß die feinsten Bestandteile im Wasser sich unverhältnismäßig lange schwebend erhalten und dementsprechend auch unverhältnismäßig weit verschleppt werden (vergleiche die oben beschriebenen Laboratoriumsversuche). So wurde eine Kurve eingetragen, welche aller Wahrscheinlichkeit nach das Richtige trifft und, zwischen den eingetragenen Punkten die mittlere Linie haltend, als „Normalkurve“ gelten kann. Der Punkt, welcher *i* entspricht, wurde dabei kaum berücksichtigt. Denn seine sehr abweichende Lage hängt ohne Zweifel mit der einschneidenden Formänderung zusammen, welche vor dieser Stelle im Seebecken zu verzeichnen ist. Man gelangt hier nämlich auf eine höhere Stufe, so daß die tieferen Partien des Seewassers vermutlich Mühe haben, in den „oberen Insee“ zu gelangen, der viel seichter, auch schmaler ist (vergleiche Tafel 2, Figur 1). Bei den oben berechneten Seeteilen I bis VI liegen, gerade was die Form betrifft, höchst einfache Verhältnisse vor, ein Umstand, welcher natürlich günstig ist für die Verwertung der Kurve. Daß in der Zeichnung das Richtige annähernd getroffen ist, darf nach alledem

angenommen werden. Wie sollte die Kurve auch wesentlich anders verlaufen? Durch Abmessen der Ordinaten erhält man den sechs Zeitpunkten entsprechend folgende Verhältniszahlen:

116 92 73 50 36 25

Sie sind proportional zu den auf 1 m der Tiefe reduzierten jährlichen Schlammniederschlägen bei B. Multipliziert man sie daher mit den Seetiefen, die zu den entsprechenden Zeiten bei B ungefähr geherrscht haben, nämlich mit:

21,2 28 34 40 47 54,

so erhält man Zahlen, welche den absoluten Schlammniederschlägen proportional sind, nämlich:

246 258 248 200 169 135

Der erste dieser Werte entspricht aber dem oben festgestellten durchschnittlichen Gewicht des jährlichen Niederschlags an quarzitäen und silikatischen Bestandteilen bei B pro Quadratmeter in der Gegenwart, nämlich 1,91 kg. Reduziert man, so ergibt sich (in Kilogramm) die Reihe:

I	II	III	IV	V	VI
1,91	2,00	1,93	1,55	1,31	1,05

Um den mittleren Betrag dieses Niederschlags zu ermitteln, macht man wieder eine graphische Darstellung (Tafel 2, Figur 13), in welcher die Zahlen der letzten Reihe als Ordinaten erscheinen, während die Abszisse die Zeit bedeutet. Der Nullpunkt entspricht der Gegenwart; in gleichen Abständen davon sind die Zeitpunkte II bis VI eingetragen. Eine Planimetrierung der Fläche liefert dann den mittleren Betrag des Niederschlags während der ganzen Zeit, nämlich 1,65 kg pro Quadratmeter jährlich. Diese Zahl wird nun statt 1,91 kg in der früheren Rechnung eingesetzt, wodurch sich der verbesserte Wert ergibt:

$$\frac{9380}{1,65} = 5680 \text{ (Jahre),}$$

das heißt der Zeitraum ist unter den genannten Bedingungen anzunehmen gleich 5,7 Jahrtausenden.

Danach wäre das diluviale Eis in der Gegend des Sees ungefähr um 3800 v. Chr. endgültig geschwunden.

VII. Die Gesamtmasse der Alluvionen.

Ueber Abtragung und Aufschüttung im Gebiet des Niedersonthofener Sees habe ich mancherlei Berechnungen angestellt, welche vielleicht wert sind, in dieser Abhandlung mitgeteilt zu werden. Zunächst wurde der Rauminhalt des Schrattenbachtobels ermittelt, des auffallendsten Erosionsgebildes der jüngsten geologischen Epoche in dem Gebiet. Es ergab sich ungefähr das Volumen 21,5 Millionen cbm, also ein Inhalt, welcher den des heutigen Sees weit übertrifft (Verhältnis 21,5 : 13,86). Die übrigen „Tobel“, welche dem See zugehören, enthalten zusammen nur 3,6 Millionen cbm. Der Gesamtbetrag ist also 25,1 Millionen. Leider bleibt ein Teil der Abtragung unbekannt und der Berechnung unzugänglich, nämlich das, was von den freien Abhängen herabgespült wurde während der ganzen in Betracht kommenden Zeit. Es liegt nun nahe, den Versuch zu machen, die Alluvionen in ihrer Gesamtheit zu berechnen und sie an ihren Ursprungsort zurückversetzt zu denken. Ueber die ganze Niederung des Sees und was sie alles an jungen Ablagerungen enthält,

bin ich so ziemlich unterrichtet, etwas besser, als es in dieser Schrift zum Ausdruck kommen konnte. Denn ich habe auch sonst noch diese und jene Bohrung ausgeführt, über welche ich, um Weitschweifigkeiten zu vermeiden, nichts weiter berichtet habe. Es hat sich ergeben: Die ganze große Niedersonthofener Deltaaufschüttung enthält etwa 14 Millionen cbm. Die Schlammmasse des großen Sees 17 Millionen, die Ablagerung im Gebiet der Inelseen bis gegen die Station Walterhofen 4 Millionen. Mit der Volumenberechnung ist es aber nicht getan, denn der Wassergehalt ist bei den abgelagerten Massen im allgemeinen ein beträchtlicher. Daher wäre es widersinnig, die alluvialen Aufschüttungsmassen nach ihren Rauminhalten zu vergleichen mit den Inhalten der Bachrisse. Man muß auf die Gewichte zurückgehen und das Wasser in Abzug bringen. Hinsichtlich der „Tobel“ ist die Gewichtsrechnung ziemlich einfach. Würden die weggeführten Massen in ursprünglichem Zustand (als Mergel und Sandstein) sie wieder ganz ausfüllen, so hätte man ein Gewicht von zirka 64 Millionen Tonnen. Wesentlich schwieriger gestaltet sich die Berechnung der Aufschüttungsmassen, weil ihr Wassergehalt zwischen weiten Grenzen schwankt. Ich fand (unter Berücksichtigung aller Ergebnisse über die „Dichte“ der verschiedenen Massen) für den Deltaschuttkegel 19,6 Millionen Tonnen, für die Schlammmasse des großen Sees 15,5 Millionen und für die Massen im Inelseegebiet 2,4 Millionen, zusammen 37,5 Millionen Tonnen ohne das Wasser. Denkt man nun alle im Gelände lieengebliebenen Massen zurückversetzt in die Bachrisse, und zwar in ursprünglicher Beschaffenheit, so würden diese „Tobel“ etwas mehr als zur Hälfte ausgefüllt sein (zirka 59 Prozent). Dabei stellt, wie erwähnt, die Summe der Tobelinhalte keineswegs die ganze Abtragung dar, woraus folgt, daß der Prozentsatz noch etwas kleiner zu denken ist. So mag man genauer beurteilen, was in der Niederung lieengeblieben ist, und was durch das abfließende Wasser der Iller oder dem Schwarzen Meer zugeführt wurde. — Man wird sich vielleicht wundern, daß nicht mehr in dem tiefen Gelände und dem Seebecken zurückgeblieben ist, oder daß ein so bedeutender Bruchteil ganz fortgeführt worden sein soll. Es ist aber möglich, daß der durch rückwärtsschreitende Erosion sich weiter ausbildende Schrattenbachtobel doch schon eine etwas ältere Geschichte hinter sich hat als die Aufschüttung in der Seeniederung. Zu seiner Ausbildung kann die ganze postglaziale Zeit gedient haben, während die heute vorliegenden Aufschüttungsmassen vielleicht erst nach Rückzug eines Stadiums oder erneuten Vorstoßes in der Nacheiszeit sich angesammelt haben können.

