

Werk

Titel: Die morphologischen Klimafaktoren in der Wüste bei Heluan

Autor: Meinardus, W.

Jahr: 1933

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?251726223_1933_0009|log9

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

II. Die morphologischen Klimafaktoren in der Wüste bei Heluan.

Von WILHELM MEINARDUS.

Aus den Beobachtungen und Untersuchungen PASSARGES, die den Gegenstand der voraufgehenden Abhandlung bilden, ergibt sich mit voller Klarheit eine Bestätigung der Anschauung, daß in einem tektonisch wenig gestörten Gebiet, wie es die Wüste bei Heluan ist, die Ausgestaltung der Oberflächenformen und ihre Weiterentwicklung im Wesentlichen auf Klimakräfte zurückzuführen ist. Es wird daher nützlich sein, der voraufgehenden Darstellung eine Übersicht über die morphologisch wirksamen Klimafaktoren anzuschließen und bestimmtere, zahlenmäßige Werte dafür anzugeben. Meteorologische Beobachtungen im Wüstengebiet von Heluan stehen allerdings nicht zur Verfügung, aber das Klima in der Wüste von Heluan läßt sich hinsichtlich seiner morphologischen Bedeutung nach der zusammenfassenden Darstellung von L. J. SUTTON auf Grund der fünfzehnjährigen Beobachtungsreihe Heluans (1906—1920) gut beurteilen¹⁾. Das dortige Observatorium liegt ungefähr 25 km südlich von Kairo, nordöstlich der Stadt Heluan auf einem Vorsprung der Erhebungen, die das Niltal am rechten Ufer begleiten. Der Fluß ist etwa 5 km davon entfernt und das von ihm bewässerte Kulturland etwa 3 km. Nach Nordosten hin steigen die Berge bis zu 300 m an.

Die geographischen Koordinaten des Observatoriums Heluan sind $\varphi = 29^{\circ} 52'$ N.Br., $\lambda = 31^{\circ} 20'$ ö. L. v. Gr., $H = 116$ m.

Von den morphologisch wirksamen Klimafaktoren sollen nacheinander die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Regenfälle, die Verdunstung und der Wind behandelt werden. (Vergl. die Tabelle am Schluß.)

1) L. J. SUTTON, The Climate of Heluan. Phys. Dept. Paper Nr. 20. Cairo 1926.

1. Die Temperatur.

Die Temperaturverhältnisse werden in erster Linie durch die Ein- und Ausstrahlung bestimmt. Da die Bewölkung und der Wasserdampfgehalt der Luft gering sind, ist die Strahlung durch diese Elemente wenig behindert. Dazu kommt die Vegetationslosigkeit der Wüste.

Die geographische Breite von Heluan bedingt es, daß die mögliche Sonnenscheindauer im Laufe des Jahres zwischen 10 und 14 Stunden bleibt. Die in Heluan registrierte wirkliche Sonnenscheindauer beträgt, bei der geringen Bewölkung (2.3) und der großen Zahl vollkommen wolkenloser Tage, im Winter 71%, im Sommer 91%, im Jahr 82% der möglichen. Die Steilheit der Sonnenstrahlung läßt sich dadurch kennzeichnen, daß die Sonnenhöhe mittags vom 21. März bis 23. September größer als 60° ist und am 21. Juni 83.6° beträgt. Wegen der steilen Lage der Tageskreise der Sonne sind vor allem die Ost- und Westseiten der Berge und Täler stark bestrahlt, weniger die Südseite, außer im Winter.

Infolge dieser Umstände sind die Temperaturschwankungen des Bodens und der Luft zwischen Tag und Nacht besonders groß. Die unperiodische Tagesschwankung ist im Dezember 10.3° , im Juli 14.9° . Im mittleren Jahresverlauf schwankt die Lufttemperatur zwischen 13.0° im Januar und 27.8° im Juli um das Jahresmittel von 21.2° . Das mittlere absolute Maximum des Jahres fällt auf Juni (42.2°), das mittlere absolute Minimum auf Januar (4.1°). Der Höchstwert der Temperatur war am 16. Juni 1915 46.3° , der niedrigste am 26. Januar 1907 1.6° . Temperaturen von mehr als 40° kommen gelegentlich auch schon im April vor und auch noch im Oktober.

Lufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt sind in Heluan anscheinend bisher nicht beobachtet worden, wohl aber in der Umgebung von Kairo. So bei Kairo am 4. und 5. Februar 1880 — 2.0° , in Gise im Dezember 1905 — 4.0° ²⁾. In Kairo kann es gelegentlich zu Reifbildungen kommen. Am 2. Februar 1858 hatte sich in Alt-Kairo nachts eine 2 mm dicke E isrinde auf stehendem Regenwasser gebildet, und Reif bedeckte die Vegetation wie mit Schnee³⁾. Dieses Beispiel läßt vermuten, daß die Bodentemperatur unter dem Einfluß nächtlicher Ausstrahlung wohl noch öfter unter den Gefrierpunkt sinken kann. Aber es scheint mir angesichts der anderen morphologischen Wirkungen des Klimas nicht berechtigt

2) Meteor. Z. 1908, S. 459 und SUTTON, Climate of Heluan, S. 24.

3) J. HANN, Das Klima von Kairo. Österr. Meteor. Z. Bd. VII, 1872, S. 68.

anzunehmen, daß etwa Spaltenfrostwirkungen eine nennenswerte Rolle im Gebiet von Heluan spielen. Es wird ja auch in der Regel das Wasser fehlen, das zu einer solchen Wirkung gehört.

In Heluan werden regelmäßig um 14^h Beobachtungen an einem Schwarzkugelthermometer in vacuo gemacht. Sie erlauben eine Abschätzung der größten Wirkungen, welche die Sonnenstrahlung auf günstig exponierte Stellen ausüben kann, und sind daher auch von morphologischem Interesse. In den Monaten April bis September sind öfter Strahlungstemperaturen von über 70° vorgekommen, die höchste am 25. April 1907 (75.0°). Im Durchschnitt liegen die Schwarzkugeltemperaturen um 14^h 28° über der gleichzeitigen Lufttemperatur und 40° über dem mittleren täglichen Minimum der Lufttemperatur. Da letzteres gewöhnlich um 6^h eintritt, so ergibt sich in den Vormittagsstunden eine durchschnittliche stündliche Strahlungstemperaturerhöhung von 5°. Dies gibt einen ungefähren Anhalt für die Stärke der Beanspruchung der Gesteine unter dem täglichen Wechsel der Temperaturen.

Die Tagesschwankung der Temperatur schwächt sich mit der Tiefe im Boden rasch ab. Nach Beobachtungen von C. B. WILLIAMS östlich von Assiut war vom 3.—10. August 1922 die tägliche Lufttemperaturschwankung 11—13°. In Kalksteinschutt betrug sie in 1 cm Tiefe 35—39°, in 5 cm 18—20°, in 10 cm 12—13°, in 18 cm 5.7°, in 28 cm weniger als 2°⁴⁾. — In welcher Weise sich der tägliche Temperaturgang in der Luft und im Boden abspielt, kann auch aus folgenden, einer längeren Reihe entnommenen Beobachtungen ersehen werden, die ich bei einem Standquartier in der Wüste bei Schellal südöstlich von Assuan in einem sandigen Granitgrusboden gemacht habe.

Die Oberflächentemperatur wurde mit einem Thermometer gemessen, dessen Gefäß gerade vom Boden bedeckt war. Die Tagesschwankung der Lufttemperatur in 1.5 m Höhe sind 17°, an der Oberfläche 45°, in 2 cm Tiefe nur noch 30 bis 35°, in 5 cm 20—23°, in 10 cm 10°, in 20 cm 3—4° C.

1914	Luft	Oberfl.	2 cm	5 cm	10 cm	20 cm	Oberfl.	Bew.	Wind (Bft.)
29. Jan. 7 ^h	6.6	5.4	6.5	9.8	15.0	20.2	Min.	1.5	1 N 0-1
14 ^h	23.8	44.7	39.8	32.6	24.0	20.7	Max.	46.5	0 WNW 1-2
21 ^h	17.5	15.2	18.2	21.8	24.2	23.7	Ampl.	45.0	0 C 0
30. Jan. 7 ^h	7.2	5.8	6.4	11.3	16.4	21.0	Min.	2.6	0 C 0
28. Febr. 7 ^h	17.2	15.9	16.0	17.6	20.8	25.4	Min.	10.6	3 C 0
14 ^h	35.2	54.0	49.9	41.8	31.8	26.2	Max.	54.0	1 WSW 2
21 ^h	25.2	24.5	27.1	30.0	31.4	29.2	Ampl.	44.6	1 C 0

4) W. F. HUME, Geology of Egypt, Vol. I, S. 19. Survey of Egypt, Cairo 1925.

1914	Luft	Oberfl.	2 cm	5 cm	10 cm	20 cm	Oberfl.	Bew.	Wind (Bft.)
1. März	7 ^h	21.0	19.5	19.7	21.3	24.2	26.8	Min. 16.1	10 SE Chamsin
	14 ^h	37.6	>53	50.4	41.8	31.6	26.9	Max. >53	2 SE 3-4
	21 ^h	31.5	30.3	31.4	33.1	32.9	29.8	Ampl. >37	10 C, NW 1
2. März	7 ^h	25.5	25.3	25.8	26.8	28.3	28.8	Min. 23.5	9 C, NW 1 Regen- tr. n.

So werden die Oberflächenschichten des Bodens und Gesteins den stärksten Spannungen ausgesetzt, was zu einer Lockerung des Bodens und einer Aufsplitterung und Abschuppung der Gesteine führen muß.

Die geschilderten täglichen Lufttemperaturschwankungen vollziehen sich in Heluan mit einer großen Regelmäßigkeit tagaus tagein fast das ganze Jahr hindurch. Somit müssen die Wirkungen sich im Laufe der Zeit summieren. Dazu kommen aber unperiodische Temperaturänderungen, die für den Gesamteffekt vielleicht noch bedeutsamer werden. Sie treten am stärksten im Frühjahr auf, wenn der Chamsin weht. Die heißen, trockenen südlichen Winde, die ihn einleiten, werden gewöhnlich durch den Einbruch kalter, feuchter nordwestlicher Winde auf der Rückseite einer im Norden vorüberziehenden, aus der Libyschen Wüste kommenden Depression abgelöst. So drehte am 2. April 1922 in Kairo der Wind um 16^h in wenigen Minuten von S auf NW und wuchs dabei zu Sturmesstärke an (um 17.30^h 25 m/s). Dabei sank die Lufttemperatur innerhalb von 2 Stunden von 34 auf 20°. In Gise stieg die relative Feuchtigkeit gleichzeitig in einer Stunde von 15 auf 70% und später auf 80%. Bemerkenswert ist, daß vor dem Windwechsel ein heißer, trockener Staubsturm die Luft erfüllte, daß aber mit dem Einsetzen des Nordweststurmes kein Staub mehr aufgehoben wurde und der Himmel aufklarte, obgleich der Nordwestwind größere Stärke hatte als der vorhergehende Südwind. Ein anderes Beispiel: Am 24. April 1917 stieg die Temperatur in Heluan bei SSE von 23.3° auf 39.0°; die relative Feuchtigkeit war nur 13%. Auch nachts herrschte noch ein heißer, trockener Sturm, sodaß die Temperatur nicht unter 31.6° sank (normales nächtliches Minimum 14.1°). Das Tagesmittel der Temperatur war am 25. April 34.9°, das Maximum 43.8° und die Strahlungstemperatur um 14^h 75.0°. Beim Umspringen des Windes auf N fiel die Temperatur in der Nacht zum 26. April auf 20.0°. Die relative Feuchtigkeit war im Tagesmittel am 25. 14%, am 26. April 55%.

