Est. A-3551

TARTU ÜLIKOOLI GEOLOOGIA-INSTITUUDI TOIMETUSED.
№ 11 PUBLICATIONS OF THE GEOLOGICAL INSTITUTION № 11
OF THE UNIVERSITY OF TARTU.

# Bericht

## über geologische Untersuchungen am Kaalijärv (Krater von Sall) auf Ösel

von

**I. Reinwaldt.**

Mit Beiträgen

von

**A. Luha.**

Mit 1 Textfigur und 8 Tafeln.

Geoloogia Instituut.
Tartu 1928.

K. Mattiesen'i trükk, Tartus.

# Bericht über geologische Untersuchungen am Kaalijärv (Krater von Sall) auf Ösel.

Von I. Reinwaldt, Bergingenieur.

Mit Beiträgen von A. Luha, Assistent am Geologischen Institut, Tartu.

Est. A
Tartu R... U...
Raamatukogu
31930

## Vorbemerkung.

Die vorliegende Arbeit ist durch Zusammenwirken der Bergabteilung des Estnischen Handels- und Industrieministeriums, des Geologischen Instituts der Universität Tartu (Dorpat) und der Naturforscher-Gesellschaft derselben Universität zustandegekommen.

Den Hauptanteil der Arbeit hat der Berginspektor Bergingenieur I. Reinwaldt geleistet, dem von dem Direktor der Bergabteilung Herrn Bergingenieur J. Kark neben anderen geologischen Untersuchungen auf Ösel im Sommer 1927 auch die Aufgabe gestellt wurde, den Krater von Kaali (Sall) und Umgebung zu untersuchen.

Dabei sollte durch Bohren und Schürfen versucht werden, neue Daten zu erlangen, die möglicherweise zur Auffindung von nutzbaren Ablagerungen führen und zur Klärung der Entstehungsfrage des Kraters beitragen könnten.

Die Feldarbeiten wurden im Laufe des Septembers und Oktobers 1927 ausgeführt.

Ein vorläufiger Bericht über die wichtigsten Resultate, nebst einem geschichtlichen Überblick der Frage wurde von A. Luha 3. XI. 27 in einem Vortrag in der Naturforscher-Gesellschaft gegeben, während I. Reinwaldt einen ausführlichen Bericht 18. XI. 27 im Verein Estnischer Ingenieure in Reval erstattete. Dieser Vortrag bildet den Hauptabschnitt der vorliegenden Arbeit, während der Unterzeichnete Geschichtliches, Literaturangaben und Anmerkungen, sowie die Übersetzung aus dem Russischen besorgte. Herr K. Duhmberg hat freundlichst die Übersetzung durchgesehen, wofür ich ihm aufrichtig danke.

## Inhaltsangabe.

Eine neue sorgfältige Besichtigung, Ausmessung und Nivellierung des Kaalijärv (Krater von Sall) und Umgebung auf der Insel Ösel gibt ein bei weitem genaueres Bild dieser Gegend als bisher. Besonders durch Schürfungen im Walle des Kaalijärv selbst als auch in zwei kleineren Vertiefungen sind ganz eigenartige aber übereinstimmende Verhältnisse der Kraterränder, zum Teil auch der Kraterböden aufgedeckt worden.

Eine Diamantbohrung bis zur Tiefe 63.14 m am Fusse des Walles und flachere Bohrungen und Sondierungen im Kaalijärv selbst sowie hydrometrische Beobachtungen ergänzen die Schurfarbeiten. Die Zusammenfassung der Ergebnisse siehe S. 45.

Als Hauptergebnis erweist sich die Abweisung aller anderen Entstehungshypothesen (Übersicht S. 33) ausser der Meteoritenhypothese, die ausgeführt und zur Erklärung des Beobachteten angewandt wird.

Zum Schluss wird ein Programm für weitere Arbeiten zur selben Frage aufgestellt und der Vorschlag gemacht, das Kaalische Kraterfeld unter Naturschutz zu stellen.

Geschichtliches, Anmerkungen über den geologischen Aufbau und Gesteinsuntersuchungen sowie Literaturangaben vervollständigen die Arbeit.

Tartu (Dorpat) Februar 1928.

**A. Luha.**

---

## Bericht über geologische Untersuchungen am Kaalijärv.
(Krater von Sall.)

Auf der Insel Ösel, ca 20 km nordöstlich von Kuressaare (Arensburg) befindet sich hart neben dem ehemaligen Gutsgebäude von Kaali (Sall) ein kleiner runder See (ca 60 m im Durchmesser). Eine Eigentümlichkeit dieses Sees bildet der ihn umgebende konische Wall, welcher sich über die ebene Umgebung auf ca 6 m erhebt.

Von aussen ist dieser Wall durch die ihn dicht bewachsenden Bäume maskiert, wenn man aber in das Innere eintritt, so bietet sich dem Auge ein kleiner runder See dar (Taf. I, Fig. 1), welcher tief auf dem Grunde einer kesselartigen Vertiefung liegt, deren Abhänge dicht bewaldet sind.

Das Ganze erweckt den Eindruck eines Kraters, welcher auf dem Grunde Wasser führt.

Auf der inneren Seite des den See umgebenden Walles sind an mehreren Stellen Dolomitbänke entblösst, die ein Fallen von der Mitte des Sees nach aussen aufweisen (Taf. I, Fig. 2).

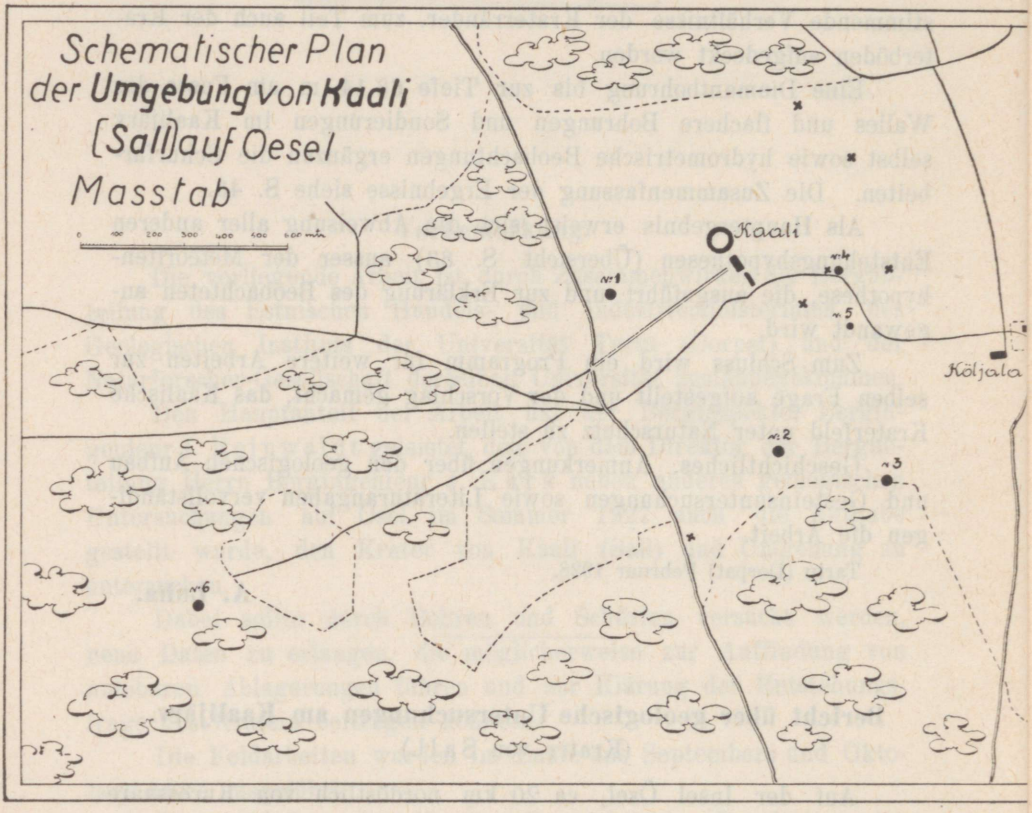



Fig. 1.

Schematischer Plan der Umgebung von Kaali (Sall) auf Oesel. Der schwarze Ring ist der Kaalijärv (Krater von Sall). Die kleinen schwarzen Kreise (numeriert) — die kleineren Krater. Kreuzchen — die bemerkten problematischen Vertiefungen, mit Steinen erfüllt, in den Feldern.

Ausser diesem See ist in der Umgebung noch eine Anzahl von kleinen kesselartigen Vertiefungen vorhanden, offenbar nicht künstlicher Entstehung, die keinen überhöhenden Wall aufweisen. Ihre Anzahl und Anordnung ist auf der

beigefügten kleinen Karte (Fig. 1) angegeben, und ihre nähere Beschreibung wird weiter unten folgen.

Die erwähnten Besonderheiten haben schon seit langem das Interesse sowohl der weiteren Kreise, als auch der Gelehrten erweckt. Die Bevölkerung hat eine Menge von Legenden über den See und seine Entstehung bewahrt, die kleinen Vertiefungen dagegen haben die Aufmerksamkeit des Volkes nicht erregt. Die Existenz einiger der letzteren haben jedoch die gelehrten Beobachter mehrmals vermerkt und denselben neben dem grossen Krater eine gemeinsame Entstehungsweise zugeschrieben (siehe Geschichtliches).

Die hauptsächlichsten Entstehungshypothesen könnte man wie folgt zusammenfassen, wenn man von einer künstlichen Entstehung (E. Eichwald, Fr. Schmidt) als Bauernburg — absieht:

1. Gaseruption oder — explosion, wobei den Gasen entweder ein vulkanischer (Wangenheim v. Qualen) oder chemischer (Zersetzung des Dictyonemaschiefers — v. Linstow) Ursprung zugeschrieben wurde.
2. Aufquellen von unterirdischen tonigen Schichten und Fortschwemmen derselben durch Wasser (Fr. Schmidt).
3. Karsterscheinung (E. Eichwald, S. Kutorga, B. Doss).
4. Meteoritenschlag (J. Kalkun, A. Wegener).[1])
5. Salz- oder Anhydritanschwellung (E. Kraus).[1])

---

1) Während unserer Arbeiten (im September 1927) besuchten uns in Kaali u. a. der berühmte Geophysiker Prof. A. Wegener-Graz, in Begleitung von Prof. E. Kraus-Riga und Prof. R. Meyer-Riga. Nach der Voraussetzung des ersteren könnte diese Gruppe von Trichtern durch einen grossen Meteoritenfall verursacht sein. Nach Prof. E. Kraus könnten die Schichtenköpfe durch Anschwellung eines Salz- oder Anhydritstockes emporgehoben sein und der Auflösung dieser Stöcke folgte ein Nachfallen der zentralen Teile in die Tiefe.

Der Zeitpunkt der Entstehung dieser Vertiefungen erweckte gleichfalls verschiedene Ansichten: Prof. A. Wegener sieht dieselben als nacheiszeitlich an, während Prof. E. Kraus auf Grund der Beobachtung, dass die Vertiefungen gewöhnlich reichlich Geschiebeblöcke aufweisen, für möglich erachtete, die Entstehung in die letzte Zwischeneiszeit zu versetzen. Dass der grosse Krater und die kleinen Vertiefungen eine gemeinsame Entstehungsursache hätten, darüber waren beide Gelehrten der gleichen Meinung.

Prof. A. Wegener arbeitete in Kaali etwa fünf Tage und führte unter Assistenz von Prof. R. Meyer eine Vermessung des grossen Kraters mittels Bergkompass, Libelle und selbstgemachter Visierlatten aus.

Dieser Reichtum am Hypothesen ist, wie es allgemein zu sein pflegt, aus Mangel an Beobachtungsmaterial entstanden. Keine Versuche, den Kreis an Beobachtungstatsachen zu erweitern oder wenigstens genaue Messungen vorzunehmen, sind bis zur allerletzten Zeit gemacht worden. In der vorliegenden Arbeit möchte der Autor einen Bericht über die von ihm in dieser Richtung geleiteten Arbeiten und erreichten Ergebnisse erstatten.

Eine vorläufige Besichtigung des grossen Kraters[1]) ergab Folgendes: Der zentrale Teil des Kraters ist bedeutend tiefer als die umgebende Ebene. Die Kraterränder sind auf der Westseite etwas höher als im Osten. Im ganzen inneren Umkreis des Kraters ragen an vielen Stellen grosse Dolomitschollen hervor (Taf. I, Fig. 2), die mit dem Anstehenden der Umgebung offenbar identisch sind und überall nach aussen fallen. Alle diese Entblössungen sind im oberen steilen Abschnitte des Abhanges lokalisiert, wo die Schollen sogar dachartig überragen können. Die Fallwinkel sind verschieden: die gemessenen Winkel sind 40°, 26°, 46°.—60°, 49°, 30°.—22°.—35°.— 38°.—50°, 40°, 50°.—35°, 40°, 37°.—53°.— 20°.—36°.—45°.—26°.—35°.—60°.—43°.—38°, (von S über O nach N und W, die in derselben Entblössung gemessenen Fallwinkel sind von denen einer anderen durch einen Strich geschieden).

Wie man aus dieser Zahlenreihe sieht, sind die Fallwinkel auch in einer und derselben Entblössung verschieden und überhaupt kann man in der Reihe (im Gegensatz zu Wangenheim 1849, Holzmayer 1880, Linstow 1919) keine Regelmässigkeit erblicken. Am meisten treten hervor die Winkel von 35°—45°.

Tiefer als dieser Entblössungsgürtel liegt die Schutthalde, deren Gefälle mehr oder weniger konstant ist.

Die Breite dieses Gürtels ist unbeständig: im Westen verschwindet er fast ganz, während er im Osten und besonders im Südosten sehr stark entwickelt erscheint. Im unteren Teil des Gehänges liegen überall einzelne Dolomitblöcke herum, besonders reich daran sind die N- und NW-Seite des Kraters. Grosse Blöcke befinden sich auch, obwohl viel seltener, im obersten Teil des Walles, über den entblössten Dolomitbänken. Im allgemeinen hat

1) In der weiteren Darstellung werden alle erwähnten Vertiefungen als Krater bezeichnet, womit nur ihre Erscheinungsform, keineswegs aber die Entstehungsweise fixiert sei.

die Vertiefung die Form eines fast kreisrunden Kessels und führt am Grunde Wasser [1]).

Da es sich bei der vorläufigen Besichtigung erwies, dass der verschüttete Teil des Kraterabhanges eine ansehnliche Höhe hat, so schien es geboten, zu allererst hier das Anstehende aufzudecken.

Der erste Einschnitt wurde im südlichen Teile des Walles vom oberen Rande bis zur Wasseroberfläche gemacht (s. die vier letzten Tafeln). Es erwies sich, dass die oben entblösste Zone der aufgerichteten Dolomite sich auch unter dem Schutt fortsetzt und eine Mächtigkeit von etwa 8 m besitzt. Es wechseln dabei massivere, teilweise konkordant fallende Dolomitschichten mit dünneren, schwächeren und tonigen Dolomiten. Die Fallwinkel sind nicht ganz gleich und örtlich sind die Schichten sogar zerdrückt. Im unteren Abschnitte dieser aufgerichteten Zone kann man steile, fast saiger gestellte Schichtköpfe beobachten.

Unter der Dolomitzone wurde ein Gestein aufgedeckt, dessen Erscheinungsform im auffallenden Gegensatz zum Hangenden steht. Dieses Gestein hat das Aussehen eines weissen etwas gelblichen Pulvers, welches viele kleine eckige Splitter, anscheinend Dolomit, enthielt, die aber bedeutend lockerer waren als dieser und leicht zwischen den Fingern zerrieben werden konnten; seltener fanden sich grössere und härtere Stücke. (Siehe Anmerkung 1, S. 60).

Die Grenze zwischen diesem Gestein und der Schutthalde

---

1) Gegenwärtig hat das natürliche Bild des Kraters durch Menschenhand gelitten: Die früheren Besitzer des Gutes (v. Moller) haben viel Mühe und Mittel zur „Verzierung“ des Kraters verwendet. Auf dem Wallrücken führt ein Fusspfad um den Krater herum, an der SW-Seite ist der Wall bis zur halben Höhe durchbrochen, um bequemer an den See zu gelangen. Innerhalb des Kraters ist am Eingang eine Plattform errichtet mit einem grossen Steintisch. Auf den inneren Abhängen führen mehrere Fusspfade zum See. An der Ostseite ist offenbar eine Brücke, vielleicht für ein Badehäuschen, und daneben ein Gartenhäuschen errichtet gewesen. Auch auf dem oberen Ringstege haben sich Gartenhäuschen befunden. Endlich ist in die Mitte des Sees eine Menge von Gesteinsblöcken geschafft worden und dieser Steinhaufen verdeckt die Mitte des natürlichen Seegrundes. Auf dem Steinhaufen sollte ein Monument errichtet werden, da der Haufen sich aber setzte, ist diese Idee aufgegeben worden. Nach Angaben alter Einwohner, die an der Errichtung des Steinhaufens teilgenommen haben, hat man dazu teils von aussen her Steine angeführt, teils entblösste Gesteinsplatten von der inneren Wand abgebrochen. Bei allen diesen Arbeiten nicht verbrauchte Materialien liegen an den Abhängen herum und vermischen sich mit dem Material der Schutthalde.

(Taf. II, Fig. 1) ist oben geneigt, wird je tiefer desto steiler und zuletzt ganz lotrecht. In die Tiefe konnte das Gestein oberhalb des Grundwasserspiegels bis zu einer Mächtigkeit von 4, 6 m angeschürft werden. In den der Arbeit folgenden nächsten Tagen stieg das Wasser noch 2 m und verdeckte dementsprechend den Einschnitt unten.

Ein zweiter Einschnitt wurde an der entgegengesetzten nördlichen Kraterwand gemacht (s. die vier letzten Tafeln). Auch hier konnte festgestellt werden:

1. Oben eine Folge von dickbankigen und dünneren tonigen Dolomiten, aber etwas mehr gestört als im Süden, im unteren Abschnitte dieser Zone auch sehr steile bis sogar etwas überkippte Schichtenköpfe. Nach unten zu wird diese Folge noch mehr gestört und verliert die Eigenschaften eines geschichteten Gesteines.