VIII. Das Profil der Schlammschicht.

Durch die 21 Proben, welche aus der Schlammschicht des Sees hervorgeholt wurden, ist ein gewisses Profil der ganzen Ablagerung gegeben. Die Frage entsteht, ob hier etwas gewonnen werden kann für die Erforschung der Klimaänderungen in postglazialer Zeit. Die klimatischen Schwankungen, die man in Torfmooren so oft in radikaler Weise ausgeprägt vorfindet, werden auf dem Grund von Seen wohl nur in schwacher Weise mitschwingen. Ich werde das hier zur Verfügung stehende Material in Form einer zeichnerischen Darstellung vorlegen und es hauptsächlich dem Leser überlassen, sich selbst ein Urteil zu bilden. Es ist das Figur 14 auf Tafel 2; sie enthält: 1) die „Dichte“ des Schlammes (schwarz); 2) den wechselnden Anteil der Gangart (rot); 3) die hygroskopische Feuchtigkeit der Proben (gestrichelt). Die eingetragenen Ordinaten entsprechen zwar den einzelnen Metern der Tiefe, aus welcher die Proben

hervorgeholt wurden; aber ihr Abstand ist zeitlich aufzufassen oder die Abszisse ist proportional zur Zeit. Solange nämlich das nicht der Fall ist, muß eine Kurvendarstellung, welche klimatische Aenderungen abbilden soll, als irreführend bezeichnet werden. Es ist leicht verständlich, warum im rechten Teil der Zeichnung die Ordinaten weiter auseinanderrücken; denn erstens wegen der im allgemeinen größeren „Dichte“ und zweitens wegen der geringeren jährlichen Ablagerung muß in den unteren Lagen der zeitliche Abstand der von Meter zu Meter Tiefe heraufgeholtten Proben größer sein als in den oberen. Diese Abstände auf der wagrechten Achse, wie sie in der Darstellung zu sehen sind, wurden nicht nach gefühlsmäßigem Urteil eingetragen, sondern sie wurden konstruiert nach logischen Gesichtspunkten unter ausgiebiger Verwendung des Planimeters auf Grund der Kurven. Die Zeiten, nach Christi Geburt orientiert, finden sich auf der Abszissenachse angemerkt in Jahrtausenden. Auch in dem Profil auf Tafel 2, Figur 5, sind diese Zeiten eingetragen.

Daß eine auffallende Aenderung der „Gangart“ direkt oder indirekt durch klimatische Verhältnisse bedingt ist, wird als sehr wahrscheinlich gelten können. Ferner die mehr oder weniger große Fähigkeit des getrockneten Schlammes, Feuchtigkeit aus der Luft aufzusaugen, ist ohne Zweifel in mancher Hinsicht charakteristisch für seine Beschaffenheit und Zusammensetzung, und so wird der Verlauf der diesbezüglichen Kurve sehr wohl auch über das Klima etwas aussagen können. Für Gangart und hygroskopische Feuchtigkeit sind einfach die Prozentsätze als Ordinaten eingetragen. Was aber die „Dichte“ betrifft, wurde anders verfahren. Der Schlamm des Sees wird sich, unter dem Einfluß der eigenen Schwere stehend, nach unten zu in natürlicher Weise verdichten*). Die in Figur 4, Tafel 2, gestrichelt eingezeichnete Kurve mag wohl das natürliche, rein durch die Schwere bedingte Anwachsen der Dichte nach der Tiefe zu darstellen. Die Abweichungen der tatsächlichen Kurve von dieser „Normalkurve“ sind allenfalls auf Rechnung des wechselnden Klimas zu setzen. So wurden in der neuen Darstellung lediglich die Differenzen als Ordinaten verwendet, um nur das hervorzukehren, was wegen des Klimas allein von Interesse sein kann.

Betrachtet man die drei Kurven unserer Darstellung genauer, so ist ein gewisser Parallelismus der beiden unteren unverkennbar; hingegen erscheint

* Hier möchte ich von etwas berichten, was ich an der Füllung des „niedrigen Zinkkastens“ (B) beobachten konnte, als ich ihn nach seiner zweiten Versenkung wieder heraufbeförderte hatte. Nachdem er herausgehoben und auf die Eisdecke niedergesetzt war, wurde der in dem Innenbereich befindliche Schlamm (vgl. Tafel 2, Fig. 8) unvermengt mit Wasser (denn dieses konnte sogleich nach allen Seiten abfließen) in seinem natürlichen Zustand in ein zylindrisches Gefäß übertragen, das dann etwa 28 cm hoch mit der Masse angefüllt war. So fand sich der Schlamm, der vorher als eine nur 6,2 cm hohe Schicht den Boden des Kastens bedeckt hatte, in andere Verhältnisse versetzt, insofern er nun hoch aufgeschichtet war. Am nächsten Tag zeigte es sich, daß er mit einer 5 cm hohen scharf begrenzten klaren Wasserschicht überdeckt war. Ein Teil des im Schlamm enthaltenen Wassers war also herausgewandert oder die nach unten drängenden Schlammteilchen hatten einen anderen Gleichgewichtszustand geschaffen, wobei die „Dichte“ größer geworden war. Hier hat man ein handgreifliches Beispiel dafür, daß unter dem Einfluß der Schwere der Schlamm in größerer Tiefe sich auch dichter ansammelt. — Bei dieser Gelegenheit bemerke ich, daß in eben dieser Schlammmasse zirka 190 Larven von *Corethra plumicornis* verborgen waren. Da die entsprechende Fläche (der Innenteil des Sammelkastens) 13,07 qdm umfaßte, so errechnet sich die Individuenzahl pro Quadratmeter des Seegrundes auf etwa 1400. Die Zahl der Tubifexwürmer ist aber jedenfalls beträchtlich größer anzunehmen und man sieht hieraus, daß es dem anscheinend so öden Schlammgrund nicht an Leben fehlt, und zwar, wie dieses Beispiel beweist, im Winter unterm Eise ebensowenig wie im Sommer.

die oberste, welche die Dichte betrifft, den beiden anderen im großen und ganzen konträr. Im besonderen wäre zu sagen: Das einzige, was im Hinblick auf das Klima einigermaßen sicher etwas bedeutet und würdig ist, hervorgehoben zu werden, das ist meines Erachtens die Erhebung der Kurve für die Dichte vom 8. bis zum 15. Meter. Die zwei anderen Kurven bestätigen in ihrer Weise das Auffallende der Erscheinung. Es scheint da eine längere regenreiche Periode geherrscht zu haben, während welcher ein stärkeres Einströmen in das Seebecken stattfand, die Schlammteilchen relativ wohl ein wenig gröber, auch mit Feinsandteilchen etwas mehr untermengt waren. Diese Zeit würde ungefähr von 1000 v. Chr. bis 700 n. Chr. gedauert haben.

