
Ueber mechanische Störungen und chemische Umsetzungen
in dem Bänderthon Schwedens

von

P. J. Holmquist

(Reprinted from Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, No. 6, Vol. III, Part 2, 1897)

Upsala 1898. Almqvist & Wiksells Boktr.-Aktieb.

12. Ueber mechanische Störungen und chemische Umsetzungen in dem Bänderthon Schwedens

von

P. J. Holmquist.

Von den allgemeineren Thonarten Skandinaviens ist der Bänderthon (hvarfvig lera, hvarfvig mergel, Yoldialera, ishafslera), wie bekannt, die unterste und älteste. Er kommt, die Moränen- und As-bildungen überlagernd, in den unterhalb der höchsten Strandlinie des spätglacialen Meeres liegenden Theilen des Landes, also hauptsächlich in den Küstenlandschaften am Kattegat und an der Ostsee, und in einer breiten Zone quer über Südschweden in den tiefer liegenden Gegenden um die grossen Seen Mälaren, Hjelmaren, Wetteren und Wenern vor. Von diesen Gebieten streckt sich der Thon in die Thäler der umgebenden höheren Gegenden hinein.

Im westlichen Schweden ist der Thon reich an Fossilien mit arktischem Gepräge. Im östlichen Schweden hat man dagegen nur ausnahmsweise einige Fossilien gefunden¹. Der Thon ist theils kalkfrei oder kalkarm (hvarfvig lera), theils kalkreich (hvarfvig mergel). Der kalkreiche Thon ist grösstentheils an die Silurgebiete gebunden, die über das südliche Schweden zerstreut liegen. Moränenschlamm von den silurischen Kalksteinen wurde während des Zurückschreitens des Landeises von den Gletscherströmen in das glaciäre Meer hinausgeführt und bildete den Mergel. Der Karbonatgehalt im Mergel nimmt mit der Entfernung von den Silurlagerungen ab².

Als ein Hauptcharakter dieses spätglacialen Thones wird seine sehr ausgeprägte eigenthümliche Schichtenconstruction (hvarfvighet) betrachtet. Durch die Untersuchungen DE GEER'S³ und HÖGBOM'S⁴ ist mit einem

¹ Vergl. A. G. NATHORST, Jordens historia, p. 1032.

² A. G. HÖGBOM, Geol. Fören:s Förh. XIV, p. 285 und Neues Jahrb. 1894, S. 264 u. f.

³ Geol. Fören:s Förh. VII 3 u. 512.

⁴ Geol. Fören:s Förh. XI 263.

hohen Grade von Wahrscheinlichkeit dargethan worden, dass die Schichten dieses Bänderthons Jahresschichten sind.

HÖGBOM bewies diese zuerst von DE GEER aufgeworfene Ansicht durch eine nähere Untersuchung der Beschaffenheit der Schichtung und des Wechsels des Karbonatgehaltes in ein und derselben Schicht. Eine typische Jahresschicht dieses Thons hat das Aussehen, wie es das Bild 21 Taf. XVIII veranschaulicht. Die Schicht wird also durch zwei in einander verlaufende Theile von verschiedener Farbe gebildet. Zu unterm ist die Farbe gewöhnlich heller braungrau. Nach oben zu wird die Farbe dunkler, und der oberste und dunkelste Theil der Schicht stösst mit scharfer Grenze an den unteren hellen Theil der aufliegenden Jahresschicht. Diese Grenzfläche ist zuweilen sandig und mit vereinzelt kleineren Steinen versehen.

Infolge dieser gesetzmässigen Anordnung ist es auch immer leicht, in einem Handstück die Seite zu bestimmen, die nach oben gerichtet war. Bei Bestimmungen des Karbonatgehaltes auf verschiedenen Niveaus in derselben Jahresschicht fand HÖGBOM folgende Variationen:

	% Ca CO ₃			% Mg CO ₃		
	I	II	III	I	II	III
Oberer dunkler Schichttheil	14.58	18.54	19.24	2.91	2.53	2.50
Mittlere Schichttheile	17.22	21.79	25.47	2.84	2.49	2.11
	22.16	—	—	2.76	—	—
Unterer heller Schichttheil	23.17	30.22	33.06	2.37	2.21	2.36

Die helleren Schichttheile sind die kalkreicheren. Der Karbonatgehalt nimmt also in derselben Schicht von unten und nach oben ab. Der Gehalt an Magnesium-Karbonat ist dagegen ziemlich konstant. Hieraus zog HÖGBOM den Schluss, dass die helleren unteren Schichttheile sich im Frühling und Sommer abgelagert hätten, wo sich infolge der starken Flut der Glacialströme grosse Schlammassen vor der im Meere stehenden Kante des Inlandeises ausgebreitet hätten und das Meerwasser nur einen geringen Theil von dem Kalkgehalte des Sedimentes auszulösen imstande gewesen wäre. Die dunkleren Schichttheile seien dagegen im Winter und Herbst abgesetzt worden, wo die geschwächten Gletscherströme nur verhältnissmässig kleine Mengen Sediment ausgeführt, aus welchen das Meerwasser dann — vor dem Absetzen — einen oft bedeutenden Theil des Karbonatgehaltes auszulösen vermocht hätte. Da das Magnesiumkarbonat (oder richtiger das Karbonat $\left. \begin{matrix} \text{Ca} \\ \text{Mg} \end{matrix} \right\} 2 \text{CO}_3$) indessen viel schwerer löslich ist, als das

Kalciumkarbonat, so erklärt sich der Umstand, dass der Magnesiumkarbonatgehalt in den verschiedenen Schichttheilen beinahe der gleiche ist. Ebenso wie die dunkleren Schichttheile sich bezüglich des Magnesiumgehaltes verhalten, so verhalten sich auch die karbonatarmen Thone, die in

grösserer Entfernung von den Silurgebieten, abgesetzt wurden. Während der Gehalt an Calciumkarbonat, wie schon erwähnt, mit der Entfernung von diesen Gebieten abnimmt, ist der Magnesiumgehalt dagegen ungefähr der gleiche (1—1,5⁰/₀). Der Gehalt des Thonschlammes an Kalkspath ist nämlich schon vor der Sedimentation ausgewässert worden, während aber der dolomitische Bestandtheil nur wenig ausgelaugt wurde.

Die Mächtigkeit der Jahresschichten schwankt im östlichen Schweden von 2 Mm. bis 1 Dm. und mehr. Die gewöhnlichsten Mächtigkeitsdimensionen dürften zwischen 10—50 Mm. liegen. Im westlichen Schweden dagegen sind die Jahresschichten desselben Thons bedeutend mächtiger. Nach HÖGBOM'S Meinung beruht diese Verschiedenheit auf der Verschiedenheit des Salzgehaltes des Meeres an der West- und Ostküste Schwedens während der spätglacialen Zeit. HÖGBOM bewies durch Experimente, dass sich sowohl aufgeschlämmter Thon wie im Wasser aufgeschlämmte feine Partikel anderer Stoffe viel schneller in einem salzhaltigen, als in einem reinen Wasser absetzen. Nach dem, was bis jetzt über den Bänderthon in Schweden bekannt ist, dürfte somit nicht zu bezweifeln sein, dass die Schichten desselben wirklich Jahresschichten sind. DE GEER betont mit Recht die Bedeutung dieser Schlussfolgerung, da es »der erste Fall ist, wo man beim Studium der Geschichte der Erde in etwas grösserem Massstabe die Länge eines geologischen Zeitabschnittes nach Jahren schätzen konnte«¹.

DE GEER hatte auch im Jahre 1884 die Möglichkeit der Aufstellung einer Chronologie für einen Theil der Quartärzeit unter Zugrundelegung der Schichtung des Glacialthons untersucht. Er fand, dass wenigstens in kleineren Gebieten dieselbe Wechselfolge in der Dicke der Schichten wiederzufinden wäre. Auch HÖGBOM betont, dass man niemals ein Auskeilen der Schichten des Glacialthons beobachtet, und dass sie deshalb eine im Verhältniss zu ihrer Mächtigkeit sehr bedeutende Ausdehnung haben müssen. Nach demselben Verfasser sind aber doch die topographischen Verhältnisse für die Reichhaltigkeit der Sedimentation bestimmend gewesen, so dass die Mächtigkeit in verschiedenen Becken derselben Gegend bedeutend variiert. Im Allgemeinen nimmt die Dicke der Schichten nach der Tiefe hin zu. Die auf einander folgenden Schichten haben gewöhnlich nahezu dieselbe Mächtigkeit.

Der Thon zeigt oft Zeichen von *nach* der Ablagerung desselben vor sich gegangenen Processen. Ein solcher von chemischer Natur ist die Bildung von steinharten, gewöhnlich platten Konkretionen mit abgerundeten Konturen. Sie bestehen zu über 50⁰/₀ aus kohlen-saurem Kalk. Der Rest ist Thonsubstanz. Daneben hat man, obgleich viel seltener, Konkretionen aus kisel-saurer Thonerde, Manganoxydoxydul, Eisenoxydoxydul gefunden.

¹ G. DE GEER, "Om Skandinaviens geografiska utveckling efter istiden." Stockholm 1896.

A. ERDMANN erwähnt auch kegelförmige Aggregate aus Vivianit¹.

Durch Oxydationsprocesse werden die oberen Thonlager zuweilen gelblich, und durch Einflüsse der Atmosphärien kann auch die Schichtung bis zu einer gewissen Tiefe verwischt sein.

Mehrere Forscher haben *mechanische* Störungen der Lagen der Glacialthons erwähnt. In demjenigen Theile Schonens, der von dem jüngeren baltischen Eisstrom überstritten wurde, hat man verschiedentlich stark gefaltete, von Geschiebe und mehr oder weniger steinigem Geschiebelehm überlagerte Thone beobachtet². Diese Thone werden als fest gepackt, hart, kalkig, oft Sandschichten enthaltend, nach oben in die obere Moräne übergehend beschrieben. Unter ihnen liegen an einigen Stellen blaugraue, horizontal geschichtete Bänderthone.