2. Unter dieser oberen Zone ein gleiches pulverähnliches Gestein wie im südlichen Einschnitt, welches wegen des hohen Wasserstandes aber nur bis zu einer Mächtigkeit von 2 m aufgedeckt werden konnte. In diesem Abschnitt ist s e i n e Grenze zur Schutthalde geneigt und ein Übergang in eine lotrechte Stellung nicht zu beobachten.

Also stimmen beide aufgedeckten Profile in allen wesentlichen Merkmalen überein.

Um das Profil im Krater mit demjenigen ausserhalb desselben vergleichen zu können, wurde im Hofe vor dem Gutsgebäude, also am Fusse des Kraters, ein Bohrloch angesetzt (Diamantbohrung), welches bis zur Tiefe von 63,14 m geführt wurde. Die ganze durchsunkene Schichtenfolge besteht ausschliesslich aus söhlig gelagerten Dolomiten, wobei sich einheitlich dickbankige mit mehr tonigen und dünnschichtigen abwechseln. Das Gestein ist allgemein porös, stellenweise kavernös. Nach unten wächst der Toninhalt immer mehr und zuunterst kommen sogar Zwischenlagen eines plastischen Tones vor. Nichts, was dem weissen Gesteinsmehl des Kraterinneren ähnelte, wurde angetroffen (s. Anmerkung 2, S. 63).

In Anbetracht dieser Ergebnisse schien es notwendig zu sein, folgendes aufzuklären:

1. die Mächtigkeit des Gesteinsmehls und
2. sein Verhältnis zu den aufgerichteten Schichtenköpfen, mit anderen Worten — seine vertikale und horizontale Ausdehnung.

Mit diesem Ziele wurden angesetzt:

1. ein lotrechtes Bohrloch durch das pulverartige Gestein (unten

Diamantbohrung), daneben wurde ein Sondieren der Schutthalde bis zum Anstehenden mit einem kleinen Meisselbohrer ausgeführt (siehe Bohrloch I u. II, Pläne u. Profile).

2. ein Stollen, der dasselbe Gestein in horizontaler Richtung durchteufen sollte, in einer Höhe von 3 m unterhalb der oberen Grenze des Pulvers (gemessen bis zur Diele des Stollens).

Das Bohrloch (Taf. VI u. VIII, № I) ergab, dass das zu untersuchende Gestein bis zu einer Tiefe von 6 m von seiner oberen Grenze reicht. Weiter unten kommen kleine Stücke (vielleicht zerbrochene Schichten) und noch tiefer, bei ca 9, 5 m liegen anstehende söhlige Schichten. Aus den letzteren wurde mit dem Diamantbohrer eine Probe von $1^1/_2$ m Tiefe genommen, aus der eine söhlige Lagerung zu ersehen war.

Das Sondieren (in № II, Taf. VI u. VIII) deckte unter dem Schutt einen festen Widerstand auf, etwa im selben Niveau, wo die söhligen Schichten des obengenannten Bohrloches angetroffen wurden.

Der Stollen (St, Pläne u. Profile) zeigte, dass die horizontale Ausdehnung des Pulvers in dieser Höhe nur $2^1/_4$ m betrug. Das Gesteinsmehl legt sich an eine Folge von tonigen dünnschichtigen Dolomiten von innen an, wobei die Grenze zwischen beiden sehr deutlich erscheint. Die genannten Dolomitschichten fallen unter $80^0$ nach aussen, sind in rechteckige Stücke gebrochen, aber doch soweit erhalten, dass man ihre Lagerung gut feststellen konnte.

Durch diese Beobachtungen kommen wir zum Schlusse, dass das Gesteinsmehl nicht als eine Schicht zwischen den anderen lagert, sondern im inneren Umkreis des Kraters am Anstehenden liegt, welches im Kontakt mit dem Pulver seitlich eine steile Aufrichtung, überall aber eine Zerstörung der Schichten aufweist.

Der Kürze halber werden wir in der weiteren Darstellung die obere Zone, wo die aufgerichteten Schichtenköpfe überwiegen, die Aufrichtungszone, und die untere überwiegend zerstörte, die Zerstörungszone nennen. Horizontale Schichten, die durch die Bohrung unter den zerstörten aufgedeckt wurden, gehören offenbar zur ungestörten Schichtenfolge des Anstehenden und werden im folgenden die söhlige Zone genannt.

Neben diesen Arbeiten im grossen Krater wurde eine Untersuchung der kleinen ausgeführt.

Noch Fr. Schmidt hatte bemerkt, dass der Krater I (Fig. 1, Pläne u. Profile) an den Rändern nach aussen fallende Schichten,

ganz ähnlich dem grossen Krater aufweist. In der Gegenwart hat man eine Menge von grossen Geschiebeblöcken von den Feldern in diese Vertiefung geworfen, wo dieselben die Ränder verdecken. Dessenungeachtet konnte man bei einer sorgfältigen Besichtigung [1]) an 4—5 Stellen zwischen den Geschiebeblöcken aufgerichtete Ränder von anstehendem Dolomit entdecken.

In diesem etwa 32 m im Durchmesser aufweisenden Krater wurden drei Einschnitte (s. Pläne u. Profile) von den Rändern in der Richtung zur Mitte angesetzt, mit Abweichungen von dieser Richtung, wo es auf Grund des beim Graben aufgedeckten als geboten erschien. Der zweite Einschnitt, welcher sich mit dem ersten kreuzt, wurde angelegt, um einige Undeutlichkeiten im unteren Abschnitt des letzteren aufzuklären, während der dritte den zwei ersten gegenübersteht.

In allen drei Einschnitten war das aufgedeckte Profil (Taf. V) vollständig analog demjenigen der Ränder des grossen Kraters.

Auch hier beobachtet man eine Aufrichtungszone, nur in entsprechend kleinerem Masstabe — statt 8 m Mächtigkeit hier nur $1^1/_2$ — 2 m. Die Fallwinkel sind hier ebenso regellos wie dort: im ersten Einschnitt wurden Winkel von 25°, 27°, 30° beobachtet, im zweiten — 30°, 19°, im dritten 44° und 35°. Gewöhnlich werden die Fallwinkel in der Richtung nach unten kleiner, ähnlich wie im grossen Krater.

Unter der Aufrichtungszone liegt hier gleichfalls eine Zerstörungszone, nur mit etwas schwächeren Zerstörungserscheinungen: auch hier erscheint das weisse Pulver, aber nicht in derselben auffallenden Menge. Der grösseren Gesteinssplitter gibt es hier mehr, und dieselben sind etwas frischer. Auch hier finden sich wie im grossen Krater zerbrochene, steil fallende Schichten in dieser Zone: endlich ist die Mächtigkeit auch dieser Zone entsprechend kleiner, nur 1—$1^1/_2$ m.

Unter der Zerstörungszone erscheinen fast söhlige Schichten, die im ersten Einschnitt in der Form zweier nach der Mitte des Kraters hinabführender Stufen aufgedeckt wurden. Einer weiteren Verfolgung dieser Zone wurde das Steigen des Grundwassers hinderlich, welcher Umstand auch in den weiteren Einschnitten das tiefere Eindringen verhinderte.

---

1) Gemeinsam mit unseren Gästen Prof. A. Wegener, Prof. E. Kraus und seinem Assistenten Herrn Delle.

Abgesehen von der früher durch Fr. Schmidt bekannten Tatsache, dass die Ränder dieses Kraters aufgerichtet seien, ist hiermit eine Reihe von weiteren Analogien mit dem grossen Krater aufgedeckt worden, die eine gemeinsame Entstehungsursache noch wahrscheinlicher macht.

Besonders wichtig war es die söhlige Zone zu verfolgen, da diese im grossen Krater auf Grund der Bohrungen nur als wahrscheinlich angenommen werden konnte. Da die Grundwasserverhältnisse ein weiteres Schürfen im Krater 1 verboten, schien es zweckmässig, einen noch kleineren Krater aufzudecken. Dazu wurde der Krater 4 erwählt (Fig. 1, Pläne u. Profile).

Dieser Krater, etwa 20 m im Durchmesser, weist ebenfalls die charakteristische Form eines Kessels auf, mit steilen Rändern und einem allmählichen Übergange zum söhligen Grunde. Nur auf der östlichen Seite des Kraters, in welcher Richtung die Umgebung sich allmählich abdacht, fehlt der obere Teil des Randes, obwohl die Vertiefung auch hier deutlich erkennbar bleibt. Keinerlei Entblössungen sind an den Rändern zu bemerken.

Zur Untersuchung dieser Vertiefung wurde ein Einschnitt von etwa 1 m Breite an ihrem Nordrande angesetzt. Dieser Einschnitt wurde bis zur Mitte fortgesetzt und der ganze zentrale Teil ausgeräumt (Pläne u. Profile).

Es ergab sich eine vollständige Analogie mit dem grossen Krater und mit dem Krater I: 1. Oben am Rande eine Aufrichtungszone in Form von in Schollen zerbrochenen dickbankigen (etwa 70 cm mächtigen) Dolomiten. 2. Darunter eine Zerstörungszone, nur 0,3 m mächtig. Die Zerstörung ist hier noch schwächer ausgeprägt, als im Krater I: die Gesteinsfragmente sind hier grösser, die Hauptmasse besteht hauptsächlich aus kleinen Dolomitsplittern, das Pulver hat eine untergeordnete Bedeutung. Das zerstörte Gestein ist auch zwischen den Schollen der Aufrichtungszone bemerkbar. 3. Die söhlige Zone erscheint in Form zweier kurzen Dolomitstufen — in der Gesamtmächtigkeit von 0,82 m — die vom Kraterrande zum söhligen Kraterboden führen, der von einer glatten unverwitterten Schichtfläche einer mächtigen Dolomitschicht gebildet wird. Diese Schicht selbst muss auch zur letzten Zone bezogen werden. Der Kraterboden konnte im Einschnitt in der Ausdehnung von etwa $5^1/_2$ m verfolgt werden.

Bei der weiteren Ausräumung der Mitte des Kraterbodens wurde darin eine Vertiefung mit scharfkantigen Rändern entdeckt,

als wäre die Bodenschicht an dieser Stelle ausgebrochen worden. Die Tiefe dieser ausgebrochenen Stelle ist unbedeutend, im Mittel etwa 0,4 m und gleicht an Mächtigkeit der den peripheren Kraterboden bildenden Dolomitschicht. Entlang dem Einschnitte hat die innere Vertiefung einen Durchmesser von 5,5 m. Ihre Westseite, zum Teil auch die Nord- und Südseite, sind blossgelegt (Taf. II, Fig. 2), die Ostseite ist nicht ausgeräumt und der Durchmesser der freigelegten Vertiefung in dieser Richtung beträgt 4,5 m. Die Bruchflächen der gebrochenen Bodenschicht sind hier im allgemeinen lotrecht und die Bruchkanten scharf.

Der Boden dieser inneren Vertiefung weist einige interessante Züge auf: auch er ist durch die Fläche einer söhligen Dolomitschicht gebildet, doch ist seine Oberfläche unregelmässig wellig, mit sanft gerundeten Unebenheiten (Taf. V). Besondere Aufmerksamkeit erweckt eine weitere kleine Vertiefung in der Mitte der Westseite des eben erwähnten Kraterbodenabschnittes; diese Vertiefung hat die Form eines blinden Trichters mit einer dreieckigen Mündung, deren Ecken abgerundet erscheinen. Dieser Trichter misst in die Länge 1 m, in die Breite und Tiefe 0,5 m. Der Zustand der Oberfläche dieses inneren vertieften Kraterbodens ist sehr bemerkenswert: während die Oberfläche des peripheren Kraterbodens eine frische und von gewöhnlich diesen Dolomiten eigener Härte ist, muss man die Oberfläche der inneren Vertiefung eine lockere nennen, da das Gestein sich hier leicht mit der Schaufel schneiden (horizontal nicht lotrecht) lässt, aber doch den gewöhnlichen geschichteten Habitus dieser Dolomite behält (Taf. III, Fig. 1).

Der Einfluss der Verwitterung ist hier ausgeschlossen, da der höher gelegene, also den äusseren Einflüssen mehr ausgesetzte periphere Kraterboden keine bedeutende Verwitterungserscheinungen aufweist (S. Anmerkung 1, S. 60).

Der allgemeine Eindruck ist der einer Verbrennung.

Es muss bemerkt werden, dass nicht nur der Boden in der inneren Vertiefung, sondern auch eine der hervortretenden Ecken am oberen (peripheren) Bodenabschnitt einen ähnlichen Zustand des Gesteins beobachten lässt. Unmittelbar auf dieser gelockerten Oberfläche liegt Schutt, der hauptsächlich aus kleinen Dolomitsplittern besteht, unter Beimengung jedoch von Moränmaterial. Derselbe Schutt erfüllt auch den obenerwähnten dreieckigen Trichter.[1])

1) Bei einer Besichtigung dieser Vertiefung, Mitte Mai 1928, erwies es sich, dass die beschriebene Bodenfläche offenbar durch Einwohner der

Zusammenfassend kann man sagen, dass der beschriebene Krater eine flache tellerförmige Hohlform darstellt, deren Ränder ziemlich steil ansteigen. In der Ausbildung dieser Hohlform kann die mittlere Vertiefung als eine vierte Zone bezeichnet werden.

Es muss noch bemerkt werden, dass in allen drei untersuchten Kratern die im Gebiete einer dünnen, unter 1 m mächtigen, glazialen Bedeckung liegen — die Masse der die Krater erfüllenden lockeren Produkte bedeutend grösser ist, als auf ihre Fläche von der normalen Bedeckung kommen würde. Diese Lockerprodukte in den Kratern bestehen hauptsächlich aus Dolomittrümmern, von grossen Blöcken bis zum feinen Pulver. Glaziales Material spielt eine untergeordnete Rolle: am wenigsten tritt es hervor im grossen Krater, mehr im Krater 1, am meisten im Krater 4. In allen drei untersuchten Kratern wird der Schutt nach unten zu reicher an Dolomittrümmern.

Das Bild der Krater konnte ausser durch Bohren und Schürfen noch durch eine genaue Ausmessung ergänzt werden. Da Zeit und Mittel zu einer vollständigen Aufnahme fehlten, musste man sich mit einem instrumentellen Nivellement der Krater begnügen und letztere durch mit Hilfe des Goniometers festgelegten und hierauf durchnivellierten Linien verbinden. Die Entfernungen wurden mit dem Distanzmesser des Nivellierapparates gemessen. Die steilen inneren Abhänge des grossen Kraters wurden mit Latte und Lot nivelliert und zur Kontrolle mit der Wasseroberfläche verbunden. Diese Arbeit hat der mir zeitweilig beigegebene Bergingenieur J. Toomes ausgeführt.

Zur Ergänzung des Nivellements wurde eine Lotung des Sees von einer Fähre aus vorgenommen und auf 6 radialen Linien über 2 m Distanz auf jeder Linie eine Lotung ausgeführt.

Die ausgeführten Messungen haben folgende Werte ergeben: Der grosse Krater (Taf. VI). Der Wall erhebt sich über die Umgebung auf 3 bis 7 m. Nach O und besonders NO ist der Wall

Nachbarschaft an mehreren Stellen angebrochen und angegraben war. Es sind neue Löcher entstanden und die Ränder der (dreieckigen) Hauptvertiefung sind angebrochen und haben ihren abgerundeten Umriss verloren. Der allgemeine Charakter des Gesteins, die Lage des erwähnten dreieckigen Trichters und sein durch Gesteinsmehl und sonstigen feinen Schutt verdeckter Grund waren der Beobachtung noch erhalten.

Eine derartige Verstümmelung dieses interessanten Naturdenkmals erscheint als ein sehr gewichtiger Grund dafür, dass die gesamte Kratergruppe bei Kaali unter Naturschutz gestellt werden müsste. I. R.

niedrig, nach NW, W und S hoch. Der Abhang ist nach aussen sanft, nach innen steil. Der See hat im Grundriss eine etwas längliche Form, mit einer NS-Länge von etwa 110 m und einer Breite von 92 m. Die Maße und Form des Sees sind veränderlich, da sie vom Wasserstande abhängig sind, wie man aus der Betrachtung der Höhenlinien leicht ersehen kann. Im allgemeinen hat er einen ovalen Umriss und zu Beginn der Arbeiten (Anfang September) hatte er eine Länge von 65, und eine Breite von 56 m. Die längere Achse weist nach NNW. Die grösste Tiefe war damals 5 m, wobei der in der Anmerkung S. 35 erwähnte Steinhaufen in der Mitte des Sees eine Erhöhung bildet. Die grössten Tiefen findet man um diesen Haufen herum (Taf. VIII). Der Seegrund, der sich sanft nach der Mitte hin abdacht, hat näher dem Ufer einen festliegenden Schuttboden, nach der Mitte ist er von einem oben beweglichen, nach unten zu dichterem hellgelben Schlamm gebildet. Die tiefsten Stellen des Seegrundes liegen etwa 8,5 m unterhalb der umgebenden Ebene und etwa 15 m unterhalb der höchsten Punkte des Walles.

Krater 1 (Krater 1—4 sind in allen Plänen u. Profilen nachzusehen) liegt in 330 m Entfernung vom grossen Krater nach SW, ist dicht mit Bäumen und Unterholz bewachsen und besonders an den Rändern mit grossen Geschiebeblöcken angefüllt. Sein Grundriss hat auch eine etwas ovale Form, mit einem nach NNW weisenden grösseren Durchmesser von 39 m, während die Breite 34 m misst. Die Tiefe beträgt etwa 4 m. Das Grundwasser erscheint gewöhnlich nicht auf dem Grunde. Die durch das Nivellement festgelegten und auf dem Plane dargestellten Vertiefungen des Kraterbodens sind nach Angaben der Einwohner das Resultat von Grabungen, die der frühere Gutsbesitzer veranlasste.

Krater 2 liegt 850 m südlich vom grossen Krater und ist dicht mit Haselnusssträuchern bewachsen. Sein Grundriss ist bei weitem der länglichste von allen, mit einer nach N weisenden Länge von 53 m und einer grössten Breite von 36 m. Er liegt am Abhange einer sanften Anhöhe und deshalb erheben sich seine Ränder ungleichmässig über den Grund. Die grösste Tiefe beträgt etwa 3,5 m.