Ueber die Befunde in den einzelnen Proben ist noch mancherlei zu bemerken. Schon bei der Bohrarbeit selbst fiel es auf, daß beim vierten und noch mehr beim fünften Meter der Tiefe das heraufbeförderte Material etwas mulmigen Charakter hatte. In der Tat hat die nähere Untersuchung eine gewisse, nicht bedeutende Anreicherung des Schlammes durch Pflanzenreste ergeben. Es waren wohl vom Ufer her eingeschwemmte Reste, wie wenn die Umgebung stark vom Wald in Beschlag genommen gewesen wäre; Moose und Tannennadeln konnten festgestellt werden. Zugleich waren schwach sandige Verunreinigungen zu bemerken. Der Zeit nach käme ungefähr das 13. Jahrhundert n. Chr. in Betracht. — In 8 m Tiefe (entsprechend etwa 800 n. Chr.) waren im Schlamm sehr viele Bosminenrüssel nachzuweisen. Diese Krustazeenreste erhalten sich offenbar besonders gut und sind auch sehr leicht erkennbar. Im heutigen Seeschlamm sind sie sehr wenig enthalten, wie auch die betreffende Tiergattung in der lebenden Fauna des Sees nur spärlich zu finden ist. Auch die sonstigen Proben ließen diese Reste keineswegs hervortreten. An diesem Beispiel sieht man, daß die Planktonfauna des Sees mancherlei Wechsel im Lauf der Zeit unterworfen war. Das geht nach dem, was die Schlammproben darüber aussagen, auch daraus hervor, daß ungefähr vom 14. Meter an der Gehalt an Ueberresten einer abgestorbenen Organismenwelt überhaupt mehr und mehr abnimmt, schließlich äußerst spärlich erscheint. Völlig steril erwies sich aber auch die unterste Probe nicht. — Etwas auffallend war es, daß die drei untersten Proben (also vom 18., 19. und 20. Meter) graue Färbung hatten im Gegensatz zu allen anderen, welche gelblich waren (im eingetrockneten Zustand). Es könnte die Frage aufgeworfen werden, ob nicht etwa die unterste oder vielleicht die drei untersten Proben einer glazialen Tonschicht zuzurechnen seien; denn in der Nachbarschaft der steinhaltigen Moräne könnte ja vielleicht „Bänderton“ abgelagert gedacht werden. Ich möchte das aber ganz und gar nicht annehmen, vielmehr die untersten Proben trotz der anderen Färbung als echten Seeschlamm auffassen. Denn eine Organismenwelt war, wenn sie auch sehr dürtig erscheint, doch vorhanden und außerdem spricht die chemische Analyse, die gerade mit diesem untersten, ganz homogenen Material durchgeführt wurde (siehe oben Analyse B₂₀), mehr dafür, daß man Seeschlamm anzunehmen hat statt schlammiger Moräne. Im Falle, daß diese Auffassung doch auf Irrtum beruht, würde folgen, daß der errechnete Zeitraum, welcher an sich nicht groß ist, noch kleiner anzunehmen wäre. — Oben wurde bei der Besprechung des Bohrers und seiner Konstruktion erwähnt, daß ich, um seine Wirkungsweise zu prüfen, aus 6 m Tiefe noch eine zweite Probe hervorholte; ich kam dabei etwas tiefer, so daß die eine vielleicht aus 6, die andere aus 6,2 m Tiefe stammte. Die beiden waren hinsichtlich der „Dichte“ stark verschieden (0,845 und 1,12), so daß, falls ich die zweite in den Kurvendarstellungen etwa auf Tafel 2, Figur 4, eingetragen

haben würde, das Bild eines scharfen anormalen Ansteigens (und Wiederherabsinkens) sich ergeben hätte. Die Ursache war wieder eine stärkere Feinsandbeimengung, wie das ausdrücklich beim 13. Meter schon hervorgehoben wurde, aber auch bei anderen Proben mehr oder weniger zu konstatieren war.

IX. Nochmals die Zeitberechnung.

a) Die Grenzen der Untersuchung.

5,7 Jahrtausende sollen nach bisheriger Rechnung vergangen sein, seitdem das Eis aus der Region unseres Sees endgültig verschwunden ist. Die Frage drängt sich auf, inwiefern bei diesem Resultat noch etwa Verbesserungen anzubringen sind. — Die Schlammschicht wurde im ganzen zweimal durchbohrt an Stellen, die wenig voneinander entfernt waren. Daß sich dabei hinsichtlich des Beginnes der steinhaltigen Moräne keine völlige Uebereinstimmung ergab, bringt eine gewisse Unsicherheit für die Rechnung mit sich. Die Mächtigkeit der Schlammschicht schien einmal $21\frac{1}{2}$, das andere Mal $20\frac{1}{4}$ m zu betragen. Daß der zweite Wert bevorzugt und für die Rechnung verwendet wurde, bedarf einer näheren Begründung. Im „oberen Insee“ machte ich an fünf verschiedenen Stellen vom Eise aus Bohrungen. Ich erreichte zwar überall die steinhaltige Moräne, mußte aber dabei die Erfahrung machen, daß, bevor das eigentlich der Fall war, gelegentlich einzelne Steine im Schlamm eingebettet sich fanden und eine Hemmung hervorriefen. Sie ließen sich aber zur Seite drängen, worauf dann das Bohren ungehindert fortgesetzt werden konnte, bis die von Steinen gefüllte Schicht kam, welche keinen Zweifel mehr bestehen ließ. Auch bei den Bohrungen, welche ich inmitten des Alpsees unternahm, machte ich eine solche Erfahrung. Bezüglich der Hauptuntersuchung im Niedersonthofener See kann ich das eigentlich nicht sagen: An beiden Bohrstellen erschien mir die Grenze zwischen Seeschlamm und Moräne scharf gegeben, aber die zwei Resultate über die Mächtigkeit der Schicht stimmten nicht zusammen. Dann ist aber doch wenigstens dies klar, daß um der möglichen Einzelsteine willen, obwohl sie hier eigentlich nicht wahrgenommen wurden, im Zweifelsfall die Grenze eher höher oben als tiefer unten anzusetzen ist. Man hat also die kleinere der beiden Zahlen zu nehmen und die Rechnung kann in dieser Hinsicht ungeändert bleiben.

Bei der bis jetzt durchgeführten Rechnung wurden auch die früheren Verhältnisse berücksichtigt, aber nur was die räumliche Ausdehnung des Seebeckens betrifft, während alle sonstigen Umstände gleichbleibend, nämlich so wie in der Gegenwart, gedacht wurden. Wieviel Schlamm sich an einer Stelle im See niederschlägt, dafür ist meines Erachtens dreierlei von Bedeutung: 1) Wieviel Wasser dem See überhaupt geliefert wird. 2) In welchem Maße und in welcher Weise dasselbe beladen ist mit schwebenden Teilchen, aus welchen der Schlamm sich bilden kann. 3) In welchem Maße eine Disposition zur Abscheidung dieser Teilchen für die Schlammbildung vorliegt; ich denke da vor allem an die Temperaturverhältnisse sowie an die Organismenwelt, welche der Abscheidung mehr oder weniger günstig sein könnte je nach dem Maße ihrer Entwicklung.

Was den ersten Punkt betrifft, so hat man nach den Befunden in den Schlammproben wohl Anhaltspunkte dafür, daß zeitweise ein reichlicheres Zuströmen als gegenwärtig stattfand. Die Wirkung kann aber durch Trockenperioden wieder aufgehoben worden sein. Die Gegenwart stellt wohl kein Extrem dar in dem einen oder anderen Sinne.

Was den zweiten Punkt betrifft, so wird er wohl mit dem ersten in der Regel verknüpft sein. In Gedanken aber kann man beide getrennt halten. Sie sind bedingt durch alle klimatischen Faktoren: Sonne, Regen, Schnee, Frost, Wind, Vegetation. Aber vielleicht nicht durch diese allein. So vermute ich, daß es hinsichtlich des zweiten Punktes als ein günstiger Umstand anzusehen ist, wenn in der Gegenwart der Einschnitt des Schratzenbaches so bedeutend entwickelt ist. Man kann sich leicht denken, daß die steilen Böschungen und die reichlichen Entblößungen des Materials der Aufnahme von suspendierten Teilchen förderlich sind im Gegensatz zu früheren Zeiten, in welchen der „Tobel“ noch wenig ausgebildet war.

In bezug auf den dritten Punkt scheint nach den Befunden in den Proben kein Anlaß zu bestehen, die Organismenwelt während des ganzen zu berechnenden Zeitraums durchschnittlich reichlicher entwickelt einzuschätzen als in der Gegenwart, wohl aber im Durchschnitt geringer. Das wäre für den Niederschlag vermutlich ein weniger günstiges Moment.