Beobachtungen über gefalteten Glacialthon und Glacialsand im übrigen Schweden sind theils in den Kartenbeschreibungen der geologischen Landesanstalt Schwedens³, theils in den Verhandlungen des Geologischen Vereins⁴ beschrieben. Vergleiche daneben auch A. ERDMANN: »Sveriges kvartära Bildningar« 1868 und O. GUMÆLIUS: »Mellersta Sveriges glaciala bildningar«. (Bih. till K. V. Akad. Handl. Bd 2 No. 9).

Betreffs der Ursachen der Faltung des Glacialthones sind die Meinungen ziemlich einig. Die Faltungserscheinungen in den fest gepackten Schonischen (intraglacialen) Thonen scheinen nunmehr allgemein als eine Folge der Druckwirkungen des jüngeren baltischen Eisstromes erklärt zu werden. Die Faltungen, die der Glacialthon in dem übrigen Schweden

¹ A. ERDMANN, Sveriges Kvartära bildningar, p. 171 (1868).

² E. ERDMANN, Geol. Fören:s Förh. Bd. I p. 210 (1873), Bd. II p. 13, 101 (1874), Bd. IV p. 222 (1878). Bd. VI p. 425 (1883).

³ Sveriges Geol. Unders. Kartbladsbeskr.

A. E. TÖRNEBOHM	Blatt "Fånö"	No. 18	1863.
D. HUMMEL	"Eriksberg"	" 22	1867.
E. SIDENBLADH	"Tärna"	" 24	1867.
D. HUMMEL	"Trosa"	" 52	1874.
A. G. NATHORST	"Stafsjö"	" 57	1877.
"	"Gottenvik"	" 64	1878.
A. LINDSTRÖM	"Engelholm"	" 76	1880.
E. ERDMANN	"Helsingborg"	" 74	1881.
"	"Landskrona"	" 75	1881.
J. JÖNSON	"Motala"	" 102	1887.
G. DE GEER	"Bäckaskog"	" 103	1889.

⁴ Geolog. Fören:s Förh.

A. G. NATHORST	Bd. II	1875	Södermanland.
E. W. OLBERS	" II	"	Halland.
G. GELLERSTEDT	" IX	1887	Halland.
"	" XII	1890	Falun.
T. FEGRAEUS	" XII	1890	Medelpad.
A. G. HÖGBOM	" XIV	1892	Upland.
G. ANDERSSON	" XVI	1894	Sollefteå.

aufweist, werden allgemein gemäss der in Schweden zuerst von O. GUMELIUS 1874 (l. c.) aufgestellten Ansicht dahin erklärt, dass die in dem glacialen Eismeer umhertreibenden Eisberge beim Aufrennen die Lager des Thones zusammengeschoben und zuweilen auch abgeschnitten haben. Hier von abweichende Ansichten sind von HUMMEL (1874) und später von HÖGBOM ausgesprochen worden. HUMMEL, der im Gebiete des Kartenblattes »Trosa« einen Wechsel von gefalteten Schichten mit ungefalteten beobachtete und seine Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die scharfe Begrenzung zwischen diesen verschiedenen Lagern gerichtet zu haben scheint, meint, eine Erklärung sei »schwer zu finden, wenn sie nicht darin zu suchen sei, dass bei den kleineren Störungen, denen die losen Erdlager aus dem einen oder anderen Grunde unterworfen waren, ein Gleiten eines gewissen Lagers stattgefunden habe, während ein darunter liegendes Lager relativ still gelegen habe. Wenn dann eine Fortsetzung der Ablagerung mit darauf folgender Denudation sowie noch eine gleichartige Störung eingetreten sei, nach welcher die Absetzung von Thonschlamm in aller Stille fortgesetzt habe, so scheine das merkwürdige Verhältniss, dass gewisse gewundene Lamellen sowohl in der Ober- wie in der Unterkante des Lagers abgeschnitten sind, seine Erklärung zu finden. Durch den Druck der überliegenden Thonmasse sei die Zerknitterung dann natürlich immer verwickelter geworden.« HUMMEL'S Meinung ist hier nicht vollkommen klar, und er lässt es dahingestellt sein, welches die ursprüngliche, wirkende Kraft gewesen ist, allein er ist der einzige, den die vollkommen scharfen Grenzen, welche die gefalteten Thonhorizonte den unteren wie den oberen horizontalen Lagern gegenüber aufweisen, befremden, während mehrere andere Verfasser, z. B. OLBERS und G. ANDERSSON (l. c.) diesem Verhältniss nur in ihren Abbildungen Ausdruck verliehen haben.

HÖGBOM spricht (l. c.) bezüglich der geschützten Lage des Glacialthons (zwischen Urgebirgs- und Morärengrushügeln) bei Ekeby südlich von Upsala die Meinung aus, dass die Faltungen des selben *in diesem Falle* kaum durch gestrandete Eisberge verursacht sein können.

Schliesslich ist hier auch noch hervorzuheben, dass einige Verfasser, unter ihnen E. ERDMANN, *Verwerfungen* in den Thonen kurz erwähnt haben.

In der Ziegelei Ekeby, gleich südlich von Upsala, kommen sehr schöne und intensive Faltungen im Glacialthon vor, die in 10,000 m² grossen Gruben in einer Tiefe von 6 Meter unter der Erdoberfläche freigelegt sind. Bei geologischen Exkursionen von Upsala aus sind diese Erscheinungen häufig in Augenschein genommen und die Ursachen ihres Entstehens dabei oft lebhaft diskutiert worden. Hier zeigt sich der Glacialthon auch in auffälligem Grade reich an Verschiebungen nach ebenen

Flächen. Sie sind als Verwerfungen aufgefasst worden. Hierbei hat man also oft beobachtet, dass auch Verschiebungen vorkommen, die in entgegengesetzter Richtung zu den für Verwerfungen geltenden gehen, also Ueberschiebungen. Da man oft geneigt ist, die mechanischen Eigenschaften, welche der Thon als Handstück hat, mit den mechanischen Eigenschaften der Thonablagerung als solche gleichzustellen, hat das Vorkommen dieser schönen scharflinigen Verschiebungen anfangs einiges Erstaunen erregt. Aus demselben Grunde haben auch die schönen Verwerfungen im kleinen, die in den Sandlagern und Rollsteinhügeln (Ås) bei Upsala so gewöhnlich sind, Veranlassung zu lebhaften Diskussionen gegeben. Ein detaillirtes Studium dieser Erscheinungen ist jedoch bisher ausgeblieben, ob schon HÖGBOMS erfolgreiche und anregende chemische Detailuntersuchungen¹ der Schichten des Glacialthones zu einem fortgesetzten Analysiren vieler anderen Eigenthümlichkeiten dieser Ablagerung verlockten.

Hauptsächlich in der Absicht, die Faltungerscheinungen im Detail zu verfolgen und hierdurch wenn möglich einige neue Gesichtspunkte für die Beurtheilung ihrer Ursachen zu erhalten, habe ich einige Zeit auf das Studium des Bänderthons bei Ekeby und Galgbacken unweit Upsala verwandt.

Das Resultat liegt in Gestalt einer Detailkarte über die Thongruben bei Ekeby, in welcher die Streichrichtungen der Faltung genau aufgesetzt werden konnten, und einiger Profile, die so genau nach der Natur gezeichnet sind, wie der Massstab es gestattete, vor. Ausserdem habe ich Observationen über mehrere mit den Störungen im Zusammenhang stehende Erscheinungen, Ueberschiebungen, Breccienbildung u. a. m. gemacht. Diese Detailstudien haben ausserdem zur Entdeckung sekundärer Versetzungen (Auswässerungs- und Infiltrationsprocesse(?)) des Karbonatgehaltes des Thones geführt, welche zuweilen von den Dislokationen des Thons abhängig zu sein scheinen. Im Zusammenhang hiermit habe ich auch ein wenig die Erscheinungen von gleichartiger Beschaffenheit in den Thongruben nahe bei Galgbacken nördlich von Upsala studirt, wo die Auswässerungs- und Infiltrirungsprocesse ganz grossartig sind, und wo der Bänderthon auch andere Verhältnisse von grossem Interesse darbietet.

Beschreibung der Erscheinungen des Glacialthones bei Ekeby und Galgbacken.

In der 6 Meter tiefen Thongrube bei Ekeby sind vier verschiedene Niveaus zu beobachten:

1) Ungeschichteter, wahrscheinlich durch Einflüsse von der Erdoberfläche verwitterter Thon von ungefähr 1,5 M. Mächtigkeit und von

¹ G. F. F. Bd. XI, 263.

einer wellig verlaufenden unteren Grenzzone, in welcher die Schichtung allmählig hervortritt. Wurzelfasern dringen in diesen Thon bis zu 1.3 Meter Tiefe ein. Der ungeschichtete Thon geht hier über in:

2) Dünngeschichteten Thon von etwa 2.5 Meter Mächtigkeit und mit 12 bis 20 Mm. mächtigen Jahresschichten. In diesem Niveau, dessen untere Grenze willkürlich festgestellt ist, werden die Jahresschichten nach unten zu¹ immer mächtiger, so dass der Uebergang geschieht zum Niveau:

3) Dickgeschichteter Thon mit 20 bis 70 Mm. mächtigen Jahresschichten und einer Gesamtmächtigkeit von ca. 2 Meter. Dieser geht nach unten sehr schnell über in:

4) Geschichteter Thon mit ungefähr 35 Mm. dicken Jahresschichten, deren Mächtigkeit unbekannt ist².

In den Thongruben bei Galgbacken beobachtete ich auch zunehmende Dickschichtigkeit nach der Tiefe zu, allein das unterste Niveau ist nicht sichtbar, was wahrscheinlich daher kommt, dass der Thon hier nur bis zu ungefähr 3 Meter Tiefe freigelegt ist. Hier befindet sich ausserdem eine sehr scharfe, gewundene, die Schichten des Thons diskordant abschneidende Kontaktlinie zwischen dem ungeschichteten und dem geschichteten Thon. Hiervon späterhin mehr.

Auffällig ist, dass die unterliegenden Thonlager bedeutend mehr wasserführend sind, als die oberen. Zu der Zeit, wo der Thon sich ablagerte, bevor er sich zum ersten Male über den Wasserspiegel erhob, müssen die obersten Lager die wasserreichsten, die unterliegenden dagegen infolge des Druckes der überliegenden Massen in grösseren Tiefen fester und wasserärmer gewesen sein. Für die Beurtheilung der Wirkungen der Faltung des Thons ist es von Bedeutung, diese Verschiedenheit festzuhalten.

