

## 7. Über silurische Korallenriffe in Gotland

von

Carl Wiman.

Hierzu Pl. VIII—X.

Als ich im Frühjahr 1894 als Linnéstipendiat nach Wisby reiste, fügte es sich so, dass ich ganz nahe vor der nördlichen Westküste Gotlands fuhr. Es fiel mir dann gleich auf, dass die Küstenstrecke zwischen Häflingsklint und Stenkyrkehuk, im Gegensatz zu dem, was ich in anderen Teilen von Gotland zu sehen gewohnt war, keine zusammenhängende, etwa gleich hohe Steile bildete, sondern in hohe s.g. »Klintar« zerstückelt war, welche etwas weiter gegen das Meer hinausschossen und oft Vorgebirge bildeten oder, als das Meer höher stand, gebildet hatten, vor welchen grosse Anhäufungen abgestürzter Blöcke lagen, welche ihren Rückweg vom Ufer bezeichneten. Diese »Klintar« waren unter einander von schwach landeinwärts



Fig. 1. Schematisches Bild der linsenförmigen Anschwellungen.

gebuchteten, bedeutend niedrigeren, zusammenhängenden Strecken der Ufersteile verbunden. Teils wusste ich durch frühere Fossilfunde, dass die »Klintar« wenigstens zum Teil demjenigen Lager gehörten, welches Professor G. LINDSTRÖM (4) mit *d* bezeichnet, den Kalksteinschichten mit Mergelbändern, welche den die »Klintar« verbindenden niedrigeren Abhang bildeten, teils konnte ich vom Dampfer aus direkt beobachten, dass es eben dieses Lager war, welches, dadurch dass es lokal anschwellt, die kompakte Kalkmasse der höheren »Klintar« bildete. Es war also deutlich, dass die Erosion hier auf Grund einer primären verschiedenen Beschaffenheit des zu bearbeitenden Materials andere topographische Formen aussculptiert hatte, als es dieselbe Erosion längs anderen Strecken der gotländischen Ufersteilen hervorgebracht hatte. Die verschiedene petrographische Beschaffenheit der erodierten Gesteine erklärte ich mir so entstanden, dass die »Klintar« Reste

von Korallenriffen waren, während dass die niedrigeren Steilen, welche die Klintar verbinden, von dem sedimentären Äquivalent dieser Riffe aufgebaut wurden. Ich werde im Folgenden immer das Wort *sedimentär* als Gegensatz zu *gewachsen* verwenden.

Die obige Ansicht habe ich bei späteren Untersuchungen an Ort und Stelle bestätigt gefunden, wie ich im Folgenden darzustellen versuchen werde.

Die gotländischen Silurlager wimmeln von zoogenen Gesteinen z. B. Konglomeraten<sup>1</sup> mit Geröllen aus Korallen und Stücken von Kri-noideenstielen, Lagern aus zusammengekittetem Kalksand, mehr oder weniger mächtigen Lagern aus der einen oder anderen Koralle, wie *Halysites* im Mergelschiefer südlich von Wisby und in Stora Carlsö, den sechs verschiedenen Bänken aus *Cystiphyllum cylindricum* LONSD. in Stora Carlsö, den Lagern des Klinteberges aus *Pentamerus conchidium* L., mächtigen Lagern aus nur *Pentamerus oblongus* SOW., welcher in ganz Skandinavien ein hervorragender Gesteinsbilder ist, und woraus die »Raukar« bei Laupargi in St. Carlsö bestehen, Bänken aus *Stricklandinia lirata* SOW., aus *Bumastus* nördlich von Wisby, Kalkschiefer aus *Leperditia*, Kalkbänkchen aus kleinen Ostracoden und aus gut erhaltenen Bryozoen, Lagern aus einem Gewirr von allerhand Kalkgebilde, etwa 40 cm mächtigen Bänken aus Teilen von Crinoideenkronen, welche bei Lau mehr als ein Kilometer verfolgt werden können, Bänken aus *Megalomus* oder *Trimerella*, von ganzen Lagern aufgehäufte Cephalopoden etc. etc.

All diese zoogenen Gesteine haben das mit einander gemein, dass sie nicht Riffe bilden, dass sie nicht wie ein Korallenriff entstanden sind. Wahrscheinlich bilden sie Linsen, wie dies gewöhnlich mit derartigen Gesteinen der Fall ist, aber diese dürften dann so flach sein, dass sie in diesem Zusammenhang besser als gewöhnliche Lager aufgefasst werden, welche ja auch oft auskeilen. Wenn also auch, wie dies in vielen Fällen beweislich ist, die gesteinsbildenden Organismen sedentär gelebt und auf demselben Ort, wo jetzt ihre Kalkausscheidungen aufgehäuft liegen, so muss man jedoch das Gestein, welches sie gebildet haben, als sedimentär auffassen, nicht als Riffgestein.

Die gotländischen Korallenriffe sind nicht vorher als solche gedeutet worden. Dagegen geht aus mehreren Arbeiten von Professor G. LINDSTRÖM hervor, dass sie beobachtet worden, und dass sie in stratigraphischer Hinsicht als Faciesbildungen sedimentärer Gesteine behandelt worden sind. So z. B. sind Fossilien, welche, wenn die Riffe bei Lickershamn übersehen worden wären, auch zum Lager *f* dürften gerechnet worden sein, anstatt als dem Lager *d* gehörend erwähnt worden. Solche sind bei-

<sup>1</sup> Die meisten dieser Beispiele sind schon durch Publikationen von Professor G. LINDSTRÖM bekannt (z. 4.).

spielsweise: *Callicrimus costatus* HIS., *Orthis basalis* DALM., *Orthis biloba* L. var. *Verneuilliana* LM., *Spirifera plicatella* LM. var. *interlineata* SOW., *Atrypa imbricata* SOW., welche ich schon 1890 in den »Klintar« beim Lickershamnsufer eingesammelt. Auch sind petrographische Facieswechselungen ebenso jäh wie diejenigen bei Lickershamn und diesen ähnlich von Professor LINDSTRÖM beobachtet worden, z. B. die Figur Seite 8 in: Anteckningar om silurlagren på Carlsöarne (2). Ob sich die Figur auf ein Riffgestein bezieht, darf ich nicht entscheiden.

Nach diesen Vorbemerkungen gehe ich zu einer Beschreibung der gotländischen Korallenriffe über, wobei ich die recenten als Vergleichungsmaterial verwende. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, dass eine so zweckmässige und belehrende Darstellung der jetzigen Korallenriffe vorhanden ist, wie diejenige JOHANNES WALTHER's in seiner: Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Beobachtungen über die Bildung der Gesteine und ihrer organischen Einschlüsse. Jena 1893/1894. (8).