Mit solchen Erörterungen haben wir die Grenze des unserer Untersuchung Zugänglichen überschritten und sind in den Bereich der Annahmen und Mutmaßungen übergetreten, auf welche wir uns nicht einlassen möchten. Aber man kann noch eines tun. Der berechnete Zeitraum, obwohl er einige Verlängerungen erfahren hat, erscheint wohl manchem zu kurz, als daß er Vertrauen erwecken könnte. Ich will daher eine weitgehende Annahme machen in bezug auf die uns unbekanntem Faktoren und werde hinsichtlich dieser Annahme ermitteln, was sie umgerechnet in Zeit bedeutet. Es wird das sehr nützlich sein, um allzu vage oder irrig Vorstellungen zu bannen.

Es sei angenommen, daß der Niederschlag bei B am Anfang des Zeitraums nur 25 Prozent betrug von dem unter VI in der Darstellung von Figur 13 eingetragen; das wäre dann vom gegenwärtigen durchschnittlichen Niederschlag

berechnet der Bruchteil $\frac{1,05}{1,91} \cdot 0,25 = 0,55 \cdot 0,25 = 0,138$ oder 13,8 Prozent. Die

25 Prozent lassen wir allmählich und gleichmäßig übergehen in 100 Prozent, welche der Gegenwart (I) entsprechen. In diesem Sinne wurde die Kurve (punktiert) in der Darstellung Figur 13, Tafel 2, eingetragen. Durch Planimetrierung erhält man den Mittelwert 1,104; daraus ergibt sich der Zeitraum:

$$\frac{9380}{1,104} = 8500$$

oder die Zeit um 6600 v. Chr.

Die gemachte Annahme über die früheren Beträge des jährlichen Schlammniederschlages, welche in der punktiert gezeichneten Kurve (Figur 13) zum Ausdruck gebracht ist, scheint mir besonders deshalb außerordentlich weitgehend zu sein, weil die uns unbekanntem, der Wirklichkeit entsprechende Kurve wahrscheinlich zum Teil oberhalb der Hauptkurve von Figur 13 verlaufen würde. Denn so sehr ich vermute, daß der jährliche Niederschlag zeitweise beträchtlich herabgemindert war, so sehr muß ich betonen, daß Anhaltspunkte vorhanden sind für einen zeitweise besonders erhöhten Schlammabsatz (vgl. das oben über die Dichte-Kurve von Figur 14 Gesagte).

Wenn also der Zeitraum 5700 Jahre nicht vertrauenswürdig erscheint, sondern zu klein, so kann doch unsere Phantasie infolge der soeben angestellten Kalkulation auch nicht zu weit abschweifen. Die größere Wahrscheinlichkeit dürfte sein, daß der wahre Wert der ersten Zahl (5700) näher liegt als der

letzteren (8500), so daß die Vorstellung, das diluviale Eis sei etwa um 4700 v. Chr. aus der Region unseres Sees geschwunden, am ehesten das Richtige treffen dürfte.

b) Glazialgeologisches und Schlußergebnis.

Der errechnete Zeitraum ist seiner Bedeutung nach jedenfalls derjenige, welcher seit dem endgültigen Schwinden des glazialen Eises aus der Umgebung des Niedersonthofener Sees verflossen ist. Er ist natürlich kleiner als der seit dem Zurückweichen des Würmgletschers aus seinem Maximalstand verfllossene. Die Grenze der Würmvergletscherung im Norden trifft man bei Grönenbach. Von da ist es bis zu dem See noch 16 km. Die unbekannte Zeitdauer, welche das Gletscherende brauchte, um so weit zurückzureichen, kommt für das Resultat der Rechnung natürlich nicht in Betracht. Es kann nun auch so sein, daß sich der Gletscher ganz ins Gebirge zurückzog, und daß er dann — vielleicht nach geraumer Zeit — wieder einen Vorstoß machte, der bis zum Niedersonthofener See oder über ihn hinaus reichte. In Anbetracht dieser Möglichkeit muß erst recht die Frage aufgeworfen werden, was eigentlich der errechnete Zeitraum zu bedeuten hat und wie allenfalls sein Verhältnis zur ganzen Postglazialzeit ist.

Wer von den äußersten nördlichen Endmoränen das Gebiet rückwärts verfolgt mit der Absicht, aus den Ablagerungen womöglich die Geschichte des Gletscherrückzuges herauszulesen, der wird auf nicht geringe Schwierigkeiten stoßen. Glaubt man, einen Anhaltspunkt für ein „Stadium“ im Alpenvorland gefunden zu haben, und sieht sich dann nach weiteren Zeugen um, so wird man in der Regel enttäuscht werden. Am Ende wird man vielleicht zu der Anschauung hinneigen, daß der Gletscher zwar zögernd, aber ohne nennenswerte Unterbrechung sich in sein Ursprungsgebiet zurückgezogen hat. Dennoch gibt es meiner Ansicht nach einen Zusammenhang, der nach dieser Richtung etwas aussagt und daher volle Beachtung verdient. Ich knüpfe an eine Erscheinung inmitten des Alpseetales an (vgl. Kartenskizze, Figur 15). Da findet man eine auffallende, über die sonstige flache Talsohle sich erhebende kleine Moränenlandschaft, „Hölle“ genannt. Sie liegt zwischen Ratholz und Talkirchdorf, enthält zahlreiche Nagelfluhblöcke, von denen ein besonders mächtiger auf dem höchsten Punkt im Westen aufgelagert ist und das Ganze zu krönen scheint. Auch fein geschlemmtes Material wurde in den unteren Lagen bemerkt. Interessant ist, daß schon Gumbel diese ganze Moränenanhäufung als diluviale Ablagerung erkannt und in seinem Kartenwerk eingetragen hat. Sie ist am Ende oder nahe am Ende des Illergletschers (in irgendeiner Phase) entstanden, welcher aus dem Gebirge herausdrang, beim Austritt sich ausbreitete und dabei in gewissem Sinne sich in drei Einzelströme teilte. Einer von diesen bewegte sich geradeaus in der Hauptfurche des Tales weiter, der linke wurde in das Alpseetal hineingedrängt und der rechte floß, durch den Riegel des Rottachberges abgelenkt, nach der Gegend von Vorderburg hinüber. Hatte nun der linke Arm sein Ende inmitten des Alpseetales, so muß auch das der beiden anderen in einigermaßen entsprechender Entfernung vom Ausgangspunkt angenommen werden. Beim Hauptstrom darf wohl die Gegend des Niedersonthofener Sees als in Betracht kommend vermutet werden, jedenfalls der Bereich von Kempten südwärts. Die einzig auffällige Erscheinung darin ist aber der große diluviale Höhenzug, der früher schon hervorgehoben und geschildert wurde. Als einheitliches Moränengebilde betrachtet, ist er größer als irgendein diluvialer Wall des ganzen Illergebietes und stellt vermutlich das