Beim *Trocknen* verlieren die hellen Schichtentheile zuerst an Wassergehalt und der Thon zerfällt leicht in Stücke, die helle Flächen darbieten. Bei langsamem Trocknen kommt es jedoch vor, dass die hellgrauen ausgetrockneten Schichten eine solche Festigkeit gewinnen, dass die Stücke leichter nach den halbtrockenen dunklen Schichtentheilen zerfallen. Bei eintretendem *Frost* zieht sich der eben freigelegte Thon zusammen und bildet unzählige, nach allen Richtungen hin verlaufende Spalten, die sich nach und nach mit Eis füllen. *Zwischen diesen Spalten ist der Thon weich und behält diese Konsistenz trotz lange anhaltender und wenigstens 4—5° C. starker Kälte.* Besonders die dunklen Schichten behalten bei Temperaturen unter 0° C. in auffallendem Grade ihre Plasticität.

¹ Wie früher von HÖGBOM betont l. c.

² HÖGBOM hat in dem Bänderthon bei Ekeby mittels Bohrer eine Tiefe von 18 M. erreicht. G. F. F. Bd. XIV, S. 289.

Faltungerscheinungen.

Die schönsten und kräftigsten Faltungen kommen bei Ekeby in dem relativ dünn geschichteten Thon vor und sind in der westlichen Wand, wo die Faltungsachsen im Allgemeinen mit grossen Winkeln nach dem also freigelegten Profil ausgehen, am besten sichtbar. Die Falten haben eine sehr verschiedene Form. In den oberen Thonlagern trifft man oft sehr kräftig zusammengepresste Falten an. Oft ist jedoch auch in diesen Niveaus keine, oder nur eine schwache Undulation, zuweilen nur einige Meter von kräftig ausgebildeten Wellen, bemerkbar (s. z. B. Fig. 2, 3 und 4). In grösseren Tiefen sind nur flachere Wellen wahrgenommen worden. Umgestülpte Falten sind selten und die Umstülpung ist nur unbedeutend (s. Fig. 2). Die Faltungen sind in horizontaler Richtung im Ekebython im *grossen Ganzen* gesehen kontinuierlich zusammenhängend, im *Detail* aber wechselt die verschiedene Ausbildung der Falten bedeutend und wird häufig durch Verschiebungen nach ebenen Flächen unterbrochen. Auch in vertikaler Richtung ist die Kontinuität im grossen Ganzen deutlich, im Detail aber oft durch schnellen Wechsel in der Form der Falte oder durch Verschiebungen nach ebenen Flächen unterbrochen. Nicht selten geht eine Faltung sowohl nach oben wie nach unten allmählig in ungefaltete Schichten über, oder wird eine gefaltete Partie nach einer oder mehreren Richtungen von Verschiebungsflächen unterbrochen. Gewöhnlich ist das Vorkommen von gefalteten Lagern über ungestörten. *Eine Verschiebungsfläche bildet in einem solchen Falte stets die Grenze.* Recht selten werden dagegen horizontale Lager, die über gefalteten Lagern liegen, beobachtet. In solchen Fällen habe ich stets gefunden, dass *die Begrenzungsfläche eine Verschiebungsfläche ist.* Alle Beobachtungen stimmen darin überein, dass die Faltungsprozesse hier *jünger sein müssen, als die oberste Schicht des Thons.* Allein sie haben die Ablagerung auf eine recht ungleichförmige Weise getroffen.

Die Achsen der Falten sind sehr häufig gegen die Horizontalfläche geneigt, die Neigungen sind aber in der Regel sehr klein. In den am besten ausgebildeten Umbiegungen scheinen sie nahezu horizontal zu sein. Das *Streichen der Falten* variiert ebenfalls nicht unbedeutend. Wie aus der Karte ersichtlich ist, haben sie jedoch eine bestimmt ausgeprägte Hauptrichtung, die *annähernd mit der Längsrichtung des Thales zusammenfällt, dessen Boden von der Thonablagerung eingenommen wird.* In den tiefsten Theilen der Thongrube scheint die Richtung der Falten indessen unregelmässiger zu sein. Oft sind die Faltenachsen gewunden, und zuweilen durch eine vertikal stehende Verschiebungsfläche kurz abgeschnitten, als wenn sich zwei parallele Wellen in horizontaler Richtung getroffen und beim Passiren einander mehr oder weniger scharf abgeschnitten hätten. Ein solches Verhältniss ist in der nordwestlichen Ecke der Thongrube zu

beobachten, wo die Wand nahezu parallel mit einer wohlentwickelten Falte ist.

Verschiebungen nach ebenen Flächen sind im Thon bei Ekeby sehr gewöhnlich. Sie kommen meistens in den gefalteten Partien vor, werden aber auch da wahrgenommen, wo die Schichten ungestört zu sein scheinen. In diesem Falle bildet die Verschiebungsfläche einen Winkel von ungefähr 40° mit den Schichtenflächen. In dem gefalteten Thon dagegen kann dieser Winkel alle möglichen Werthe haben. Sehr oft werden Verschiebungen beobachtet, die den Schichten parallel gehen; anderseits können sie dieselben rechtwinklig oder unter mehr oder weniger schiefen Winkeln abschneiden (s. Taf. XVI u. XVII). Gegen die Horizontalfläche sind sie sehr häufig weniger als 45° geneigt, steilere Neigungen sind auch nicht selten. Ihre Ausdehnung ist sehr wechselnd. In den am schärfsten umgebogenen Falten sind zuweilen millimeterkleine Verschiebungen sichtbar, während andere eine relativ bedeutende Ausdehnung haben und einige mehrere Meter in einem Profil bemerkbar waren. Die kleinen Verschiebungen sind eben, die grösseren mehr oder weniger gebogen. Man könnte a priori erwarten, sie alle beinahe eben, oder auch ausnahmsweise cylindrisch gebogen zu finden, denn die Flächenverschiebungen von unregelmässigerer Art müssen bei der Dislokation Veranlassung zu breccienartigen Bildungen geben. Theils dürfte aber die Biegung *nach* der Entstehung der Verschiebung eingetreten sein, theils scheint die Bewegung längs der Dislokationsfläche immer sehr unbedeutend, selten über ein Paar Cm., gewesen zu sein. Trotz ihres stark wechselnden Verlaufes stehen diese Verschiebungen in einem deutlichen Zusammenhang mit den Faltungen. Ausser dass sie, wie schon erwähnt, in den am stärksten gefalteten Thonlagern ungleich zahlreicher vorkommen, als in den weniger gefalteten, findet man sehr häufig einen direkten Zusammenhang mit den Falten. So sind die stärksten Unbiegungen auch die an Verschiebungen reichsten. In diesem Falle gehören die Verschiebungen deutlich der letzten Phase der Faltung an. Oft ist eine lokale Faltung an einer oder mehreren Seiten von den umgebenden ungestörten oder weniger gestörten Lagern durch Verschiebungsflächen abgegrenzt. Dann sind also die beiden Dislokationen zu gleicher Zeit entstanden. Dass die Faltung aber auch zuweilen später fortfährt, sieht man bei den Fällen, wo die Verschiebungsflächen in Uebereinstimmung mit der Form der Falten stark gebogen sind, und bei denen, wo eine solche Fläche eine scharfe Grenze zwischen ungleichförmig ausgebildeten Theilen derselben Falte bildet (s. Taf. XVI Fig. 9).

Ausserdem beobachtet man sehr oft eine deutliche Parallelität zwischen dem Streichen der Verschiebungsflächen und der Falten, obschon in vielen Fällen keine solche Uebereinstimmung vorhanden ist. Im Allgemeinen *sind die Falten und die Verschiebungen ihrer Bildung nach zusammengehörig und ungefähr gleichzeitig.*

Breccienbildungen.

Die durch Verschiebungen und Faltungen am stärksten gestörten Partien des Thons können ein breccieartiges Aussehen haben und dürften auch mit Recht als Reibungsbreccien bezeichnet werden können. Solche finden sich von sehr verschiedener Art in einander übergehend, von den am wenigsten zerriebenen, wo die einzelnen Bruchstücke, obschon gebogen und von dem umgebenden Lager abgelöst, doch ihre Zusammengehörigkeit mit diesem zeigen, bis zu den stark zerstörten, in welchen die Thonstücke ihre Schichtung beinahe vollständig verloren haben. Breccien der letzteren Art bestehen zuweilen aus einem dunklen (kalkarmen) und ungeschichteten Thon. In glatten Schnitten zeigt sich diese Thonmasse jedoch oft aus kleinen, dunkelbraunen und grauen, sparsam mit kleinen, staubigen, hellen Flecken durchsprengten Stücken breccienartig zusammengesetzt; eine Struktur, die Zeugniss davon ablegt, welche durchgreifende mechanische (und chemische) Umwandlung dieser Thon durchgemacht hat.

Die Breccien treten theils als Schlussformen an solchen Stellen auf, wo die Störungen immer mehr an Intensität und Unregelmässigkeit zugenommen haben, und haben dann eine sehr unregelmässige Begrenzung, als Ausfüllmassen zwischen weniger stark beeinflussten Lagern; theils treten sie in Gebieten, wo die Faltung schwächer war, scharf abgegrenzt von umgebenden Lagern und dann sehr stark an gangförmige Bildungen erinnernd auf (s. Taf. XVI Fig. 2, 3, 4). Der gradweise Uebergang zwischen den beinahe strukturlosen Brecciethonen und den Breccien, die als durch einfachere Faltungs- und Verschiebungsbewegungen stark gestörte Zonen betrachtet werden können, schliesst aber jede andere Deutung, als die als Reibungsbreccien, aus.

Nicht selten haben sie eine relativ bedeutende Mächtigkeit (bis zu 1 Meter). Die grosse Brecciensäule Fig. 2 enthält in ihrem unteren Theile Partien eines braunen, geschichteten Thons mit ungefähr 40 Mm. mächtigen Jahresschichten. Da der ursprüngliche Platz dieses Thones einige Meter niedriger in der Ablagerung ist, muss er durch die Faltung, welche, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, hier sehr kräftig gewesen ist, von unten nach seinem jetzigen Platz hinaufgetrieben worden sein. Diese breite Brecciensäule, die auch in ihrem (im Profil sichtbaren) unteren Theile aus ziemlich horizontalen und zusammenhängenden Lagern besteht, stellt sich deshalb als ein *Horst* dar, obschon sie ganz offenbar durch Bewegungen, gebildet ist, die denen, welche bei der Horstbildung die gewöhnlichsten sein dürften, entgegengesetzt sind.