Ein Korallenriff ist ein isoliertes, über den Meeresboden sich erhebendes Kalklager, wesentlich dadurch gebildet, dass die ästigen Korallen und das lückenreiche Gefüge des Korallenriffes den Kalkdetritus oder den Kalksand auffangen und verhindern, dass er sich über den Meeresboden *gleichmässig* ausbreite. Das Riffgestein nimmt gewöhnlich die Form einer Linse an.

Pl. VIII und X geben einen Begriff von der Form der »Klintar« zwischen Häflingsklint und Stenkyrkehuk. Die Hauptmasse, oder wenigstens das genetisch wichtige Element derselben, besteht aus einer gar nicht oder undeutlich geschichteten Linse aus kompaktem Kalkstein, welcher gegen den deutlich geschichteten Kalkstein oder Kalkstein mit Mergelbändern, worin er eingeschaltet liegt, scharf abbricht. Diejenigen Stellen SV von Lickershamn, wo dieses am deutlichsten war, habe ich nie in einer Beleuchtung gesehen, die sich für eine photographische Aufnahme eignete.

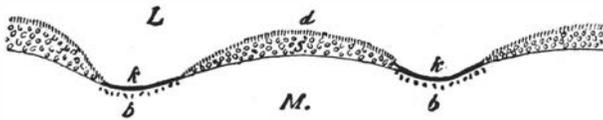


Fig 2.

Die Klintar 2 und 3 SW von Lickershamn und die sie verbindenden Schichten.

Auf Pl. VIII Fig. 2 tritt jedoch sowohl die ungeschichtete Linse wie die Lager, worin sie liegt, ganz deutlich hervor und mit einiger Gewohnheit, auf Photographien nach der Natur geologische Verhältnisse zu erkennen, kann man auch auf Fig. 1 Pl. VIII und Fig. 1 Pl. X in den oberen und unteren Teilen der »Klintar« die Neigung der Lager sehen, welche die Linse umfassen.

Diesen Typus von »Klinter« habe ich nur zwischen Häflingsklint und Stenkyrkehuk beobachtet. Solche Linsen, welche die Bildung der »Klinter« veranlasst haben, dürften sowohl landeinwärts noch verdeckt vorkommen, wie in den jetzt abradierten Teilen dieses Niveaus verbreitet gewesen sein. Längs dieser Küstenstrecke ist eine bedeutende Anzahl vorhanden, viel grösser, als man nach der topographischen Karte vermuthen dürfte. Jeder »Klint« hat auch eine ziemlich geringe Verbreitung in der Horizontalebene. Ihre Lage im Verhältnis zum Ufer und den niedrigeren Ufersteilen wird durch die folgende Figur veranschaulicht.



Figur 3.

k Klint. d Niedre Steile. b Blockanhäufungen. s Strandgerölle. M Meer. L Land.

Nur vor denjenigen »Klinter«, welche die Vorgebirge bilden, liegen die grossen Anhäufungen abgestürzter Blöcke, welche den Rückweg derselben bezeichnen. Unterhalb dem Kalkstein mit Mergelbändern dagegen verläuft ein steiler Schutthaufen aus nur feinerem Material, welcher auf Grund seines Kalkgehalts mitunter eine Böschung von mehr als  $45^{\circ}$  zeigt. Als das Meer diesen niedrigeren Abhang verliess, waren es auch die Gesteine dieser, welche vorzugsweise zu Uferwällen aus Klappersteinen umgeformt wurden, und welche vor den Klinter dagegen nicht in gleichem Masse vorkommen. Die Basis dieser liegen auch oft niedriger als die Basis der niedrigeren Ufersteile.

Diese Form bekommt die Ufersteile, wenn die Lager Linsen enthalten. Besteht sie dagegen aus nur gleichmässig geschichteten Lagern aus auch vertikal wechselnden Gesteinen, also aus rein sedimentären Schichten, entstehen infolge der Erosion »Klinter« eines ganz anderen Charakters, »Klinter«, deren Lage nicht durch eine verschiedene Beschaffenheit der Gesteine in der Horizontalebene bestimmt worden ist. Als ein Beispiel dieser Art kann Svarfven oder Svarfvarhuk an der östlichen Mündung des Kapellhamnsvik dienen (Fig. 2 Pl. IX), durch welchen man unter Anderen vier verschiedene kleine Konglomeratlager verfolgen kann. Dieser Kategorie gehören in erster Hand die »Klinter«, in welchen der Mergelschiefer ein mehr oder weniger überwiegendes Element ausmacht, z. B. der »Klint«, welchen Professor LINDSTRÖM (3) aus Östergarn bei Kuppen abgebildet hat, das Ufer bei Lummelund, das klassische Ufer vor Eksta und auf Fig. 2 Pl. X das Ufer links von der grossen Steinsäule, dessen Klinternatur dadurch verborgen wird, dass sich grössere »Klinter« in der Nähe befinden. Ferner gehören hieher beispielsweise die Steilen um Furillen und bei Lergraf, Hallshuk, ein Teil der Abhänge N und S von Wisby, Kyrkklinten in Wisby, der Klinteberg und wenigstens ein Teil der Felsenwände um Stora Carlsö etc.

Eine dritte Art von Ufersteilen und welche gewissermassen eine vermittelnde Stellung zwischen den beiden Vorigen einnimmt, da sie eine Kombination derselben ist, wird von der langgestreckten Kalkklippe oberhalb der s.g. Brunbergsbetning N. von Wisby vertreten. Gleichzeitig als dieser Kalkstein im Ganzen ein horizontales etwa gleich mächtiges Lager bildet, welches weit über die gewöhnlichen Dimensionen eines »Klints« des Lickershamnstypus verfolgt werden kann, ist er etwa so, wie durch die beistehende Figur 4 versinnlicht wird, in eine Anzahl undeutlich begrenzter Linsen geteilt. Diesem Gestein gehört auch der obere Teil des »Klints« Fig. 1 Pl. IX, obschon es an der Photographie nicht ersichtlich ist. Vielleicht sind mehrere Kalksteine der Wisbyegend auf diese Weise gebaut, obschon

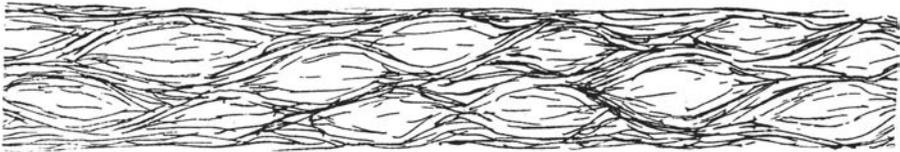


Fig. 4. Kalksteinwand bei Brunbergsbetning, N. von Wisby.

ich es nicht bestimmt anders als in diesen beiden Fällen habe entscheiden können, weil es in einer mehr kompakten Kalkmasse recht schwierig sein kann, Schichtflächen und ähnlich orientierte Spaltflächen zu unterscheiden.