Aequivalent zu der Moränenanhäufung im Alpseetal dar. Im Bereich des rechten Armes, welcher hinter dem Rottachberg sich hineindrängte, findet sich ein interessanter Schwarm von Drumlins vor, der hier offenbar die erwartete auffällige Erscheinung vertritt. Er ist dem Ausgangspunkt des fächerartig sich ausbreitenden Gletschers an der Illertalausmündung am nächsten gerückt. Das ist aber gar nicht anders zu erwarten, weil der Gletscherboden für diesen dritten Arm eine zirka 140 m hohe Stufe gegenüber dem Illertal darstellt. Ueberhaupt muß dieser Arm kleiner und kürzer angenommen werden. Der große diluviale Höhenzug im Gebiet des Hauptstromes kann, wie schon früher festgestellt wurde, als eine riesige Radialmoräne (Asar?) bezeichnet werden; er trägt auf seinem Rücken Drumlins und seine innige Beziehung zu dieser Art von Moränen wird vielleicht am besten dadurch zum Ausdruck gebracht, daß man ihn als eine eng zusammengedrückte Drumlinlandschaft bezeichnet, bei welcher es merkwürdig erscheint, daß sie gerade mitten im Tal, mitten in der Hauptströmung des Eises gelagert ist. Denn sonst liegen die Drumlinchwärme doch gerne seitwärts vom Hauptweg des Gletschers. Vielleicht verdienen noch die erraticen Nagelfluhblöcke Hervorhebung, welche in etwas auffallender Zahl auf der großen Moräne, östlich und westlich von ihr, besonders auch in der Gegend unseres Sees zerstreut umherliegen. — Der Leser wird vielleicht sofort Bedenken erheben gegen die Auffassung, daß die drei Moränengruppen einander entsprechen sollen. Die Drumlins sind ja doch keine Endmoränen! Dazu ist zu bemerken, daß in dieser Arbeit — obwohl kein Beweis dafür erbracht wird — die Drumlins vorausgesetzt werden als Moränen, welche subglazial sich bilden, und zwar unweit vom Ende des Gletschers. So können meines Erachtens, wenn andere Anhaltspunkte fehlen, Drumlins doch unter Umständen dazu dienen, das nahe Ende eines Gletschers und sein längeres Verweilen zu beweisen. Die Prozesse sind uns ja reichlich unbekannt und die individuellen Verhältnisse von damals können ganz besonderer Natur gewesen sein, so daß man wohl eine Berechtigung hat, sich Vorstellungen zu bilden, welche den vorhandenen Tatsachen wenigstens am besten gerecht zu werden scheinen. — Ueber die östliche der drei Ablagerungen, nämlich die Drumlins hinter dem Rottachberg, möchte ich bemerken, daß ich von ihnen in der Skizze ein naturgetreues Gesamtbild wiederzugeben suchte. Diese Gruppe stimmt mit der Darstellung in der schon erwähnten Karte von Dr. Simon („Das Moränengebiet des würmeiszeitlichen Allgäuvorlandgletschers“) im ganzen gut überein. Ich möchte aber betonen, daß mit diesem Schwarm von Hügelchen, der bis Emereis sich erstreckt, das Auffallende in der Moränenablagerung dieses Gebietes erschöpft ist. Simon verzeichnet nämlich noch eine gewisse gegen Peterstal gerichtete weitere Hügelreihe, welche, obwohl etwas seitlich gerückt, vielleicht als eine Fortsetzung von jener aufgefaßt werden könnte. Dieser spätere Teil tritt aber in Simons Karte ganz ohne Zweifel viel zu sehr hervor, weil da zu viel eingetragen ist. Daher lassen wir alle späteren Moränenvorkommnisse in der Skizze weg in demselben Sinn und mit demselben Recht, wie es nordwärts von dem großen Moränenzug am Niedersonthofener See geschehen ist.

Die drei Ablagerungen, die wir in Parallele setzten, sind vielleicht als Dokumente eines Bühlstadiums im Illergebiet aufzufassen. Ich weiß wohl, daß das eine umstrittene Erscheinung ist; aber ganz wegdisputieren konnte man sie, wie es scheint, nicht. Indem ich das Vorhandensein dieses Stadiums in unserem Gebiet als etwas Problematisches bezeichne, möchte ich selbst auf die Umstände hinweisen, welche Bedenken erregen können. War der Gletscher in dieser

Gegend wirklich stationär, sei es, daß er bei dem allgemeinen Rückzug hier lange haltmachte, oder daß er einen neuen Vorstoß darstellte, so sollte man außerhalb der in dem Kärtchen eingetragenen Ablagerung (drumlinartig!) doch wohl irgend etwas Besonderes wahrnehmen können hinsichtlich der Umrandung. Hier ist nun bei einer kritischen Prüfung leider nichts festzustellen. Rechts der Iller haben die drumlinartigen Hügel, die bei Betzigau in großer Menge auftreten, südwärts über Durach ihre Fortsetzung bis heran an die Region unseres Sees, ohne daß im Charakter der Landschaft irgendeine Aenderung wahrzunehmen wäre. Und im wesentlichen ist es links der Iller auch nicht anders. Nirgends Ablagerungen, welche das peripherische Gebiet eines Gletschers dokumentieren könnten. Wohl gibt es, wie zum Beispiel in der Gegend des Oeschleesees oder bei Durach, aufgeschüttete Moränenhügelchen, die offenbar am Gletscherrand entstanden sind; aber man hat nicht den geringsten Anhaltspunkt dafür, daß sie nicht dem allgemeinen Rückzug des Illerwürmgletschers als Rückzugsmoränen zuzuordnen sind. Greift man etwas weiter nach Norden, so wäre allenfalls der Moränenwall zwischen Albris und Langenmanns eine Erscheinung, die das gewünschte Zeugnis für den Eisrand abgeben könnte. Aber man sucht vergebens nach weiteren sicheren Stützpunkten für diese Auffassung. Weder die Verhältnisse an der Schießstätte bei Kempten, wenn man sie in der Natur nachprüft, noch die auf der rechten Illerseite können in Betracht gezogen werden. Auch die Ablagerungen unmittelbar bei Kempten (Rosenau, Illervorstadt, Burghalde) sind hier wohl nicht anzuführen; denn sie sind Moränen, die sich nicht besonders hervorheben gegenüber anderen diluvialen Erhebungen und Ablagerungen, welche in der näheren Umgebung den langsam zögernden allgemeinen Rückzug des Illergletschers dokumentieren. Nicht anders als hier an der Iller selbst steht es drüben am rechten Arm des Gletschers in der Gegend von Vorderburg. — Vielleicht können aber manchmal drumlinartige Erhebungen selbst direkt die Endmoränen vertreten. Jedenfalls sind die oben beschriebenen Verhältnisse so auffallend, daß sie auf eine besondere Phase innerhalb der Nacheiszeit hinweisen.

Nach der Niederschrift dieser Ausführungen wurde ich mit der Abhandlung von K. Troll: „Die Rückzugsstadien der Würmeiszeit im nördlichen Vorland der Alpen“ bekannt. Es war von vornherein wahrscheinlich, daß die besprochene Erscheinung in Parallele zu setzen ist mit der Moräne von Weilheim, welche den südlichen Teil der Ammerseeniederung durchquert und auch von Penk besonders hervorgehoben wurde. Das „Bühlstadium“ freilich wäre nach Troll aufzulösen in zwei Rückzugsstadien. Hier käme natürlich nur das ältere (Ammerseestadium, Würm α) in Betracht.

So ist der berechnete Zeitraum wahrscheinlich derjenige, welcher seit dem „Ammerseestadium“ vergangen ist, dessen Schwindnung ungefähr um 4700 v. Chr. anzunehmen wäre.

Wenn ich weiterhin die Resultate anderer (Gams und Nordhagen: „Postglaziale Klimaschwankungen“) mit den meinigen verknüpfe, so kann ich das Ergebnis dieser Arbeit vielleicht folgendermaßen formulieren:

Das Ammerseestadium und das Bühlstadium (Würm α und β) fallen ganz und gar in die „atlantische“ Zeitperiode, welcher auch das „Gschnitzstadium“ (um 3800 v. Chr.) zugerechnet wird; nur würden die beiden ersteren einem früheren Abschnitt dieser Zeit zuzuweisen sein. Würm α , β , γ sind, wie es scheint, zeitlich wenig voneinander getrennte

Erscheinungen der „atlantischen“ Periode, und der für dieselbe festgestellte „Hiatus“ ist wohl auf Rechnung von allen dreien zu setzen. —

Daß wir auch dem „Daunstadium“ im Laufe dieser Arbeit begegneten oder wenigstens der „subatlantischen“ Zeit, zu der es gehört, ist kaum zu bezweifeln; denn die schon hervorgehobene auffallende Erhebung der „Dichtekurve“ paßt sehr wohl auf diese Zeit, wie sie nach den sonstigen Erfahrungen festgestellt wurde (vgl. Tafel 2, Figur 14).