Krater 3, etwa 250 m östlich vom vorigen, hat einen fast ganz kreisförmigen Umfang von 32—33 m Durchmesser. Seine Tiefe beträgt etwa 3,5 m, die Abhänge sind nur mit Gras bewachsen. Im Sommer ist er wasserlos; im Herbst zeigt sich auf dem Grunde Wasser.

Krater 4 liegt etwa 250 m östlich vom früheren Gutshause Kaali, gleich am Wege von Kaali nach Kõljala. Wie oben bemerkt, hat er eine unvollkommene Kreisform, indem von der Kreisfläche etwa $^1/_4$ seitlich abgeschnitten erscheint. Sein Westrand erhebt sich um 1,25 m über den Boden, der Ostrand nur um 0,5 m. Die Länge des Kraters in NS-Richtung beträgt 20 m, die Breite 14 m.

Krater 5 (Taf. VI) ist um 170 m SSW-lich von dem vorigen, mitten im Felde gelegen und mit lichtem Gebüsch bewachsen. Derselbe konnte nicht mehr nivelliert werden, da er nur gegen Ende der Arbeit entdeckt wurde. Mit dem Messbande gemessen hatte er bei ovalem Umriss eine Länge von 13 und eine Breite von 10 m.

Krater 6 (Fig. 1) wurde ebenfalls nicht ausgemessen. Er liegt im Walde etwa 2 km nach SW vom grossen Krater und soll nach Angaben der Einwohner dem Krater 3 gleichen. Während unserer Arbeiten war er bis zum Rande mit Wasser gefüllt und einer Untersuchung unzugänglich.

Bei allen Kratern lässt sich ein Ansteigen des Geländes von der Umgebung zu den Rändern feststellen.

Endlich wurde ausser diesen Arbeiten und Messungen, eine Untersuchung des Seebodens mittels eines kleinen Handbohrers ausgeführt. Auf zwei etwa senkrechten Richtungen — NS und OW — (Taf. VI und VIII) wurde je 2 m von einer Fähre aus der Boden abgetastet und die Tiefe gemessen. Es wurde festgestellt, dass der Boden in der Uferregion (bei dem herbstlichen hohen Wasserstande) von einem dichten Schutt gebildet wird. In den zentralen Teilen besteht der Seegrund aus einem oben beweglichen nach unten sich verdichtenden hellgelben Schlamm mit deutlichem Schwefelwasserstoffgeruch. Unter diesem Schlamm ist ein dichter Grund zu fühlen, und ganz in der Mitte (Taf. VI u. VIII) konnte in diesem dichten Grunde eine trichterförmige Vertiefung abgetastet werden, die einen etwas länglichen Umriss besitzt und etwas exzentrisch — nach Westen verschoben — gelegen ist (Taf. VI).

Je tiefer desto dichter wurde der Schlamm und im Zentrum des Trichters konnte der Bohrer nicht mehr bis zum festen Grunde gebracht werden: die Stangen verbogen sich und der Bohrer konnte nur mit Mühe heraufgeholt werden, wobei die Fähre, von welcher aus die Arbeit gemacht wurde, unter Wasser sank.

Beim Abtasten des zentralen Teiles dieses Trichters begegnete der Bohrer Verdichtungen — einer Art von schwerer zu durch-

stechenden Krusten, unter denen wieder Schlamm zu fühlen war. Solcher härteren Krusten zeigten sich 2—3 auf einer Station.

Es schien interessant, noch eine hydrometrische Untersuchung des Sees vorzunehmen. Es geht nämlich, auch in der Literatur, hartnäckig das Gerücht herum, dass der Wasserstand im See unabhängig sei vom Grundwasserspiegel. Um diese Angabe zu kontrollieren, wurde gleich am Anfang eine einfache Messlatte am Ufer eingepflanzt, um die Schwankungen des Wasserspiegels zu registrieren. Diese Vorrichtung wurde später durch eine andere ersetzt, an einer tieferen Stelle, die erlaubte, den niedrigsten und den höchsten Wasserstand an jedem Tage abzulesen. Mit dieser Vorrichtung wurde beabsichtigt, etwaige tägliche Schwankungen zu registrieren, die bei gewöhnlichen Beobachtungen nicht bemerkt werden konnten. Ausser am See wurde eine Beobachtung des Grundwasserspiegels auch im Brunnen vor dem ehemaligen Gutshause Kaali ausgeführt. Auf Taf. IV sind die Schwankungen graphisch dargestellt. Die Kurven zeigen, dass nach einer achttägigen starken Regenperiode (6. bis 13. September) der Wasserspiegel im See auffallend stieg: innerhalb 6—7 Tage etwa 2 m. In den folgenden 2 regenarmen Wochen sank der Wasserspiegel um 0,5 m und die Absenkung dauerte noch an während der folgenden leichten Regenperiode. Diese letztere verursachte ein erneutes, nicht so starkes Steigen, das in ein Sinken überging usw. Die Schwankungen im Brunnen entsprachen vollständig dem Bilde im See. Es ist klar, dass wir es hier mit Schwankungen des Grundwasserspiegels zu tun haben, die von der Menge der Niederschläge abhängig sind und in der herbstlichen Regenperiode eine Tendenz zum Steigen aufweisen.

Der höchste Wasserstand, der von den örtlichen Dorfschullehrern innerhalb der letzten fünf Jahre beobachtet wurde, hat eine Höhe von etwa 9,15 m über dem tiefsten Punkte des Seebodens (der als Nullpunkt der aufgestellten Messlatte figuriert), was einer Tiefe von 1,4 m unter der Rasenfläche im Gutshofe und einer Höhe von 20,62 m über dem Meeresspiegel entspricht. Bei tiefstem Wasserstande in den letzten fünf Jahren (nach Aussage glaubwürdiger Zeugen) ist der Steinhaufen im Seezentrum blossgelegt gewesen, was einer Höhe von 1,7 m vom obengenannten Nullpunkt entspricht. Nach den Angaben von alten Einwohnern soll es einen Fall gegeben haben, wo das Wasser über den Kraterrand floss. Beim Befragen anderer glaubwürdiger Zeugen fand diese Angabe keine Bestäti-

gung. In besonders trockenen Jahren soll das Wasser ganz verschwinden.

Die Amplitude der Seespiegelschwankungen ist auch nach den bisherigen Beobachtungen ziemlich bedeutend: wenn man als Minimum 1,7 m betrachtet und als Maximum den von uns beobachteten höchsten Wasserstand 6,9 m (Taf. VIII), dann hat man eine Differenz von 5,2 m.

Das Vorhergehende zusammenfassend kann man folgende Tatsachen als feststehend annehmen:

1. Die Schichten um den grossen Krater und offenbar im ganzen Kratergebiet sind ungestört und liegen im allgemeinen söhlig.
2. Weder Gips noch Salz oder nennenswerte Tonmassen hat die Bohrung bis zur Tiefe von 63,14 m aufgeschlossen.
3. Die Mehrzahl der ausgemessenen Krater, ausser 3 und 4, haben einen etwas ovalen Umriss. № 3 ist kreisförmig, der Umriss des Kraters 4 ist nicht geschlossen und asymmetrisch (s. Pläne u. Profile).
4. In drei untersuchten Kratern sind an den Innenrändern stark nach aussen fallende Schichtenköpfe einer Folge von Dolomiten (Aufrichtungszone) vorhanden, die von innen heraus erhoben erscheinen.
5. In denselben Kratern lagert unter den aufgerichteten Schichtenköpfen ein Ring von zerschlagenen, gestauchten und zerstörten (zerpulverten) Gesteinen, wo man dessenungeachtet sehr grosse Fallwinkel unterscheiden kann (Zerstörungszone). In allen aufgedeckten Kratern liegt dieser Zone von Innen ein pulverartiges Gestein an.
6. Im Krater 4 lagert unterhalb dieser Zone das Anstehende söhlig (söhlige Zone), wobei zwei höhere Schichten stufenartig hinabführen, und eine dritte den Boden bildet. Anzeichen dieser Zone sind im Krater I und auch im grossen Krater vorhanden.
7. Im Krater 4 ist in der Mitte des Bodens eine Vertiefung mit horizontalem aber etwas deformierten Grunde. Im grossen Krater weist die Oberfläche des den Boden bedeckenden Schuttes auch auf die Existenz einer Vertiefung in der Mitte des Kraterbodens.
8. In den drei untersuchten Kratern kann man feststellen, dass mit der Grösse des Kraters 1) die Mächtigkeit der Aufrichtungs- und der Zerstörungszone wächst, 2) die Zerstörung des Gesteines in der Zerstörungszone zunimmt und 3) die Menge der zerschlagenen Dolomite in der Schutthalde grösser wird.



TARTU ÜLIKOOLI

9. Die Schwankungen des Wasserspiegels im See stimmen vollkommen überein mit denen des Grundwasserspiegels und weisen eine natürliche Abhängigkeit von den Niederschlägen auf.

Besprechen wir zunächst den Krater 4, bei dem man auch den Boden untersuchen konnte.

Wie schon oben bemerkt wurde, stellt dieser Krater eine tellerförmige Vertiefung in den obersten Schichten einer söhlig gelagerten mächtigen Folge von Dolomitschichten dar. Diese Vertiefung ist n a c h  u n t e n  g e s c h l o s s e n und trägt im zentralen Teile des Bodens die Spuren einer starken Beanspruchung.

Wie konnte eine solche Vertiefung entstehen?

Wenden wir uns zu den anfangs erwähnten Hypothesen: Offenbar konnten hier weder Gips- noch Salzanschwellungen eine Rolle spielen, von Erdfällen oder Karsterscheinungen ist ebenfalls keine Rede. Die Idee eines Durchbruches in der Tiefe angesammelter Gase ist auch nicht anwendbar, denn 1) die Form der Vertiefung spricht nicht für eine solche Annahme, 2) Bildungen, wie die Zerstörungszone sind bei dieser Hypothese unerklärbar, 3) ist es ganz unmöglich, dass Gase, die in der Tiefe durch tonige Dolomite und sogar plastische Tonschichten gedrungen waren, die grösste Spannung nahe der Erdoberfläche in klufterfüllten Schichten erreicht hätten, in Schichten, die ausserdem nur mit einer dünnen Decke glazialen Schuttes bedeckt waren.

Der Charakter der Deformationen in der Zerstörungszone und in der zentralen Vertiefung des genannten Kraters legen den Gedanken nahe, dass hier kein Durchbruch, sondern eine Explosion stattgefunden hat. Der Brennpunkt der Explosion hat sich offenbar in der zentralen Vertiefung des Kraterbodens befunden. Die mechanischen und thermischen Effekte der Sprengung konnten die auf dem Kraterboden beobachteten Veränderungen verursachen: es ist nur natürlich, dass die tiefste Bodenfläche am wenigsten gelitten hat, da der Druck bei der Explosion hier den grössten Widerstand gefunden hat.

Die Gesteinsmassen, die sich an der Stelle der Vertiefung befunden hatten, wurden zerstört und offenbar in die Luft gesprengt, wobei ein bedeutender Anteil zurück in die Vertiefung fiel und sich dabei mit dem glazialen Schutt vermischte. Das übrige konnte in der Umgebung niederfallen. Die grösste Zerstörung haben, wie es scheint, die Gesteinspartien erlitten, die auf der Höhe des Sprengungsbrennpunktes gelegen waren. Hier entstand die oben-

beschriebene Zerstörungszone, und da die Gesteine nach der Zertrümmerung und Verstauchung einen grösseren Raum einnahmen, erhoben sie die hangenden Schichtenköpfe zur Aufrichtungszone.

Was die zwei anderen untersuchten Krater anbetrifft, so braucht man nicht mehr besonders auszuführen, dass das eben Gesagte auch auf die Zerstörungs- und Aufrichtungszone dort ebenfalls anwendbar erscheint. Da wir in beiden Kratern auch Anzeichen einer söhligen Zone gefunden haben, so wäre schwer einzusehen, warum hier die Kennzeichen einer Sprengung unten fehlen sollten, wenn sie oben vorhanden sind. Erinnern wir nur daran, dass im zentralen Bodenteile des grossen Kraters eine trichterförmige Vertiefung abgetastet werden konnte. Es ist ja natürlich, dass der auf den Hängen und auf dem Boden liegende Schutt bis zu einem gewissen Grade das Relief des Anstehenden wiederspiegelt, und dass man sich den festen Boden als stufenförmig abdachend, mit einem zentralen Trichter versehen, gleich dem im Krater 4 beobachteten vorstellen kann.

Das Verhalten des Schuttes im grossen Krater ist offenbar durch seine Grösse und das Vorhandensein von Wasser, mit oft und stark im Laufe des Jahres schwankendem Spiegel, beeinflusst worden. Man kann sich den Vorgang am wahrscheinlichsten so denken, dass unmittelbar nach der Bildung des Kraters ihn der lose Schutt erfüllte, der aus Dolomittrümmern unter Beimengung von wenig glazialem Material bestand und der, eine natürliche Böschung bildend, verhältnismässig locker lagerte. Eine spätere Verdichtung, zu der natürlich die Wasserstandsschwankungen nicht wenig beitrugen, verursachte ein allgemeines Sichsetzen des Schuttes. Anscheinend ist die senkrechte Grenze zwischen der Schutthalde und dem Gesteinsmehl im südlichen Einschnitt eine Folge dieses Sichsetzens.

Wenn man die Entstehungsursache dieser drei untersuchten Krater als eine untereinander und mit den übrigen gemeinsame betrachtet, so entsteht die Frage: welche Kräfte konnten Sprengungsmerkmale aufzeigende 7 oder sogar mehr Vertiefungen auf der Oberfläche einer mächtigen Folge von söhlig gelagerten Dolomiten verursachen?

Wenden wir uns zur Meteoritenhypothese, die wir bisher nicht näher betrachtet haben, und versuchen wir zu entscheiden, ob die Meteoriten beim Fallen Sprengungserscheinungen hervorbringen konnten.

Die Bedingungen des Meteoritenfalles auf die Erde sind sehr verschieden. Der Erforscher des berühmten Meteorkraters Coon Butte bei Canyon Diablo in Arizona G. Merrill hat in seiner Beschreibung des Kraters eine Zusammenstellung der Geschwindigkeiten der Meteoriten und ihrer Eindringungstiefe in den Erdboden gegeben.

Nach den Angaben verschiedener Beobachter schwankt die Geschwindigkeit der Meteoriten beim Eintritt in die Erdatmosphäre von 2—60 Meilen (= 3—96 Km) in einer Sekunde. Als Geschwindigkeiten beim Einschlagen sind 412′ bis 4 Meilen (6, 5 Km) pro Sekunde beobachtet worden. Also schwanken die Geschwindigkeiten in sehr grossen Grenzen.

Unter anderem stellt Merrill Betrachtungen an über Meteoritengeschwindigkeiten im Verhältnis zur Bewegungsrichtung des Erdkörpers: wenn der Meteorit die Erde überholt, kann er sich auf die Erdoberfläche legen, fast ohne sie zu beschädigen; im entgegengesetzten Fall kann er mit elementarer Gewalt aufschlagen.

Auch andere Faktoren beeinflussen den Meteoritenfall: gewöhnlich sind Fälle, wo der durch die Reibung an der Luft weissglühende Meteorit explodiert. Einzelne Sprengteile können dabei verschiedene Beschleunigungen in verschiedenen Richtungen erhalten, so dass ihre Anfangsgeschwindigkeiten sowohl vermindert wie vermehrt werden können.

Im Zusammenhang damit kann man ein sehr verschiedenes Verhalten beim Eindringen in die Erde beobachten: oft findet man Meteoriten, nach Merrill, direkt der Erde aufliegend oder kaum mit Erde bedeckt. Das tiefste Eindringen, das Merrill in der Literatur erwähnt gefunden hat, erreichte 9′ (Knjäginja, Ungarn). Der Meteorit (richtiger seine Überbleibsel) im Krater von Canyon Diablo liegt, nach Barringer, auf Grund von Bohrungen, unter dem Südrand des Kraters in einer Tiefe von 1376′ vom oberen Rand des Kraterwalles, wo das Bohrloch angesetzt wurde, also ca 1200′ unter der mittleren Seehöhe der Umgegend.

Diese Verschiedenheiten in den Geschwindigkeiten und Fallbedingungen bringen natürlich auch sehr verschiedene Resultate eines Zusammenstosses des Meteoriten mit der Erde hervor.

Darum wollen wir uns vorstellen, welche Erscheinungen den Fall eines Meteoriten begleiten, der mit der maximalen Geschwindigkeit, also etwa 6, 5 km/sec, sich der Erde nähert. Nachdem er in die Atmosphäre eingetreten ist, erhitzt er sich beim

Überwinden des Luftwiderstandes, verlangsamt seinen Flug und erzeugt vor, neben und hinter sich Luftwellen.

Die kinematographische Aufnahme einer fliegenden Kugel, die ein Hindernis durchschlägt, zeigt, dass die Zerstörung weniger durch das Geschoss, als durch die Luftwellen (sogen. Streckwellen nach E. Mach) hervorgebracht wird. Die Geschwindigkeit der Kugel beträgt dabei bis etwa 900 m/sec.

Beim Aufschlag des Meteoriten muss auch etwas ähnliches geschehen, nur mit entsprechend grösserer Kraft. Es ist möglich, dass die vor dem Meteoriten zusammengepresste Luft in die zu zerschlagenden Gesteine eindringt und bei der plötzlichen Geschwindigkeitsabnahme des Meteoriten sprengend wirkt, und dabei desto stärker, je härter die Umgebung ist. Beim Aufschlag sind auch thermische Effekte unvermeidlich, da der glühende Meteorit bedeutende Wärmemengen mit sich bringt, die durch die erhitzte Luft und die Wärmeproduktion des Aufschlagens noch vermehrt werden. In dem Falle, wenn der glühende Meteorit in Berührung mit der Bergfeuchtigkeit oder besonders mit Grundwasser kommt, müssen plötzlich grosse Mengen von Wasserdampf entstehen, die zur Sprengwirkung noch beitragen können.