Diese Beispiele, die sich noch beliebig vermehren ließen, zeigen, daß unperiodische Temperaturschwankungen von beträchtlicher Höhe

die morphologische Wirkung der normalen täglichen Schwankungen wohl übertreffen können. Im Sommer sind die Witterungsverhältnisse sehr viel stetiger als im Frühjahr, da atmosphärische Störungen nur selten auftreten und die normale nordwestliche Luftströmung unterbrechen. Näheres hierüber im Kapitel Wind.

2. Die Luftfeuchtigkeit.

Zu den charakteristischen Merkmalen des Wüstenklimas in der Umgebung Heluans gehört die große Trockenheit der Luft. Im Jahresdurchschnitt beträgt die relative Feuchtigkeit nur 50%, im Dezember 60, im Mai 39%. Weit bedeutender ist die Tageschwankung, die der Temperaturperiode entgegengesetzt verläuft. Sie beträgt im Januar 26%, im Juli 53%. In diesem Monat bewegt sie sich durchschnittlich zwischen 81% um Sonnenaufgang und 28% um Mittag.

Die unperiodischen Schwankungen sind wie bei der Temperatur in der Chamsin-Periode am bedeutendsten. Mit den heißen Süd- und Südostwinden kommen sehr niedrige Werte der relativen Feuchtigkeit vor, die Tagesmittel liegen häufig unter 10%. Das beobachtete niedrigste Tagesmittel war bei ESE am 6. Mai 1913 6% bei einer Tagestemperatur von 28.4° (Maximum 36.2°) und einem Dampfdruck von nur 2,1 mm. Am niedrigsten war die relative Feuchtigkeit an diesem Tage um 21^h und am folgenden um 3^h mit 1% und der Dampfdruck mit 0,2 mm. Am 13. Juli 1913 lag die Luftfeuchtigkeit von 10–12^h bei 1%, der Dampfdruck bei 0,2 mm, und die Höchsttemperatur betrug 42.9°, die Strahlungstemperatur um 14^h 72° C.

Sobald der Wind auf NW dreht, tritt mit starker Abkühlung eine bedeutende Erhöhung der relativen Feuchtigkeit und des Dampfdrucks ein.

Der Dampfdruck zeigt eine jährliche Periode mit einem Maximum im August (13.0 mm) und einem Minimum im Februar (6.0). Die tägliche Schwankung wächst von Januar (0.9 mm) zum Juli (5.9 mm) mit der Temperatur. Daß er starken unperiodischen Schwankungen unterliegt, ergibt sich aus dem Vorigen.

Das Sättigungsdefizit macht eine ähnliche Jahresschwankung durch wie der Dampfdruck: im Januar 4.6, im Juli 16.4 mm; das Jahresmittel beträgt 10.7. In den Chamsin-Perioden kann das Sättigungsdefizit Werte von mehr als 30 mm erreichen. Am 20. März 1901 um 16^h betrug es sogar 46 mm bei einer Lufttemperatur von 37° und einer relativen Feuchtigkeit von 2%. Der Taupunkt muß ungefähr bei –20° gelegen haben. Ähnliche Fälle

sind auch sonst vorgekommen, sie beweisen, daß die Austrocknung in der Wüste in der Regel so groß ist, daß die etwa vorhandene Feuchtigkeit des Bodens rasch aufgezehrt wird. (Siehe Kapitel Verdunstung).

Andererseits fehlt es aber in der Nähe des Niltals auch nicht ganz an Tagen mit Nebel und Taufall. Naturgemäß kommen diese Kondensationsformen bei der starken Temperaturperiode und Einstrahlung nur in den nächtlichen Frühstunden vor und verschwinden sehr bald nach Sonnenaufgang. Am Observatorium zu Heluan werden diese Erscheinungen in den Wintermonaten und auch noch im Frühjahr gelegentlich beobachtet. Aber man darf mit W. F. HUME (a. a. O. S. 150) annehmen, daß sie weiter ostwärts in der Wüste zu den größten Seltenheiten gehören und daher auch nicht für chemisch-morphologische Vorgänge verantwortlich gemacht werden dürfen.

Etwas anderes ist es, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft, der nie ganz fehlt, für die Salzverwitterung, die in der Wüste von Heluan nach den obigen Ausführungen PASSARGES eine wichtige Rolle spielt, in Anspruch zu nehmen. Die hygroscopischen Salze der Gesteine vermögen der Luft auch Feuchtigkeit zu entziehen, wenn sie vom Sättigungszustand weit entfernt ist.

3. Die Regenfälle.

Nach den Beobachtungen von 1904—1924 beträgt die jährliche Niederschlagshöhe in Heluan 37 mm, die an 11 Niederschlagstagen (von >0.1 mm) meistens zwischen November und Mai fallen. Die Regendichte (Menge an einem Regentag) ist demnach 3.4 mm. Ähnliche Werte gelten für die nördlicher gelegenen Orte Gise (28 mm, 10 Tage, 2.8 mm), Abbasije (32 mm, 14 Tage, 2.2 mm), Sues (26 mm, 7.5 Tage, 3.5 mm). An der Mittelmeerküste sind die Regen nicht nur reichlicher und häufiger, sondern durchschnittlich auch heftiger: Port Said 83 mm an 18 Tagen, Regendichte 4.6 mm; Alexandria 204 mm an 42 Tagen, Regendichte 4.9 mm.

Südlich von Heluan hören die regelmäßigen Niederschläge so gut wie ganz auf. Die dortigen meteorologischen Stationen wie Beni Suef, Minya, Assiut, Assuan, Wadi Halfa und Meroë haben im langjährigen Durchschnitt 0.0 mm Niederschlag. Sie gehören also zu den extremsten Trockengebieten der Erde. Bekanntlich schließt das nicht aus, daß in langen Zeitabständen auch dort noch Regen vorkommen⁵⁾.

5) Vgl. Beispiele bei W. F. HUME, a. a. O. S. 84 ff.

Heluan liegt noch gerade an der Grenze des Gebietes, in welchem die westöstlich ziehenden Depressionen des Mittelmeeres im Winter oder auch die aus der Libyschen Wüste kommenden im Frühjahr Niederschläge verursachen können. Der Sommer (Juni-September) ist dagegen so gut wie ganz regenlos, obgleich dann die Winde stetig vom nur 200 km entfernten Mittelmeer kommen. Aber sie haben keinen Auftrieb und werden von Westwinden schon in 2—3 km Höhe überweht⁶⁾. So fällt die größte Monatsmenge durchschnittlich auf Januar (10 mm = 26 % der Jahressumme). Dezember und Februar haben zusammen nur 11 mm (30 %), März und April desgleichen; der Rest von 14 % verteilt sich auf Mai, Oktober und November. Die morphologischen Wirkungen der Regenfälle konzentrieren sich demgemäß vorwiegend auf die kühlere Jahreshälfte.

Wichtiger sind aber vom morphologischen Standpunkt aus betrachtet die Tagesmaxima des Niederschlages (s. Tabelle). In allen Monaten übertreffen die Tagesmaxima die durchschnittlichen Monatsmengen. Der absolut höchste Wert in der ganzen Beobachtungsreihe (37.3 mm) überstieg sogar noch die mittlere Jahresmenge. Ähnliches gilt für die Stationen Gise (absolutes Tagesmaximum 34.4 mm), Abbasije bei Kairo (35.5 mm) und Sues (31.0 mm)⁷⁾.

Immerhin sind so starke Regenfälle selten, wie daraus hervorgeht, daß in den 21 Beobachtungsjahren nur an 19 Tagen Regen von >10 mm und davon nur an 7 Tagen, d. h. jedes dritte Jahr einmal, >20 mm fielen. Von einer stetigen morphologischen Wirkung der Niederschläge kann also keine Rede sein. Dagegen werden die seltenen, konzentrierten Regenfälle umsomehr ihre Spuren hinterlassen.

So füllen sich auch bekanntlich die sonst trockenliegenden Haupt- und Nebenwadis gelegentlich mit Wasserfluten, und zwar ist das meistens in Frühjahrsmonaten der Fall im Gefolge von Depressionen, die im N von Heluan vorüberziehen. Das Abkommen einer Wasserflut im Wadi Abu Schuscha bei Heluan am 14. April 1895 ist schon von PASSARGE erwähnt (S. 38). L. J. SUTTON berichtet über schwere Regenfälle, die vom 19.—21. April 1909 andauerten und das absolute Tagesmaximum (37.3 mm) der ganzen Periode lieferten. Der Witterungsbericht des Observatoriums sagt,

6) L. J. SUTTON, The upper currents of the atmosphere in Egypt and the Sudan. Phys. Dept. Paper Nr. 17. Cairo 1925.

7) Climatological normals for Egypt and the Sudan. Phys. Departm. Public. Cairo 1922.

daß für gewöhnlich schlechtes Wetter vom W komme, aber in diesem Falle scheine die Depression von S heraufgezogen zu sein. Denn an allen Stationen bis Wadi Halfa hinauf sind um diese Zeit Gewitter mit heftigen Regen vorgekommen. „Große Wassermassen flossen aus der östlichen Wüste in den Nil, erhöhten seinen Wasserstand und verfärbten sein Wasser. Beschädigungen von Häusern und Fluren wurden aus dem Deltagebiet berichtet.“ Das Wadi Hof war in diesem Falle von einem breiten Wasserlauf eingenommen, der Sand und Schlamm transportierte.

Auch in Kairo ist es schon häufig zu starken Überschwemmungen gekommen, wenn heftige Regengüsse auf das benachbarte, von Trockentälern zerschnittene Mokattam-Plateau fielen. So ereignete sich am 17. Januar 1919 bei Kairo eine ungewöhnliche Flut durch einen starken Regenfall von 45 mm. Eine große Wassermasse ergoß sich von den östlich gelegenen Höhen westwärts und überschwemmte das Gelände zwischen Kairo und Heliopolis. Die elektrische Bahn mußte außer Betrieb gesetzt werden, weil in den Bahneinschnitt bei Kubbe etwa 15000 cbm Sand und Schlamm zusammengeschwemmt waren. Wie lokal solche Regenmengen auftreten, zeigte sich am 10. Mai 1923 als nach einem einstündigen Regen wieder bei Kairo große Schuttmassen zusammengeschwemmt wurden. An diesem Tage fielen in Kairo 23 mm, in Heluan an der Südgrenze der Störung nur 6 mm.