Es ist klar, dass diese Verschiedenheit der »Klintar« auch von einer mit diesen so nahe verwandten Bildung wie den Steinsäulen, welche auf Gotland »Raukar« genannt werden, gelten muss. Diese habe ich jedoch nicht als solche oder aus einem Erosionsgesichtspunkt näher studiert. Auch die Raukar sind zweifacher, wesentlich verschiedener Art: solche, deren Lage schon seit der Silurzeit als eine Möglichkeit durch den petrographischen Facieswechsel der Gesteine bestimmt sind, und solche, bei denen dies nicht der Fall ist. Für die Lage der ersteren dürften wie in Öland vertikale Spalten in höherem Grade bestimmend gewesen sein als für die ersteren. Raukar, aus einem Gestein wie demjenigen bei »Brunbergsbetning« entstanden, dürften sich wie die ihnen entsprechenden »Klintar« zur Erosion auf dieselbe Weise verhalten wie die Art von »Klintar«, für welche Svarfven typisch ist.

Unter den Raukar, welche mit den »Klintar« von Lickershamnshabitus verwandt sind, will ich in erster Hand solche ausscheiden, welche nur die ganz offenbare Ruine eines »Klints« sind. Eine solche ist Jungfrun (die Jungfrau) bei Lickershamn Fig. 2 Pl. X. Als Beispiel einer Klintruine, welche ganz auf der Grenze eines grossen Rauks steht, führe ich Fig. 1 Pl. X an.

In welchem Masse sonstige Raukar dieser Kategorie in Gotland vorkommen, und die direkt als Raukar ausskulptiert worden sind, habe ich nicht untersucht, es dürfte aber ohne Weiteres erhellen, dass eine primäre horizontale Variation der Gesteine von so einer Beschaffenheit, dass sie die

Bildung eines »Klints« veranlassen kann, auch einen Rauk muss hervorrufen können, obschon es dann schwieriger wird, die Entstehungsweise zu konstatieren, weil im Gegensatz zum Verhältnisse, wenn es die Frage von einem Klint war, das Seitengestein, der leichter erodierte sedimentäre Aequivalent, hier vermisst wird. A priori steht nichts im Wege, dass auch diese Raukar Gruppen bilden.

Die zweite Art von Raukar mit einer Genesis derjenigen Svarfvens verwandt stimmt am nächsten mit denjenigen überein, die J. GUNNAR ANDERSSON (I.) aus Öland beschrieben hat. Unter den mir bekannten gotländischen Raukar gleichen diejenigen SW von Digerhufvud an der Westküste von der Fårö am meisten den »Steinriesen« bei Horn in Öland, weil sie teils so nahe am Meer liegen und mithin neulich ausskulptiert worden und teils aus einem im Bezug auf die Widerstandsfähigkeit gegen die Erosion vertikal wenig wechselnden Gestein bestehen. Hiermit habe ich auch die zwei Hauptfaktoren angegeben, welche geeignet sind, Modifikationen im Habitus dieser Raukar hervorzurufen. Raukar dieser Art bestehen aus deutlich geschichteten Gesteinen und haben oft in grosser Anzahl dieselbe Höhe und dieselbe Höhe des Plateaus, woraus sie ausgeschnitten worden sind. Beispiele sind die prachtvollen Rankar bei Lergraf. Andere hierhergehörigen Raukar sind diejenigen bei Laupargi auf St. Carlsö und N. vom Galgenberg bei Wisby und der kleine Rauk gleich am Hafen von Wisby.

---

Der Hauptfaktor bei der Entstehung eines Korallenriffs ist natürlich, dass auf einer Stelle eine Ansiedelung riffbildender Korallen entstanden ist. Viele der riffbildenden Korallen erzeugen Stöcke, welche schon an und für sich als Klumpen aus Kalkstein betrachtet werden können, und diese müssen natürlich einen nicht unwesentlichen Teil des Materials zum künftigen Riffgestein liefern, indem nach und nach ältere Stöcke absterben und neue auf denselben aufwachsen. Wieviel des schliesslichen Riffgesteins aus Korallenstöcken besteht, wechselt je nach der Resistenz der Arten, welche sich im Aufbau des Riffs beteiligt haben. In runder Summe besteht etwa die Hälfte des Riffgesteins aus Korallstöcken. Die andere Hälfte besteht aus dem Kericht des Riffes, dem organogenen Kalksand, zu welchem die ganze reiche korallophile Fauna, in so weit sie Kalkbildungen besitzt, ihren Beitrag geliefert hat. Dieses ist ein sedimentäres Element, welches teils von dem Riff über den nicht von Korallen bewachsenen Meerboden hinuntergeschwemmt wird und dort Sedimente bildet, teils ans Land geworfen wird, wo es sogar Dünen bilden kann und schliesslich auf dem Riffe festgehalten wird und zwar in einer Menge, dass er mehr als die Hälfte des Riffgesteins ausmachen kann. Der Kalksand wird von ästigen Korallen und Lücken und Höhlen zwischen den Korallgebüschchen festgehalten, welche auf dieselbe Weise wie ein verzweigter Korall wirken.

Ich werde es jetzt aufzuweisen versuchen, inwieweit diese Verhältnisse bei den gotländischen Korallenriffen wiedergefunden werden können.

Was dann das erste Element des Riffgesteins, die Korallen, anbelangt, so trifft auf allen den kompakten Kalklinsen an der nördlichen Westküste Gotlands eine bezeichnende Äusserung WALTHER's über recente Riffe zu: »Dadurch, dass auf dem Korallenriff ein Stock dem anderen zur Grundlage dient, entsteht auf dem Profil ein System vielgewundener und verästelter Korallenpfeiler . . . .» Je mehr verzweigt eine Koralle ist, einen um so besseren Riffbilder giebt sie ab, desto mehr Kalksand vermag sie aufzufangen. Auf jetzigen Korallenriffen ist es besonders die *Madrepora*, welche sich in dieser Beziehung auszeichnet. Es fällt dann gleich in die Augen, dass in dem gotländischen Riffgestein nicht nur Formen, die in Ästigkeit mit der *Madrepora* verglichen werden könnten, vermisst werden, sondern dass die resp. Korallstöcke jeder für sich im Allgemeinen wenig dazu geeignet gewesen sind, den Kalksand festzuhalten. Aber es finden sich auch in der Gegenwart Korallenriffe, in deren Aufbau massive und weniger verästelte Formen eine wichtige Rolle spielen. Und es sind ja auch nicht nur die verzweigten Korallen, sondern auch die Tausende von Höhlen und Schlupfwinkel der ganzen Ansiedelung des Riffes, welche den Kalksand festhalten.