Damit bin ich am Ende meiner Ausführungen über den Niedersonthofener See angelangt.

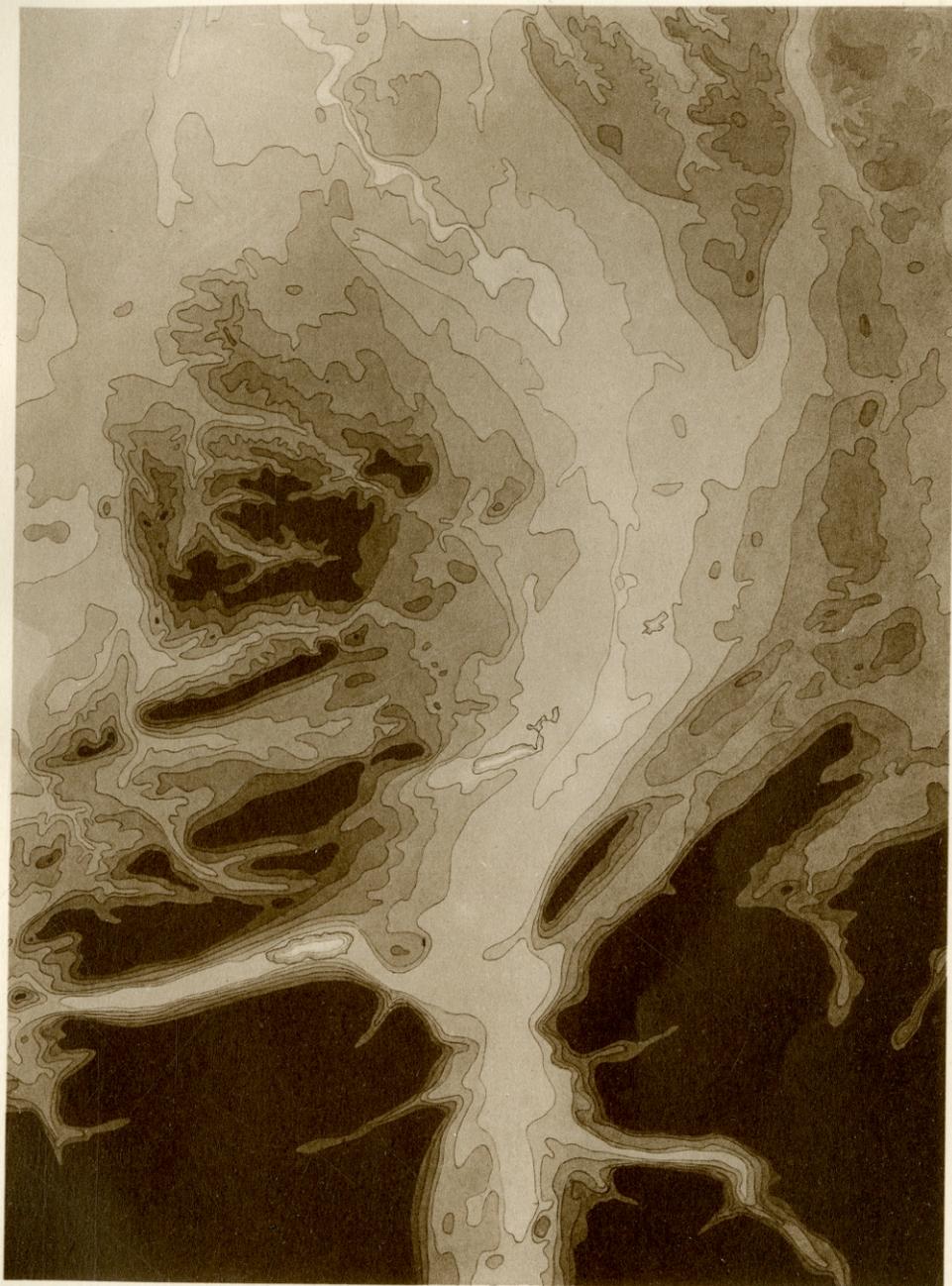
Schlußbemerkungen.

Die Anregung zu dieser Arbeit erhielt ich durch das lebhafteste Interesse, das ich für die Tierwelt des Sees hatte. Zunächst war es das Plankton, das in seiner wechselnden Zusammensetzung zwei Jahre hindurch studiert wurde, und ich hatte die bestimmte Absicht, eine Abhandlung hierüber, speziell über die Rädertiere, zu schreiben. Einmal entschloß ich mich, ein Grundschleppnetz anzuschaffen, das mich dann mit der Fauna des Seegrundes und damit zugleich mit dem Schlamm vertraut machte. So wurde das Interesse auf geologische Objekte und geologische Fragestellungen hinübergeleitet und statt der biologischen Arbeit ergab sich unwillkürlich diese limnologisch-geologische. Auch wurde der See einer gründlichen Auslotung unterzogen, welche ich sowohl im Interesse der biologischen als der geologischen Untersuchungen benötigte.

Es ist ein alter Grundsatz: Zunächst im Kleinen experimentieren, ehe man zu Größerem übergeht. Und so sind vielleicht die hier niedergelegten Erfahrungen, welche sich auf einen kleinen See beziehen, von Nutzen, falls man es unternehmen sollte, auch einmal an einem großen See solcherlei Ziele zu verfolgen. Ich selbst habe mich schon mit einigem Glück am Starnberger See versucht und vielleicht gelingt es auch, dem Walchensee nach dieser Richtung etwas abzugewinnen. So klein, wie man es gelegentlich darstellt, sind übrigens die Allgäuer Seen gar nicht einmal. Willy Ule hat in einer Besprechung meiner morphologischen Arbeit hervorgehoben, wie unbedeutend diese Seen sind, und um dies ausdrücklich dem Leser zahlenmäßig zu beweisen, gibt er an, daß der größte von ihnen, nämlich der Alpsee, „nur“ 24 ha groß ist. Er ist jedoch 2,4 qkm groß und da 1 qkm gleich ist 100 ha, so ergibt sich als die wahre Größe 240 ha. Ob bei dem Uebergang vom Niedersonthofener See zu dem weit größeren Starnberger See auch die Ergebnisse entsprechend wertvoller sein werden, vorausgesetzt, daß die Untersuchungen gelingen, erscheint mir selbst durchaus fraglich. Der wissenschaftliche Wert einer Untersuchung hängt oft von geringfügig erscheinenden Umständen ab, die ihn wie durch einen Zufall wesentlich erhöhen können. Keinesfalls sind die Dimensionen des Untersuchungsobjektes maßgebend. Hierzu möchte ich als Beispiel folgendes anführen: Penk hebt nach Vollendung des Werkes: „Die Alpen im Eiszeitalter“, also gewiß nach Ansammlung einer reichen Erfahrung, besonders hervor, daß es vielfach die so gerne vernachlässigten kleinen Gletscherströme der Eiszeit sind, welche in ganz ausgezeichnete Weise dankbare Gegenstände der Forschung darstellen. — Es scheinen in dieser Hinsicht so manche schädliche Vorurteile zu bestehen, gerade auch hinsichtlich der Seen.