Alle die Dislokationen, welche der Thon bei Ekeby aufweist, können als verschiedene Arten von Zusammenschiebungen auf die gleiche Linie gestellt werden. Wirkliche Verwerfungen, also solche, welche eine Erweiterung der Horizontalerstreckung des Lagerkomplexes zur Folge haben,

kommen, so viel ich sehen konnte, hier nicht vor. Jedenfalls müssen sie sehr selten sein.

Flexuren im Bänderthon bei Galgbacken nördlich von Upsala. Bei Galgbacken habe ich dagegen solche negative Verschiebungen beobachtet, nämlich derartige, die man Flexuren zu nennen pflegt und die durch die Varietäten von Verwerfungen, welche sog. schleppende Lager haben, mit diesen zusammengehören. Die Erscheinung wird auf Taf. XVII, Fig. 11 wiedergegeben. Eine gleichartige, ganz besonders schön ausgebildete Verwerfung, die in dem unterliegenden schön geschichteten Sand in der Nähe der ersteren vorkommt, giebt Taf. XVII, Fig. 12 wieder. Diese Flexur hat indessen einen eigenthümlichen Verlauf. Ueber eine schwach gebogene Fläche hin ist sie theils als Flexur, theils als eine steile, sogar etwas übergestülpte Verwerfung ausgebildet und verändert sich darauf nach oben hin in eine zierliche Faltung des groben Sandes. Es ist nicht leicht, aus dieser Erscheinung Schlüsse auf die Bewegungen, denen sie ihre Entstehung verdankt, zu ziehen. Wahrscheinlich liegt hier das Resultat einer kombinierten Senkungs- (Verwerfungs-) und Ueberschichtungsbewegung vor. Die Sandschichten stürzen nämlich ungefähr 30° in westlicher Richtung nach der Upsalaebene ab und unter den Bänderthon, der ebenfalls an der oberen Kante der Kiesgrube sichtbar ist. Nach dieser Seite hin muss auch eine Senkung stattgefunden haben, während die Sandmassen vom Rollsteinhügel (Galgbacken) gleich daneben in östlicher Richtung ein Stück über die Kante der gesenkten, mit dem losen Erdlager der grossen Ebene zusammenhängenden Sand- und Thonlager am Fusse des Höhenrückens geglitten sind. Es ist vielleicht kein Zufall, dass solche kräftig ausgebildete Spuren von Senkungen hier am Rande der grossen Thonebene beobachtet werden. Ist die oben dargestellte Erklärung der Faltungen bei Ekeby richtig, nämlich dass sie auf einer Ausgleitung der Thonschichten von den Thalseiten nach dem Boden des Thales hinab beruhen, so kann man erwarten gleichwerthige Verwerfungen, Flexuren und gleichbedeutende Erscheinungen gerade längs der Grenzen der Thäler und Ebenen gegen das höher liegende Land zu finden.

Die obere Grenze des Thones bei Galgbacken erscheint in einigen Gruben als eine sich in zwei, etwa drei Meter langen, meistens flachen Wellen unregelmässig krümmende Linie. Diese bildet eine scharfe Grenze nach dem darüberliegenden, im Allgemeinen über 1 Meter mächtigen *ungeschichteten* Thon, in welchem jedoch hier und da das eine oder andere kleinere Stück mit erhaltener Bandstruktur beobachtet worden ist¹. Der ungeschichtete Thon ist besonders zu unterst von bedeutend dunklerer Farbe als der unterliegende geschichtete. Einen halben Meter höher hinauf ist er etwas heller geworden, er ist aber doch im ganzen genommen von dunklerer Farbe, als der unveränderte Bänderthon, dessen regelmäs-

¹ Auf dieses Verhältniss hat Professor HöGBOM mich nach Beendigung meiner Untersuchungen bei Ekeby aufmerksam gemacht.

sige Struktur und scharf markirte helle Schichte den Gegensatz auf beiden Seiten der genannten Kontaktlinie ganz besonders augenfällig machen. An einer Stelle beobachtete ich eine nach einer beinahe horizontalen Verschiebungsfläche herauspringende Zunge dünnrandigen, gefalteten Thons über dem ebenfalls beinahe horizontal gelagerten Bänderthon mit dickeren Schichten. Diese gefaltete Partie schien scharf abgeschnitten von dem ungeschichteten Thon, so dass die *Abschneidung nach der Faltung* eingetroffen sein muss. Bei Ekeby *geht* der ungeschichtete Thon nach unten zu allmählig in geschichteten *über*, ein Verhältniss, das sich ungezwungen durch die Wirkung der Atmosphäriken erklärt.

In demselben Profil aus der Sandgrube bei Galgbacken, wo die eben beschriebene Flexur beobachtet wurde, kommen im Glacialsand auch unregelmässig begrenzte Aushöhlungen vor, die die Schichten des Sandes scharf abschneiden. Obschon kleiner und relativ tiefer als die flachen Gruben in der obersten Schicht des Bänderthons, erinnern sie gleichwohl stark an diese und dürften wohl bezüglich ihrer Entstehung um so mehr mit ihnen gleichgestellt werden, da diese Gruben im Sande Stücke von dem Aussehen des kalkreichen Bänderthons enthalten und folglich auch wahrscheinlich gleichzeitig mit den Aushöhlungen im oberen Lager des geschichteten Thones gebildet sind.

Durch diese gleichartige Erscheinung im Sande wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Grenze zwischen dem ungeschichteten und dem geschichteten Thon eine Witterungsgrenze sei, verneint, eine Annahme, die auch in Anbetracht des unregelmässig gebuchteten Verlaufs der Kontaktlinie und der vollständigen Abwesenheit von Uebergängen zwischen den beiden verschiedenen Thonen unbefriedigend gewesen wäre.

Auf welche Weise sind denn nun diese buchtigen Einschnitte in den Glacialthon und den Sand entstanden? Mit dem Material zur Beantwortung dieser Frage, das ich bis jetzt habe vorlegen können, ist eine entscheidende Antwort nicht zu geben. Aber da schon seit langer Zeit angenommen wird, dass die während der glacialen Zeit umherschwimmenden Eisberge die Eismersedimente durch Aufrennen haben beeinflussen können, dürfte es nicht unangemessen sein, zu betonen, dass es wahrscheinlicher ist, dass diese Beschädigung eher die Form einer Korrasion als die einer Faltung der getroffenen Lager angenommen hat. Die nach der Tiefe zunehmende Festigkeit des kürzlich abgesetzten Thonsediments muss die Faltung tieferer Niveaus unmöglich machen, so lange der Druck nur tangentiell in den oberen Lagern ausgeübt wird. Der Effekt eines so wirkenden Druckes muss der sein, dass die oberhalb des Angriffspunktes liegenden Thonmassen, nach einer etwas nach oben¹ gerichteten Verschiebungsfläche versetzt werden. Der Thon über dieser Verschiebungsfläche wird somit aufgerissen und umgerührt, und erst nachdem der Eisberg vorbei

¹ Weil der Widerstand gegen der Verschiebung nach oben immer geringer ist.

gekommen ist, kann das Sediment allmählig wieder zur Ruhe kommen, dann ist aber die Schichtung mehr oder weniger zerstört.

Die buchtige Grenze des gebänderten Thones zu dem ungeschichteten Thon bei Galgbacken könnte sehr gut die Folge einer solchen Eiskorrasion sein.

Bei näherer Prüfung dieses eigenthümlichen Kontaktverhältnisses kommt man bald auf den Gedanken, dass diese Thone auch eine sehr verschiedene Zusammensetzung haben müssen. Der unterste Decimeter des ungeschichteten Thones hat überall eine dunkle Farbe und scheint deshalb sehr kalkarm zu sein. Ich habe eine Serie Karbonatbestimmungen des Thones in und bei dem Kontakt machen lassen.

Probe I wurde von dem hellen Theil einer Schicht bei der Kontaktlinie,

- » II von dem dunklen Thon,
- » III 0.2 Meter über der Linie,
- » IV 0.33 » » » »
- » V 0.8 » » » »

genommen.

Das Resultat der Analysen war folgendes:

	Ca CO ₃	Mg CO ₃	Analytiker
I	37.7 0/0	0.8 0/0	Kand. phil. N. Sahlbom
II	1.9 »	1.6 »	Herr C. Söderström
III	12.4 »	—	Kand. phil. N. Sahlbom
IV	16.8 »	1.4 »	Herr C. Söderström
V	13.7 »	0.9 »	Kand. phil. N. Sahlbom.

Hieraus geht hervor, dass der ungeschichtete Thon dicht oberhalb des Glacialthones dessen Kalkgehalt im Durchschnitt wahrscheinlich zwischen 15—20 0/0 liegt, kalkarm ist, höher hinauf aber einen Kalkgehalt von 12—17 0/0 hat.

Veränderungen der Karbonatmengen des Bänderthons.

Schon bevor ich auf die Erscheinungen des Bänderthons nördlich von Upsala aufmerksam gemacht worden war, hatte ich die Resultate von Auswässerungs- und Infiltrationsprocessen im Ekebythone beobachtet. In der an schönen Faltungsprofilen so reichen linken Wand der Ekebygrube beobachtete ich eine muldenförmige, an Verschiebungen und wechselnden Schichtenstellungen sehr reiche Faltung (s. Fig. 9, 10). Im Synklinal der flachen Schüssel, die der Thon im grossen Ganzen hier bildet, sind die Schichten stark angeschwollen und von sehr heller Farbe. Die stärk-

sten, aber auch kürzesten Anschwellungen liegen zu unterst. Nach oben sind sie ausgedehnter, aber nicht ganz so mächtig. Nach den Enden zu werden die Einlagerungen von zwei schwach gebogenen Verschiebungsflächen begrenzt und abgeschnitten und kommen nicht ausserhalb dieser vor. Sie werden jedoch daneben von mehreren kleinen Verschiebungen überquert. Prüft man diese Einlagerungen näher, so findet man, dass sie aus einem grauweissen, losen, aber verhältnissmässig trockenen, augenscheinlich sehr kalkreichen Thon bestehen. Sie sind *immer in dem hellen Theil der Fahrerschicht eingelagert*, gehören aber dennoch keinem bestimmten Niveau in dieser an, da man zuweilen sehen kann, dass sie sich, mit recht scharfer Grenze gegen den normalen Thon, schräg der oberen oder unteren dunklen Schichtengrenze nähern. Die Einlagerungen setzen sich rechtwinklig gegen das Profil fort, ihre Dimensionen in dieser Richtung konnten aber nicht näher untersucht werden.