Abgesehen aber von solch vereinzelt seltenen Vorkommnissen sind die Regenfälle, welche die Jahressumme zusammensetzen, meistens wenig ergiebig. Von den 11 Niederschlagstagen mit > 0.1 mm sind nur 7 mit > 1.0 und nur 2 mit > 5 mm. Aus den Meteorological Reports der Jahre 1913—17 und 1924, die ich zur Hand habe, ist folgendes zu entnehmen. Die Zahl der Tage mit Regen verschiedener Stufenwerte war im Jahresdurchschnitt:

Regentropfen	> 0.1	> 1.0	> 3.0	> 5.0 mm
15.8	11.0	8.0	4.1	2.1 Tage.

Die höchste Tagesmenge des Niederschlags war in diesen 6 Jahren 25.8; dann folgen Tagesmengen von 13.9, 12.6 usw. Bemerkenswert ist, daß die Zahl der Tage mit Regentropfen (16) größer ist als die Zahl der Tage mit meßbarem Niederschlag. Das trifft auch für andere Wüstenstationen zu, so für Kairo, wo im Durchschnitt der Jahre⁸⁾ 1887—1898 jährlich 29 Tage mit unmeßbarem Regen 20 Tagen mit ≥ 0.1 mm Regen gegenüberstanden.

8) Meteor. Z. 1908, S. 460.

Die jährliche Periode der Regentage ist aus der Tabelle zu ersehen, ebenso die der Regendichte, die abweichend von der Regenperiode ihre höchsten Werte im Frühjahr hat.

Die in Heluan und seiner Umgebung fallenden Niederschläge sind also meistens von sehr geringer Intensität. Am häufigsten kommt es nur zum Fall von Regentropfen und ganz geringen Mengen, die gewiß viel zu klein sind, um auf dem ausgetrockneten Boden Wasseradern bilden zu können. Vielmehr wird der schuttbedeckte Boden das spärliche Naß, soweit es nicht sofort der Verdunstung anheimfällt, leicht in sich aufnehmen können. Auf diese Weise kann auch eher als bei heftigen Regen die Bodenfeuchtigkeit genährt werden. Ihr weiterer Verbleib richtet sich ganz nach den lokalen Bedingungen, die durch die Beschaffenheit des Gesteins, durch die Gestalt und Neigung des Bodens und die Zirkulationsmöglichkeiten im Boden gegeben sind. Wahrscheinlich sind es aber gerade diese geringen Niederschläge, die den Vorgang der chemischen Verwitterung im Boden und Gestein bedingen und fördern.

Die unperiodischen Niederschlagsschwankungen sind durch folgende Daten charakterisiert. Die Jahresmengen haben in der 21 jährigen Beobachtungsreihe zwischen 91.1 mm (1908) und 8.3 mm (1905) geschwankt. Wenn man der Regenperiode entsprechend die Jahre von Juli bis Juni rechnet, ergeben sich Schwankungen zwischen 94.0 und 8.1, das sind 260 bzw. 22% des Normalwertes. Das nasseste Jahr ergab 11 bis 12 mal soviel Regen wie das trockenste, eine für Wüstengegenden bezeichnende Erscheinung. Nach Stufenwerten der Jahresmengen geordnet ist die Anzahl der Jahre (von Juli bis Juni) folgende:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	1	4	3	4	3	4	—	—	—	1.

Man sieht, daß der erwähnte Höchstbetrag von 94.0 mm den zweithöchsten (58.2) weit überschritten hat; andererseits steht dem Minimalwert (8.1) eine Reihe von Werten zwischen 11 und 14 mm nahe.

Man kann nach dem Vorgang von E. BIEL auch die mittlere Abweichung der Jahresmengen vom Durchschnittswert als Maß für die unperiodischen Schwankungen wählen. Sie beträgt ± 16.9 mm = 47% der normalen Jahresmenge. Für Abbasîje ist nach BIEL der Wert 50%, für Alexandria aber bezeichnenderweise nur 21%. Es gibt also Jahre, in denen fast gar kein Regen fällt, aber auch die regenreichsten Jahre sind in Anbetracht der Trockenheit der Luft und der Größe der Verdunstung geringwertig.

Auch die Niederschlagshäufigkeit unterliegt großen Schwankungen: in den beiden trockensten Jahren gab es nur je 5 Tage mit meßbarem Niederschlag; in 2 nassesten dagegen je 17 Tage. Sie konzentrieren sich meist auf die Wintermonate, wenn die Mittelmeerdepressionen im N. vorüberziehen, aber es kommen selbst im Winter häufiger gänzlich niederschlagslose Monate vor. Das ist noch mehr der Fall von März bis Mai, und im Juni ist in 21 Jahren nur einmal Regen gefallen (1.9 mm).

Aus alledem ergibt sich, daß es im Gebiet von Heluan zu bedeutenderen erosiven Wirkungen des fließenden Wassers nur in langen Zwischenräumen kommen kann. Zur Ausgestaltung der heute vorhandenen ausgeprägten Erosionstalform der Wadis müssen also lange Zeiträume und sogar feuchtere Klimacharaktere der Vorzeit angenommen werden. Dagegen sind die Wirkungen geringer Regenmengen, die mehr chemischer als physikalischer Natur sein können, häufiger. Der Wechsel von feucht und trocken begünstigt die Salzverwitterung in den obersten Schichten. Eine nachhaltige Durchfeuchtung des Bodens und die Bildung eines allgemeinen Grundwasserhorizonts ist ausgeschlossen. Es kann nur episodisch zur Bewegung und Ausschlammung von Salzmehl- und Breimassen und zur weiteren Ausgestaltung von Nischen kommen, wie es PASSARGE in seiner Einzelbeschreibung dargetan hat.

4. Die Verdunstung.

Daß die Verdunstung bei den niedrigen Werten der relativen Feuchtigkeit und den hohen Temperaturen außerordentlich stark sein muß, wird durch die Verdunstungsmessungen an einem Wildschen Evaporimeter in Heluan bestätigt. Das Instrument ist, wie üblich, in einer Thermometerhütte aufgestellt und befindet sich daher in einer den wirklichen Verhältnissen nicht entsprechenden Lage. Aber durch vergleichende Messungen mit der Verdunstung an offenen Wassertanks im Nil bei Assuan hat sich ein Reduktionsfaktor ermitteln lassen, der wenigstens ungefähr die richtigen Verdunstungswerte für eine Wasserfläche abzuleiten gestattet. Man hat die Wild'schen Werte mit 0.74 zu multiplizieren, um die Werte zu erhalten, die von einer Wasserfläche von 1 qm Oberfläche verdunsten würden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle auf S. 111 angegeben. Die jährliche Periode ist sehr stark ausgeprägt: im Winter würden 198, im Frühling 503, im Sommer 663 und im Herbst 406 mm verdunsten können. Die Jahressumme, 1770 mm, würde die jährliche Niederschlagsmenge fast um das 50-fache übertreffen. In der jährlichen Periode der Verdunstung

fällt auf, daß das Maximum schon im Juni, das Minimum im Dezember auftritt. Das entspricht auch den Eintrittszeiten der Extreme der Windgeschwindigkeit, von der ja die Verdunstung abhängt. Auch das Sättigungsdefizit hat dieselbe Periode und läßt auch noch eine andere Beziehung zur Verdunstungsperiode erkennen, nämlich die Tatsache, daß nach dem Juni-Maximum von Juli bis September sowohl Verdunstung wie Sättigungsdefizit verhältnismäßig groß sind.

Wenn auch die Verdunstung im Winter am kleinsten, die Regenmenge am größten ist, so wird diese im Durchschnitt auch dann noch von jener weit übertroffen. So gibt es auch nur wenige Tage im Jahre, an denen die Regenmengen durch die Verdunstung nicht eine erhebliche Einbuße erleiden. Die Regenwirkung auf die morphologischen Vorgänge wird dadurch entsprechend vermindert.

5. Der Wind.

Die Ergebnisse der 15 jährigen Windbeobachtungen zu Heluan (1906—1920) zeigen während des ganzen Jahres vorherrschende Richtungen aus dem nördlichen Quadranten. Am stetigsten sind diese von Juni bis September (94—96 %); im Jahresdurchschnitt entfallen auf sie 76 %. Im Winter ist die Richtung häufiger auch aus dem südlichen Quadranten (31—33 %) im Zusammenhang mit den schon öfter erwähnten Mittelmeerdepressionen. Winde aus diesen Richtungen kommen aus den südlichen und südwestlichen Wüstengebieten und sind daher im Winter meist kalt, im Frühjahr aber sehr warm und trocken. Die vom linken Nilufer kommenden Westwinde sind sehr selten, von Dezember bis Mai 6—10 %, von Juni bis Oktober 1—3 %. Diese Tatsache ist wohl insofern von morphologischer Bedeutung, als Sandwehen aus dem Bereich der Libyschen Wüste, wenn überhaupt, nur selten in das von Natur sandfreie Gebiet von Heluan herüberkommen können. Dagegen haben die überwiegenden Winde aus dem nördlichen Quadranten, die vom Meere kommen und über das Kulturland des Nildeltas streichen, überhaupt keine Gelegenheit, nennenswerte Mengen von Trübungen auf diesem Wege aufzunehmen. Erst die Mokattam-Berge und das östlich anschließende Wüstengebiet könnte Material für diese Winde liefern.

Die Stärke der Luftbewegung wird in Heluan mit einem Schalenanemometer (Kew Model) in 20 m Höhe über dem Boden gemessen. Die Registrierungen sind daher in dem Sinne beeinflußt, daß sie höhere Werte ergeben als in Bodennähe, wo der Wind seine morphologische Wirksamkeit ausübt. Die folgenden

Angaben bedürfen daher einer zahlenmäßigen Reduktion, wenn man ihre morphologische Wirkung veranschlagen will. Einen ungefähren Anhalt hierfür geben die von G. HELLMANN diskutierte Beobachtungen an der Funkstation Nauen (1912—16)⁹⁾. Nach seiner Formel würde dort die Windgeschwindigkeit in 20 m Höhe 4.9, am Boden 3.0 m/s sein. Messungen mit einem kleinen Handanemometer (Fueß) ergaben mir am 9. Januar 1914 in der Wüste von Heluan folgende Vergleichswerte:

	10 ^h 25	11 ^h 35	13 ^h 35	15 ^h 10	Mittel
2 cm über dem Boden	5.2	6.1	5.6	5.3	5.6 m/s
170 cm „ „ „	6.6	8.0	9.9	9.0	8.4 m/s.

Die Zunahme der Windgeschwindigkeit nach oben war also doch sehr beträchtlich: das Verhältnis der Mittelwerte ist 2:3. Nach den Registrierungen in Heluan war das Tagesmittel an dem Beobachtungstage 6.3 m/s. Der um 8^h40 aufgelassene Pilotballon zeigte in 130 m Höhe über N.N. 10 m/s aus S 30° W, in 500 m Höhe 13 m/s aus S 40° W an. Man wird also wohl die registrierten Werte als Höchstwerte anzusehen haben, aber man ist zur Beurteilung der Windverhältnisse allein auf sie angewiesen.