Wenn ich mir Rechenschaft erteile, wodurch ich bei dieser Arbeit wesentlich gefördert wurde, so muß ich mancherlei aufzählen. So das Büchlein von Max Dittrich: „Anleitung zur Gesteinsanalyse“. Ich habe es reichlich benützt und mich, was die speziellen Anweisungen für die einschlägigen Analysen betrifft, streng an dasselbe gehalten. Ueber die Anfangsschwierigkeiten der Laboratoriumspraxis wurde mir als einem Nichtchemiker hinweggeholfen im Lyzeum zu Passau, wo ich auch einige brauchbare Ratschläge erhielt zur Konstruktion meines vorzüglich bewährten Gasofens (er war angepaßt dem kleinsten Format der von Dr. Bender und Dr. Hobein zu beziehenden Porzellantiegel: Höhe des Tiegels 21 mm, oberer Durchmesser 36 mm). Im übrigen wurden alle chemischen Arbeiten ausgeführt in den physikalischen Arbeitsräumen der Oberrealschulen Passau und Bayreuth. Ein Trockenschrank wurde nach dem Prinzip von R. Muencke konstruiert, ein Silbertiegel genau nach den Angaben von M. Dittrich beschafft, sonst aber ausschließlich mit Porzellantiegeln gearbeitet (außer mit dem erwähnten kleinsten Format nur mit dem größten: Höhe des Tiegels 52 mm, oberer Durchmesser 81 mm). Als grundlegend müssen die Positionsblätter erwähnt werden. Mir scheint, daß die Arbeiten des topographischen Büros, die so bequem zur Verfügung stehen und doch so überaus wichtig sind, nicht immer gebührende Hervorhebung erfahren, besonders wenn man bedenkt, daß so viele „Entdeckungen“ nur auf der Karte gemacht werden. — Zur Herstellung der Tafel I war mir mein Freund Xaver Eberle aus Nesselwang behilflich. Der Dank kann ihn leider nicht mehr erreichen, da er ein Opfer des Weltkrieges geworden ist. — Hinsichtlich der vorhandenen Literatur ergaben sich einige bereits erwähnte Berührungspunkte mit Gumbels Forschungen. Nützlich verwerten konnte ich gelegentlich das schon angeführte Werk von Gams u. Nordhagen, desgleichen die Studien von K. Troll. Sonst sind eigentlich keine (geologischen) Schriften vorhanden, welche ich für die hier vorliegende Arbeit wirklich hätte verwenden können. Denn die im ersten Teil besprochenen Arbeiten von Simon, Fels und Arnold Heim wurden nur angeführt, weil ich mich im scharfen Gegensatz zu ihnen fühlte. Doch ist noch ein Werk zu besprechen, nämlich: „Die Alpen im Eiszeitalter“ von Penk und Brückner. Hinsichtlich der Frage nach dem Ausmaß der glazialen Erosion, überhaupt der Grundanschauungen dieses Werkes, glaubte ich am Anfang meiner Studien ganz anderen Auffassungen huldigen zu müssen. Je mehr ich aber die Illergegend durchstreifte, Erfahrungen und Eindrücke sammelte und sie verarbeitete, über das Erlebte und Beobachtete reichlich nachdachte, desto mehr mußte ich, besonders was die Frage der glazialen Erosion betrifft, jenem Werk recht geben. Doch hatte ich kaum einen Anlaß, mich auf dasselbe zu berufen. Was ich im ersten Teil im Einklang mit ihm aussagen konnte, war unmittelbar entnommen dem hochinteressanten Stoff, den die Umgebung des Niedersonthofener Sees selbst darbot.

Am Schlusse möchte ich mich der angenehmen Pflicht entledigen, der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München ehrerbietigst zu danken für die pekuniären Zuwendungen, mit welchen sie meine Arbeit seit einer stattlichen Reihe von Jahren wohlwollend unterstützt hat. Ihr verdanke ich es, daß mir die Durchführung und Vollendung der Arbeit überhaupt möglich gewesen war. In den letzten Jahren genoß ich auch Unterstützungen durch den Deutschen und Oesterreichischen Alpenverein; obwohl diese zunächst für andere Arbeiten gedacht waren, kamen sie doch auch indirekt der hier vorliegenden zugute. So sei auch ihm an dieser Stelle in gebührender Weise gedankt.

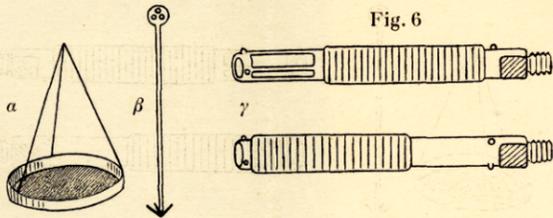


DAS BETT DES ILLERWÜRMGLETSCHERS
(Höhenschichten von 50 zu 50 m. — Alle Gebiete über 1000 m sind ohne
Unterschied schwarz dargestellt. — Maßstab 1 : 275 000)

Längsschnitt durch den See und seine Ablagerungen
M. d. L.: 1:37500, M. d. T.: 1:1500

B Bohrstelle und Versenkungsstelle des Schlammkastens
a, b, c, d, e andere Schlammkästen.

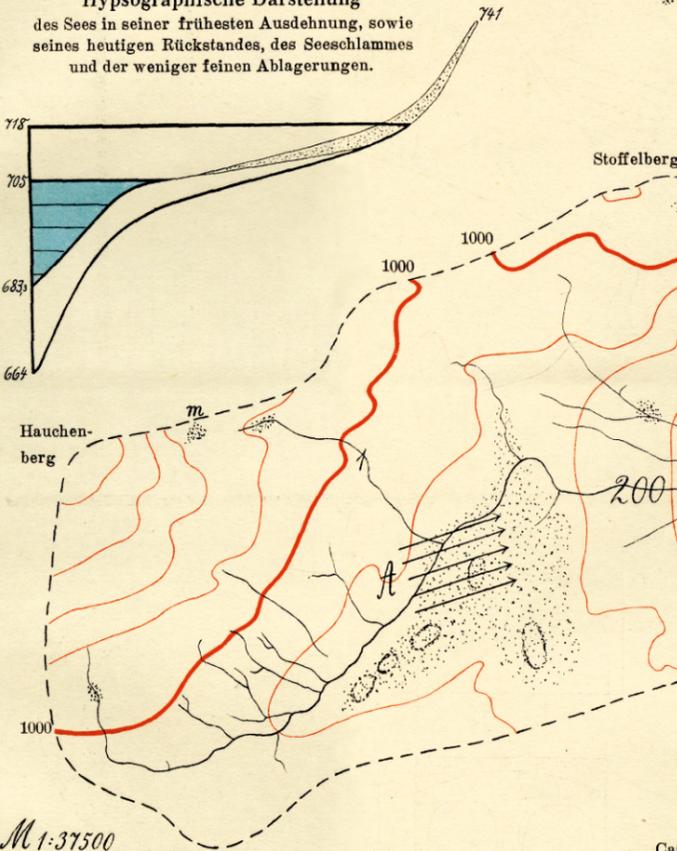
Fig. 2



Einige Hilfsmittel der Untersuchung

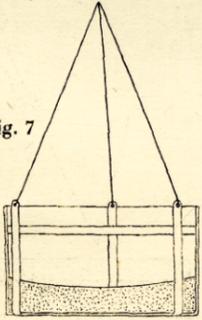
- a) Schlamm-sammelkasten
- β) »Harpune«
- γ) Schlammbohrer mit offenen und geschlossenen »Fenstern«

Fig. 3
Hypsographische Darstellung
des Sees in seiner frühesten Ausdehnung, sowie
seines heutigen Rückstandes, des Seeschlammes
und der weniger feinen Ablagerungen.