Einige Karbonatbestimmungen von verschiedenen Linsen dieses weisslichen Thones ergaben folgendes Resultat:

	% Ca CO ₃	% Mg CO ₃	$\frac{\text{Mg CO}}{100 \text{ Ca CO}_3}$
I	44.4	1.8	4.10
II	42.7	1.6	3.67

Somit ein überraschend grosser Kalkgehalt, der diese Einlagerungen auch von den kalkreichen Partien der Bänderthonschichten durch wenigstens 20 % Karbonat übertrifft.

An mehreren Stellen im Profil in der Nähe dieser kalkreichen Einlagerungen kommt dunkler, ungeschichteter Breccienthon vor (s. Fig. 9). Ein solcher, etwas höher als die meisten Kalklinsen liegender Thon wurde analysirt und ergab:

% Ca CO ₃	% Mg CO ₃	$\frac{\text{Mg CO}}{100 \text{ Ca CO}_3}$
1.8	1.6	89.3

Dieser Thon ist sonach seines ganzen Kalkgehaltes beraubt worden, mit Ausnahme des kleinen als Dolomitspat vorhandenen.

Sekundäre Kalkeinlagerungen im Bänderthon bei Galgbacken.

Von Professor HÖGBOM auf die Verhältnisse bei Galgbacken aufmerksam gemacht, habe ich auch einige Zeit, darauf verwendet, diese näher zu studiren. Die Resultate der sekundären Prozesse im Thon und in den Kiesgruben zunächst dem Upsalaås sind hier ganz grossartig. An der Landstrasse hart an dem Hügel Galgbacken befinden sich Kiesgruben, in

denen ich die vorher beschriebenen Flexuren und Korrasionsaushöhlungen beobachtete. Die Lagerfolge ist hier: 1) Zu unterst geschichteter Glacial-sand mit Korrasionsaushöhlungen und Flexuren (s. Taf. XVII Fig. 12). 2) Bänderthon mit 50—70 Mm. dicken Jahresschichten. Dieser enthält bis 2 Tonnen schwere Blöcke Vängegranit und Felsit (Hällefinta). Der Thon ist in der Mitte des Profils höchstens 2 Meter mächtig und keilt nach den Seiten aus. Nach oben geht er sehr bald in dünnrandigen Thon über, der eine Gesamtmächtigkeit von etwas weniger als 1 Meter hat und an seiner oberen Grenze stark gefaltet und korradirt ist. 3) Darüber folgt Sand und Kies mit undeutlicher Schichtung und von einer $1/2$ —1 Meter wechselnden Mächtigkeit. 4) Zu oberst ist zusammengekneteter Thon mit Andeutungen von Schichtung und grobe Kiesränder enthaltend sichtbar.

Die Lager fallen von dem Hügel 20—30° ab, und das Profil ist parallel der Streichung aufgenommen, wodurch die Durchschnitte der Lager somit im Allgemeinen horizontal erscheinen (s. Fig. 13). Die unteren, dickrandigen Thonlager sind nur wenig gestört und enthalten spärliche Kalklinsen von gleichartigem Aussehen wie die bei Ekeby beobachteten. Der obere dünngeschichtete Thon dagegen ist stark zerknittert und reich mit Kalklinsen von bis zu $1\frac{1}{2}$ Dm. Mächtigkeit versehen.

Eine Probe dieses kalkreichen Thones, von Herrn C. SÖDERSTRÖM analysirt, ergab folgendes Resultat:

	% Ca CO ₃	% Mg CO ₃	$\frac{\text{Mg CO}}{100 \text{ Ca CO}_3}$
Analyse No. I	37.10	1.0	2.7
» » II	37.2	1.1	3.0

Der Kalkgehalt ist sonach bedeutend, obschon nur einige Procent grösser als die kalkreichste Jahresschicht, die HÖGBOM (l. c.) hat analysiren lassen.

Fig. 13 Taf. XVII zeigt eine Partie dieser Kalkeinlagerungen. Die oberen sind, wie ersichtlich ist, stark umgebogen. Rechtwinklig gegen dieses Profil bietet die Erscheinung ein ganz anderes Aussehen dar. Die kalkreichen Einlagerungen haben in dieser Richtung sehr kleine Dimensionen und sind somit eigentlich stabförmig in der Richtung der Streichung ausgestreckt. Fig. 16 Taf. XVIII zeigt ein ausgeschnittenes parallelepipedisches Thonstück, in welchem weisse Streifen kalkreichen Thones beobachtet werden können. Fig. 17 ist eine Abbildung desselben Stückes von einer gegen die vorige rechtwinkligen Fläche. Die Einlagerungen stellen sich hier als unregelmässige Klumpen dar, welche jedoch deutlich ihre Entstehung durch zickzackförmige Zusammenfaltung eines ursprünglich mehr abgeplatteten linsenförmigen Lagers zeigen. Auch der Thon selbst erzeigt sich als stark mechanisch beeinflusst, obschon mit einer im Ganzen recht gut erhaltenen Struktur. Die oberen Flächen der dunklen Winterschichten sind fein zerfetzt, als wenn die ganze Masse des Thons nach einer Rich-

tung (der des Fallens) geflossen wäre, wobei eine fingerähnliche Verflechtung und Vermischung der verschiedenen Schichten stattgefunden hätte. Zuweilen sieht man, wie da, wo eine zusammengefaltete Kalkeinlagerung sich befindet, eine Schicht bucklig angeschwollen ist, als wenn jene der Bewegung einen grösseren Widerstand geleistet hätte als der übrige Thon.

Die Frage ist hier folgende: Hat die Verschiebung im Thon eine schon fertige Kalklinse zusammengeschoben, oder ist die Bildung der Linse durch Infiltration während der Störung selbst erfolgt, oder ist möglicherweise die Kalkeinlagerung nach den Störungen entstanden. Die letzte Möglichkeit ist wegen der Einwirkung, welche die Verschiebung offenbar auf die Einlagerung gehabt hat, unannehmbar. Andererseits scheint die Einlagerung hier ebenso wie bei Ekeby so dem mechanisch beeinflussten Thon anzugehören, dass ich am ehesten geneigt bin, diese beiden Erscheinungen mit einander in Zusammenhang zu stellen und anzunehmen, dass die Imprägnation durch die Bewegungen im Thon prädisponirt und gelenkt worden und somit gleichzeitig mit ihnen fortgegangen sind.

Ein anderes Aussehen hat das Infiltrationsphänomen in der Thongrube No. 2 von Galgbacken. Die Verhältnisse zwischen dem geschichteten und dem ungeschichteten Thon wurden auf S. 422 beschrieben. Die Lager haben ein flaches Fallen, sind aber doch imprägnirt, und die Imprägnation hat eine grosse Ausdehnung nach allen Richtungen der Schichtenfläche. Nähere Beobachtungen über diese Erscheinungen sind nicht gewonnen worden.

In der That zeigt es sich bei genauerer Untersuchung der hellen Schichten des geschichteten Upsalathones, dass sie sehr oft grössere oder kleinere Linsen oder Lager helleren (kalkreicheren) Thones enthalten, welche oft deutlich von derselben Natur sein müssen, wie die eben beschriebenen zweifellos sekundären Einlagerungen. Fig. 15 ist eine Autotypie eines Stückes geschichteten Thones aus Ekeby in halber natürlicher Grösse. Der Thon ist von Verschiebungen durchsetzt, welche nach der linken Seite hin immer zahlreicher werden, bis eine breccienartige Masse entsteht. Nach der rechten Seite hin ist der Thon ungestört, und sowohl hier als sonst finden sich zahlreiche kalkreiche Einlagerungen, theils lagerartig und theils linsenförmig oder unregelmässig verzweigt.

Die Struktur der Einlagerungen.

Die kalkreiche Masse ist in der Regel nicht homogen, sondern besteht aus einer grossen Menge schmaler Blätter von etwas verschiedener heller Farbe und somit wahrscheinlich von verschiedenem Kalkgehalt (s. Fig. 18, 19 Taf. XVIII). Die ganze Masse ist äusserst fein pulverförmig und sowohl im feuchten wie im trocknen Zustande ziemlich locker. Unter dem Mikroskop können bei starker Vergrösserung Kalkkörner als equidimensionale Körner, die keine eigene Krystallbegrenzung haben, beobachtet werden.

Zusammenfassung.

Eine Detailuntersuchung der Faltungserscheinungen im Glacialthon um Upsala hat somit folgende Resultate ergeben:

1) Dass die Faltung jünger ist als die oberste Schicht des Thones.
 2) Dass im Zusammenhang mit den Faltungserscheinungen, und sie theilweise ersetzend, Verschiebungen nach ebenen Flächen vorgekommen sind. Solche mit den Schichten des ungestörten Thones parallel laufende Verschiebungen sind gewöhnlich. Zuweilen wird eine gefaltete Partie sowohl nach oben wie nach unten von Verschiebungsflächen begrenzt, die dann natürlich jünger als die Lager sind.

3) Im Zusammenhang mit der Faltung sind die Schichten zuweilen sekundär mit Imprägnationen von kohlensaurem Kalk versehen. Solche sekundäre Imprägnationen scheinen sehr gewöhnlich zu sein und kommen auch in weniger gestörten Schichten vor.

4) Die oberen Schichten des Thones sind zuweilen mit scharfer Grenze von ungeschichtetem Thon überlagert, der dicht bei dem geschichteten Thon eine kalkarme Zone von auffallend dunkler Farbe hat. Gleichartige Korrasionsaushöhlungen kommen in dem bei Galgbacken unter dem Thon hervorragenden Rollsteinsande vor, und enthalten Bruchstücke kalkimprägnirten Thones. Auch der gefaltete Thon ist auf diese Weise abgeschnitten.