Wie könnte sich dabei der Meteorit selbst verhalten? Die Entstehung eines grossen Temperaturintervalles auf seiner Oberfläche (geschmolzen) und im Innern (T des absoluten Nullpunktes) kann Spannungen entwickeln, die ihn sprengen können, was oft auch beobachtet wird. Die Anziehung zwischen den Teilchen muss dabei auch schwächer werden. Aber auch unabhängig davon sind die anziehenden Kräfte zwischen den Teilchen unbedeutend im Verhältnis zu den Kräften, die sich bei der plötzlichen Änderung der Fluggeschwindigkeit des Meteoriten beim Auffallen entwickeln: der Meteorit kann dabei ganz zertrümmert werden.

Der Habitus der Erscheinung hängt von vielen Einzelbedingungen ab: 1) von der Zusammensetzung des Meteoriten, 2) von seiner Grösse und Form, 3) von den Eigenschaften der Gesteine, die den Meteoriten auffangen (ihre Härte, Lagerung, Wassergehalt usw.), 4) von Auffallwinkel des Meteoriten u. a. m.

Also, wenn bei unbedeutender Geschwindigkeit der Meteorit sich auf die Erdoberfläche auflegen kann, ohne in sie einzudringen, so kann der Aufstoss im entgegengesetzten Fall von einer Sprengung begleitet sein und Vertiefungen von obenbeschriebener Art bilden.

Allerdings, die beste Bestätigung dieser Hypothese wäre das Auffinden des Meteoriten im Krater, oder wenigstens seiner Teile in der Umgegend. Nun ist bei der Säuberung des Kraters 4, ungeachtet der Sorgfalt bei der Arbeit, weder der Meteorit noch seine Fragmente entdeckt worden. Einige Proben des Schuttes, der den tiefsten dreieckigen Trichter erfüllte, wurden gewaschen: nichts ausser kleinsten Trümmern von Feldspat und kleinen Granitsplittern, konnte im überwiegenden Dolomitschutt entdeckt werden.

Es ist aber eine Frage, ob im Meteorkrater der gefallene Körper sich vorfinden muss. Die Tatsachen lehren, dass grössere Meteoriten fast nie erhalten werden.

Der grösste bekannte Eisenmeteorit des Coon Butte in Arizona hat nach Merrill und Barringer die Umgegend mit tausenden von kleineren und grösseren Splittern beim Fall übersät. Es ist klar, dass beim Fall eines mehr zerbrechlichen Steinmeteoriten, der nicht in Stücke, sondern in feinsten Sand zertrümmert werden kann, die Chancen seiner Auffindung bedeutend kleiner werden.

Für die Meteoritenhypothese würde noch der längliche Umriss der Mehrzahl der Krater sprechen (S. Anmerkung 3, S. 66).

Jedenfalls, wenn die vorhandenen Tatsachen die Meteoritenhypothese auch nicht direkt beweisen, so bleibt sie doch die einzige, die nicht abgewiesen werden kann.

Zum Schluss noch einige Worte über den Bau der Krater. In der vorhergehenden Darstellung ist mehrmals die Ähnlichkeit der drei untersuchten Krater unterstrichen worden. Daraus folgt aber keinesfalls, dass alle Meteorkrater immer einen gleichen Aufbau haben müssen.

In unserem Falle muss man den Einfluss der Stelle des Auffallens noch besonders betrachten: in allen drei untersuchten Kratern ist die Unterlage des Aufstosses die gleiche. Es erscheint natürlich, dass alle Veränderungen im Gestein sich gleichen und Unterschiede sich nur in Grössenverhältnissen und in Einzelheiten zweiter Ordnung ergeben. In den Kratern 2 und 3, vielleicht auch in 6, die im Gebiete einer mächtigeren glazialen Bedeckung liegen, konnte der Aufschlag und die Sprengung den grössten Teil der Vertiefung in dem losen Schutt bilden und nur verhältnismässig wenig das Anstehende mitnehmen.

Sogar Krater 4, ungeachtet seiner Ähnlichkeit mit Krater 1 und dem grossen Krater, hat seine Besonderheiten: er befindet sich am Rande eines Feldes, das etwas höher als das Nachbarfeld liegt.

Die Sprengung, die den etwaigen Meteoritenfall hier begleitete, begegnete offenbar von Osten kleinerem Widerstand und der Krater bildete sich unsymmetrisch: gerade im Osten fehlt der obere Teil des sonst geschlossen vorliegenden Randes.

Im kleinen Krater 5 kann die Aufrichtungszone fehlen und die Zerstörungszone undeutlich sein, wegen der Kleinheit und weil die Sprengung hier wahrscheinlich fast auf der Oberfläche des Anstehenden eintrat.

Aus unserer Darstellung geht hervor, dass wir die Zeit des Ereignisses mit Linstow und Wegener in die Nacheiszeit verlegen (S. Anmerkung 4, S. 67).

Ausser den aufgezählten Kratern erregen hier noch die Aufmerksamkeit kleine Gruben auf den Feldern, die nicht als von Menschen gegraben erscheinen. Dieselben sind alle bis zum Rande mit Steinen gefüllt, wie es scheint, schon seit sehr langer Zeit, denn gegenwärtig sind die randlichen Steine in den Gruben soweit mit Erde bedeckt und Gras bewachsen, dass die scheinbaren Durchmesser der Gruben kleiner sind als die wirklichen. Von mir sind einige dieser Gruben bemerkt worden (siehe Kreuze auf Fig. 1). Es ist möglich, dass auch diese Gruben durch den Aufschlag von verhältnismässig kleinen Meteoriten verursacht sind.

Die vorliegende Untersuchung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Hauptaufgabe der Prospektierarbeiten der Bergabteilung liegt auf dem Gebiete der praktischen Anwendungen: nur weil die hier behandelte Frage ausser dem wissenschaftlichen auch ein grosses Interesse in Laienkreisen erregte, sah sich die Bergabteilung nicht nur berechtigt, sondern auch moralisch verpflichtet, die zur Untersuchung der Öseler Kalkstein- und Dolomitlager hingeschafften technischen Mittel zur Lösung dieser Frage anzuwenden.

In der verflossenen Arbeitsperiode wurde nur das ausgeführt, was bei dem ungünstigen, herbstlich hohen Wasserstande und in den Grenzen der angewiesenen Mittel möglich war.

Jedoch die Untersuchung dieser bemerkenswerten Gegend unseres Staates kann dadurch nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Für die künftige Weiterführung der Arbeiten könnte etwa folgendes Programm aufgestellt werden:

1. Um ein vollständiges Bild des Kraters 4 zu erhalten, müsste er ganz ausgeräumt werden, nur ein Sektor der Schuttmassen könnte stehen bleiben zur Demonstration ihrer Zusammensetzung.

2. Krater 2 und 3 müssten wenigstens durch einen breiten queren Schurfgraben aufgedeckt werden.
3. Der Brennpunkt der Sprengung müsste in einigen Kratern untersucht werden. Eine Zusammenstellung von mehreren solchen Ergebnissen wird zweiffellos den allgemeinen Charakter der Erscheinung aufklären helfen.
4. Wenigstens einige von den erwähnten kleinen Gruben müssten untersucht werden. Ihre Aufdeckung könnte zur Auffindung von Meteoriten führen, was für die Entstehungstheorie ausserordentlich wichtig sein würde.
5. Im grossen Krater müssten weitere Bohrungen ausgeführt werden, zur Nachprüfung, ob der anstehende Kraterboden die vorausgesetzte stufenartige Ausbildung und einen blinden Trichter in der Mitte besitzt, welche Arbeit durch eine trockene Jahreszeit sehr gefördert werden würde.
6. Es müssten noch einige verdächtige Vertiefungen untersucht werden, die mit den beschriebenen Kratern einige Ähnlichkeit haben. Einige darunter könnten sich noch als Sprengungstrichter entpuppen.

Ausserdem wäre es wünschenswert alle Profile in eine solche Ordnung zu bringen, dass sie für eine längere Zeit erhalten und der Besichtigung aller Interessenten zugänglich blieben.

Gegenwärtig sind fast alle kleinen Krater Eigentum der Bauern und werden von ihnen als unbequeme Abschnitte der Felder betrachtet. Auf alle Fälle müssten sie in den Besitz des Staates übergehen und durch entsprechende, im allgemeinen nicht teure Arbeiten in ein Naturschutzgebiet verwandelt werden, in der Art des amerikanischen Nationalparkes oder des berühmten Gletschergartens in Luzern, wo das vom Schutt befreite Gletscherbett alljährlich tausende von Touristen anlockt (S. Anmerkung 5, S. 67).

Unter den Sehenswürdigkeiten unseres Erdballs würden die zweckmässig in Ordnung gehaltenen Trichter des estnischen Meteoritenfeldes nicht die letzte Stelle einnehmen.

Danksagungen.

Zum Schluss ist es mir eine angenehme Verpflichtung, meinen aufrichtigen Dank dem zeitw. Vorsteher des Geologischen Instituts der Universität Dorpat Herrn A. Luha auszusprechen für seine Mühe bei der Übersetzung und Redaktion der vorliegenden Arbeit sowie für einige Bemerkungen, die ich bei der endgültigen Fassung des Textes berücksichtigte.

Herzlich danke ich auch dem Direktor des Bergamtes Herrn Bergingenieur J. Kark für die Aufmerksamkeit, die er meiner Arbeit entgegengebracht hat. Gespräche mit ihm haben mir die Möglichkeit gegeben, seine grosse Erudition in einigen in der Arbeit berührten Fragen auszunutzen.

Dem Herrn Lehrer in Kaali, J. Völma, spreche ich meinen Dank aus, für seine uneigennützige und zuverlässige Weiterführung der Wasserspiegelbeobachtungen, nachdem ich meine Arbeiten abgeschlossen hatte.

Meinem Mitarbeiten im Bergamt Herrn J. Lind danke ich für seinen Beistand beim Fertigstellen der Profile und Pläne.

**I. Reinwaldt.**

## Geschichtliches.

Da die vorliegende Untersuchung das Tatsachenmaterial über den Krater von Sall ganz wesentlich erweitert, wäre eine kritische Übersicht der Literatur dieser Frage von Nutzen. Und zwar ist es zweckmässig die Literatur in doppelter Beziehung zu durchmustern: einmal was die Beobachtungstatsachen, dann was die Erklärungsversuche anbetrifft.

Der erste, der die Frage in der Literatur berührte, ist J. v. Luce (1827, also fast genau vor hundert Jahren).

Die Beschreibung ist bei ihm sowie bei den meisten älteren Autoren in ganz allgemeinen Zügen gehalten. Die Angaben über Grösse, Tiefe, Wasserstand, Schichtenfallen usw., sind weiter unten der Kürze halber tabellarisch zusammengestellt. Es sei hier nur über Besonderheiten bei den einzelnen Autoren berichtet.

Von Interesse ist bei Luce die Angabe, dass in der ganz flachen Umgebung auf der Oberfläche grosse Massen „Flötz, ganz mit denen, die sich im Krater zeigen, gleich“ herumliegen sollen. Heute sind die Felder von Steinen gesäubert, aber gerade die Menge der in den kleineren Kratern zusammengehäuften Gesteinsblöcke (sowohl Geschieben als auch anstehendem Dolomit) lässt diese Angabe Luce's glaubhaft erscheinen.

Das kann man aber hinsichtlich der Tiefenangaben des Sees nicht behaupten. Man liest bei Luce: „Der Krater enthält klares Wasser und war so tief, dass ich vor fünfzig Jahren eine zwei Faden lange Stange auf die Spitze stellte und mit allen meinen Kräften hinunterstiess, nach mehreren Sekunden sie heraufschiessend

wieder ergriff, die Spitze besah und nicht fand, dass sie den Schlamm im Boden berührt hatte". Dasselbe wiederholt derselbe Autor in einer 1850 gedruckten Arbeit, die allerdings viel früher (1836) geschrieben ist. Daneben bemerkt Luce in beiden Notizen, dass „jetzt", also nach 50 Jahren, der See „fast alle Sommer" resp. „bei heissen trocknen Sommern" ganz austrocknet.

Es ist kaum einer Ausführung wert, dass die „Lotungsmethode" Luce's einer Kritik nicht standhält und nur deshalb zu erwähnen ist, weil die Fabel über die unglaubliche Tiefe des Sees sowohl bei der gebildeten als auch der ungebildeten Bevölkerung noch jetzt gelegentlich fortlebt, und Luce entweder selbst unter dem Eindruck dieser Fabel stand, oder zum Urheber derselben wurde.

Zu späteren Missverständnissen (s. Wangenheim 1849) hat auch ein unverständlicher Satz (Luce 1827) über den Hügel, „den ein stehender See umfliesst", Anlass gegeben. Aus einem Vergleich mit Luce 1850 („Krater, . . . der in seinem Umlaufe einen Teich bildet"), bleibt kein Zweifel, dass im ersten Falle ein Schreib- oder Druckfehler vorliegt.

1837 gibt E. Hofmann schon genauere Angaben über die Masse des Kraters. Etwas übertrieben erscheint die Nachricht über den üblen Geruch des Bodenschlammes im See: Arbeiter die den Schlamm einmal auf die Felder führen sollten, seien von einem „bösartigen Nervenfieber" befallen, dem ein Paar sogar erlegen sein sollen. Da in der vorliegenden Arbeit das Vorhandensein von Schwefelwasserstoffgeruch beim Bodenschlamm des Sees festgestellt ist (siehe S. 43), können allerdings Vergiftungserscheinungen beim Arbeiten mit Schlamm vorgekommen sein, ob aber in solch akuter Form, muss dahingestellt bleiben.

Unter anderem hat Hofmann als erster das anstehende Gestein am Krater chemisch untersucht und als Dolomit erkannt.

Der nächste Autor, der sich über den Krater von Sall geäussert hat, ist E. Eichwald. Im ganzen finden wir bei ihm diesbezügliche Bemerkungen drei mal — 1843, 1852 und 1854, zuletzt am ausführlichsten, während die vorhergehenden Notizen geschrieben worden sind, ohne dass der Autor selbst den Krater besucht hätte.

Was die Beobachtungstatsachen anbelangt, so fügt Eichwald den Angaben Luce's und Hofmann's wenig wertvolles hinzu. Im Gegenteil, er behauptet einiges, was direkt nicht zutrifft, z. B. (1854) der Wall wäre zum Gutsgebäude viel steiler als zum Felde

hin und dort nur mit Erde künstlich bis zum vollen Kreise angefüllt. Über die Höhenverhältnisse geben uns jetzt die auf den beigefügten Tafeln wiedergegebenen Isohypsen eine bessere Auskunft und eine künstliche Auffüllung hat eine sorgfältige Besichtigung nicht aufgedeckt. Das Fallen der Schichten sei nicht nur nach aussen sondern daneben direkt auch nach innen zu — es gibt jetzt keine Anzeichen dieser Lagerung und da kein anderer älterer Beobachter etwas ähnliches vermerkt, beruht diese Beobachtung offenbar auf Irrtum (hervorgerufen vielleicht durch lose in der Schutthalde herumliegende Gesteinsblöcke). Phantastisch ist auch die Angabe, dass der Wasserspiegel des Sees schwanke, weil der Krater eine Verbindung mit „inneren unterirdischen Quellen" und mit dem Meere habe.

Das einzige neue, was einigermassen zutrifft, ist, dass der Fallwinkel nicht überall gleich gross sei, sondern stellenweise um die Hälfte kleiner als daneben.

Diese Unzuverlässigkeit der kontrollierbaren Angaben lässt die jetzt schon unkontrollierbaren auch wenig glaubhaft erscheinen, z. B. dass aus dem See Eichenstämme hervorgezogen werden könnten, oder dass in der Innenwand des Kraters früher Höhlungen vorhanden gewesen seien (eine Angabe, die man jedoch auch bei Wangenheim findet).

Es ist nicht zu verwundern, dass auf diesen ungenauen Beobachtungen nur wunderliche Vorstellungen über die Entstehung des Kraters aufgebaut werden konnten. Eichwald gibt in jeder der zitierten Arbeiten eine andere Theorie über den Krater. 1843 ist es ein tiefer Spalt im silurischen Kalkstein „wie dergleichen nicht selten auch auf Odinsholm und an der Küste von Estland bemerkt werden".

1852 finden wir eine wunderliche Vorstellung über eine „Senkung, welche entstehen musste, als die Insel nach ihrer allmählichen langdauernden Hebung eine gewisse Höhe erreicht hatte".

1854 sind es schon verschiedene heterogene Ursachen: zunächst Menschenwerk als Bauernburg, indem die Einwohner eine natürliche Erdsenkung mit einem künstlichen Wall umgeben hätten.

Dann wird aber sogar ein Profil gegeben durch Putla — Sall — Kölljal darin ein schwaches Einfallen der Schichten aus der weiteren Umgebung nach Sall zu angedeutet ist. Bei Sall erscheinen die Schichtenköpfe dann wegen der in der Umgebung stattgefundenen Senkung nach oben aufgerichtet. Die Senkung sei ermöglicht durch

Auswaschung von zwischen den Dolomitschichten liegenden Tonschichten und die Grundlage der ganzen Senkungstheorie bildet die (unzutreffende) Beobachtung, dass Putla und Kölljal höher gelegen seien, als Sall. Durch die versunkenen Eichenstämme und durch die Volkssage über ein versunkenes Gebäude glaubt der Autor seine Einbruchstheorie stützen zu können.

Was die Beständigkeit der Anschauungen anbetrifft, steht der folgende Autor, Major Wangenheim von Qualen im strikten Gegensatz zu Eichwald. In mehreren Aufsätzen 1849, 1850 und 1852 verficht er konsequent die Eruptionstheorie (von Wasser, Schlamm, Dampf oder Gas) sich stützend auf die Analogie mit Maaren und Mofetten in der Eifel, in Böhmen und in der Auvergne, so wie sie durch Beaumont, Voigt und Naumann ihre Erklärung gefunden hatten.

Seine Beobachtungsangaben stimmen genügend mit Hofmanns Daten überein, ohne sie wesentlich zu ergänzen. Jedenfalls scheinen die Angaben auf eigener Anschauung und Messung zu beruhen, denn der Autor weist eine eingehende Bekanntschaft mit Oesel auf, sowohl was die Natur als auch die Bewohner anbetrifft.

Seiner Arbeit 1849 ist auch eine Tafel mit einem Grundriss und einem Profil des Kraters (beides in Farbdruck und rein schematisch) beigefügt, die bis 1919 scheinbar die einzige bildliche Darstellung des Kraters geblieben ist.