Die Windstärke zeigt eine ausgeprägte jährliche Periode: das Maximum (5.6 m/s) im Juni, das Minimum (3.7) im Dezember und Januar; das Jahresmittel ist 4.7 m/s. Bedeutender als die Jahreschwankung (1.9) ist die tägliche Schwankung der Windgeschwindigkeit. Die ruhigste Zeit fällt ungefähr auf die Stunde des Sonnenaufganges, wenn auch die Temperatur ihren niedrigsten Stand erreicht und eine stabile Lagerung der Luftschichten stattfindet. Die höchsten Werte der Windgeschwindigkeit treten im Winter zwischen 14 und 16^h, in den anderen Jahreszeiten aber auffallenderweise und vermutlich lokal bedingt erst um 21^h auf. Die mittlere tägliche periodische Schwankung erreicht ihr Maximum im Mai und Juni (4.8 m/s), ihr Minimum im Dezember (2.2). Die Neigung zu Turbulenzen und Trombenbildung muß daher in den späten Nachmittagsstunden der Frühjahrs- und Sommermonate am größten sein und dabei durch die sehr hohen Temperaturen und geringen Feuchtigkeiten der Luft um diese Zeit besonders begünstigt werden.

Vom morphologischen Standpunkte interessieren besonders die einzelnen Höchstwerte der Windgeschwindigkeit. Leider werden aber in den Meteorological Reports von Aegypten für

9) G. HELLMANN, Meteor. Z. 1917, S. 281 f.

Heluan nur die Tagesmittel mitgeteilt¹⁰⁾. Die höchsten Monatswerte liegen durchschnittlich zwischen 7 und 10 m/s, die absoluten Maxima zwischen 9 und 13. Das absolut höchste Tagesmittel der Windgeschwindigkeit war in der 15jährigen Reihe 13.2 m/s am 12. Oktober 1919 bei steifem Nordostwind und klarem Himmel. Nur an 14 Tagen des ganzen Zeitraumes lag das Tagesmittel über 11 m/s, so daß ein solches nur in jedem Jahr einmal vorzukommen pflegt.

Einzelne Stundenmittel gehen natürlich noch weit über die Tageswerte hinaus. Nach SUTTON waren die Stundenhöchstwerte am 2. April 1922 24.2 und am 7. Mai 1910 23.6 m/s.

Die unperiodischen Schwankungen der Windstärke halten sich, wenn man die Monatsmittel der verschiedenen Jahrgänge vergleicht, in merkwürdig engen Grenzen: die mittleren Abweichungen der Monatsmittel liegen zwischen ± 0.2 und ± 0.7 m/s. Es herrschen also, im ganzen gesehen, recht stabile Verhältnisse in den Windstärken mit ihrer ausgeprägten jährlichen Periode, ein Zeichen für die in tropischen Gebieten weniger wechselnden allgemeinen Luftdruckverhältnisse.

Von besonderem Interesse sind die Staubstürme (dust storms), die, wie SUTTON angibt, bei Windgeschwindigkeiten von mehr als 40 km/h (11.1 m/s) auftreten können. Am häufigsten sind sie im Frühling während der sog. Chamsin-Periode, wenn bisweilen trockene heiße Südwinde wehen. Auch im Winter kommen Südwinde vor, aber sie sind kalt (kalte Chamsine)¹¹⁾. Nach einer von 1915—23 geführten Statistik kommen jährlich im Durchschnitt 14 Staubstürme vor, davon je 2 im März und April, weniger in den beiden Monaten vorher und nachher und im Oktober; im Sommer sind sie selten. Sie kommen meist aus dem südlichen Quadranten und die Windgeschwindigkeit kann Werte bis über 20 m/s erreichen, so am 2. April 1922.

Daß bei diesen Staubstürmen auch Sandmassen befördert werden könnten, steht außer Zweifel. Aber umso bemerkenswerter ist es, daß sich in der Wüste von Heluan keine nennenswerten Sandablagerungen finden, ganz im Gegensatz zu den auf der andern Seite des Nils gelegenen Gebieten, in denen Sandtriften und Dünenbildungen und -wanderungen zu den typischen Erscheinungen

10) Leider entsprechen die Veröffentlichungen der meteorologischen Beobachtungen und Registrierungen des Observatoriums von Heluan nicht dem internationalen Schema, das stündliche Werte vorschreibt.

11) Vgl. L. J. SUTTON: A barometric depression of the Khamsin Type. Phys. Depert. Paper Nr. 10. Cairo 1923.

gehören. Dieser Gegensatz, der durch die Beobachtungen von PASSARGE und mir bezeugt werden kann, entspricht, wie aus den Darstellungen der kompetentesten Wüstenforscher in Ägypten hervorgeht, der Tatsache, daß westlich des Nils in den miozänen Ablagerungen im N der Libyschen Wüste der Ursprung sandigen Materials gesucht werden muß, während auf der Ostseite des Nils diese Zone fehlt¹²⁾.

Außer den erwähnten Staubstürmen kommen im Gebiet von Heluan kleinere Staubtromben (sand devils) vor, in denen Sand oder Staub um eine vertikale oder geneigte Achse rotiert. Sie sind bei ruhigem Wetter in der wärmeren Jahreszeit sehr häufig und wandeln einzeln oder zu mehreren durch die Wüste, wobei der Staub weit über 100 m hochgehoben werden kann.

Die morphologische Wirkung der Staubstürme und -wirbel scheint nach den Beobachtungen, die PASSARGE gewonnen und diskutiert hat, nicht erheblich zu sein, was auch von anderer Seite entgegen früheren Anschauungen behauptet wird. Es ist vor allem zu bedenken, daß der Schuttmantel der Hamada die Windwirkung lahmlegt. Nur wo eine Verletzung der Schuttdecke stattfindet, kann aus der darunter liegenden Salzstaubschicht Material aufgenommen werden. Auch sonst scheint die Windwirkung beschränkt zu sein, weil sich Salzkrusten bilden, die das lose Material verkitten. Bei diesem Vorgang spielt die Verdunstung und die damit bewirkte Salzkonzentration eine wichtige Rolle. Die Wirkung des vom Winde fortgetragenen feinen Staubes mag aber wohl in einer Polierung und Glättung der Oberfläche bestehen.

Die Bildung von Salzschruppen und ihre Anhäufung in Nischen und Hohlkehlen scheint ebenfalls darauf hinzudeuten, daß die Windwirkung, auch die Deflation, von geringer Bedeutung ist. Auf einen Umstand kann man noch hinweisen, der ebenfalls einer nachhaltigen Wirkung der Staubstürme im sandfreien Gebiet nicht günstig ist. Die Staubmassen werden gewöhnlich in der heißen Tageszeit aufgewirbelt und können daher durch die dann stattfindenden starken vertikalen Konvektionsströmungen in größere Höhen hinaufgetragen werden. Über dem Boden selbst finden daher nicht so konzentrierte Staubtransporte statt. Bei den bodennäheren Sandtriften ist das anders, sodaß die Wirkung auf die entstehenden Hindernisse umso kräftiger sein kann.

Es wurde schon erwähnt, daß bei den Chamsinen ein scharfer Windwechsel von S nach NW stattfindet, sobald die Luftdruck-

. 12) W. F. HUME, Geology of Egypt. Vol. I. S. 74. Cairo 1925.

depression im N vorüberzieht und die Luftdruckkurve ihren tiefsten Stand erreicht. Mit dem Einbruch der kalten Luftmassen wird die Luft in der Regel sehr rasch von Staub gesäubert (s. o. S. 96), sodaß auch hierdurch die etwaige Wirksamkeit des Windes eng begrenzt wird.

Im Gefolge von Staubstürmen finden an geschützteren Stellen, so auch in den Poren des Bodens und Gesteins Staubablagerungen statt, die wegen ihres Salzgehalts dazu beitragen können, die Vorgänge der Salzverwitterung zu unterstützen.

6. Die Klimafaktoren in der Pluvialzeit.

Da aus der PASSARGE'schen Darstellung der Oberflächenformen in der Wüste von Heluan hervorgeht, daß gewisse Erscheinungen den Charakter von Vorzeitformen haben, die auf ein feuchteres Klima hinweisen, so mag noch mit einigen Worten auf die Frage eingegangen werden, welche klimatischen Verhältnisse in der Diluvialzeit in diesem Gebiete geherrscht haben können.

Es ist wohl anzunehmen, daß in der Diluvialzeit infolge der weiten Ausdehnung der nordeuropäischen Eisdecke die vorherrschend westöstlich wandernden Depressionen im Mittelmeergebiet häufiger eine südlichere Bahn eingeschlagen und daher wenigstens in Unterägypten einen stärkeren Einfluß auf das Klima gehabt haben als heute. Das würde besonders für den Winter und Frühling zutreffen müssen, da in diesen Jahreszeiten die Depressionen auch heute häufig ihre südlichste Bahn (über das Nildelta) einschlagen¹³⁾.

Die Folge davon mußte sein, daß die Niederschläge in Unterägypten in der Pluvialzeit häufiger und ergiebiger waren als heute, aber auch damals vorwiegend in dieselben, kälteren Jahreszeiten fielen. Die sommerliche Luftdruckverteilung wird dagegen in dem fraglichen Gebiet kaum eine andere gewesen sein, sodaß auch die stetigen, trockenen Nordwinde (Etesien) in der Pluvialzeit über Ägypten geweht haben. Wahrscheinlich wird allerdings ihre Stärke wegen der damaligen größeren Temperaturgegensätze zwischen niederen und höheren Breiten erheblicher gewesen sein. Dies konnte aber kaum ein Anlaß dafür sein, daß die Trockenheit im Sommer wesentlich gemindert war. Mithin liegt kein Grund vor, anzunehmen, daß die jährliche Niederschlagsperiode in Unterägypten eine andere war wie heute. Sie war nur wesentlich aus-

13) Vgl. die Übersicht der Bahnen für die einzelnen Monate nach J. I. CRAIG in W. F. HUME, *Geology of Egypt*, Vol. I. Taf. VII.

geprägter durch die Verstärkung der Regenfälle in der kälteren Jahreshälfte.

So haben stärkere Niederschläge häufiger und wirksamer als heute eine Durchflutung und damit eine Ausgestaltung und Ausräumung der Trockentäler bewirken können. Ob die Zahl der schwächeren Niederschläge sich ebenfalls vermehrt hatte, was besonders für die Frage der Durchfeuchtung und Fließfähigkeit des Bodens, der Grundwasserbildung, der Salzverwitterung und -Kristallisation von Bedeutung sein konnte, läßt sich nicht bestimmt behaupten, ist aber kaum zu bezweifeln.