Was die *Erklärung* der beobachteten Erscheinungen betrifft, so scheint die Drifttheorie sich nicht für die Faltungen bei Ekeby zu eignen. Der Thon liegt in einer 400 Meter breiten Thalmulde, mit deren 8—10 Meter hohen Seiten die Faltung im grossen Ganzen parallel geht. Die Unregelmässigkeit der Faltung in grösseren Tiefen spricht zwar für die Eisbergtheorie, aber ein solches Detail, wie das, dass zwei stehende Falten beim Herabgleiten einer auf ihnen vertikal stehenden Verwerfungsebene einander passirt haben, scheint sich eher mit der Annahme einer Zusammenschiebung aus zwei einander entgegengesetzten Richtungen vereinbaren zu lassen. Der einheitliche Verlauf der Faltung und besonders die Abwesenheit jeder Einseitigkeit im Faltensystem deuten mit Bestimmtheit darauf hin, dass der Thon hier durch Rutschung von den Thalseiten gefaltet worden ist. Dass dieser Process nicht schnell, sondern möglicherweise sehr langsam vor sich gegangen ist, erscheint durch die Vollkommenheit und Horizontalausdehnung der Faltung wahrscheinlich. Für diese Ansicht sprechen auch die Kalkimprägnationen. Diese sind theils von Verwerfungen *abgeschnitten*, theils durch solche *begrenzt* und sind da am mächtigsten, wo die Falten am kräftigsten ausgebildet sind. Sie sind somit *zu gleicher Zeit entstanden* wie die Faltung. Deshalb muss diese auch einigermassen langsam vor sich gegangen sein. Bei Galgbacken erweisen die Imprägnationen sich als älter als die Erscheinung, durch welche das oberste Lager des Glacialthones abgeschnitten wurde. Deshalb ist auch die Faltung wahr-

scheinlich älter als diese Korrasion, und daher wird man zu der Annahme gezwungen, dass alle diese Prozesse vor der Bildung des ungeschichteten Thones, der nichts anderes als *umgerührter geschichteter Thon* ist, vor sich gegangen sind. Wenn dieser ungeschichtete Thon nun, wofür grosse Wahrscheinlichkeit vorzuliegen scheint, durch Eisbergkorrasion gebildet ist, so müssen der grössere Theil der Faltung und die Kalkimprägation vor sich gegangen sein, bevor der Thon das erste Mal über die Meeresfläche gekommen ist. Bei einer Sedimentation im Wasser auf einem undulirenden Boden muss der Aufbau des Sedimentes von kleinen Partikeln in erster Reihe nur gerade stabil gewesen sein. Durch weitere Auflagerung muss das Gleichgewicht gefährdet gewesen sein, Zusammensinkungen müssen eintreten und auch Ausrutschungen nach den niedrigeren Theilen des Sedimentationsbeckens hin erfolgen, insofern die innere Friktion einer solchen Bewegung nicht hinreichend starken Widerstand zu leisten vermag. Die äusserst zahlreichen Fälle von Rutschungen nach ebenen, oft horizontalen Lagerflächen, die der Glacialthon sowohl in der Umgegend von Upsala, als in anderen Theilen Schwedens (s. OLBERS', ANDERSSONS u. m. a. oben citirte Beschreibungen und Zeichnungen) darbietet, zeigen, dass solche Verschiebungen wirklich mit grosser Leichtigkeit vor sich gegangen sind. Es verdient besonders betont zu werden, dass in den recht zahlreichen Fällen, wo die gefalteten Schichten auch nach *oben* scharf gegen horizontal gelagerten Thon abgegrenzt sind, eine Rutschung die wahrscheinlichste Ursache dafür gewesen sein muss. Denn wenn eine Korrasion von Eisbergen stattgefunden hätte, so müsste wohl zunächst auf der abgeschnittenen Partie umgerührter Thon ruhen. In Sand und Kies dürften dagegen solche Verschiebungen nicht vorkommen. Dagegen sind dort Verwerfungen (wahrscheinlich infolge von Zusammensinkungen) gewöhnlich. Man sollte erwarten, dass solche Veränderungen in der Stabilität des Sediments besonders dann Störungen verursacht hätten, als die Ablagerung zum ersten Male über die Wasserfläche kam. Hierbei musste sich ja die Belastung auf die unteren Schichten ungefähr verdoppeln. Die Faltungen bei Galgbacken müssen indessen, wie wir gesehen haben, eingetroffen sein, bevor der Thon zum ersten Mal über die Meeresfläche kam. Bei Ekeby ist diese letzte Annahme nicht nöthig. Die Faltung ist dort kräftiger und regelmässiger. Die Kalkimprägation ist jedoch dort von derselben Beschaffenheit wie bei Galgbacken. So weit die Verhältnisse gegenwärtig zu beurtheilen sind, scheint der Verlauf wahrscheinlich etwa folgender gewesen zu sein: Am Ende der Sedimentation des geschichteten Thones in der Gegend von Upsala wurde der Thon in den Thalsenkungen durch Ausrutschen von den Thalseiten gefaltet. Im Zusammenhang hiermit wurden die hellen Schichtentheile mit Kalk imprägnirt. Hierauf wurde das oberste Lager des Glacialthones abgeschnitten (durch Eisberge) und der ungeschichtete Thon gebildet: (durch Umrühren des geschichteten beim Vorbeipassiren des Eisberges).

Bevor ich bei Galgbacken fand, dass die *Kalkimprägnationen* älter sein müssen, als der ungeschichtete Thon, und bevor ich das Material der Linsen mikroskopisch untersucht hatte, schien es mir, als ob ihr Dasein durch die Annahme eines metasomatischen Verlaufes erklärt werden könne. Sie waren in den am meisten gefalteten Schichtenserien am besten ausgebildet, und die Linsen wurden nach oben und unten von den dunklen Schichtentheilen und seitwärts von Verschiebungsebenen begrenzt, ohne von diesen abgeschnitten zu sein. Allein das Lösungsmittel für den Kalk und die Ursache seines Ausfällens in die gefalteten Schichten scheint mir schwer zu finden; und die Schwierigkeit nimmt zu, wenn ich zu der Annahme gezwungen werde, dass die Imprägnation stattgefunden hat, bevor der Thon das erste Mal über die Meeresfläche kam. Da es sich schliesslich gezeigt hat, dass der Kalk in den Linsen nur aus kantigen equidimensionalen Körnern ohne Krystallbegrenzung besteht, somit einem klastischen Sediment gleicht, erscheint es mir zweifelhaft, ob hier überhaupt chemische Kräfte mitgewirkt haben. Die Möglichkeit erscheint nicht ausgeschlossen, dass bei der Faltung des Thones schlammiges Wasser durch die lockeren (primär kalkreichen und weniger plastischen) Schichten hervorgepresst worden ist und hierbei die lockeren kleinen Kalkfragmente, die an anderen Stellen so zu sagen abfiltrirt worden sind, mitgeschleppt hat. Ich habe leider nicht Gelegenheit gehabt, die Struktur der Kalklinsen genauer zu untersuchen, ich habe aber doch beobachtet, dass sie sehr reich an kleinen Details ist, indem helle Ränder einander in vielen verschiedenen Graden durchweben. Der Kalkgehalt ist somit mit Sicherheit in verschiedenen Partien derselben Linse verschieden. Möglicherweise könnte ein Studium dieser Verhältnisse die Frage nach dem Verlaufe beim Ansammeln des Calciumkarbonates lösen.

Die Hypothese der Faltung des Glacialthones durch Eisbergstrandungen steht wohl mit den Resultaten der Glacialgeologie im Einklang, aber sie ist doch unbewiesen. Im Vorliegenden hoffe ich bewiesen zu haben, dass in den hier behandelten Fällen die Annahme von Ausrutschungen von den Thalseiten besser mit der Beschaffenheit der Faltungen in Uebereinstimmung steht.

Erklärung der Tafeln.

Taf. XV. Karte der Thongrube bei Ekeby. Die den Boden der seichten Thalmulde bildende Ackererde besteht bis zu 1 Meter Tiefe aus ungeschichtetem Thon, der nach unten allmähig in geschichteten Thon übergeht. Nach Osten steht die Thalmulde mit den grösseren Thonfeldern westlich von Upsala in Verbindung. Eine Nivellirungslinie in nordsüdlicher Richtung quer über die Schlucht mit ausgesetzten Ziffern giebt die ungefähre Neigung der Thalseiten an. Die feinen parallelen Striche an der Westkante der Thongrube geben die Richtungen der hier observirten Falten an. Die punktirten Kurven geben die gegenwärtige Ausgrabung an. Zwei der ausgezeichneten Tümpelchen waren bei meinem ersten Besuch frei von Wasser und kürzlich geöffnet und zeigten das unterste Thonniveau zwischen dem unterliegenden dünn-schichtigen und dem überliegenden dickschichtigen Thon.

Taf. XVI. Schematisirte Abbildungen des Faltungsverlaufes in der linken Wand der Thongrube. Die Fig. 2, 3, 4 u. 9 folgen einander unmittelbar von Süden nach Norden. Ueber den Profilen geht der Thon in ungeschichteten über. Die Fig. 5, 6, 7 sind von dem Boden der Grube. Fig. 8 zeigt den Unterschied zwischen Verwerfungen und Flächenverschiebungen, wie sie in dem geschichteten Thon bei Ekeby vorkommen.

Die unterbrochenen Linien bezeichnen die Verschiebungsfläche. Die feinstrichigen »Gänge« stellen den breccienartigen Thon dar. Die Parallelstruktur ist hier etwas übertrieben wiedergegeben. Man sieht in einer strukturlosen Thonmasse nur einzelne (durch die längeren Linien angegebene) Bruchstücke.

Fig. 9 giebt schematisirte Verhältnisse in der Nähe der Kalkeinlagerungen im Ekebython wieder. Das punktirte bezeichnet die Kalklinsen. Die Analyse Seite 425 ist nach Material von einer der unteren von diesen gemacht. Der schwarze Klumpen rechts ist laut Analyse Seite 425 kalkarmer Breccienthon. Eine photographische Abbildung eines Theiles desselben Gebietes zeigt

Taf. XVII.

Fig. 10. Sekundäre Kalkeinlagerungen im Bänderthon, Ekeby.