Es ist interessant, dass die Fallwinkelangaben Wangenheims unverändert bei Holzmayer 1880 und sogar bei Linstow 1919 wiederkehren (ohne Quellenangabe), obwohl eine sorgfältige Fallwinkelmessung zu allen Zeiten gezeigt haben müsste, dass man mit einer Regelmässigkeit hier nicht zu tun hat.

Einen gleich überzeugten Opponenten fand Wangenheim in S. Kutorga 1853. Ausgehend von der damaligen vulkanischen Erhebungstheorie will S. Kutorga in Anlass der Arbeiten Wangenheims beweisen, dass im Gebiete unserer silurischen Schichten nirgends Anzeichen von Eruptivgesteinen vorlägen also „lokale Erhebungen“ ausgeschlossen seien. Alle Lagerungsstörungen beruhten auf einer „allgemeinen Erhebung der Schichten“. „Woher Herr Qualen seine Gase nimmt, ist nicht verständlich“. Die morphologische Ähnlichkeit mit Maaren fertigt Kutorga mit der Bemerkung ab, dass „verschiedene Ursachen sehr ähnliche Resultate haben können“.

Für Kutorga gibt es keinen Zweifel, dass hier ein Erdtrichter vorliegt, wie deren wegen der Zerklüftung des Gesteines überall im Gebiet viel vorkommen. Beispiele werden besonders von Moon und Ösel genannt. Er vergleicht „unsere Kalksteine“ mit „wahren Sieben, die alle Wasser durchlassen. Warum und wie sollten sie daher den Gasen Widerstand leisten“.

Der Altmeister unserer Geologie, Fr. Schmidt, hat sich dreimal (1858, 1884 und 1885) über den Krater von Sall geäussert, jedesmal ganz kurz. Es sind keine Anzeichen in der Literatur vorhanden, dass er sich mit dem Problem eingehender befasst hätte, wie Linstow (1919, p. 329) meint. Im Gegenteil, in seiner letzten Notiz (1885) sagt er, dass der erhöhte Rand überhaupt das einzige merkwürdige am Krater sei „und am ersten wol durch eine lokale Schichtenauftreibung erklärt werden kann“.

Die eingehendste Ausführung Fr. Schmidt's über den Gegenstand (1858) umfasst 28 Zeilen und schliesst sich eng an Kutorga und Eichwald an: auch er verwirft eine vulkanische Ursache, konstatiert, dass der Krater für eine alte Bauernburg gilt und dass der See mit dem Hofbrunnen kommuniziere. Er versucht nur die Idee Eichwalds über unterliegende Tonschichten etwas zu erweitern, indem er die Frage aufwirft, ob die „locale Auftreibung der Schichten“ nicht „durch Wasseraufsaugung und dadurch Anschwellung thoniger Schichten“ entstanden sei, dem nachher „ein Einstürzen durch Unterwaschung“ gefolgt sei. Kurz charakterisiert er den Krater (1884 und 1885) als Einsturzgrube.

Die nunmehrige Tiefbohrung hat keine nennenswerten tonigen Schichten im Untergrunde angetroffen und wenn Fr. Schmidt 1885 zum Vergleich die aufgerichteten Schichten bei Mereküla heranzog, so war er auf einem Abwege, denn dieselben gehören Glazialschollen an (K. Orviku 1925).

An Beobachtungstatsachen ist als einzige Bereicherung durch Fr. Schmidt das Feststellen von aufgerichteten nach aussen fallenden Schichten bei einem kleinen Krater (№ 1 der vorliegenden Arbeit) zu vermerken.

1880 widmet der Oberlehrer J. B. Holzmayer dem Krater vier kleine Seiten eines „Ratgebers für Curgäste“, weil der Ort als Ausflugsziel für Arensburger Kurgäste in Betracht kommt. Die Arbeit bietet nur neue Zahlen über die Dimensionen des Kraters und nennt nur kurz die verschiedenen Ansichten über seine Entstehung.

Ebenfalls ganz kurz wird des Kraters erwähnt bei Rathlef 1851, Schrenck 1852.

Auch B. Doss, der 1909 ein fast vollständiges Verzeichnis der Literatur über den Kaalijärv zusammenstellte, übergeht sie inhaltlich mit der Bemerkung, dass diese Krater einfach Dolinen darstellen (Beitr. zur Geophysik Bd. X, H. 1, p. 61).

1911 finden wir ein paar Bemerkungen in der „Baltischen Landeskunde" von Kupffer, die aber nichts wesentliches zur Frage beitragen.

Die ausführlichste bisherige Arbeit widmet dem Krater v. Linstow 1919. Abgesehen davon, dass darin erstmalig eine Kartenskizze der Umgegend gedruckt wird und genauere Angaben über vier kleinere Vertiefungen gebracht werden, ist keine Bereicherung an Tatsachenmaterial zu vermerken.

Der grösste Teil der Arbeit ist Ausführungen gewidmet, die glaubhaft machen sollen, dass der Krater seine Entstehung einer Explosion von Gasen verdanken soll und dass die Gase dem Dictyonemaschiefer entstammen. Die Gasentwicklung wird als ein Selbstzersetzungsprozess durch Einwirkung von Schwefelkies auf diesen Ölschiefer dargestellt. Die Entstehungszeit des Kraters wird in die Zeit von 4000—8000 J. v. Chr. (Nach-Yoldiazeit) versetzt.

Die Ausführungen v. Linstow's bedürfen einer Kritik, die aber zweckmässiger nicht hier, sondern in Anmerkung 2, bei der Andeutung der geologischen Verhältnisse gegeben wird.

Die neueste Behandlung der Frage verdanken wir C. Teichert 1927. Auf Grund von bei einem ganz kurzen Besuch empfangenen Eindrücken und gemachten Photos wird eine rein morphologische Parallele zwischen den Maaren der Eifel, den Kratern der Phlegräischen Felder und dem Krater von Sall gezogen, daraus Übereinstimmung resultiert. Die eigene Anschauung hat hier offenbar stark mitgesprochen. Es ist eine gute Ergänzung zu Wangenheim v. Qualen's Darstellung, der dieselbe Übereinstimmung auf Grund von Literaturangaben unterstrich.

Ein Eingehen auf Scupin 1928 erübrigt sich, da er sich bloss v. Linstow anschliesst.

In allerneuester Zeit sind neue Entstehungshypothesen aufgestellt worden, die aber bisher eine schriftliche Behandlung nicht erfahren haben. Nur 1922 spricht der Lehrer in Reval J. Kalkun ganz kurz die Ansicht aus, dass der Kaalijärv ein dem Coon Butte in Arizona vergleichbarer Meteorkrater sei.

## Tabellarische Übersicht der Angaben über den Krater von Sall bei den Autoren.

| | Luce 1827 | Hofmann [1] 1837 | Wangenheim v. Qualen 1849 | Eichwald 1854 | Kutorga 1853 | Fr. Schmidt 1858 | Holzmayer 1880 | v. Linstow 1919 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wallumfang | Mehrere Fad. hoher runder | | 400 Schritt od. Arsch. | | | Schliesst sich Eichwald und Kutorga an. | Oben 910′ | Oben 350 m. Unten 150 m. |
| Wallhöhe | Hügel, innen steiler als aussen. | 3½–4 Faden. | 8—9 Arsch. | Inneres viel steiler als nach aussen. Der Wall gegen das Gutsgeb. viel steiler als geg. d. Feld. | 4 Faden. | | Maximum 27′ | |
| Kratertiefe | | Seespiegel 6½ Faden unterh. der Ebene. | 22–24 Arsch. (üb. dem Wasserspiegel). | | | | | 16–17 m über den Seespiegel. |
| Kraterdurchmesser | | S-N—62 Fad. O-W—45 „ | 65—75 Arsch. (unten). | | | | 150′—172′ | |
| Seedurchmesser | | S-N—22⅔ „ | | | 8 Faden. | | | |
| Seetiefe | Vor 50 Jahr. sehr tief, jetzt b. Dürre trokken. | 2½ Faden in der Mitte. | Kaum 1′ tief, trocknet gelegentlich aus. | Das Wasser im See u. im Brunnen steigt im Herbst. | | | 2′—18′ | |
| Schichtenfallen | Von unten nach oben, v. innen nach aussen. | 40° ringsherum nach aussen. | In W u. N ca 25°, S u. O 35°—40°. | Nicht nur nach innen, auch nach aussen. Fallwinkel stellenweise um die Hälfte grösser. | Fallwinkel 35°—38, sogar 48°. | | In W u. N 25°, O u. S 35°–40° | Wie bei Holzmayer. |
| Bewaldung | | | Bewaldet bis 18 Arsch. Tiefe. | | | | | |
| Nebenkrater | | | | 1. 1 Werst nach SW. 2. Einige Werst im SO. | | Nach W 2 kleinere Gruben, d. nähere hat nach aussen fallende Schichten. | | 4 kleinere Krater beschrieben. |
| Entstehung | Feuerexplos. | | Wasser-, Schlamm-, Dampf- od. Gaseruption. Analogie mit Maaren. | Verschiedene, z. Teil widersprechende Ansichten, darunter die Vorstellung als Erdfall dominiert | Erdfall. | Erdfall, vielleicht durch Auswaschen und Aufquellen toniger Schichten erklärbar. | Keine eigenen Ansichten, andere referiert. | Gaseruption, hauptsächlich Methan, durch Selbstzersetzung des Dictyonemaschiefers entstanden. |

1) Zahlenmässige Angaben v. Oberpastor Hesse aus Arensburg.

Dieselbe Annahme führte A. Wegener zum neulichen Besuch des Kraters und wird in der vorliegenden Arbeit verfochten.

Ausserdem ist noch mündlich (von J. Kark 1926, Prof. E. Kraus 1927) die Hypothese eines Salzdomes ausgesprochen worden.

Aus dieser Übersicht geht klar hervor, dass die bisherige Kenntnis des Kraters von Sall sehr ungenügend war und die verschiedensten Hypothesen freien Spielraum hatten. Bei den älteren Autoren war es durch die Entwickelungsstufe der Geologie, durch den „Zeitgeist" bedingt. Bei den neueren, in den letzten 20 Jahren, hätte man wohl mehr von einer Unbefriedigung mit dem vorliegenden Beobachtungsmaterial erwarten müssen.

**Anmerkung 1.**

Eine der Hauptfragen in diesen Untersuchungen ist gerade die nach der Entstehung dieses Gesteinsmehls. Ebenfalls sehr wichtig erscheint der besondere Zustand des inneren Kraterbodens von Krater 4. (s. S. 40).

Es war nämlich wichtig festzustellen, ob man hier bei diesen in unserem Silur einzigartigen Erscheinungen es mit chemischen oder mechanischen Veränderungen des Anstehenden oder mit ursprünglich abweichenden Gesteinsbildungen zu tun hat.

Die beigefügte Tabelle der chemischen Untersuchung (ausgeführt von Herrn S. Paul im Laboratorium des Mineralogischen Instituts der Universität Dorpat) gibt Aufschluss über die chemische Zusammensetzung sowohl des normalen Anstehenden, als auch der obenbezeichneten Gesteine.

Was das normale Anstehende anbelangt, kann man es auf Grund der vorliegenden Analysen (№ № 1 u. 2) zum Typus des manganhaltigen Dolomit nach Doelter-Leitmeier (Doelter, Handbuch, Bd. I p. 379) mit der Formel $Mg\,[Fe(Mn)]\,CO_3 . CaCO_3$ beziehen, wobei ein kleiner Überschuss von $CaCO_3$ gegenüber Normaldolomit zu verzeichnen ist. Ein weiteres Charakteristikum des Gesteins ist ein ziemlich hoher Gehalt an tonigen (terrigenen) Bestandteilen, der allerdings recht stark schwankt.

Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass das Gestein aus kleinen Dolomitrhomboedern (meistens 20—40 $\mu$ im Durchmesser) zusammengesetzt ist. Darunter spielen Kalzitkristalle (bestimmt nach der Färbemethode Lembergs) eine sehr untergeordnete Rolle, während Pyritkörnchen in wechselnder Menge hervortreten und zum Teil in Eisenoxyd umgewandelt sind.

Tabelle der Gesteinsanalysen.

| № der Analyse / Bestandteile | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Feuchtigkeit | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.25 | 0.21 | 0.23 | 0.22 |
| $SiO_2$ | 7.23 | 3.50 | 2.76 | 5.25 | 6.73 | 20.91 | 6.04 |
| FeO | 0.49 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.43 | 0.54 | 0.38 |
| $Fe_2O_3$ | 0.26 | 0.27 | 0.19 | 0.25 | 0.40 | 0.24 | 0.24 |
| $Al_2O_3$ | 0.62 | 0.88 | 0.91 | 1.70 | 1.31 | 1.12 | 0.81 |
| MnO | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.08 |
| CaO | 27.59 | 29.63 | 30.10 | 28.53 | 28.62 | 23.81 | 28.09 |
| MgO | 19.48 | 19.78 | 19.46 | 19.45 | 18.92 | 16.12 | 19.77 |
| $K_2O$ | 0.21 | 0.19 | 0.10 | 0.14 | 0.31 | 0.38 | 0.22 |
| $Na_2O$ | 0.04 | 0.05 | Spuren | Spuren | 0.03 | 0.05 | 0.05 |
| $CO_2$ | 43.50 | 45.14 | 45.00 | 43.70 | 43.26 | 36.39 | 43.87 |
| Cl | 0.06 | 0.08 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.08 |
| $SO_3$ | 0.09 | 0.09 | 0.04 | 0.07 | 0.09 | 0.17 | 0.17 |
| $FeS_2$ | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.09 | 0.03 | 0.09 | 0.06 |
| $P_2O_5$ | Spuren | 0.30 | Spuren | Spuren | 0.19 | Spuren | — |
| $TiO_2$ | — | — | Spuren | Spuren | — | Spuren | Spuren |
| Glühverlust | 0.08 | 0.06 | 0.20 | 0.21 | 0.18 | 0.13 | 0.09 |
| | 99.74 | 100.45 | 99.23 | 99.80 | 100.59 | 100.06 | 99.95 |

1. Bohrkern der Tiefbohrung aus 4,5 m Tiefe.
2. Anstehendes aus dem Wall des Kaalijärv (obere Schichten der Aufrichtungszone, die annähernd № 1 entsprechen).
3. Eckiger Gesteinssplitter aus dem Gesteinsmehl im Walle des Kaalijärv.
4. Gesteinsmehl aus dem Walle des Kaalijärv (südl. Einschnitt.)
5. Gesteinsmehl aus der Umrandung des Krater 1.
6. Dasselbe, Krater 4.
7. Oberste veränderte Schicht des innersten Kraterbodens von № 4.

Die tonigen Bestandteile sind in feinverteiltem Zustande nicht gleichmässig im Gestein verteilt, sondern in Schichten, welcher Umstand die ausserordentlich charakteristische dünnschichtige Textur dieses Gesteins erklärt (s. Taf. III).

Neben makroskopischen Höhlungen in diesen Dolomiten, werden unter dem Mikroskop auch eine Menge von kleineren Poren verschiedener Form sichtbar, an deren Innenwänden sich grössere Dolomitkristalle angesetzt haben. Ausserdem bemerkt man oft verheilte Spältchen, manchmal mit Eisenoxyd-Ausfüllung.

Wenn man die chemische Zusammensetzung der übrigen analysierten Gesteine mit diesen vergleicht, ist eine weitestgehende Ähnlichkeit unverkennbar. Mehr abweichendes bietet nur Analyse

6 mit seinem etwa 3—4 fachen Gehalt an Kieselsäure. Dieser Umstand ist aber dadurch bedingt, dass das Gesteinsmehl im Krater 4 stark mit glazialem Schutt vermengt ist.

Wenn man also von dieser Analyse absieht, steht nichts im Wege, die zwei anderen Gesteinsproben als das zerpulverte Anstehende anzusehen, und da durchaus keine wesentlichen chemischen Unterschiede vorliegen, ist als das Nächste, mechanische Zertrümmerung anzunehmen.

Diese Annahme wird gestützt dadurch, dass im Gesteinsmehl eckige Dolomitfragmente liegen, die ganz zweifellos die normale Textur aufweisen (s. Taf. III, Fig. 3), und von denen eines analysiert wurde (Analyse 3). Im Krater 1 konnte man direkt mehr oder weniger zusammenhängende Schichten dieser Fragmente im Gesteinsmehl unterscheiden und gegen das Hangende sowohl wie gegen das Liegende nimmt dort in der Zerstörungszone die Anzahl der Fragmente zu.

Dieses Gesteinsmehl dürfte wohl Ähnlichkeit mit den Aschen und Rauhwacken des deutschen und englischen Zechsteins haben und könnte wie diese als Lösungsrückstand eines Salz- oder Anhydritlagers aufgefasst werden. Die Lagerung jedoch, im inneren Umfang kleiner nach unten blinder Trichter, hat, nach der erreichbaren Literatur zu urteilen, keine Analogien im Zechstein. Was überhaupt die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Salz auf Ösel betrifft, siehe Anmerkung 2.

Das meiste, was man zur petrographischen Charakteristik des Anstehenden sagen konnte, ist anwendbar auch auf den eigenartig veränderten inneren Kraterboden des Kraters 4. Chemisch (Analyse 7) bietet das Gestein keine wesentlichen Unterschiede. Mikroskopisch sind eine Besonderheit dieser Schichten feine offene Risse zwischen den Dolomitrhomboederchen, hauptsächlich senkrecht zu der Schichtung. Diese Risse oder feine Spalten werden auch makroskopisch sichtbar im Anschliff. Überhaupt ist das Gefüge zum Teil gelockert, was der Verfertigung von Dünn- und Anschliffen Schwierigkeiten bereitet und in der Bröckligkeit in trockenem, Weichheit in nassem Zustand in Erscheinung tritt.

Die Bemerkung, dass im allgemeinen diese Schichten den Eindruck eines gebrannten Gesteins machen, ist zutreffend. Der Verlust an $CO_2$ in diesem Falle ist schon längst wieder gedeckt und wird sich chemisch und mineralogisch kaum nachweisen lassen.