Die geschilderte Änderung der atmosphärischen Situation mußte im Winter auch eine Vermehrung der Luftfeuchtigkeit, und der Bewölkung, also auch eine Verminderung der Ein- und Ausstrahlung zur Folge haben. Dasselbe dürfte auch für den Sommer zutreffen, falls, wie wahrscheinlich gemacht, die Passatwinde eine größere Stärke gehabt und also auch eine größere Feuchtigkeitsmenge vom Mittelmeer aus landeinwärts getragen haben. Mit diesen Änderungen im Zustand der Atmosphäre mußte eine Abschwächung der täglichen und jährlichen Temperaturperiode verbunden sein. Daher werden die hiervon abhängigen Vorgänge der mechanischen Verwitterung, der trockenen Bodenversetzungen und der Austrocknung des Bodens herabgemindert worden sein.

Zusammenfassung.

Eine graduelle Bewertung der morphologischen Wirksamkeit der einzelnen klimatischen Elemente in der Wüste von Heluan führt zu folgenden Ergebnissen.

Die stärksten und sichtbarsten Wirkungen gehen von den zwar seltenen, aber sehr intensiven Regenfällen aus. Sie bewirken deutliche erosive Vorgänge, Schuttbewegungen und -ablagerungen, besonders stark in den größeren Trockentälern, die den Regenfluten als Sammeladern dienen. Auch die Zerrung der Gehänge und die Anlage von flachen Erosionsrinnen auf den Hamadaflächen gehen auf die episodischen starken Regenfälle zurück. Daß, nach gewissen morphologischen Merkmalen zu urteilen, die Talbildung schon in einer weit zurückliegenden Zeit begonnen hat und heute nur langsame Fortschritte macht, steht mit der auch sonst gut begründeten Annahme einer diluvialen Pluvialzeit in Einklang.

Die Ausgestaltung der Kleinformen des Reliefs (Nischen- und Schuttfächerbildung, mechanische und chemische Verwitterungser-

scheinungen im Zusammenhang mit Salzen usw.) wird wahrscheinlich durch die relativ häufigeren sehr schwachen Regenfälle besonders begünstigt und mitbestimmt. Denn bei diesen kann das Wasser, soweit es nicht sofort verdunstet, was allerdings zu einem erheblichen Betrag der Fall sein muß, leichter als bei Platzregen, die die Poren des Bodens verstopfen, in diesen eindringen. Dort wo das Sickerwasser der oberflächlichen Verdunstungszone entzogen ist, wird es sich länger halten oder je nach den örtlichen Verhältnissen auch nach Austrittsstellen fortbewegen. Die Langsamkeit der Bewegung und der dadurch bedingte längere Aufenthalt im Boden sichern ihm eine erhöhte chemische Wirksamkeit. Diese ist allgemein durch die hohen Temperaturen ohnehin begünstigt.

Ob die von PASSARGE in ihrer Verbreitung und Bedeutung erkannte Salzmehlschicht unter der Gesteinsdecke ein Produkt der heutigen Klimafaktoren ist, bleibt wegen der mangelnden Kenntnis ihrer Bildungsbedingungen noch eine offene Frage. Es ist aber wahrscheinlich, daß die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit wegen der größeren Durchfeuchtung des Bodens dafür günstiger waren als heute¹⁴⁾.

Die mechanische Verwitterung der Gesteine wird gewiß durch die großen Temperaturschwankungen periodischer und unperiodischer Art gefördert. Doch scheint der Gesteinszerfall und die Schuttbildung hinter den Wirkungen des fließenden Wassers zurückzubleiben. Sonst müßte sich mehr Verwitterungsschutt auf den Hamadaflächen und an den Talhängen finden. Die Abtragung überwiegt hier offenbar die Schuttbildung.

Der morphologischen Wirksamkeit des Windes fällt in der Wüste von Heluan nach den Ausführungen PASSARGES nur eine untergeordnete Rolle zu, weil es an Sand fehlt. Die besonders im Frühjahr vorkommenden Staubstürme und Wirbel scheinen in ihrer Wirkung durch das schützende Steinpflaster der Hamada und durch Salzkrusten, die sich unter der Einwirkung der Verdunstung aus aufsteigenden Lösungen bilden, beschränkt. Wegen der pulverigen Beschaffenheit des Staubes mag seine wirbelnde Bewegung wohl eine Glättung und Politur der Bodenflächen bewirken. Ein indirekter Einfluß kann davon ausgehen, daß salzhaltiger Staub in Bodenporen und Gesteinsfugen hineingelangt und dadurch die Vorgänge der Salzverwitterung fördert.

14) Vgl. E. BLANCK und S. PASSARGE, Die chemische Verwitterung in der ägyptischen Wüste. Abhdlg. Hamb. Universität Bd. 17. Hamburg 1925, S. 99, 103.

Klimatabelle von Heluan¹⁵⁾.

$\varphi = 29^{\circ} 52' N. Br., \lambda = 31^{\circ} 20' \ddot{O}. L. v. Gr., H = 116 m.$

Lufttemperatur														
	Wahre Mittel		Mittl. Tages-		Mittl. tägl. Ampl. unperiod.	Mittlere absolute		Absolute		Ampl.	Mittl. tägl. Ampl. unperiod.		Absolute	
	Max.	Min.	Max.	Min.		Max.	Min.	Max.	Min.		Max.	Min.	Max.	Min.
Januar	18.0*	8.1*	18.6	8.1*	10.5	25.1*	4.1*	21.0	29.4	1.0*	27.8			
Februar	14.2	8.8	20.2	8.8	11.4	27.4	5.0	22.4	82.1	2.7	29.4			
März	17.2	11.1	23.9	11.1	12.8	32.1	6.4	25.7	38.5	3.4	29.4			
April	20.9	14.1	28.4	14.1	14.8	38.6	9.0	29.6	43.8	5.7	38.1			
Mai	24.3	17.1	31.9	17.1	14.8	40.9	12.6	28.3	46.0	10.9	35.1			
Juni	26.9	19.7	34.6	19.7	14.9	42.2	16.4	25.8	46.3	14.4	31.9			
Juli	27.8	20.9	35.3	20.9	14.4	39.9	18.8	21.1	42.9	16.0	26.9			
August	27.6	21.3	34.7	21.3	13.4	39.1	19.1	20.0	42.0	17.2	24.8*			
September	25.5	19.7	32.0	19.7	10.8	37.8	16.9	20.9	41.2	14.6	26.6			
Oktober	23.3	17.9	29.5	17.9	9.7	35.3	14.4	20.9	39.8	10.4	29.4			
November	19.3	14.3	25.1	14.3	8.7	31.5	9.4	22.1	37.6	5.7	31.9			
Dezember	14.7	9.9	20.2	9.9	8.0*	25.7	6.2	19.5*	28.8*	3.6	25.2			
Jahr	21.2	15.3	27.9	15.3	10.4	43.1	9.6	39.5	46.3	1.6	44.7			
Amplitude	14.8	18.2	16.7	18.2	4.6	17.1	15.0	10.1	17.5	15.6	13.3			

	Schwarzkugeltemp.		Lufttemp. 14h	Differenz Schw.-Luft ¹⁵⁾		Luftfeuchtigkeit				Bewölkung	Sonne Dauer %	
	Mittel 14h	Abs. Max. 14h		14h	Max.	Rel. %	Period. Ampl.	Druck mm	Period. Ampl.			Sätt. Def.
Januar	43.2*	57.5*	17.4*	25.8	55.9	58	26*	6.3	0.9*	4.6*	4.1	70*
Februar	46.0	61.4	18.8	27.2	58.7	52	29	6.0*	1.1	6.3	3.7	72
März	52.0	68.2	22.4	29.6	64.8	46	35	6.8	1.9	7.8	3.1	79
April	55.7	75.0	26.5	29.2	69.3	42	37	6.9	2.4	11.8	3.2	77
Mai	58.4	71.4	30.2	28.2	60.5	39*	41	7.7	3.5	15.7	2.3	84
Juni	61.1	72.2	38.0	28.1	57.8	41	47	9.7	5.0	16.4	0.6*	90
Juli	62.3	72.0	33.7	28.6	56.0	47	53	11.9	5.9	16.3	0.7	90
August	63.0	70.0	33.2	29.8	52.8*	51	52	13.0	5.6	14.6	0.8	91
September	61.5	70.8	30.9	30.6	56.2	55	48	12.5	4.2	12.1	0.7	92
Oktober	57.9	66.7	28.4	29.5	56.3	54	41	11.0	8.2	10.7	1.8	87
November	51.8	64.8	25.1	26.7	59.1	56	38	9.1	1.8	7.1	2.7	82
Dezember	44.2	57.6	19.1	25.1*	54.0	60	39	7.3	1.0	5.0	4.1	70*
Jahr	54.8	75.0	26.4	28.4	69.3	50	39	9.0	2.8	10.7	2.3	82
Amplitude	19.8	17.5	16.3	5.5	16.5	21	27	7.0	5.0	11.8	3.5	22

	Niederschlag					Verdunstung (reduziert)			Wind m/sek.
	Höhe mm	Tages- Max. mm	Regentage		Regen- dichte	täglich mm	monatl. mm	%	
			> 0,1 mm	> 1,0 mm					
Januar	9.7	26.0	2.8	1.6	3.5	2.04	63	3.6	3.7*
Februar	5.5	7.8	2.6	1.6	2.1	2.62	73	4.1	4.1
März	6.3	25.8	1.4	0.9	4.5	3.91	121	6.8	4.9
April	4.6	37.3 ¹⁵⁾	0.5	0.4	9.2	5.54	166	9.4	5.2
Mai	1.5	12.6	0.3	0.1	5.0	6.96	216	12.2	5.5
Juni	0.1	1.5	0.1	—	—	7.92	238	13.4	5.6
Juli	—	—	—	—	—	7.29	226	12.8	5.1
August	—	—	—	—	—	6.43	199	11.2	4.8
September	—	—	—	—	—	5.54	166	9.4	5.1
Oktober	1.0	7.5	0.3	0.2	3	4.72	146	8.3	5.0
November	2.7	12.3	0.9	0.7	3.0	3.12	94	5.3	4.2
Dezember	5.5	21.6	2.1	1.2	2.6	2.00*	62*	3.5*	3.7*
Jahr	36.9	37.3 ¹⁵⁾	11.0	6.7	3.4	4.84	1770	100.0	4.7
Amplitude	9.7	—	—	—	—	5.92	176	9.9	1.9

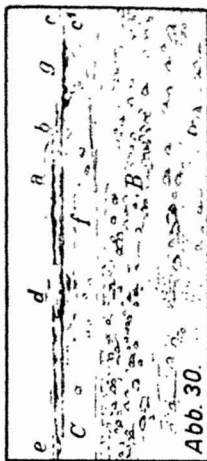
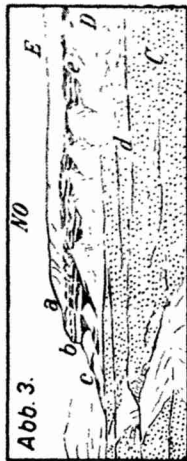
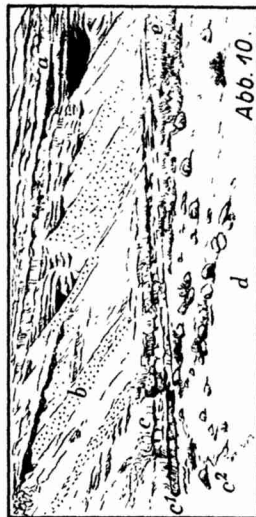
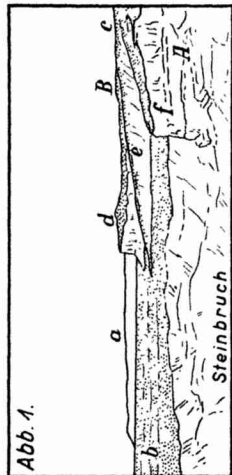
15) Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Bewölkung, Sonnenscheindauer, Wind 1906—20, Schwarzkugeltemp. 1910—20, Sättigungsdefizit 1904—10, Niederschlag 1904—24, Verdunstung 1904—20. — Unter „Differenz“ steht links die Differenz zwischen mittlerer Schwarzkugeltemperatur und Lufttemperatur um 14h, rechts die Differenz des abs. Max. der Schwarzkugeltemperatur und des absoluten Minimums der Lufttemperatur in dem betr. Monat. Letztere Differenz gibt das Höchstmaß der Schwankungen der überhaupt beobachteten Temperaturen für jeden Monat an. Daß die Lufttemperaturen aus den Jahren 1906—1920, die Schwarzkugeltemperaturen aus 1910—1920 abgeleitet sind, spielt für den Vergleich keine besondere Rolle.