Fig. 11. Zeichnung nach einer Photographie, zeigt das Verhältniss zwischen dem geschichteten und dem ungeschichteten Thon in einer der

Thongruben bei Galgbacken. Die Gegensätze sind der Deutlichkeit wegen etwas übertrieben. Links ist die Flexur sichtbar. In der Mitte eine Gleitfläche parallel der Schichtung. Ueber dieser, von dem Boden der tiefsten Korrasionsaushöhlung aus, beginnt die auf S. 424 angeführte Analysenserie des Karbonatgehaltes des ungeschichteten Thones. Obs. die dunkle (kalkarme) Zone zunächst dem geschichteten Thon!

Fig. 12. Flexur in geschichtetem grobem Glacialsand. Die Schichten fallen von dem Rollsteinhügel (Galgbacken) ab. Links mit grobem Kies gefüllte Korrasionsaushöhlungen und Stücke kalkimprägnirten Thones.

Fig. 13. Zeichnung nach einer Photographie der Kalkimprägnationen im Thone bei Galgbacken. Der Schnee am unteren Theile des Profiles ist derselbe, der auf Fig. 12 ganz oben sichtbar ist.

Fig. 14. Abbildung der Photographie von derselben Grube wie Fig. 14. Entgegengesetzte Wand. Grenze zwischen den beiden Thonen deutlich. Die Schichten des dickschichtigen Thones sichtbar.

Taf. XVIII.

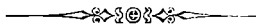
Fig. 15. Bänderthon von Ekeky, Autotypie nach der Natur in $1/2$ nat. Gr. Zeigt die Schichtung durch Kalkimprägnation und Verschiebungen gestört. Untere linke Hälfte sehr reich an kleinen Verschiebungen. An dem linken Rande der Figur wird eine Thonbreccie sichtbar.

Fig. 16 u. 17. Autotypie einer Thonstufe von Galgbacken. Fig. 16 ist ein Vertikalschnitt parallel der Streichung der Schicht. Fig. 17 ein Vertikalschnitt in derselben Stufe parallel dem Falle, zeigt Zusammenfaltungen der Kalklinsen.

Fig. 18 u. 19. Autotypie einer Kalklinse von Ekeby in natürlichem Massstabe. Der grössere Theil des Stückes gehört zur Kalklinse. Der feine Wechsel verschiedener heller Lagerchen zeigt die complicirte Vertheilung des Kalkgehaltes.

Fig. 20 Bänderthon von Vermland. Autotypie nach der Natur; natürliche Grösse.

Fig. 21. Typischer Bänderthon von Upland. Autotypie nach der Natur; natürliche Grösse.



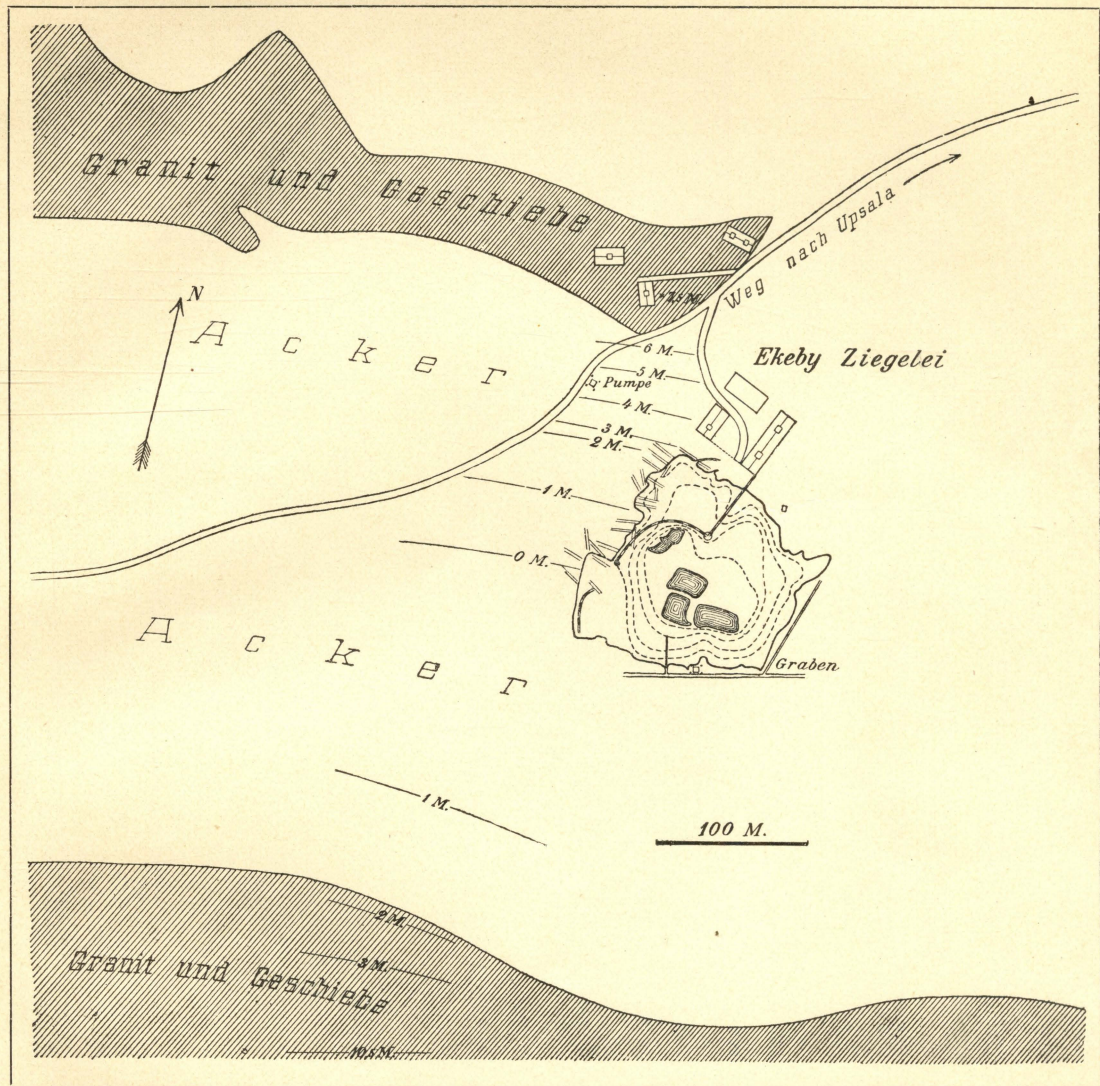


Fig. 1.

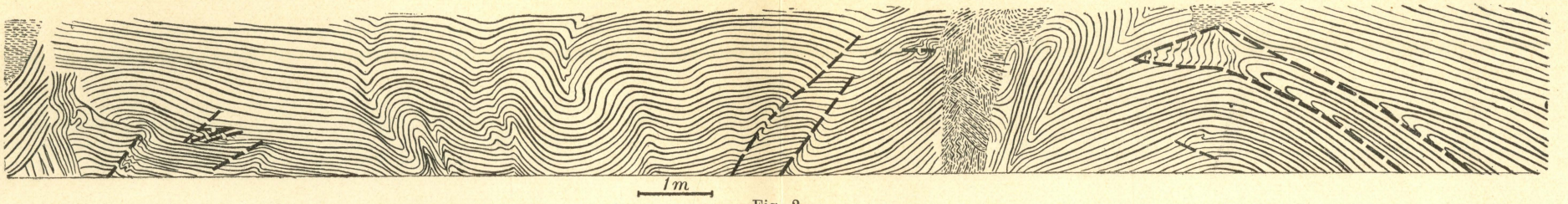


Fig. 2.

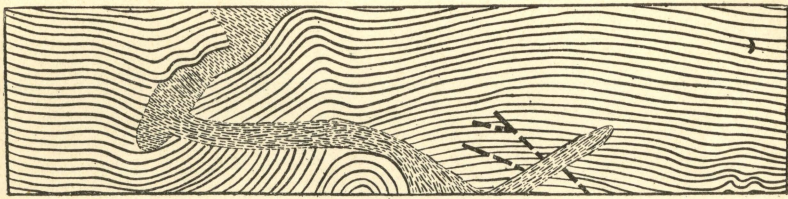


Fig. 3.

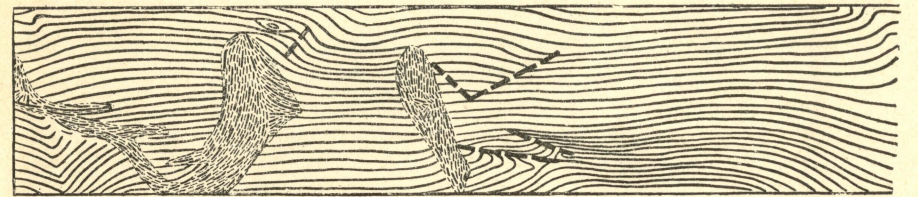


Fig. 4.

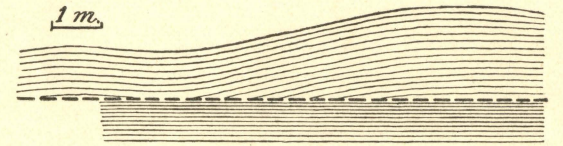


Fig. 5.

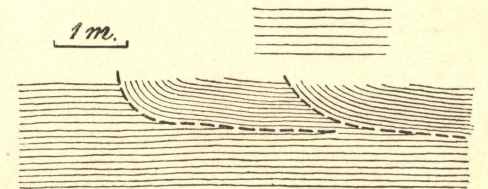


Fig. 6.