Nun ist es zwar gewöhnlich, dass eben ästige Formen bei der Bildung des Kalksandes und den Umwandlungen, welchen die Fläche eines Riffes ausgesetzt ist, am leichtesten zerstört werden, ehe sie in Riffgestein übergehen, so dass z. B. ein Riffgestein, aus der *Madrepora* gebildet, keine einzige *Madrepora* enthält. WALTHER hält dafür, dass eben dieses Verhältniss die Ursache sei, dass man in manchen fossilen Riffen gar keine, oder nur in geringer Menge, verzweigte Formen antrifft. Es kommen sogar Fälle vor, wo ein ganz junger Korallenriffstein Korallen ganz vermisst, so dass das Ganze nur aus einer »strukturlosen« Kalkmasse besteht.

Wenn aber Formen, in Ästigkeit mit *Madrepora* vergleichbar, bei der Bildung der gotländischen Riffgesteine eine Rolle gespielt, so hätten sie, wenn auch nicht in dem Riffgestein selbst, wenigstens in dessen sedimentärem Aequivalent angetroffen werden müssen, z. B. in den Kalkbändern der niedrigeren Ufersteilen, die bei Lickershamn die »Klintar« verbinden, aber auch dort fehlen sie. Man könnte vermuthen, dass grosse verästelte Bryozoen die Rolle der *Madrepora* und anderer reich verzweigter Korallen gespielt haben, was ja auch möglich sein kann, da sie einen Teil der korallophilen Fauna ausmachen und in der unmittelbaren Nähe des Riffes gesteinsbildend auftreten. Jedenfalls sind Bryozoen an und für sich als schlechte Riffbilder zu betrachten, wahrscheinlich weil sie zu zerbrechlich sind. Wenn sie auch noch so dicht wachsen und zusammenhängende Bestände bilden, veranlassen sie meistens jedoch nur zoogene Lager, keine Riffe.

Schliesslich werden verästelte Formen gewiss nicht vermisst zur Zeit, wo sich die gotländischen Riffe aufbauten. Beispiele solcher sind:

*Favosites Lonsdalei* D'ORB., *F. clausus* LM. (not Rominger), *Striatopora calyculata* LM., *S. Halli* LM., *S. stellulata* LM., *Pachypora lamellicornis* LM., Arten der Gattung *Cyatophyllum* u. A. Ohne verzweigt zu sein, sind *Halysites* und *Syringopora* besonders geeignet, Kalksand festzuhalten und werden auch leicht verdorben. In Gesellschaft mit den mehr massiven Korallen, welche man im Riffgestein vorzugsweise findet, kommen auch Massen gewaltiger Stromatoporen und Kalkalgen vor. Diese sind jedoch vielleicht nicht als eigentliche Riffbilder zu deuten. Wenigstens haben sie, in so fern ich habe beobachten können, nicht allein Riffe erzeugen können, obschon die Kalkalgen 50 0/0 und mehr der ganzen Gesteinsmasse ausmachen können, z. B. in einem etwa einen halben Meter mächtigen Lager am Pulverkeller, N. von Wisby und am jetzt abgebrannten Bingersqvarn und in einem anderen etwa meterdicken Lager aus rostigen Kalkalgknollen in einem Steinbruch N. von Wisby. Dichtere, oder zum Teil kristallinische Gesteine, die zum grössten Teil aus Kalkalgen bestehen, werden zu technischen Zwecken sowohl bei Wisby wie im Kalkofen bei Bläse verwertet.

Dies braucht aber kein Beweis zu sein, dass die Kalkalgen nicht an anderen Stellen riffbildend gewirkt haben, denn es giebt ja sowohl in den Meeren der Gegenwart wie in den Silurlagern Gotlands auch Stockkorallen, die nicht Riffe bilden, sondern nur Lager.

Die Einzelkorallen, welche weder jetzt noch in Gotland Riffbilder sind, finden sich auch massenhaft in den Riffen Gotlands, dürften aber zur übrigen korallophilen Fauna gezählt werden.

Das zweite Element, woraus das Riffgestein besteht, ist der Kalksand. Ein grosser Teil der Kalksteine Gotlands besteht aus Kalksand, dessen Entstehung nicht mit der Bildung von Riffen in Verbindung gestellt werden kann. Er ist also ganz einfach ein zoogenes Sedimentationsmaterial, welches überall entstehen kann, wo Kalkorganismen in genügender Menge vorhanden sind und wo die Zerkleinerung der Kalkausscheidungen vorsichgehen kann. An Material zur Bildung von Kalksand mangelte es nicht in der an allen möglichen kalkausscheidenden Organismen so reichen obersilurischen Fauna. In der Gegenwart wird die Zerkleinerung der Kalkbildungen von einer ganzen Masse von Thieren bewerkstelt. Die Korallenstöcke werden kreuz und quer von bohrenden Organismen, Bohrmuscheln, Anneliden und bohrenden Spongien durchzogen. Die obersilurischen Muscheln Gotlands sind nicht beschrieben, so dass es schwer zu wissen ist, ob sich unter ihnen auch bohrende Arten etwa befunden haben. Ich habe aber in keinem gotländischen Kalkstein die auch im fossilen Zustande leicht kenntlichen Gänge dieser Thiere beobachtet. Dagegen kommen andere Gänge vor, welche deutlich gebohrt worden sind. Schon was die Jetztzeit betrifft, kennt man zu wenig von der Biologie der Meeresfauna um beurteilen zu können, welche all die Thiere sind, die sich an der Bildung des Kalksandes beteiligen, obschon nach

WALTHER Andeutungen vorkommen, dass eine ganze Masse von Organismen daran Teil nehmen, wie Bakterien, Naktschnecken und Echinodermen. Am wirksamsten in den jetzigen Riffen bei der Bildung des Kalksandes sind jedoch Fische mit Kauzähnen, die Holoturien, und die gefräßigen Dekapoden, welche letzteren alles, was sie nur können, zerbeißen und zerkneifen. Diese Thiergruppen werden aber während der Silurzeit vermisst und mit ihnen die vornehmsten Faktoren zur Bildung des Kalksandes. Die Trilobiten sind teils zu klein, als dass sie während der obersilurischen Zeit die Rolle der Dekapoden hätten spielen können, teils hätte man, selbst wenn dies der Fall gewesen wäre, schon seit lange her die Organe finden müssen, womit die Zerkleinerung ausgeführt worden wäre.

Losgebrochene Korallenstöcke können von der Brandung hin und her auf dem Riff gerollt werden und Schalen zermahlen, keine grössere Bedeutung aber kann man dieser Entstehungsweise von Kalksand zuschreiben.