**Anmerkung 2.**

Für die Zwecke der vorliegenden Arbeit ist eine ausführliche Darstellung der geologischen Verhältnisse Ösels nicht notwendig. Einiges muss aber berührt werden, 1) um das beanspruchte Gestein und seine Lagerung näher zu kennzeichnen, 2) um Stellung zu nehmen zu einigen Hypothesen über die Entstehung des Kaalijärv.

Die Lagerung der obergotländischen Schichten auf Ösel ist eine äusserst flache zu nennen. Wegen des Fehlens tiefer Aufschlüsse und guter Leithorizonte ist das Streichen und Fallen nur mühsam zu ermitteln. Nördlich Arensburg konnte Schreiber dieser Zeilen indirekt ein O-W-Streichen und ein Fallen von rund 20′ nach S feststellen Am Ninase-Pank an der Nordküste Ösels kann das südliche Einfallen mit etwa $5^0$ direkt beobachtet werden. Es ist ein Spezialfallen, auf dessen Bedeutung hier nicht näher eingegangen werden kann. Im allgemeinen kann man aber ein SOS-liches Fallen von etwa 10′—20′ annehmen, in Anbetracht der allgemeinen Lagerungsverhältnisse der estländischen Schichtentafel und der Ausstriche an der Südküste Ösels.

Linstow erwähnt, dass ein genaueres Studium der Lagerungsverhältnisse auf Ösel eine Reihe von kleinen NW-SO streichenden Falten aufgedeckt habe und dass der höchste Sattel sich durch die Mittel der Insel ziehe. Nun ist aus Linstow's Arbeit nichts über diese genaueren Studien zu ersehen. Das erwähnte Spezialfallen an der Ninase-Pank und ähnliche Erscheinungen an einigen anderen Panks der Nordküste können aber nicht durch NW-SO streichende Falten bedingt sein, wenigstens haben wir keine Ursache anzunehmen, dass die hier etwa erscheinenden schwachen Faltungserscheinungen sich durch die ganze Insel ausdehnten. Ein höchster Sattel in der Mitte der Insel steht ganz haltlos da. Um gleich auch andere geologische Annahmen Linstow's zu berühren, werfen wir einen Blick auf die Lagerung des Dictyonemaschiefers im tieferen Untergrund Ösels. In Ösel selbst ist der Dictyonemaschiefer nicht angebohrt. Eine Tiefbohrung in Rohuküla (Pogrebow 1916) durchsank den Schiefer mit etwa 2,5 m Mächtigkeit (gegen rund 5 m bei Baltischport) in einer Tiefe von 524′—531′ (rund 162 m). Daraus und der Lagerung bei Baltischport (Paldiski) ergibt sich rund 3 m Fallen auf 1 km zwischen diesen Endpunkten. Wenn wir ein gleiches Weiterfallen in derselben Richtung voraussetzen (Kaali liegt fast genau in der Richtung der Verbindungslinie Paldiski-Rohuküla, rund 70 km SW-lich vom letztgenannten

Ort), könnten wir den Dictyonemaschiefer unter Kaali in einer Tiefe von nicht weniger als 350 m (statt der 180—200 m bei Linstow) Tiefe erwarten. Die Mächtigkeitsangaben zeigen, dass man in derselben Richtung ein Auskeilen des Schiefers voraussetzen kann, wie man es ja in der Gegend von Narva direkt beobachtet.

Die geologischen Voraussetzungen Linstow's hinsichtlich des Ursprunges der Durchbruchsgase finden also keine Bestätigung.[1])

Aus den den Dictyonemaschiefer betreffenden Angaben kann man direkt folgern, dass wir unter Kaali es mit einer wenigstens 350 m mächtigen ordovicisch-silurischen Schichtenfolge von Dolomiten und Kalksteinen zu tun haben, davon die unteren 200 m auf das Ordovicium entfallen mögen und darunter noch kambrische Schichten von näher nicht bekannter, vielleicht etwa 100 m Mächtigkeit lagern. Erst dann gelangen wir zum Grundgebirge. Über anstehende extrusive oder intrusive Erstarrungsgesteine haben wir weder auf Ösel noch in seiner näheren Nachbarschaft eine Kenntnis.

Es fehlen also alle Anhaltspunkte, um etwas bestimmteres über tieferliegende geologische Ursachen der Entstehung des Kaalischen Kraterfeldes auszusagen.

Man könnte das Augenmerk nur noch auf die obergotländischen Öselstufen selbst richten, um in ihnen etwaige geologische Ursachen der Kraterbildung aufzudecken, etwa in Form von Salz- oder Anhydritstöcken.

Dabei stossen wir auf die Tatsache, dass die Stratigraphie der Öseler Stufen trotz Fr. Schmidt's (1858, 1866, 1881, 1891), Twenhofel's (1916) und H. Bekker's (1925), Arbeiten, noch als wenig aufgeklärt zu bezeichnen ist. Bezüglich der Grenze

1) Dasselbe muss man bemerken, was die chemischen Voraussetzungen anbelangt. Wie eine einfache chemische Gleichung zeigt, erfordert die Oxydation des Pyrits freien Sauerstoff, dessen Vorhandensein oder Zufuhr in die erforderliche Tiefe bei den gegebenen geologischen Vorbedingungen durch nichts gewährleistet erscheint. Eine Zersetzung des Dictyonemaschiefers selbst kann auch keinen Sauerstoff liefern, da derselbe sowohl nach chemischer Zusammensetzung wie auch nach Entstehung als sauerstoffarm bezeichnet werden muss. Die Entstehung des Pyrits ist ja direkt durch den Sauerstoffmangel bedingt.

An eine natürliche Destillation könnte eher gedacht werden, obwohl die Temperaturerhöhung hier in 350 m Tiefe nur etwa $10^0$ C betragen würde.

Was die bei Linstow angeführten Erdbrände anbetrifft, so sind die in Estland sowie anderwärtig immer am Ausgehenden der betreffenden Schichten beobachtet worden, unter Beteiligung von Luftsauerstoff. Vergl. auch Herrmann 1919.

zwischen der Unter- und Oberöselstufe Fr. Schmidt's war er selbst wenig sicher und wir haben auch sonst eine Menge von verschiedenen Varianten der geologischen Übersichtskarte Ösels. Inmitten der Öseler Gesteine nehmen die *Eurypterus*-Dolomite eine besondere Stellung ein. Deren klassisches Vorkommen ist aus dem äussersten NW Ösels bekannt. Wir haben jetzt aber gute Gründe auch das Anstehende bei Kaali sowie noch weiter im Osten als Äquivalente der *Eurypterus*-Schichten anzusehen. Schreiber dieses hat in mehreren Sommern (seit 1924, anfangs gemeinsam mit Prof. H. Bekker †) die gesamten massigen und Plattendolomite des Inneren von Ösel, Moon und des angrenzenden Gebietes von Estland als Äquivalente der *Eurypterus*-Schichten kennen gelernt. Der Fund von *Eurypterus*-Resten mitten auf Moon beweist diese Auffassung am schlagendsten, abgesehen von Beobachtungen der Schichtung und Lagerung. Auch Schmidt sondert im Osten diese Plattendolomite als besondere Zone aus, bringt sie aber in der Unteröselstufe unter, ebenso wie die dieselben überlagernden kavernösen Dolomite von Kirrefer (Kirbla), Leal (Lihula), Moon und der Nordküste von Ösel.

Wenn man nun vorläufig bei der Stufeneinteilung Schmidt's verbleibt, muss in der Zonenverteilung eine grundsätzliche Korrektur vorgenommen werden: die genannten Plattendolomite mit den hangenden kavernösen gehören somit in die Oberöselstufe Fr. Schmidt's.

Eine ausführliche Darstellung dieser Verhältnisse bleibt einer später zu erscheinenden Arbeit vorbehalten.

Für unsere Zwecke wäre besonders eine Aufklärung der faziellen Verhältnisse der *Eurypterus*-Schichten von Wichtigkeit, um die Frage nach Salzbildungen beantworten zu können. Es kann bemerkt werden, dass aus den Plattendolomiten bei Kihelkonna zerstreute Steinsalzpseudomorphosen bekannt waren und dass es Angaben über schwach salzige Grundwasserhorizonte gibt.

Es ähneln die Verhältnisse in dieser Hinsicht der obersilurischen Wills Creek Formation in Maryland, wo man unter den *Eurypterus*-Schichten einen Horizont mit zerstreuten Steinsalzpseudomorphosen hat. Auf Ösel sind dieselben in keiner auffallenden Menge zwischen den genannten Schichten selbst eingelagert. Ausserdem weisen alle in der letzten Zeit gemachten chemischen Analysen Öseler Dolomite und Kalksteine einen kleinen Gehalt (0,1—0,5%) Kochsalz auf. Man hat es hier also, insofern keine

Verunreinigungen von der Tagesoberfläche in Betracht kommen, mit schwachem NaCl-Gehalt der Gesteine in feiner Verteilung zu tun.

Zu der gewöhnlichen Vorstellung von den Öseler *Eurypterus*-Schichten als Lagunenbildungen am Südrande des anrückenden Old Red Kontinents passt dieses Kochsalz ganz gut. Man hat aber vorläufig gar keine realen Anhaltspunkte, unter Ösel Salzlager oder Stöcke anzunehmen, obwohl eine Reihe von Tiefbohrungen vorliegt.[1])

Bei der Klärung der faziellen Verhältnisse der *Eurypterus*-Schichten erfordern die neueren, hauptsächlich in Amerika entwickelten Ansichten, dass die Eurypteriden Süsswasserbewohner seien, eine besonders genaue Prüfung.

Denn die in Anm. 1 erwähnte Schichtung, die stellenweise Fliesstexturen erkennen lässt, die eigenartige Faunengemeinschaft, die Konzentration der Fossilien auf bestimmten Schichtflächen, ihre Orientierung in einer Richtung (in manchen Fällen), das alles scheint für eine Sedimentation in fliessendem Wasser zu sprechen. Für Salzbildungen sind diese Vorstellungen wenig günstig. Ein genaueres Eingehen auch auf diese Fragen bleibt weiteren Arbeiten vorbehalten.

**Anmerkung 3.**

Bezüglich des Meteorkraters Coon Butte in Arizona sei auf die Literatur verwiesen (Gilbert 1896, Merrill 1908, Barringer 1906, 1914, 1924, Mulder 1919, Olivier 1925). Hier seien nur folgende Analogien dieses Kraters mit dem Kaalijärv unterstrichen.

1. Die morphologische Ähnlichkeit ist eine sehr grosse, die ohne weiteres aus einem Vergleich der Höhenlinienkarten zu ersehen ist, wenn man Taf. VI, Fig. 1 der vorliegenden Arbeit und Taf. LXVI bei Merrill 1908 nebeneinanderstellt. Wenn man die Dimensionen des Coon Butte etwa zehnmal verkleinert, hat man fast genau diejenigen des Kaalijärv.

| | Coon Butte | Kaalijärv |
|---|---|---|
| Kratertiefe | 150—165 m | 13—16 m |
| Wallhöhe | 50— 60 m | 6— 7 m |
| Grösster Durchmesser | 1275 m | 110 m |

2. Die Schichtenköpfe im Wall des Coon Butte sind ebenfalls periklinal aufgerichtet, so dass man dort von einer Aufrichtungs-

1) Von einer eingehenden Analyse der Tiefbohrung in Kaali an dieser Stelle wurde Abstand genommen, weil es zweckmässiger erscheint, alle in letzter Zeit auf Ösel gemachten Tiefbohrungen in Zusammenhang zu bearbeiten.

zone reden könnte, ähnlich wie bei Kaalijärv. Nur variieren dort die Fallwinkel in viel weiteren Grenzen, von $0^0$—$90^0$ und man beobachtet ein regelmässiges Anwachsen des Fallwinkels von N nach SE und SW, während im S der ganze Wall erhoben erscheint.

3. Nach der Literatur zu urteilen, ist bei Coon Butte eine dem Kaalijärv ähnliche Zerstörungszone im Wall nicht aufgedeckt. Wohl aber spielt ein feinverpulverter Sandstein — „silica" — im Krater eine grosse Rolle, was sehr gut dem Kaalischen Dolomitmehl entspricht. Merrill (1908) bildet auch veränderte Sandsteinproben aus dem Krater ab, die gleich den Kaalischen (Taf. III) mürber sind und ausserdem offenbare Folgen von Hitzewirkungen aufweisen.
4. Nach den Angaben von Merrill 1908 hat man in 16 Bohrlöchern mitten im Krater in einer Tiefe von 600′—1030′ festes Gestein erreicht, was der söhligen Zone der Kaalischen Krater sehr gut vergleichbar ist.

**Anmerkung 4.**

Falls das postglaziale Alter des Kaalijärv zutreffend ist, kann die Altersfrage noch genauer bestimmt werden, wenn man das Schlammprofil des Seebodens einer pollenanalytischen Untersuchung unterwirft. Eine solche Untersuchung ist bereits schon in Aussicht genommen.

**Anmerkung 5.**

Einige Schritte zur Organisation des Naturschutzes in Kaali sind bereits getan worden.

## Literaturverzeichnis.

D. M. Barringer, 1906. Coon Mountain and its Crater (Arizona). Proc. of the Acad. of Nat. Sc. of Philadelphia vol. 57, p. 881—886.

— 1914. Further Notes on Meteor Crater, Arizona. Ibid., vol. 66, p. 556—565.

— 1924. Further Notes on Meteor Crater in Northern Central Arizona (№ 2). Ibid., vol. 76, p. 275—279.

H. Bekker, 1925. Lühike ülevaade Eesti geoloogiast (Kurze Übersicht der Geologie Eestis). Sammelwerk „Eesti Loodus", Tallinn.

C. Doelter, 1912. Handbuch der Mineralchemie, Bd. I.

E. Eichwald, 1843. Neuer Beitrag zur Geognosie Estlands und Finlands. Baer u. Helmersens Beitr. z. Kenntn. d. Russischen Reiches. VIII, p. 24—25. Separat: Die Urwelt Russlands, Heft II.

— 1852. Dritter Nachtrag zur Infusorienkunde Russlands. Bull. Soc. Nat. Moscou XXV, № II, p. 457.

E. Eichwald, 1854. Die Grauwackenschichten von Liev- und Estland. XXVII, № I, p. 77—83.

Ermann, 1851 im Archiv für wiss. Kunde v. Russland IX, p. 363 ff. (nach Doss).

P. Herrmann, 1919. Über Erdbrände. Ztschr. d. D. G. G. Bd. 71, Mon. Ber. p. 66.

E. Hofmann, 1837. Geognostische Beobachtungen auf einer Reise von Dorpat bis Abo. Dorpat. p. 45—47.

— 1841. Neudruck in Baer und Helmersens Beitr. z. Kenntn. d. Russ. Reiches IV, p. 139.

J. B. Holzmayer, 1880. Das Bad Arensburg auf der Insel Ösel. Ein Rathgeber für Curgäste. Arensburg. p. 66—71.

J. Kalkun, 1922. Üldine geoloogia (Allgemeine Geologie). Tallinn. p. 101 Anm.

M. Körber, 1899. Ösel einst und jetzt. II. Bd., p. 254.

S. Kutorga, 1853. Bericht für das Jahr 1852. Verh. d. Russ. Kais. Miner. Ges. zu St. Petersb. 1852/53, p. 438.

v. Linstow, 1919. Der Krater von Sall auf Ösel. Centralblatt f. Miner. etc. № 21/22, p. 326—339.

J. W. L. Luce, 1827. Wahrheit und Muthmassung. Beytr. z. ältesten Geschichte der Insel Ösel. Pernau.

— 1850. Notizen zur topographischen Geschichte d. Insel Ösel. Mitt. aus d. Geb. d. Gesch. Liv-, Est- und Kurlands, p. 459 (vorgetr. in d. 15. Vers. d. Ges. II. 3. 1836).

G. P. Merrill, 1908. The Meteor Crater of Canyon Diablo, Arizona. Its History Origin and associated Meteoric Irons. Smiths. Misc. Coll. V. L, p. 461—498.

M. E. Mulder, 1919. Over meteorsteenen en den meteoorkraater van Canyon Diablo in Arizona. Den Haag, Maatschappij Diligentia. Natuurkundige Voordrachten 47. ser. p. 24—30. Referat: Geol. Zentralbl. Bd. 34 p. 435.

Ch. P. Olivier, 1925. Meteors. Baltimore, Williams & Wilkins Co.

K. Orviku, 1926. Rändpangaseid Eestis (Glazialschollen in Eesti). Sitzber. d. Naturforscher-Ges. bei der Univ. Tartu (Dorpat). Bd. XXXIII, I, p. 48—56.

N. F. Pogrebov, 1916. Artesianskaja burovaja skvashina blis Gapsalja. Geol. Vestn. № 4, p. 197.

K. Rathlef, 1851. Orographische Skizze von Liv-, Est- u. Kurland. Ein geographischer Versuch. Reval Einladungsschrift, p. 64.

Fr. Schmidt, 1858. Untersuchungen über die silurische Formation von Estl., Nordlivland und Ösel. P. 86. Arch. f. d. Naturkunde Liv-, Est- u. Kurlands, Bd. II.

— 1866. Üb. Thyestes verrucosus Eichw. u. Cephalaspis schrencki Pand. Verh. d. Russ. Min. Ges. St. Pet. II. Ser. I Bd. P. 217—225.

— 1881. Einleitung zur Revision der ostbalt. sil. Trilobiten.

— 1884. Einige Mitteilungen üb. die gegenwärtige Kenntn. ect. Ztschr. d. D. G. G. XXXVI p. 271.

— 1885. Geologie von Estland un Ösel. Balt. Monatschr. p. 633.

— 1891. Einige Bemerkungen über das Baltische Obersilur. Bull. de l'Acad. Imp. des Sciences de St. Pet. Mel. Geol. et Paleontol. T. I, Livr. I.

Schrenk, 1852. Übersicht d. obern silurischen Schichtensystems Liv- und Estlands vornämlich ihrer Inselgruppe. Dorpat, Abh. p. 5.

C. Teichert, 1927. Einige Bemerkungen zum „Krater von Sall" auf der Insel Ösel. Ztschr. f. Geomorphologie Bd. III, H. 2, pp. 99—103.