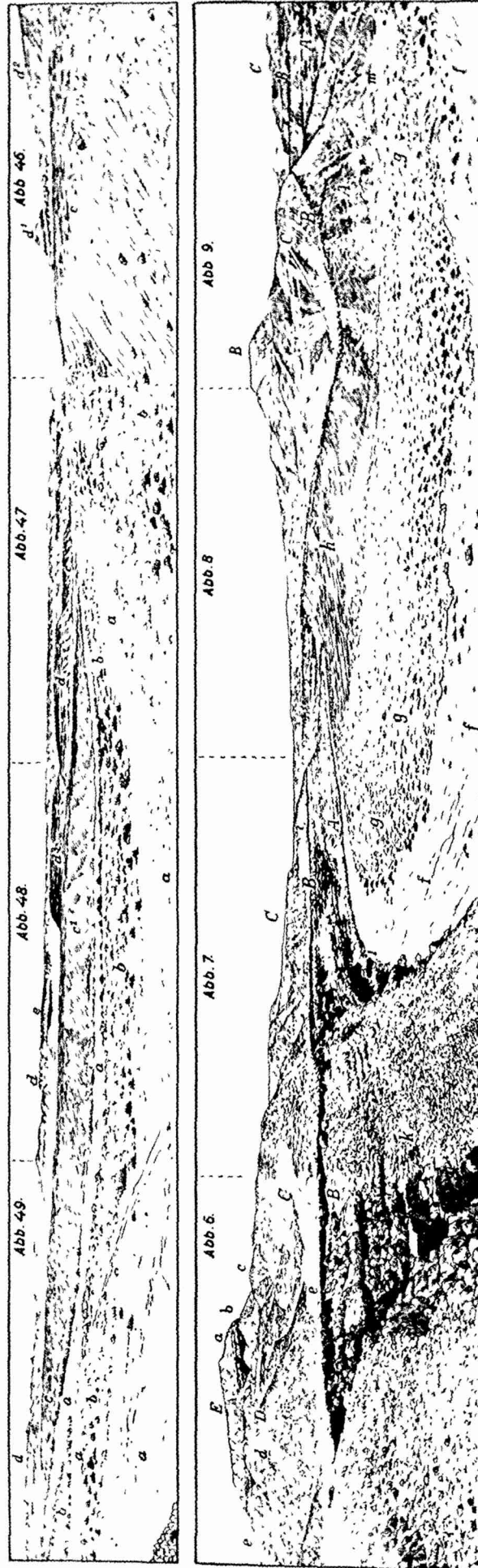
16) Größte Menge in 24 Stunden 43.2 mm vom 19. April 1909 20h bis 20. April 20h.

Tafel I.

(Zeichnungen nach Photographien.)

- Abb. 1. Steinbruch bei Helvan (S. 9).
- Abb. 2. Der östliche Rand der Tafel bei Punkt 3 (S. 10).
- Abb. 3. Der NW-Abfall des El Qurn bei Punkt 7 (S. 11).
- Abb. 10. Westhang der Reilsschlucht unterhalb des Zirkus bei Punkt 11 (S. 17).
- Abb. 11. Der Zirkus der Reilsschlucht (S. 18).
- Abb. 20. Wandstück unterhalb des Zirkus im Sclatertal mit Gesimsen, Hohlkehlen und Schattdecke (S. 33).
- Abb. 21. Ein Stück der Westwand unterhalb des Zirkus des Sclatertals mit Gesimsen und Hohlkehlen (S. 34).
- Abb. 29. Konvexnische an einer Tafellecke bei Punkt 3 (S. 39).
- Abb. 30. Tafelrand bei Punkt 4 beim Walthertal (S. 40).





(Zeichnungen nach Photographien.)

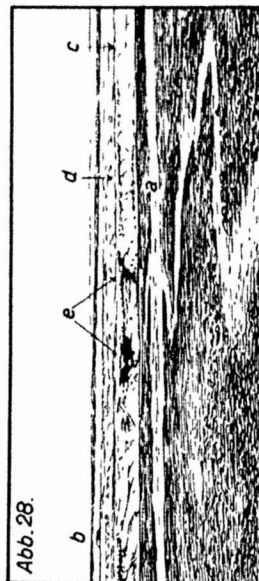
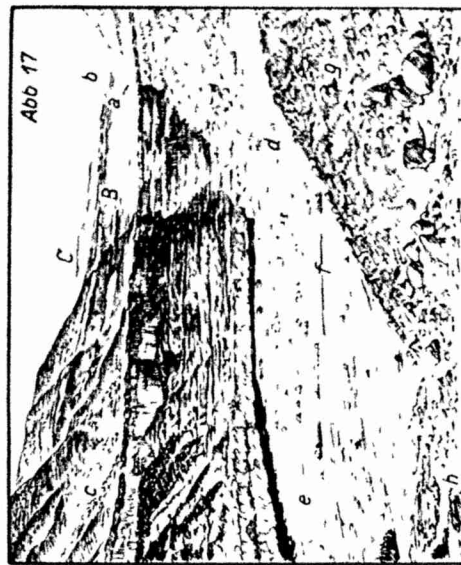
Abb. 6—9. Panorama in Wadi Hof (S. 15).

Abb. 46—49. Panorama in Wadi Rised (S. 51).

Tafel III.

(Zeichnungen nach Photographien.)

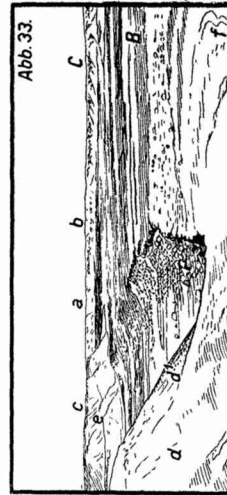
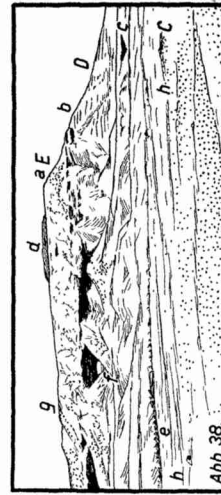
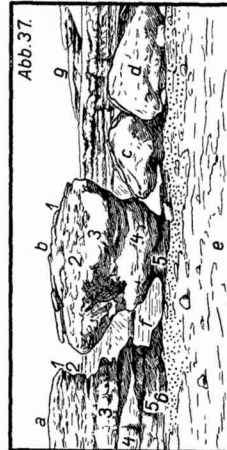
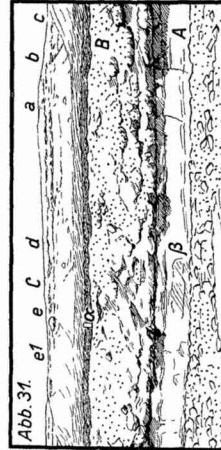
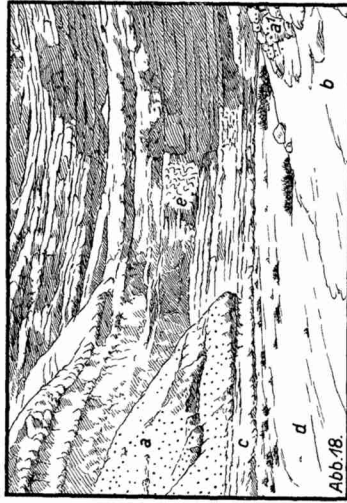
- Abb. 12. Das Wadi Hof gegenüber der Einmündung der Selaterschlucht (von S.O. gesehen) bei Punkt 16 (S. 20).
- Abb. 16. Der Zirkus der Selaterschlucht, aus der Entfernung gesehen (S. 30).
- Abb. 17. Der Zirkus des Selatertals (S. 31).
- Abb. 22. Der Ausgang des Dofiertals, vom Wadi Hof aus gesehen, mit der ersten Zirkusstufe (S. 35).
- Abb. 23. Ein Stück der Ostwand des Wadi Dotier zwischen beiden Zirkusstufen (S. 35).
- Abb. 28. Blick von Punkt 2 über die Hamada nach Süden (S. 38).



Tafel IV.

(Zeichnungen nach Photographien.)

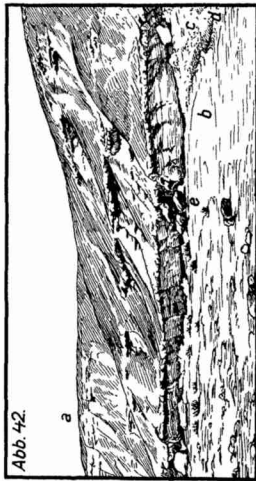
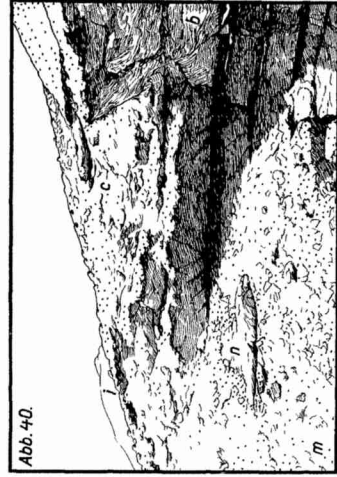
- Abb. 18. Der Zirkus der Solterschlucht (S. 32).
- Abb. 26. Der Boden der Hamada bei Punkt 1 (S. 38).
- Abb. 31. Wernertal nördlich des Walthertales bei Punkt 5 (S. 41).
- Abb. 33. Das Wernertal in der Gegend von Punkt 6 (S. 42).
- Abb. 34. Abtragungerscheinungen auf dem Südosthang des Wernertales (S. 43).
- Abb. 35. Abschuppende Mergelkalkwand mit Flachböschung nahe Abb. 34 (S. 44).
- Abb. 36. Blick über das Walthertal von Punkt 8 in westlicher Richtung (S. 44).
- Abb. 37. Die Pilzfelsen im Walthertal (S. 45).
- Abb. 38. Blick auf den Nischenberg bei Punkt 9 aus Osten (S. 46).