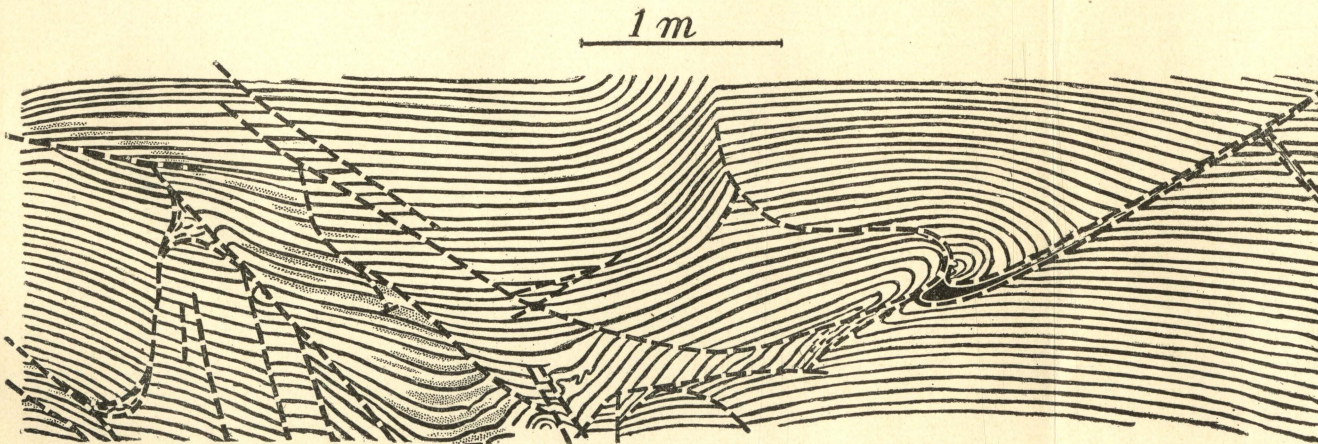


Fig. 9.

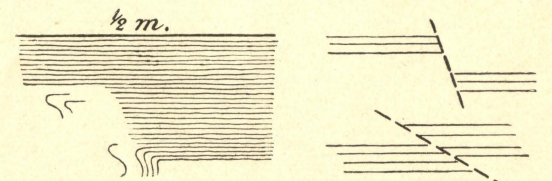


Fig. 7.

Fig. 8.

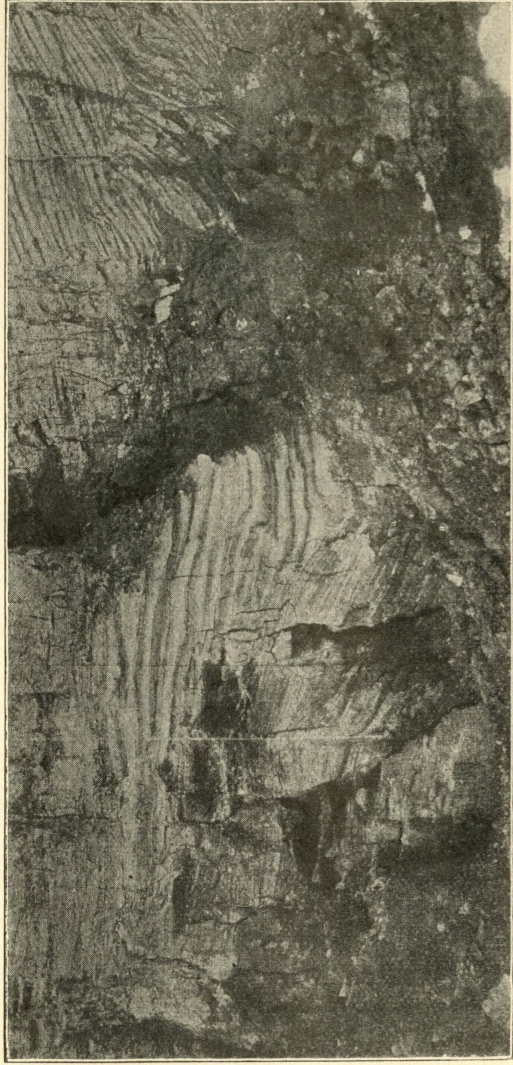


Fig. 10.



Fig. 11.

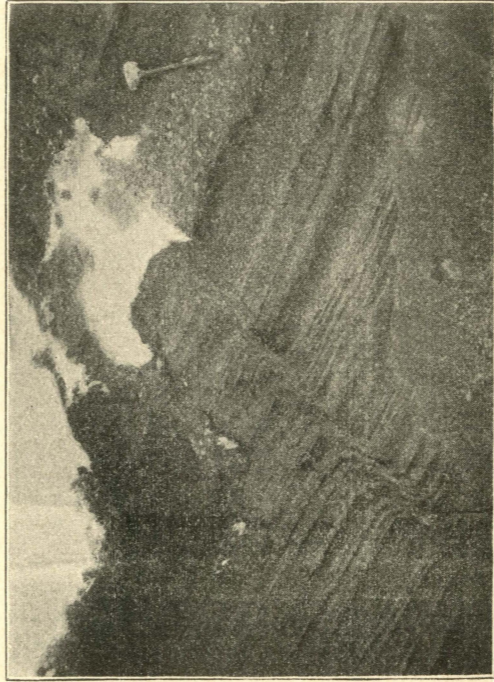


Fig. 12.

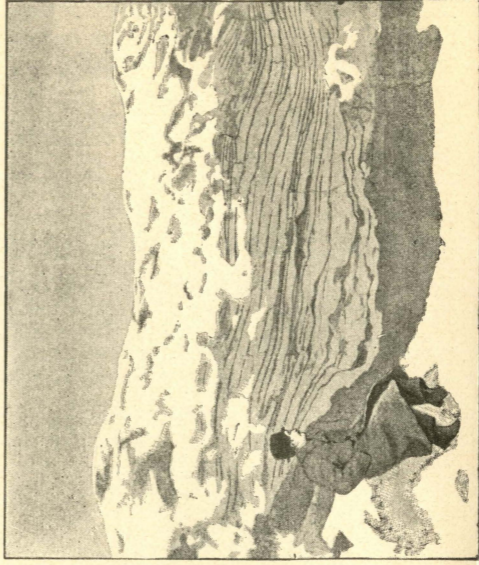


Fig. 13.

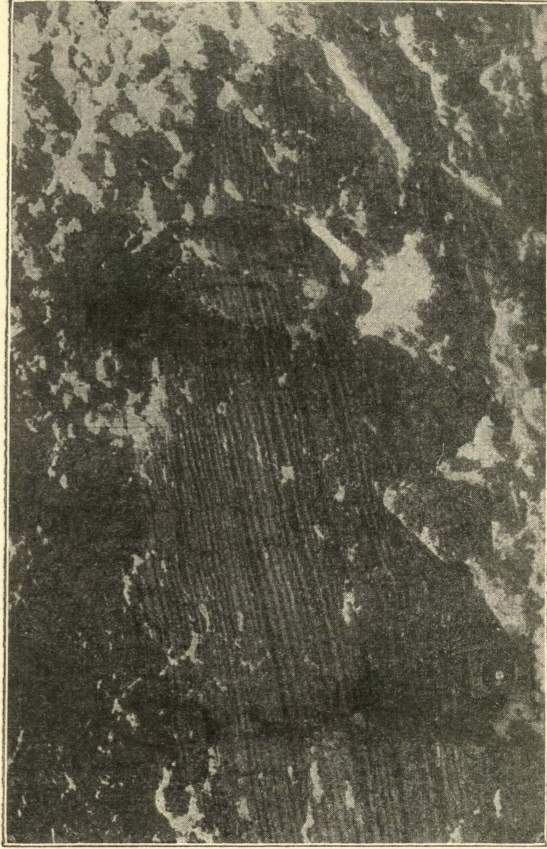


Fig. 14.



Fig. 15.

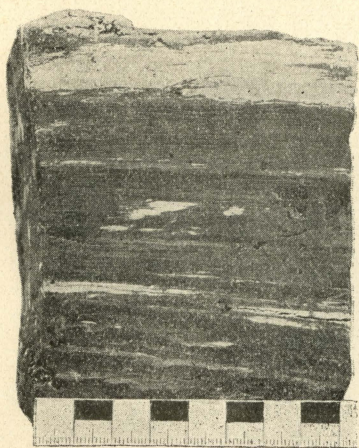


Fig. 16.



Fig. 17.



Fig. 18.



Fig. 19.

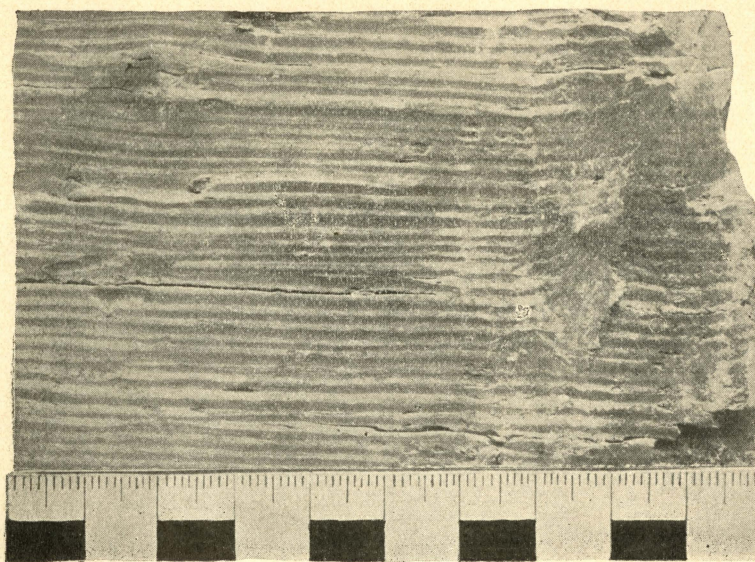


Fig. 20.

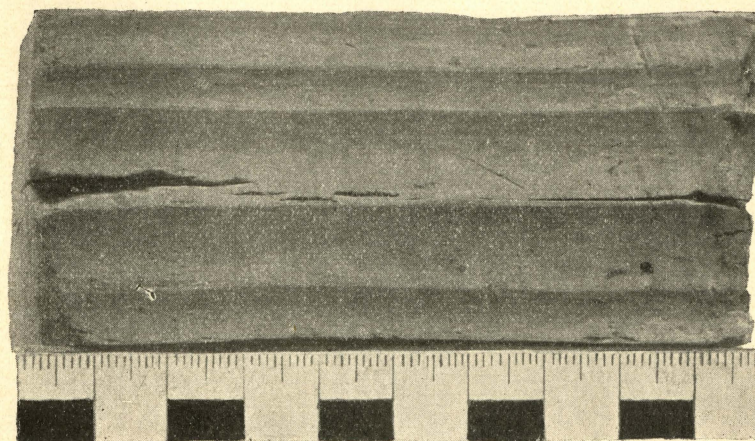


Fig. 21.