Man muss also, was die gotländischen Riffe betrifft, einen neuen Faktor suchen, um die Entstehung des Kalksandes zu erklären und ein solcher bietet sich von selbst in den unzähligen Enkrinitkalken dar. Die Krinoideen, welche gegenwärtig so unbedeutend sind, finden sich in ungeheuren Massen in den Silurlagern Gotlands, wo sie den vielleicht allerwichtigsten Gebirgsbildern gehören. Auch besteht der meiste Kalksand in Gotland aus Stielgliedern dieser Thiere. Dieser Kalksand entsteht wahrscheinlich ganz einfach dadurch, dass die Krinoideen *von selbst* in ihre Kalkelemente zerfallen, in Stielglieder, Armglieder und Kronschilder. Besonders müssten nicht diese Schilder, wenn sie los vorkommen, von ihren ursprünglichen Fügen begrenzt sein, wenn dieser Kalksand durch eine äussere Gewalt entstanden wäre. Im Pterygotuslager habe ich Krinoideenkronen gefunden, deren Schilder zwar in Situ lagen, aber ganz los herausfielen, als die Platte gespalten wurde. Ein anderes Verhältniss, welches es wahrscheinlich macht, dass die Krinoideen von selbst zerfielen, ist die Weise, worauf die Stielstücke begrenzt sind, nämlich von natürlichen »Gliedflächen«. Und schliesslich, je gröber die Stiele sind, je gröber werden die Körner des Kalksands, so dass er oft zu einem gleichkörnigen Konglomerat wird. Auf diese Weise pflegen nicht die kalkbildenden Organismen zu wirken, welche dahin bestrebt sind, ihr Material zur selben geringen Körnergrösse hinunterzubringen.

Diese Eigenschaft der Krinoideen zu zerfallen, bringt also bei der Bildung des gotländischen Kalksands dasselbe Resultat hervor, wie dies bei der Bildung des gegenwärtigen Kalksands von dem ganzen Heer bohrender und zerbeissender Organismen erzielt wird. Krinoideenkalk z. B. aus dem Kohlenkalk und dem Muschelkalk dürften auf dieselbe Weise gebildet worden sein.

Schliesslich hatte eine ganze Masse der Kalkgebilde der korallophilen Fauna, ohne zerkleinert zu werden, schon die Korngrösse des Kalksands.

Teils weil ein Riff wirklich wächst, teils weil der Kalksand auf demselben festgehalten wird, während dass er da, wo eine Riffbildung nicht vorsichgeht, gleichförmig zu einem gewöhnlichen Lager verbreitert wird, hebt sich der Riff mehr als der übrige Meeresboden. Diese Höhenverschiedenheit muss natürlich an solchen Stellen grösser werden, wo in den Umgebungen des Riffes nur Detritusbildungen, die vom Riffe hinausgeschwemmt worden, abgesetzt werden, als da, wo eine wuchernde selbstständige Bildung organogener Kalklager vorsichgeht.

Stöcke aus riffbildenden Korallen bedürfen einer festen Unterlage. Wenn nicht Klippen oder Blöcke und Steine vorhanden sind, halten sich die Korallen an Kalkbildungen anderer Thiere. Ist der Anfang einmal gemacht, setzen sie sich auf einander, das Gebüsch wird dichter, Kalkalgen kitten die Partikeln zusammen und die Riffbildung ist bald im Gang. Auf Gotland sieht man sehr oft, auch ausserhalb des Riffgesteins, wie grössere Korallenstöcke auf kleineren befestigt sind, oder wie sie auf einer kleinen Brachiopodenschaale sitzen, oder wie sie irgend ein Fossilfragment zur Grundlage ihrer Bauten verwendet haben.

Man beobachtet sehr oft in Gotland nicht nur in den Korallenkonglomeraten, sondern auch in den Riffgesteinen die Korallen das Unterste oben liegen oder sonst andere Stellungen einnehmen als die ursprüngliche, aber dies vermehrt nur die Ähnlichkeit mit den jetzigen Riffen. Da die Fläche des Riffes oft in das Gebiet der Zeitenschwankungen hineinragt, können sehr leicht der Sturm und die Brandung Verwüstungen anstellen.

Auf mehreren Stellen ist unter dem Riffgestein ein Krinoideenlager gebildet worden, an dem dann der Riff sitzt. Pl. IX Fig. 1.

Wenn auf diese Weise ein Riff, wie jetzt die Riffe bei Lickershamn, auf einem weichen Gestein ruht, wie der Mergelschiefer des Lagers unter den Klintar, ist es natürlich, dass der Riff mit zunehmender Schwere in den weichen Grund hineinsinken muss und da er mächtiger ist, als das rein sedimentäre Seitengestein, tiefer sinken muss wie dieses. Die »Klintar« an dem Ufer des Ihrevik und Lickershamnsvik sind ein wenig in den Mergelschiefer hineingesunken. Zwar lässt sich denken, dass dies weit später geschehen, z. B. erst dann, wo sie Teile der jetzigen Ufersteile auszumachen anfangen, und zwar aus denselben Gründen wie an Berggipfeln so oft die Lager unter die Spitze einfallen. Dass spätere Störungen wirklich stattgefunden haben, ist daraus ersichtlich, dass an mehreren Stellen der Zusammenhang zwischen dem Riffgestein und dessen sedimentäres Aequivalent unterbrochen ist. Ich werde unten erklären, worin dieser Zusammenhang besteht. Da er aber an mehreren Stellen ungestört ist, ist man berechtigt zu folgern, dass die Senkung der Riffinseln mit deren zunehmender Schwere vorsichgegangen ist.

Wenn ein Riff z. B. an einer steilen Felsenwand und oberhalb des Meeresbodens befestigt ist, entsteht kein Zusammenhang zwischen dem Riffgestein und dessen sedimentärem Aequivalent. Ebenso wenn der

Riff zwar auf dem Meeresboden ruht, aber dann so steile Böschungen hat, dass keine Sedimente an demselben liegen bleiben. Hat der Riff dagegen einen ziemlich geringen Böschungswinkel, greifen das Riffgestein und die umgebenden sedimentären Lager in einander ein. Bei den gotländischen Riffen, um welche herum eine intensive Gesteinsbildung vorsichging, tritt dies besonders deutlich hervor. Diese Riffe haben auch eine sehr kleine horizontale Verbreitung und die Riffbildung hörte recht bald auf, so dass das ungeschichtete oder undeutlich geschichtete zum Teil gewachsene Riffgestein verhältnissmässig kleine linsförmige Anschwellungen innerhalb der deutlich geschichteten Lager bilden, die teils unter dem Riff unterteufen, teils sich über denselben hinaufheben. Diese haben eine stärkere Neigung wie jene. Auf einem Korallenriff ist nicht der ganze Riff von einem gleichmässig verteilten Bestand aus Korallen bedeckt, sondern diese bilden zusammenhängende oder getrennte Gebüsche, zwischen welchen sich Gänge und Höhlen winden. Es ist in diesen und ausserhalb des Riffes, dass der Kalksand abgesetzt wird, neue Korallgebüsche entstehen, alte sterben ganz oder teilweise hin, und verschieben sich bald hier, bald dort. Andere Gebüsche verzweigen sich, teilen sich und verwachsen mit ihren Nachbarn u. s. w. Eine Folge aller dieser Vorgänge ist, dass die Grenzen zwischen dem Sedimentationsgebiet und dem Riffbildungsgebiet sowohl innerhalb wie ausserhalb des Riffes unaufhörlich so schwanken, dass man nachher auf einem Profil in dem Eingreifen der Gesteine in einander diese Wechselungen ablesen kann.