Tafel V.

(Zeichnungen nach Photographien.)

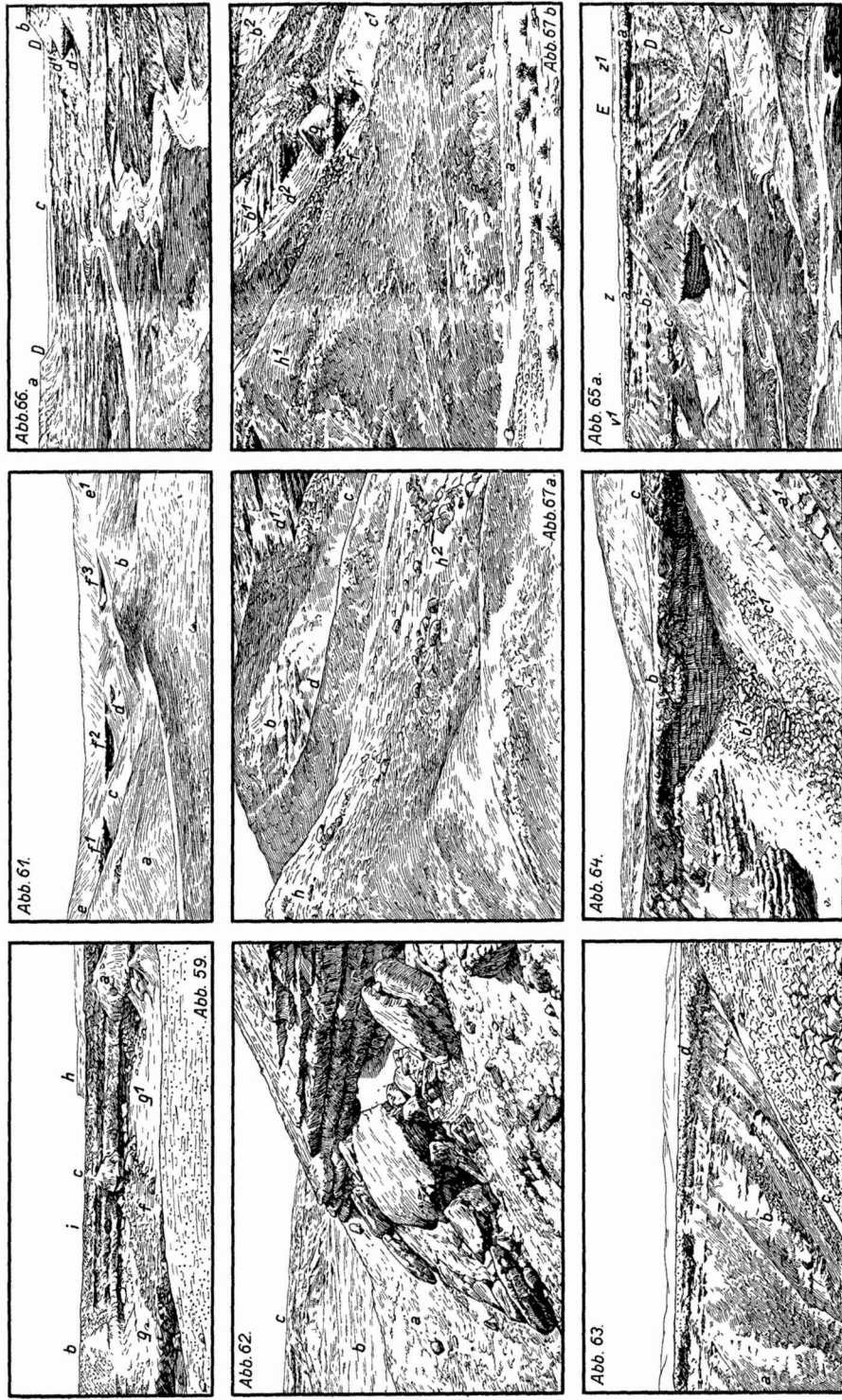
- Abb. 39. Die Nische f des Nischenberges am Punkt 9 (S. 46).
- Abb. 40. Der linke Flügel der f-Nische (S. 47).
- Abb. 41. Nischen auf dem Westhang des Wadi Risched (S. 48).
- Abb. 42. Prallhang auf dem Westhang des Wadi Risched (S. 49).
- Abb. 44. Die Westseite des Wadi Risched zwischen Punkt 11 und 12 (S. 51).
- Abb. 52. Tafelrand in der Nähe von Punkt 14 (S. 53).
- Abb. 53. Nische und Zungenkegel am Nordrand der Tafel, Engelhöhe bei Punkt 15 (S. 53).
- Abb. 54. Nische und Zungenkegel an der N-Ecke der Engelhöhe bei Punkt 16 (S. 54).
- Abb. 55. Der westlichste der drei „Gleichen“ bei Punkt 17 (S. 54).



Tafel VI.

(Zeichnungen nach Photographien.)

- Abb. 59. Die Talzirken bei Punkt 3 (S. 57).
- Abb. 61. Schlitznischen in einem Hügel zwischen Werner- und Meinardus-Tal bei Punkt 4 (S. 59).
- Abb. 62. Nische an der Westecke des Albdille-Plateaus bei Punkt 5 (S. 61).
- Abb. 63. Zirkus am Nordhang der Albdille-Tafel bei Punkt 6 (S. 61).
- Abb. 64. Dreiecksnische am Rand der Albdille-Tafel bei Punkt 7 (S. 62).
- Abb. 65a. Konvexe Dreiecksnische am Südrhang der El Qurn-Tafel gesehen an Punkt 8 (S. 62).
- Abb. 66. Blick nach Westen über die Meinardus-Bucht von Punkt 11 aus (S. 64).
- Abb. 67a und b. Schattthang mit Abschürfungen und Nischen im Suarez-Tal (S. 64).



Tafel VII.

(Zeichnungen nach Photographien.)

- Abb. 68 a und b. Trapeznische im Suareztal (S. 65).
 Abb. 69 a und b. Doppelnische mit Zungenhöcker zwischen den beiden ursprünglichen Nischen (S. 66).
 Abb. 73. Der Zirkus am Punkt 17 des Qurn (S. 69).
 Abb. 74. Dreiecksnische am Südrand des Qurn zwischen den Punkten 17 und 18 (S. 70).
 Abb. 75. Unterer Teil einer Dreiecksnische in der D-Gruppe zwischen Punkt 17 und 18 (S. 70).
 Abb. 76. Blick nach O. am Tafelrand des Qurn entlang (S. 70).
 Abb. 77. Der Vorsprung c am Qurn zwischen Punkt 17 und 18 der D-Gruppe (S. 71).

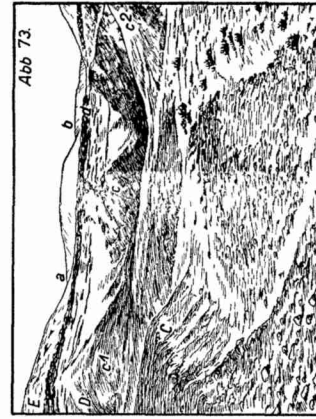
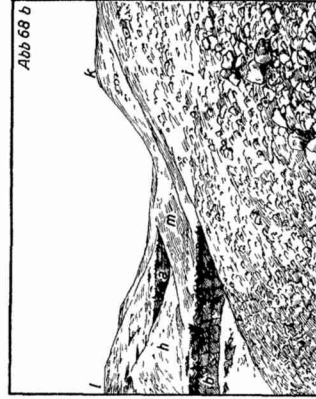
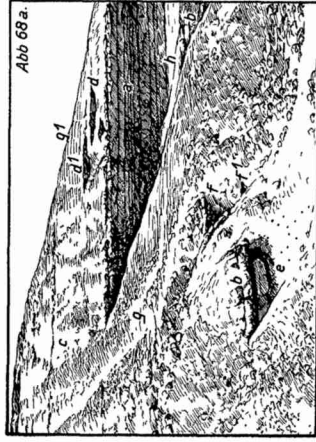


Abb. 75.

Abb. 76.

Abb. 74.

Abb. 73.

Abb. 68 b.

Abb. 68 a.

Abb. 69 b.

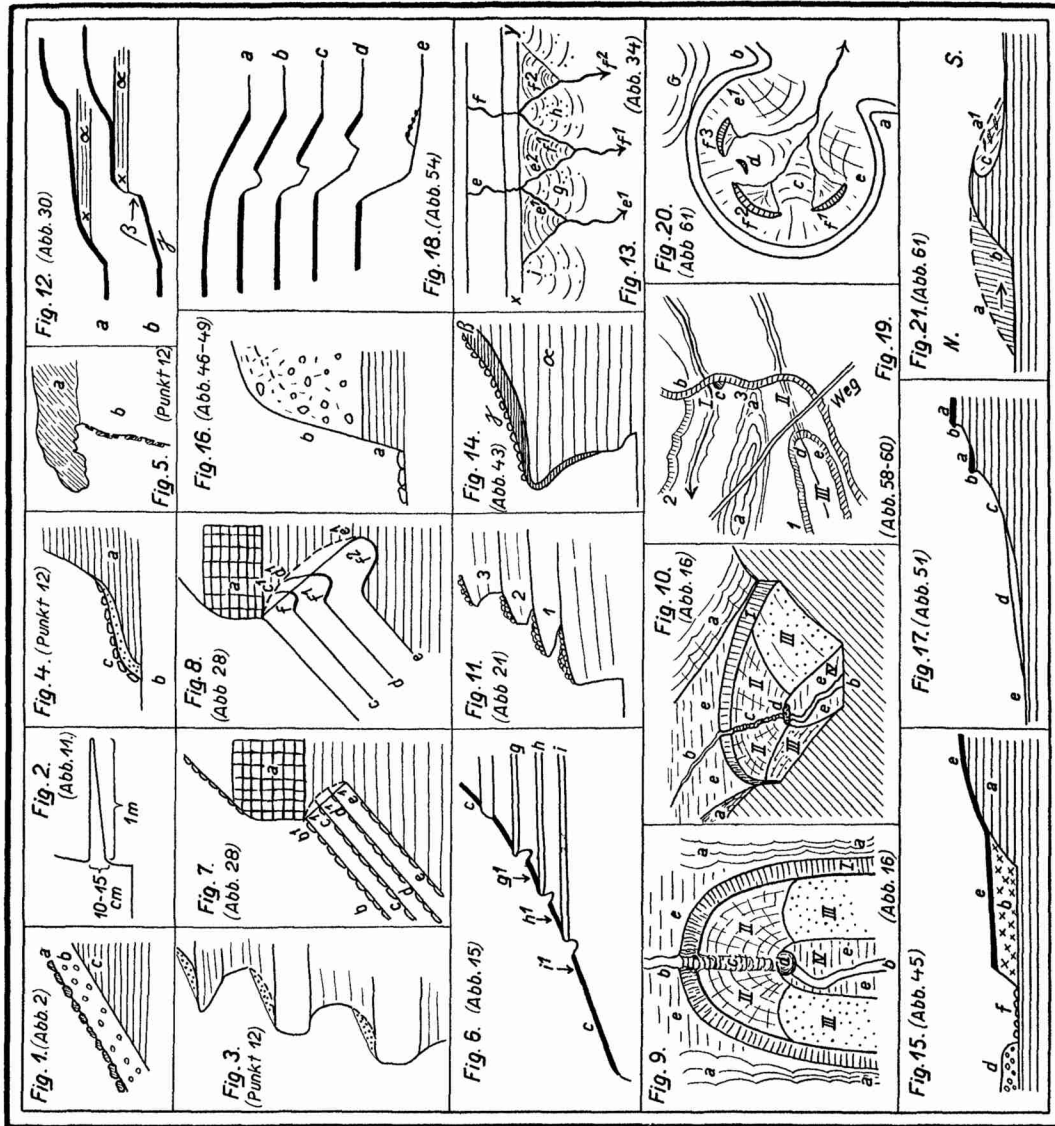
Abb. 69 a.