M 1:37500

Fig. 7



Erster Schlamm-sammelkasten, aus Glas bestehend (Schlamm von der 2. Versenkung)

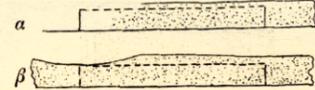
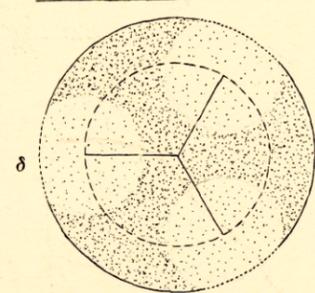
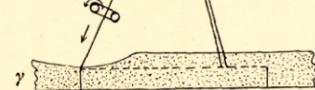


Fig. 8



Niedriger Sammelkasten aus Zink, für die Zeitberechnung verwertet

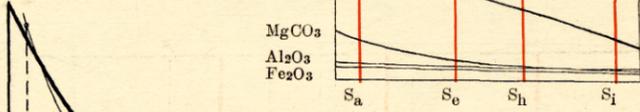


Fig. 10

Der Wechsel in der Zusammensetzung
des Schlammes längs des Seebeckens

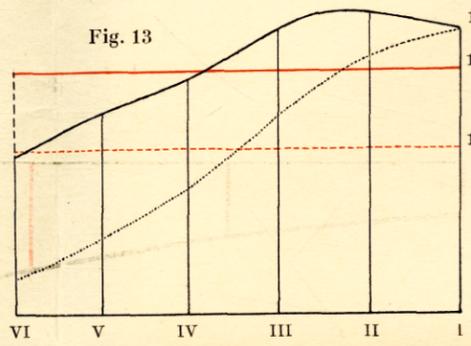


Fig. 13

Jährlicher Schlammabsatz in früheren Zeiten
(bei B)

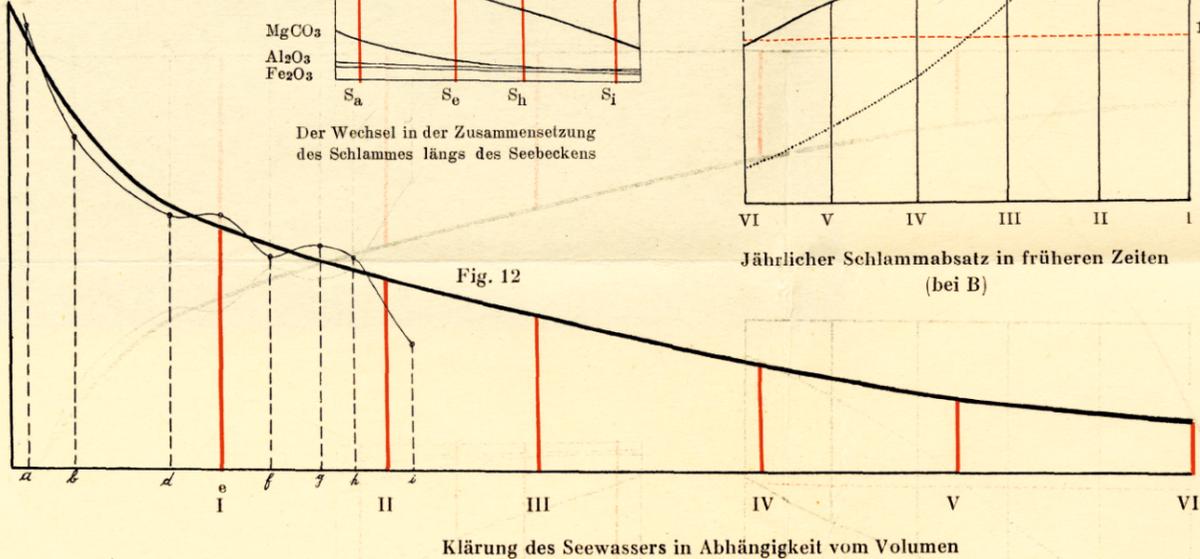


Fig. 12

Klärung des Seewassers in Abhängigkeit vom Volumen

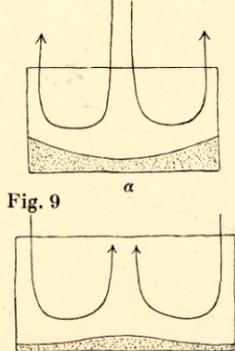


Fig. 9

Schlammablagerung in hohen
Kästen

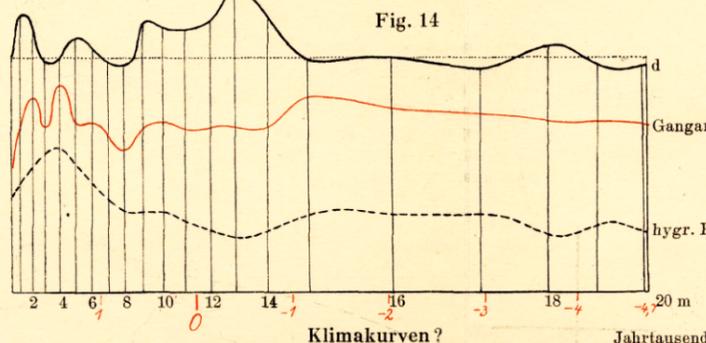


Fig. 14

Klimakurven?

Jahrtausend

Fig. 4
Die Zunahme der Dichte d
des Seeschlammes von m zu
n Tiefe an der Bohrstelle B

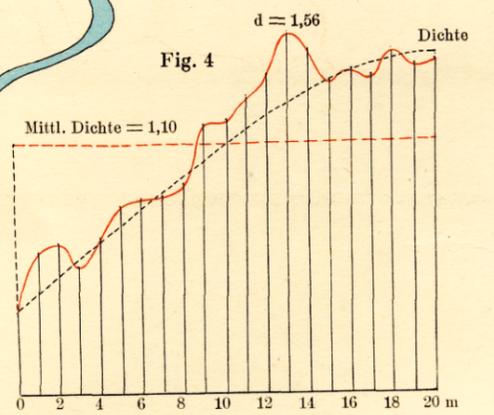


Fig. 4

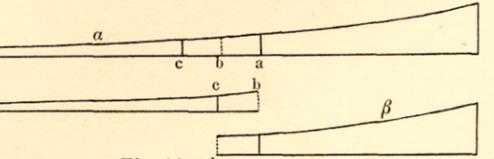


Fig. 11

Der Schlammabsatz und die Abhängigkeit
vom Volumen

Moräne soweit erbohrt

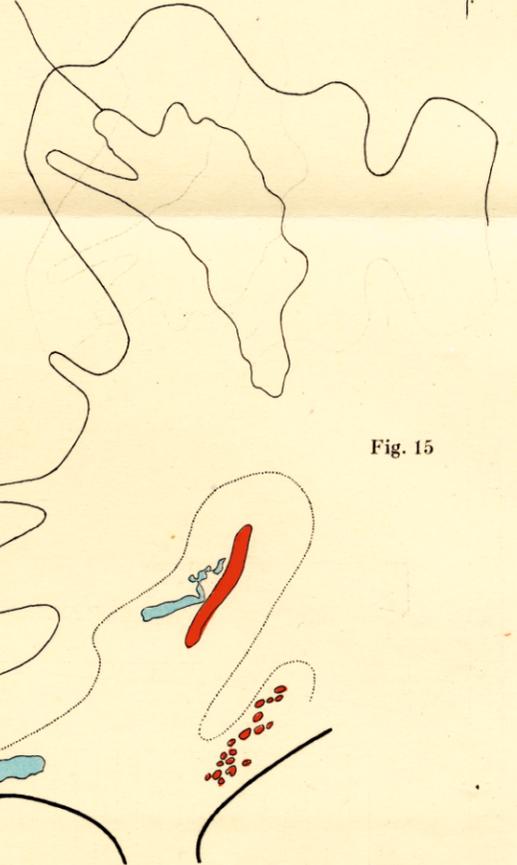


Fig. 15

»Ammerseestadium« im Gebiet des Illerwürmglaciers?

Fig. 5
Profil