Fig. 5. Grenzen zwischen dem Riffgestein und den Sedimenten. Schematisch.

Teils sieht man mitten im Riffgestein kleine auskeilende sedimentäre Lager oder Andeutungen zur Schichtung, teils ragen sedimentäre Lager in die Linsen hinein. Ferner beobachtet man, dass ein oder mehrere Lager, welche, so lange sie in dem Sedimentationsgebiet ihren Verlauf haben, verhältnissmässig dünn sind, bei ihrem Zusammentreffen mit der Rifflinse aber plötzlich aufschwellen, um sich bald in das ungeschichtete Riffgestein zu verlieren. Ebenso keilen Linsenenden zwischen den sedimentären Lagern aus. Gegen innen dagegen sind diese mit den Enden hinausragenden Linsen nicht begrenzt, sondern gehen in das allgemeine Korallengewirr über. Schliesslich ist es klar, dass auch die allergeringste Störung, diese mag nun während des Wachsens des Riffes oder später eingetroffen sein, besonders an dieser schon primär scharfen Grenze zweier Facies einen Ausdruck finden muss. Dieses spricht sich denn so aus, dass sedimentäre Lager, die nicht unter die Linse hinein verlaufen oder sich über dieselbe

aufbuchten, sondern zwischen diesen Lagern liegen ohne irgend einen Zusammenhang mit der Linse gegen dieselbe abtossen, und zwar auf eine Weise, die man sich nicht als primär leicht denken kann.

Das Gestein in der Steile oberhalb »Brunbergs betning« fasse ich als ein zoogenes sedimentäres Gestein auf, während dessen Absetzung bald hier bald dort wiederholte Ansätze zur Riffbildung stattgefunden haben, die jedoch bald wieder unterbrochen worden sind.

Bei Studien über zoogene Gesteine stösst man beständig auf Schwierigkeiten, die darin ihren Grund haben, dass die Thierformationen der Gegenwart theils nicht als solche beschrieben worden sind, und theils und besonders nicht einmal im geringsten Masse aus entwicklungsgeschichtlichem Gesichtspunkte studiert worden. Die Thierformationen des Meers bieten jedoch genügend viele Ähnlichkeiten mit den Pflanzenformationen auf dem Land, dass man wegen der grossen Aufschlüsse, die das Studium dieser veranlasst haben, gegründete Hoffnungen hegen kann, dass wir auch aus Untersuchungen in jener Richtung interessante Resultate zu erwarten haben. Ist z. B. ein Meeresgrund mit Ascidien bedeckt, eine Schlussformation, die bestehen wird, bis irgend ein äusserer Factor eingreift, oder ist diese Formation bloss ein vorübergehendes Stadium, ein Entwicklungsstadium, aus dem sich auf Grund noch unbekannter Konkurrenzgesetze andere Formationen entwickeln werden?

Auf der Entwicklung der Thierformationen dürften solche Erscheinungen beruhen, wie das wiederholte Auftreten einer zoogenen Schichtserie, wobei sowohl die ältere wie die jüngere Auflage denselben oder einen wenig abweichenden paleontologischen Charakter haben kann. Ein besonders schönes Beispiel einer derartigen Wiederholung sogar dreier Lager habe ich innerhalb der oberen Maastrichterkreide beobachtet.

{Bryozoenlager	0,75 M.
{Harte Bank mit Anthozoa und Bohrmuscheln	0,50 M.
{Tuffkreide	4—5 M.
{Bryozoenlager	1 M.
{Harte Bank mit Anthozoa und Bohrmuscheln	0,50 M.
{Tuffkreide	9 M. <sup>1</sup>

Die Tuffkreide besteht hauptsächlich aus scharfkantigem Kalksand, in welchen Echinodermfragmente eine hervorragende Rolle spielen. Die beiden anderen Lager sind aus sedimentären Thieren entstanden. Die Anthozoaabänke sind einem Riffgestein so ähnlich, dass man sie dafür halten würde, wenn das Lager nicht im Verhältnisse zu seiner weiten Verbreitung zu dünn wäre. Die Bryozoenlager bestehen zum grössten Teil aus nicht

<sup>1</sup> UBACHS, C.: De geologische Aardvorming van Limburg. Voordracht, gehouden te Amsterdam in het 11e Natuur en Geneskundig Congres van Nederland 1887.

abgeriebenen Bryozoen, deren Basalteile noch auf den Anthozoabänken zu sehen sind und von wo sich sogar noch vereinzelt Exemplare erheben.

Wenn man nun in der Succession recenter Thierformationen Vergleichungsmaterial hätte, würde man vielleicht finden, dass die Lagerfolge von Unten nach Oben aus Tuffkreide, Anthozoakalk und Bryozoenlager eine Erscheinung wäre, die nur auf einer entwicklungsgeschichtlichen Succession der Thierformation beruhte, welche die Tuffkreide bildete, und dass nur ein Mal ein etwa geologischer Faktor verändernd eingegriffen und das Ganze auf den Status quo ante zurückgeführt, so dass es wieder anfang, Tuffkreide gebildet zu werden. Ein anderes Beispiel solcher Wiederkehrung eines Lagers bieten die 6 Cystiphyllumbänke in St. Carlsö dar.

Das Krinoide- und Korallenkonglomerat, welches oberhalb des Lagers liegt, dem die Korallenriffe der nördlichen Westküste Gotlands gehören, ist ein Produkt der Thierformationen, welche der korallophilen Fauna folgten. Ob diese neue Thierformation aber mit der vorhergehenden genetisch verbunden ist, lässt sich nicht gegenwärtig entscheiden.

Die jetzigen riffbildenden Korallen leben in sehr seichtem Wasser, in der seichteren Flachsee oder litoral, zum Theil innerhalb der Zeiten. Theils gibt es keinen Grund, dass die gotländischen Korallen weniger Bedürfniss des Lichts gehabt hätten, als die recenten, teils findet man in dem gotländischen Riffgestein zahlreiche Beweise für die Wirkung der Brandung. Steht der Meeresboden still, oder hebt er sich, wird die Riffbildung gegen oben von der Meeresfläche begrenzt und der Riff breitet sich dann aus, statt in die Höhe zu wachsen. Das oberhalb des Riffgesteines liegende Lager aus Krinoideen und Korallenkonglomerat ist eine deutliche Litoralbildung. Während der ganzen Bildungszeit der Lager *d* und *f* muss also eine positive Niveaushiftung vorgegangen sein, wenigstens so gross wie die Mächtigkeit dieser beiden Lager. Während eines positiven Meereswandels wachsen die Riffe in die Höhe, so dass ihre Fläche etwa dem Ebbniveau folgt und eine Niveaushiftung dürfte niemals so rasch vorgehen, dass ihr die Riffbildung nicht folgen kann. Hier in Gotland hätte also die Riffbildung fortgesetzt werden können, was auf diesen Faktor ankommt. Andeutungen einer Riffbildung kommen ja auch in höheren Lagern vor, wovon die Steile bei »Brunsbergs betning« ein Beispiel ist.