P. H. Twenhofel, 1916. The Silurian and High. Ordovician of Esthonia. Bull. Mus. Comp. Zool. Harv. Coll. Cambridge (Mass. U. S. A). Vol. 56, pt. 2.

S. Wangenheim v. Qualen, 1849. Der Krater bei Sall auf der Insel Ösel. Corr.-Blatt d. Naturf. Ver. zu Riga № 4 S. 49.

— 1849. Nachträgliche Bemerkungen über den Explosionskrater bei Sall. Ibid. № II, p. 175.

— 1849. Der Krater bei Sall auf der Insel Ösel. Bull. Soc. Nat. Moscou № III, p. 204.

— 1850. Noch einige Worte über den Krater von Sall. Ibid. XXIII № p. 289.

— 1852. Nachträgliche Bemerkungen üb. d. Explosions-Krater von Sall. Ibid. XXV № I p. 136.

A Wegener, 1920. Versuche zur Aufsturztheorie der Mondkrater. Abh. Leop.-Carol. Nova Acta CVI № 2 p. 109—117. Halle a/S.

— 1921. Die Entstehung der Mondkrater. Samml. Vieweg, H. 55.

## Tafelerklärung.

**Taf. I, Fig. 1.** Innenansicht des grossen Kraters. Der Wasserstand ist ziemlich tief, man sieht den oberen Teil des zentralen Steinhaufens. Besonders zu bemerken ist die steinige Uferregion, und die baumlose Zone, die durch Hochwasser verursacht wird. Photo A. Luha.

**Taf. I, Fig. 2.** Aufgerichtete Schichtenköpfe dickbankiger Dolomite rechts vom Eingang zum grossen Krater. Links Abdachung zum Kraterinnern, rechts der Wallkamm. Photo A. Luha.

**Taf. II, Fig. 1.** Ansicht des mittleren Teiles im südlichen Einschnitt des grossen Kraters. A — das Gesteinsmehl, bei B seine obere Grenze und die untersten Schichtenköpfe der Aufrichtungszone, C — D Grenze zwischen dem Mehl und der Schutthalde. Unten Eingang zum Stollen. Photo I. Reinwaldt.

**Taf. II. Fig. 2.** Blick auf den blossgelegten Kraterboden von Krater 4. Beachte besonders die vorspringenden Ecken der den peripheren Kraterboden bildenden Dolomitschicht. Das gestiegene Grundwasser verdeckt die innere Vertiefung. Photo I. Reinwaldt.

**Taf. III.** 1. Handstück des veränderten Gesteins aus der inneren Bodenvertiefung des Kraters 4. $^1/_1$.

2. Teil desselben, angeschliffen. $^2/_1$.

3. Anschliff eines Dolomitsplitters aus dem Gesteinsmehl des Kraters 4. $^2/_1$.

4. Handstück der anstehenden geschichteten Dolomite aus dem grossen Krater. $^1/_1$.

**Taf. IV** Die Wasserspiegelschwankungen im Kaalijärv September 1927 bis Januar 1928.

———— Wasserstand im Kaalijärv
——.——. „ im Hofbrunnen } in Metern über dem tiefsten Punkt des Seebodens, der einer Höhe von 11.47 m üb. d. M. entspricht.

..... Niederschläge in mm nach den Angaben der Regenstation Roomassaar bei Arensburg. Vom 10. Nov. an Frost; 24.—28. Nov. Tauwetter; vom Dezember an Schnee.

Die Beobachtungen am Brunnen konnten vom 2.—14. Nov. und am See vom 10.—20. Dez. nicht ausgeführt werden. Die Ablesungen am Brunnen sind nicht ganz genau, weil die Übertragung vom Wasserspiegel bis zur Messlatte durch eine Schnur vermittelt wurde, deren Länge sich änderte.

**Taf. V.** Profile, die durch Schürfungen im Walle des Kaalijärv, Krater 1 und 4 aufgedeckt wurden.

S — S — am Südrande des Kaalijärv
St — Stollen.
a b Erdoberfläche.
I, II (in Ringen) — Bohrungen, bei I unten Diamantbohrung.
N — N — am Nordrande des grossen Kraters.
I und II — Profile am Nordrande des Kraters 1. Bezeichnungen wie oben.
III — Profil am Südrande des Kraters 1.
Punktiert — überall das Gesteinsmehl.

Plan des freigelegten Teiles des Kraters 4. Ein Teil des Bodens der inneren Vertiefung mit Schatten versehen um seine unregelmässige Oberfläche zu zeigen.

Profil des Kraters 4 nach A—B (s. Taf. VI).

**Taf. VI.** Pläne der nivellierten Krater — Kaalijärv und Krater 1, 2, 3 und 4. Höhenlinien im Kaalijärv über 1 m, bei den übrigen über 0.25 m. Höhenzahlen in m über dem Meeresspiegel.

**Taf. VII.** Plan des Kaalijärv nebst Umgebung.

**Taf. VIII.** Schnitte durch Krater 1, 4 und den grossen. Bezeichnungen wie in Tafel V. 1, 2, 3, 4, 5 (umringte Ziffern). — Sondierungen der Mitte des Kraterbodens, die den festen Boden nicht erreichten. Im Kaalijärv der höchste während der letzten 5 Jahre beobachtete Wasserstand eingetragen.

Sonderabdruck aus: „Sitzungsberichte der Naturforscher-Gesellschaft bei der Universität Tartu", B. XXV 1—2.

Fig. 1.

Fig. 2.

Tafel II.

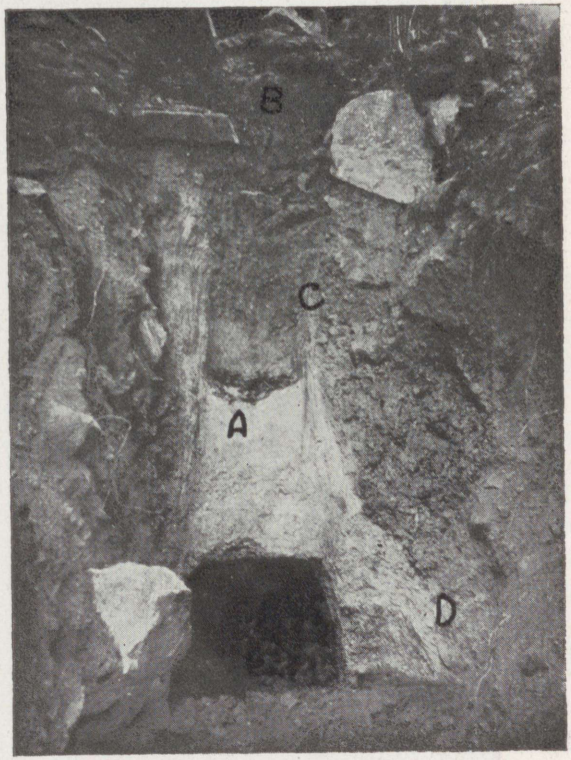



Fig. 1.

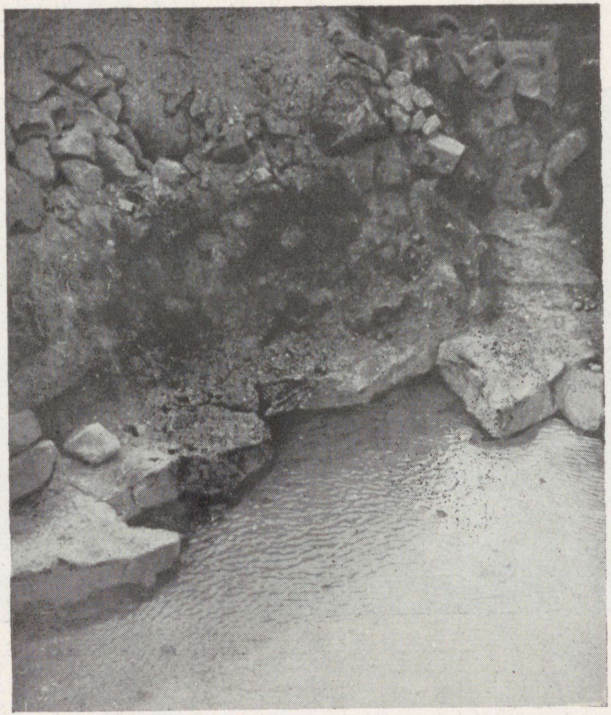
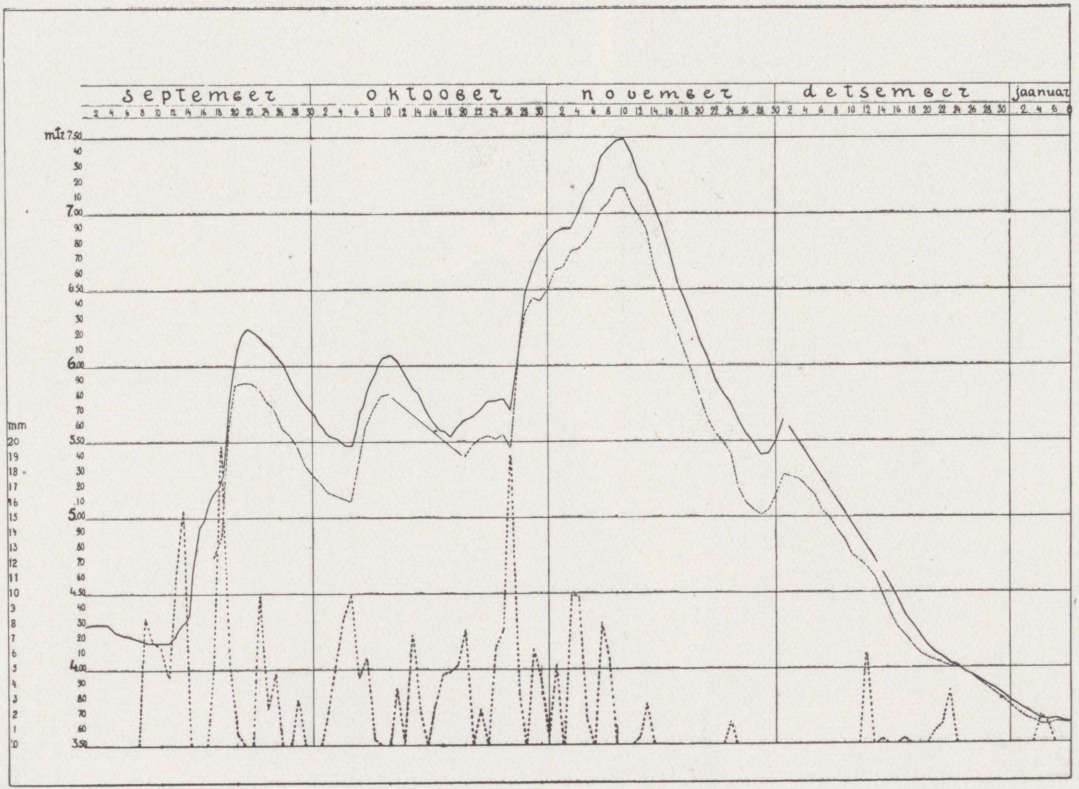


Fig. 2.

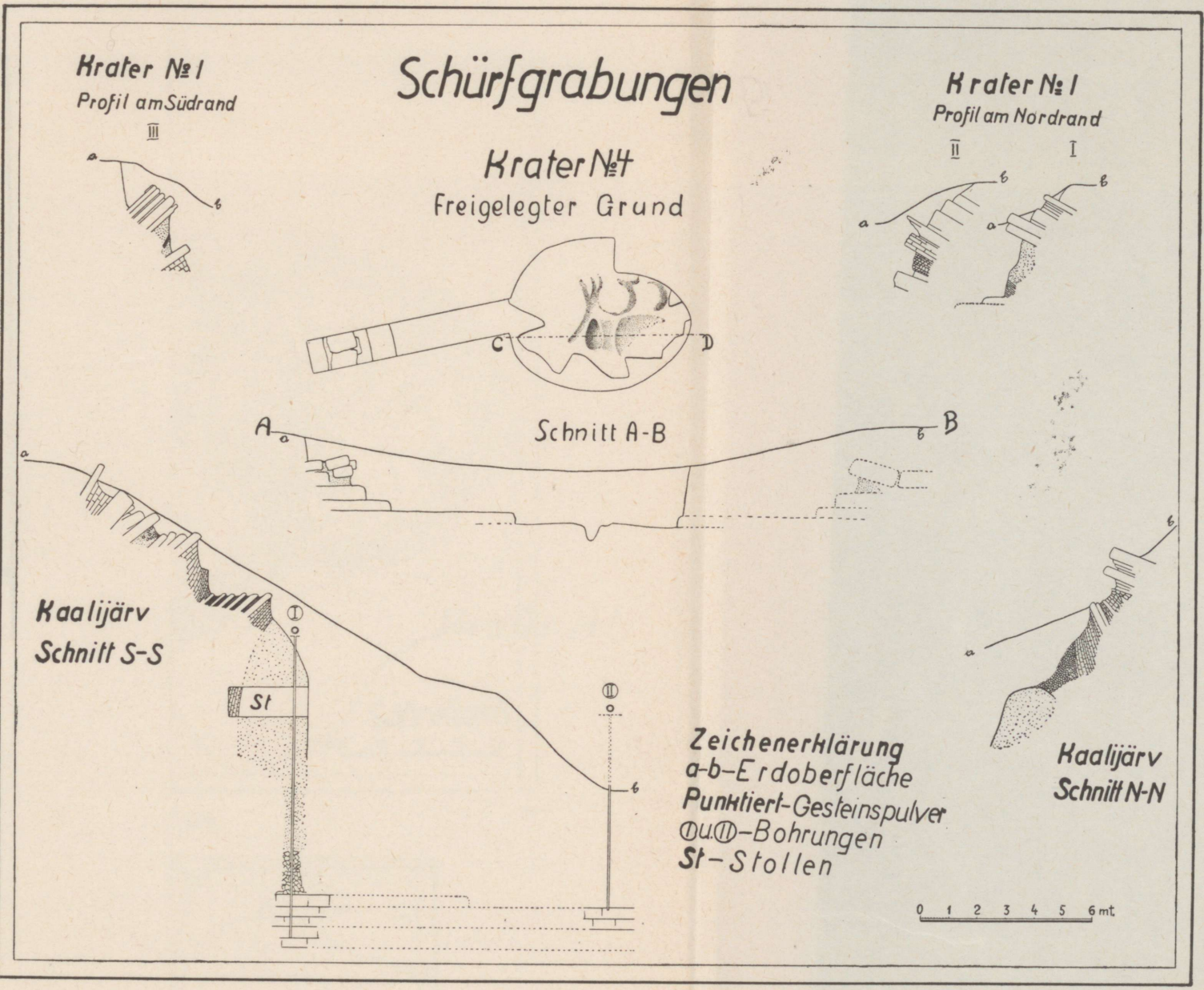
1
2
3
4

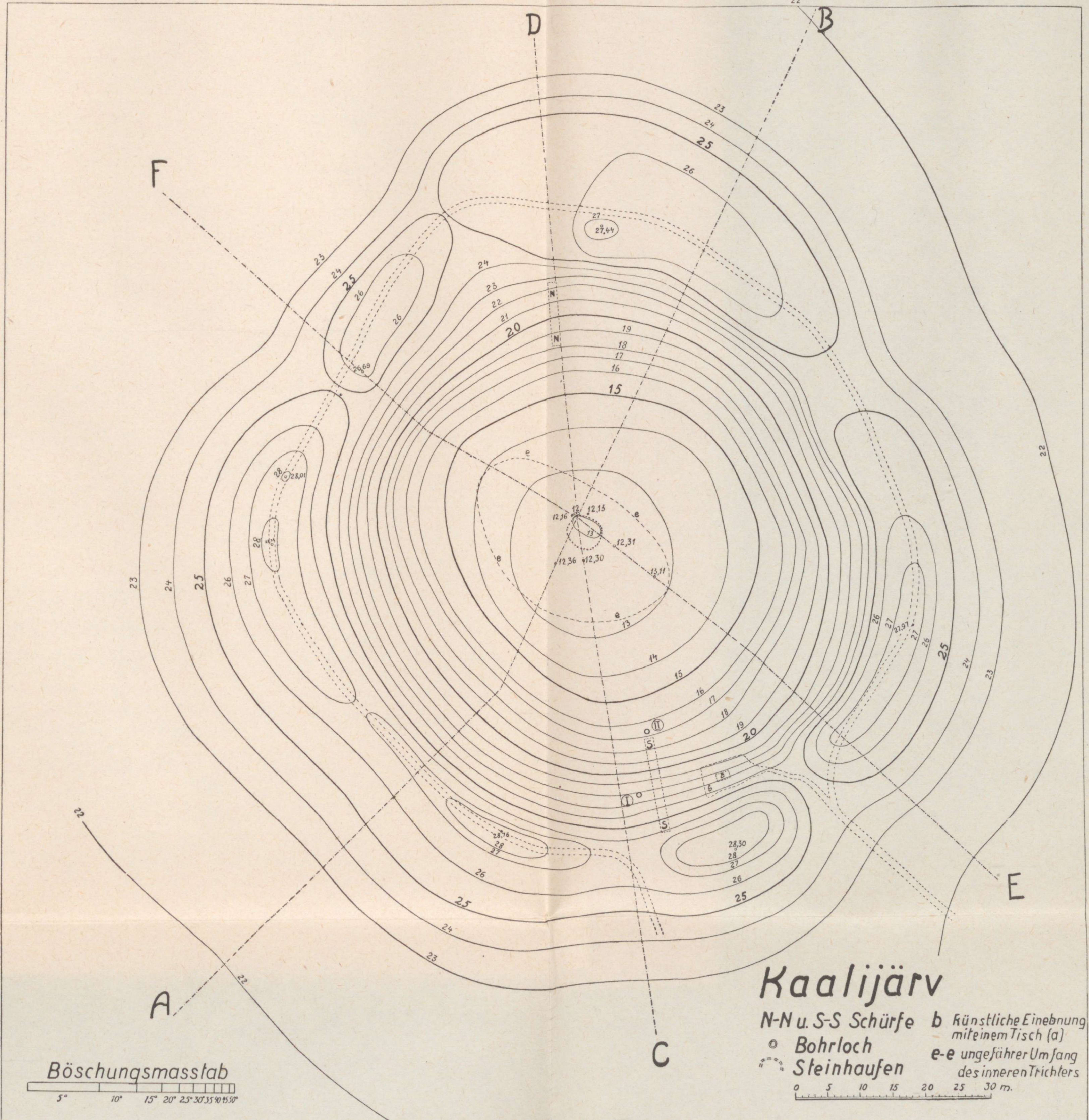
Tafel IV.