Die Lager *b* und *c* bestehen wesentlich aus terrigenem Schlamm. In dem Lager *d* wechseln Sedimente aus Schlamm und Kalksand. In den oberen Lagern bestehen meistens alle Sedimente aus organogenem Material.

Schon der Umstand, dass die Gesteine in so hohem Grade organogen sind, deutet an, dass das Wasser während der Bildung derselben wenig terrigenes Schlamm enthalten hat, denn es dürfte als Regel gelten,

dass mehr bedeutende Ansiedelungen sedentärer Organismen nur in verhältnissmässig reinem Wasser leben können. Auch sind die fraglichen Gesteine verhältnissmässig arm an thonigem Material, welches man sich jedoch, wenn nicht obige Ursache hinzukäme, durch die Annahme erklären könnte, dass der terrigene Schlamm wohl im Wasser vorhanden gewesen wäre, aber nicht zur Ablagerung gelangt. Wenn aber wirklich terrigener Schlamm vorhanden gewesen wäre, dürfte er jedoch besonders von den weiten, zusammenhängenden Krinoideenrasen aufgefangen worden und zum Niederschlag gebracht worden.

---

Der ganze obere Kalkstein ist auf seichtem Wasser gebildet, zum Teil ganz litoral, zum Teil in der Flachsee. Die Cephalopodenlager sind solche Flachseebildungen und bedeuten vielleicht, dass die positive Niveauverschiebung, welche während der ganzen Bildungszeit des oberen Kalksteines vorsichging, während der Bildung dieser Lager angefangen schneller fortzugehen als vorher, schneller, als dass die Sedimentation mit ihr gleichen Schritt halten konnte.

Der unterliegende Mergelschiefer dagegen dürfte in tieferem Wasser, natürlich noch immer in der Flachsee, abgesetzt worden sein. Da aber die Lager von *d* ab gegen oben in seichtem Wasser gebildet worden sind und während einer positiven Niveauverschiebung, muss man sich denken, dass die Grenze zwischen *c* und *d* mit einem Zeitpunkt zusammenfällt, wo der Meeresgrund entweder durch Sedimentation oder infolge einer negativen Niveauverschiebung der Meeresfläche so nahe gekommen, dass riffbildende Korallen anfangen konnten, auf denselben Ansiedelungen zu bilden und ihre Bauten zu begründen. Mithin muss der Mergelschiefer entweder während eines Ruhestadiums der Niveauverschiebungen, oder während einer negativen Verschiebung gebildet worden sein. Es ist ferner leicht einzusehen, dass während der Bildung des Lagers *c* ein Land in SO lag, da die Grenze zwischen dem Mergelschiefer und dessen Aequivalent, dem Sandstein, der in einem mehr litoralwärts gelegenen Teil der Flachsee gebildet worden ist, in etwa nordöstlicher Richtung verläuft. Hiermit dürfte auch der Umstand zusammenhängen, dass die verschiedenen faunistischen Facies des Mergelschiefers in dieser Richtung ihre Längenausdehnung haben.

Während der Bildung des Lagers *d* zeigt auch dasselbe Gebiet, wo vorher der Sandstein abgesetzt wurde, eine petrographische Abweichung vor, indem dann hier Oolit gebildet wurde, welcher in der Gegenwart eben in dem nicht frischen Wasser zwischen dem Ufer und dem lebenden Aussenrand der Riffe gebildet zu werden pflegt. Der obere Kalkstein dagegen zeigt über ganz Gotland gleichartige Facieswechselungen vor, welche schon teilweise im Lager *d* mehr auf dem Konkurrenzgesetz der gesteinbildenden Organismen beruhen dürften, als auf geologischen Verschiedenheiten innerhalb ihres Bildungsgebiets. Solche oft lange fortdauernde kon-

kurrierende Organismenansiedelungen bilden Korallen, Krinoideen, Stromatoporen, Kalkalgen u. A., welche oft ein undeutlich geschichtetes Gestein bilden, dessen eventuellen Riffgesteinnatur ich wenigstens nicht habe nachweisen können. Meistens bilden sie jedoch deutlich sedimentäre Lager.

Die recenten Riffkorallen gedeihen, von anderen Faktoren abgesehen, nur innerhalb der Isokrymen von  $20^{\circ}$  C. Hieraus darf man natürlich nicht etwa folgern, dass, da in silurischer Zeit in Gotland Korallenriffe vorkamen, die Isokryme von  $20^{\circ}$  C, damals nördlich von diesen Riffen ihren Verlauf hatte. Da aber die Oberfläche eines Korallenriffs etwa innerhalb der Zeiten liegt, kann man sich nicht vorstellen, dass das Silurmeer, da, wo die gotländischen Riffe vorkommen, während des Winters eisbedeckt wurde und, um diese Bedingung zu erfüllen, braucht man keine mehr erheblichen Anomalien des Klimas von dem jetzigen anzunehmen.

## Litteraturverzeichniss

- ANDERSSON, J. G.
1. Om öländska raukar. Bih. till K. Svenska Vet.-Akad. Handlingar Bd. 21. Afd. II N:o 4. 1895.
- LINDSTRÖM, G.:
2. Anteckningar om Silurlagren på Stora Carlsö. Öfvers. Vet.-Akad:s Förhandlingar 1882. N:o 3.
  3. Om postglaciala sänkningar af Gotland. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar N:o 102. Bd. VIII H. 4. p. 251. 1886.
  4. Ueber die Schichtenfolge des Silur auf der Insel Gotland. Neues Jahrbuch 1888. Bd. I. S. 147.
  5. List of the Fossil Faunas of Sweden II. 1888.
  6. Beschreibung einiger obersilurischen Korallen aus der Insel Gotland. Bih. till K. Svenska Vet.-Akad. Handlingar Bd. 21. Afd. IV N:o 7. 1896.
- STOLLEY, E.:
7. Ueber gesteinsbildende Algen und die Mitwirkung solcher bei der Bildung der Skandinavisch-baltischen Silurablagerungen. Naturwissenschaftliche Wochenschrift. XI. Band N:o 15. 1896.
- WALTHER, JOHANNES:
8. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Jena 1893/94.

---

## Erklärung der Tafeln.

### Pl. VIII.

- Fig. 1. Häflingsklint N von Ihre.  
Fig. 2. Der 6<sup>ste</sup> »Klint» gegen SW von Lickershamn.

### Pl. IX.

- Fig. 1. Der »Klint» bei »Predikstolen» N von Wisby.  
Fig. 2. Svarfven oder Svarfvarhuk an der östlichen Mündung von Kapellhamnviken. (Nach einer Photographie von J. G. ANDERSSON 1894.)

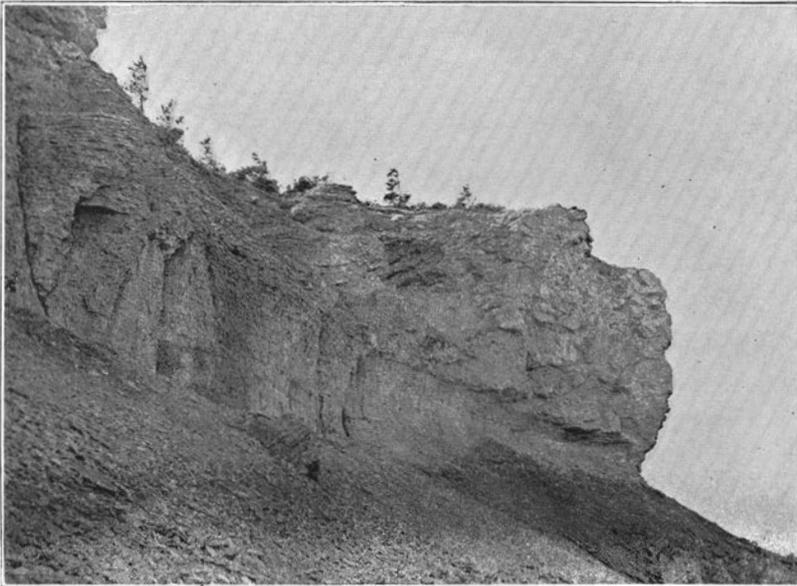
### Pl. X.

- Fig. 1. »Klint»-Ruine SW von Lickershamn.  
Fig. 2. »Die Jungfrau» bei Lickershamn. Links »Klint» aus Mergelschiefer. Rechts in der Ferne ein »Klint» aus Riffgestein. (Nach einer Photographie von C. BENEDICKS 1894.)

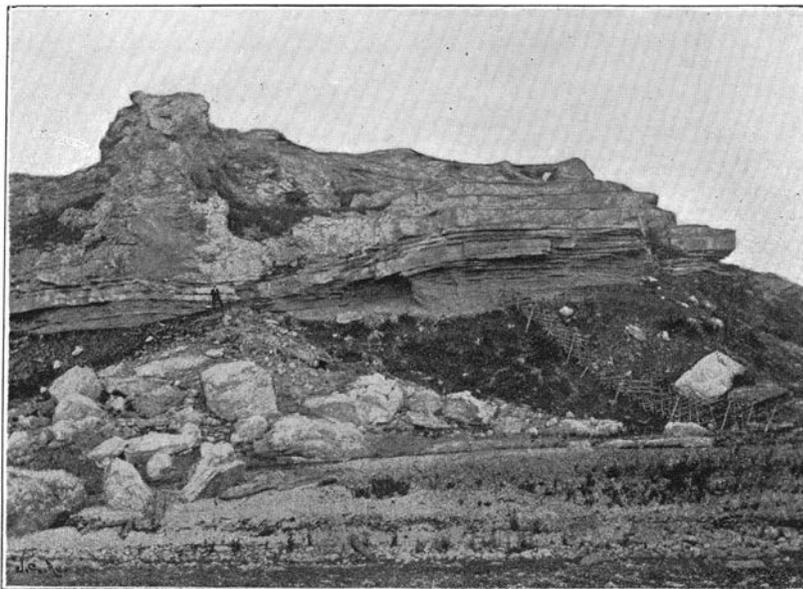




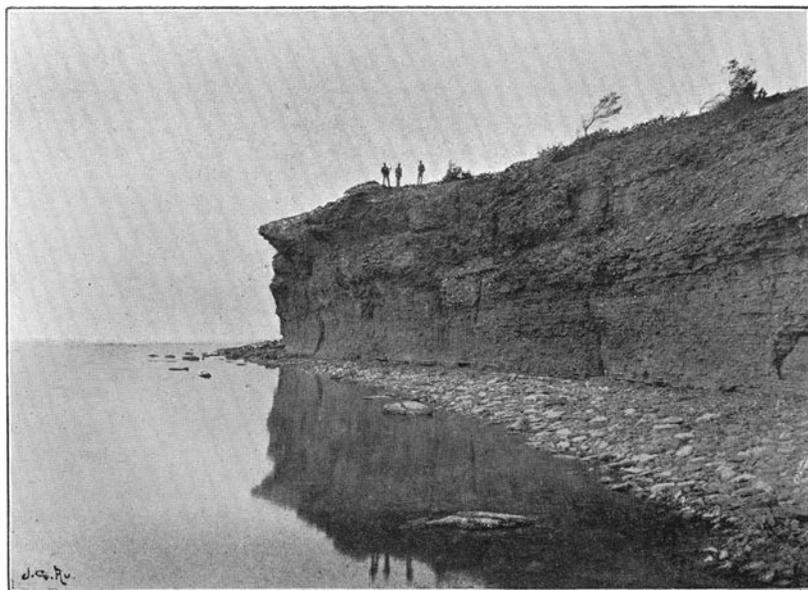
*Fig. 1.*



*Fig. 2.*



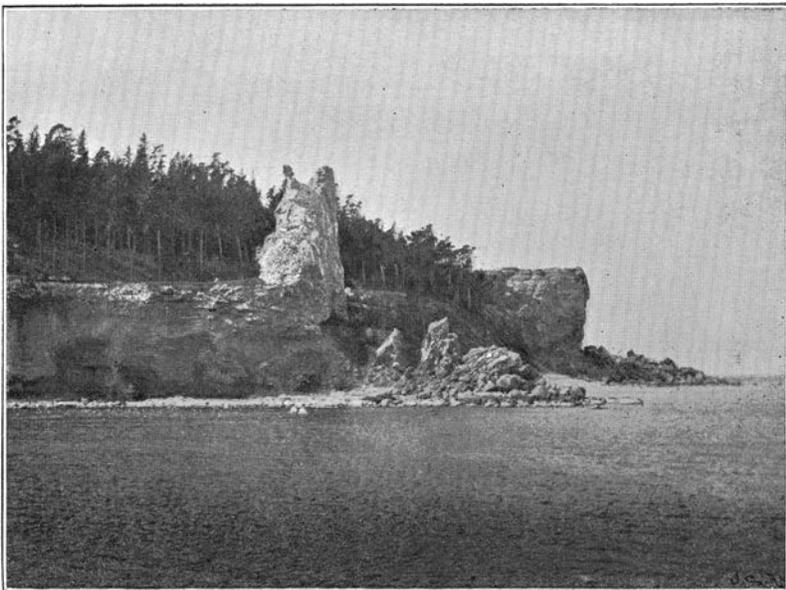
*Fig. 1.*



*Fig. 2.*



*Fig. 1.*



*Fig. 2.*