C. Mattiesen, Tartu — Dorpat.

# Schürfgrabungen





Kaalijärv
N-N u. S-S Schürfe
Bohrloch
Steinhaufen
b Künstliche Einebnung mit einem Tisch (a)
e-e ungefährer Umfang des inneren Trichters
0 5 10 15 20 25 30 m.
Böschungsmasstab
5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50°
A
B
C
D
E
F

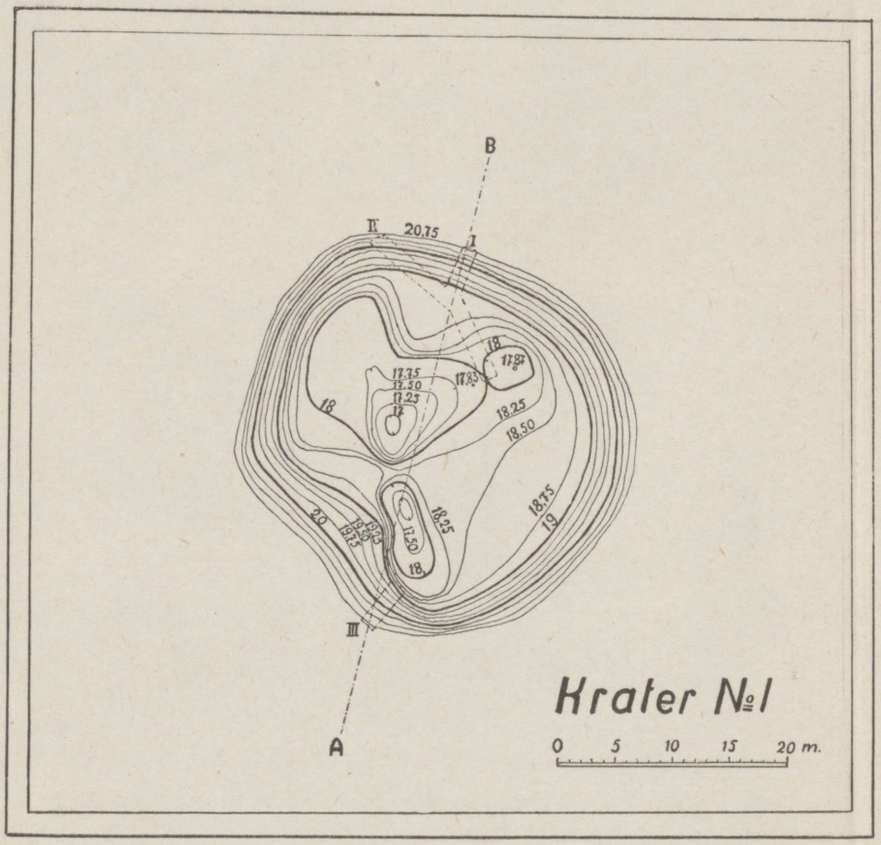



Fig. 2.

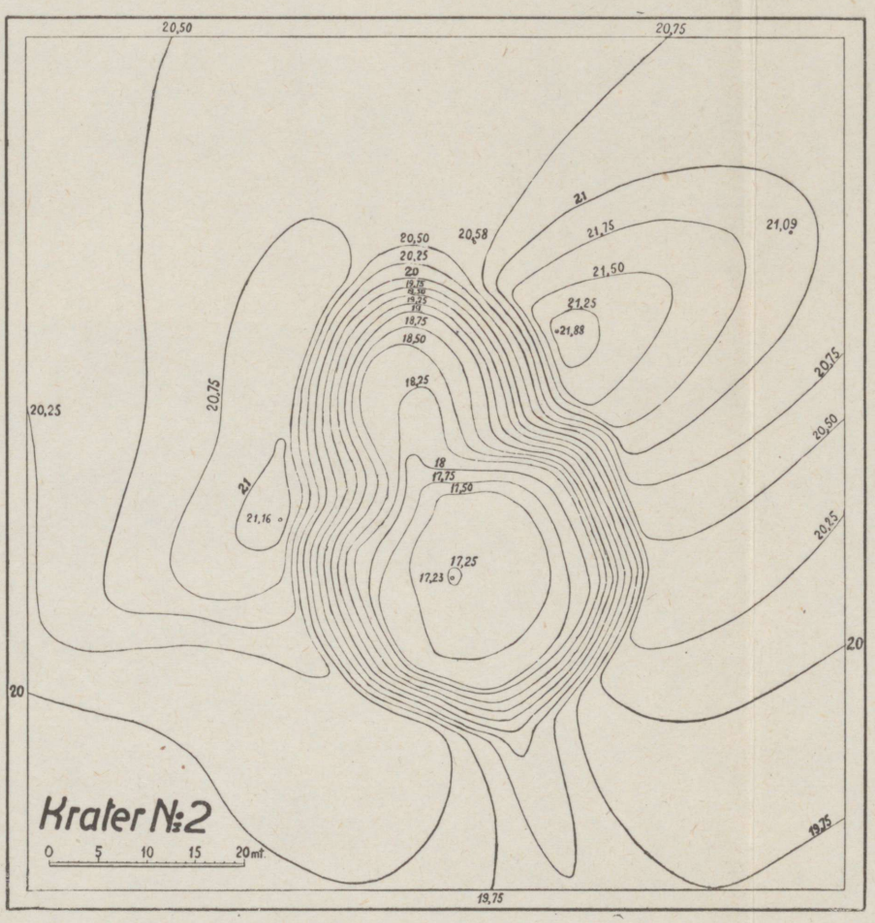



Fig. 3.

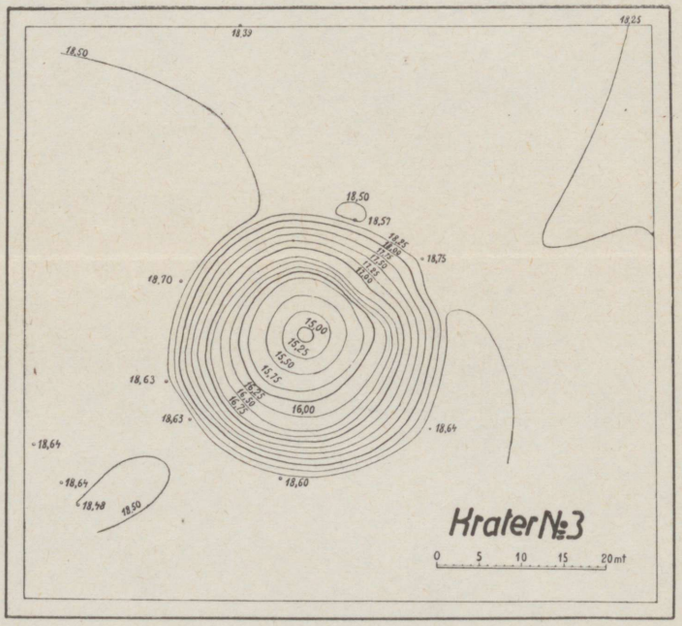



Fig. 4.

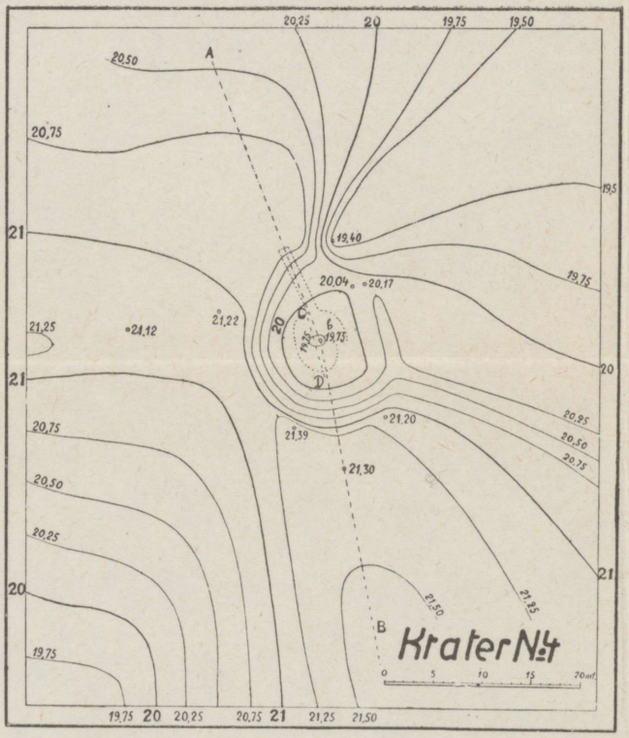
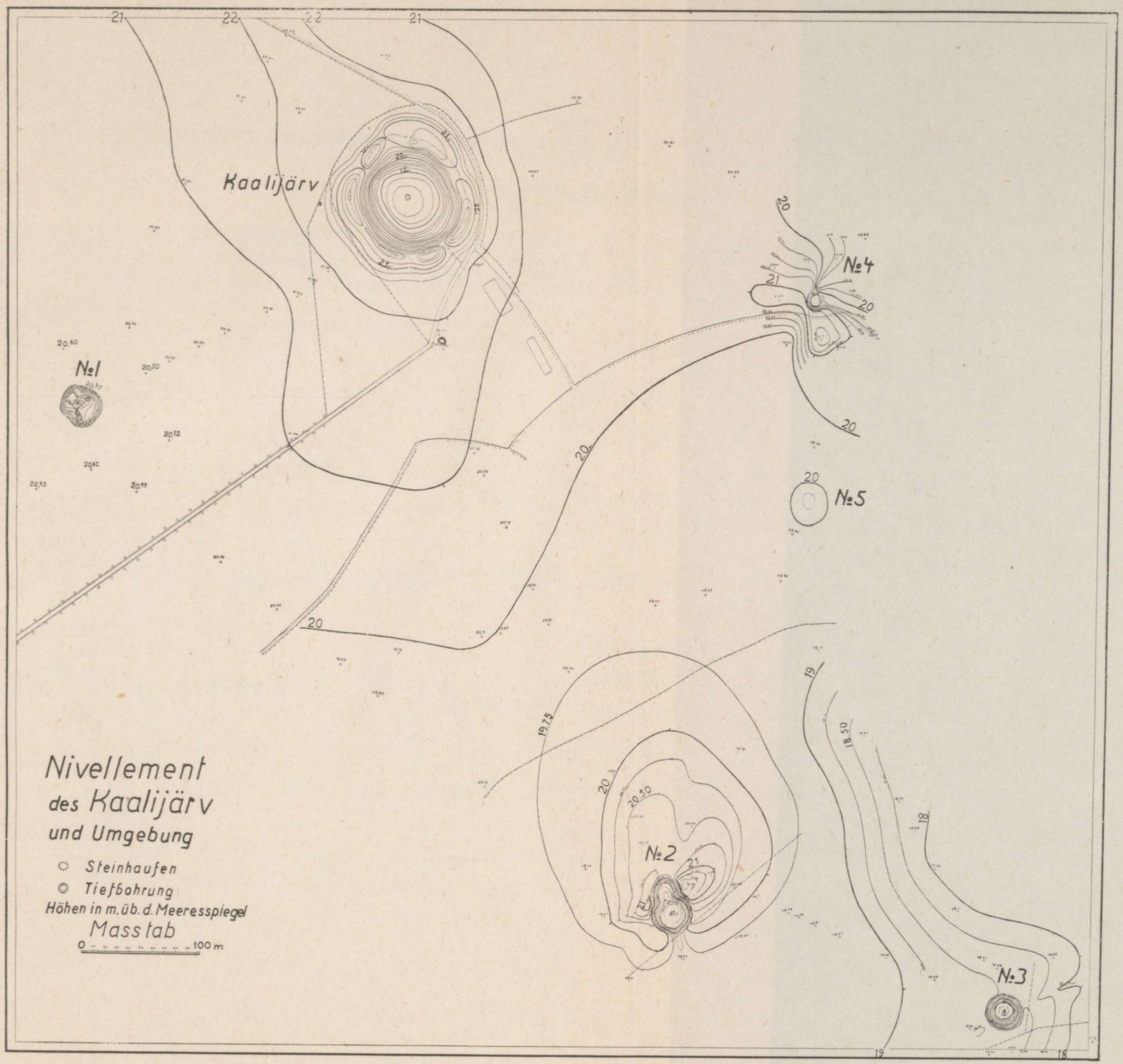
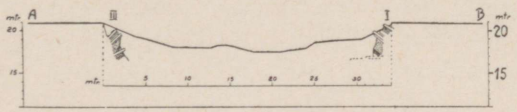



Fig. 5.

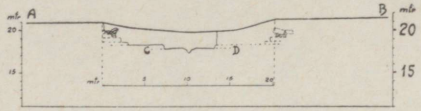

Kaalijärv
№1
№2
№3
№4
№5
Nivellement
des Kaalijärv
und Umgebung
Steinhaufen
Tiefbohrung
Höhen in m. üb. d. Meeresspiegel
Massstab
0 100 m

# Schnitte durch die Krater

## Krater №1

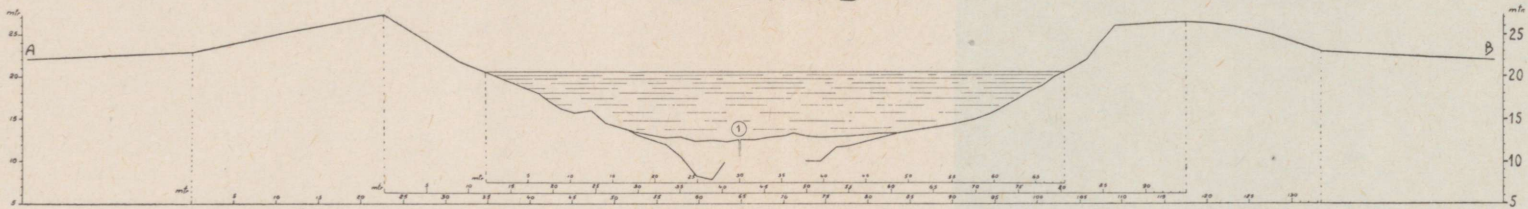



## Krater №4

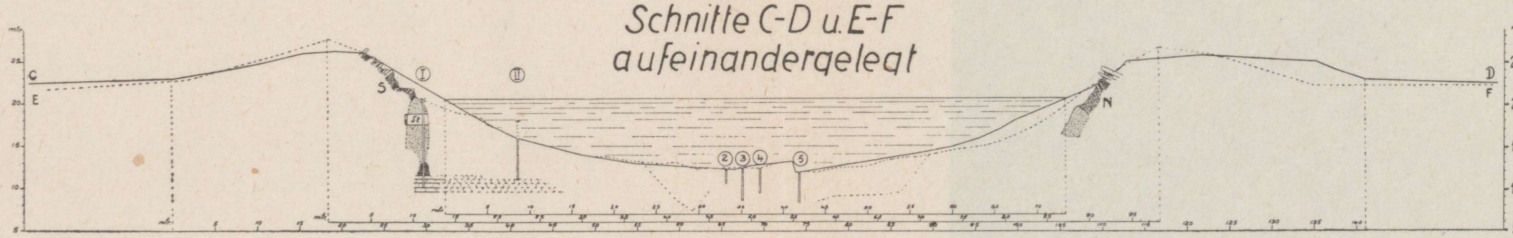



## Kaalijärv

### Schnitt A-B




### Schnitte C-D u. E-F aufeinandergelegt



Est
A-355
11.
i 3193

# Tartu Ülikooli Geoloogia-Instituudi Toimetused.

# Publications of the Geological Institution of the University of Tartu.

---

№ 1. H. Bekker, Ph. D., D. I. C., Mõned uued andmed Kukruse lademe stratigraafiast ja faunast. — Stratigraphical and paleontological supplements on the Kukruse stage of the Ordovician Rocks of Eesti (Estonia). With 2 plates, 1 map and 6 fig. in text. — Märts 1924.

№ 2. — Devon Irboska ümbruses, stratigraafia, fauna ja paleogeograafia. — The Devonian Rocks of the Irboska district (S. E. Estonia) with the description of a new cemented brachiopod. With 1 map, 6 plates and 15 fig. in text,— Okt. 1924.

№ 3. A. Öpik, Beitrag zur Stratigraphie und Fauna des estnischen Unter-Kambriums (Eophyton-Sandstein). Mit 10 Textfiguren und 3 Tafeln. — Veebr. 1925.

№ 4. A. Luha, Professor Hendrik Bekker, Ph. D. Sc. Nekroloog, pildiga. With English Summary.
A. Öpik, Beiträge zur Kenntnis der Kukruse- ($C_2$-) Stufe in Eesti. I. — Über die Kalksandsteinfacies des Vaginatenkalkes auf der Halbinsel Baltischport und über ein *Acidaspis*-Pygidium aus denselben Schichten. — Dets. 1925.

№ 5. K. Jaansoon-Orviku — Beiträge zur Kenntnis der Aseri- und der Tallinna-Stufe in Eesti. I. — Veebr. 1927.

№ 6. A. Öpik, Über den estländischen Blauen Ton. — Juuli, 1926.

№ 7. K. Jaansoon-Orviku, Rändpangaseid Eestis (Über die Glazialschollen in Eesti). Mit deutschem Referat. — Juuli, 1926.

№ 8. K. Orviku. — Die Rautenvariationen bei *Echinosphaerites aurantium* Gyll. und ihre stratigraphische Verbreitung im estnischen Ordovicium. — Märts, 1927.

№ 9. A. Öpik, Die Inseln Odensholm und Rogö. Ein Beitrag zur Geologie von NW-Estland. — Sept. 1927.

№ 10. A. Öpik, Beiträge zur Kenntnis der Kukruse- ($C_2$) Stufe in Eesti II. — Sept. 1927.

№ 11. I. Reinvaldt, Bericht über geologische Untersuchungen am Kaalijärv (Krater von Sall) auf Ösel. Mit Beiträgen von A. Luha. — Sept. 1928.

---