Abb. 77.

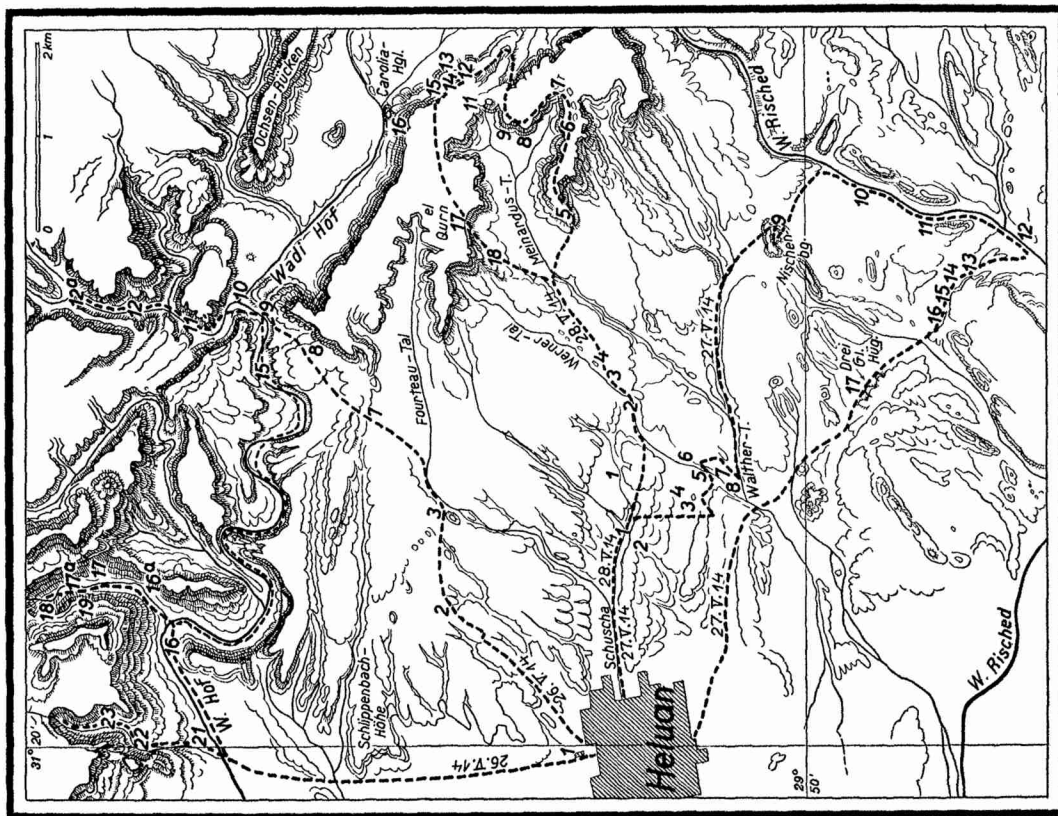
Tafel VIII.

(Skizzen und Profile.)

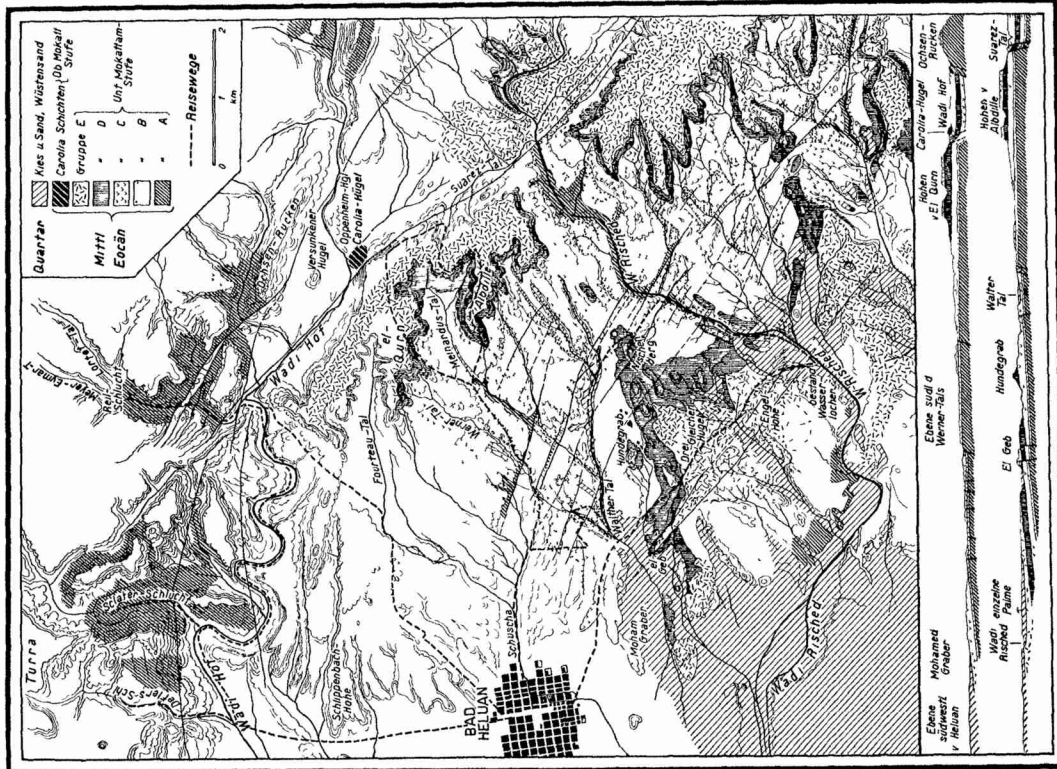
- Fig. 1 (Abb. 2) auf S. 10.
- Fig. 2 (Abb. 11) auf S. 18.
- Fig. 3 (Punkt 12) auf S. 18.
- Fig. 4 (Punkt 12) auf S. 19.
- Fig. 5 (Punkt 12) auf S. 19.
- Fig. 6 (Abb. 15) auf S. 27.
- Fig. 7 (Abb. 15, nicht 28) auf S. 29.
- Fig. 8 (Abb. 15, nicht 28) auf S. 29.
- Fig. 9 (Abb. 16) auf S. 30.
- Fig. 10 (Abb. 16) auf S. 30.
- Fig. 11 (Abb. 21) auf S. 34.
- Fig. 12 (Abb. 30) auf S. 41.
- Fig. 13 (Abb. 34) auf S. 43.
- Fig. 14 (Abb. 43) auf S. 50.
- Fig. 15 (Abb. 44, nicht 45) auf S. 51.
- Fig. 16 (Abb. 46-49) auf S. 52.
- Fig. 17 (Abb. 51) auf S. 53.
- Fig. 18 (Abb. 54) auf S. 54.
- Fig. 19 (Abb. 58-60) auf S. 57.
- Fig. 20 (Abb. 61) auf S. 60.
- Fig. 21 (Abb. 61) auf S. 61.



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



Die Umgebung von Helwan (nach G. Schweinfurth).



Geologische Karte und Profile (nach A. Buxtorf).

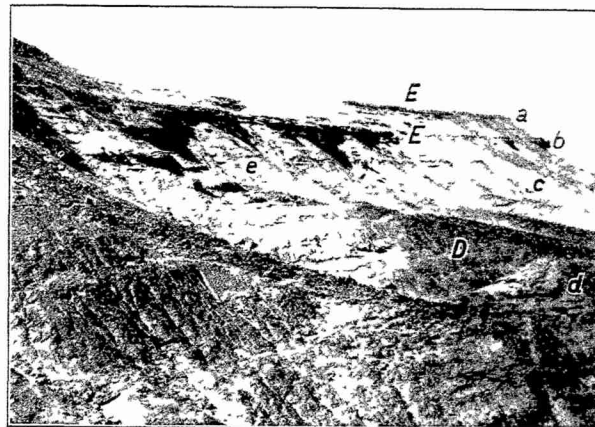


Abb. 4. Der NW-Rand des El Qarn bei Punkt 8 (S 14).

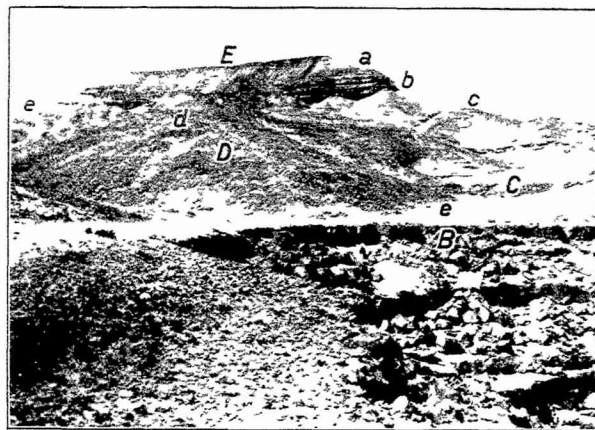


Abb. 5. N-Ecke des NW-Abfalls des El Qarn bei Punkt 9 (S 14).



Abb. 13. Schuttstufe im Wadi Hof unterhalb des Doflertales bei Punkt 21 (S. 21).



Abb. 15*. Die linke Ecke der großen Dreiecksnische auf Abb. 15, Taf. XIII, (S. 24).



Abb. 15 Ostwand des Schatertales zwischen Zinkus und Mündung bei Punkt 17 (S. 22).



Abb. 14. Ostliche Talwand im Scoterial bei Punkt 16 (S. 22)



Abb. 25. Seitenschicht auf dem östlichen Talhang der Dofferschlucht unterhalb des Zirkus II, am Punkt 23 (S. 37).



Abb. 19. Das Strudelloch am Fuß der Zirkusstufe im Sclatertal (S. 34).

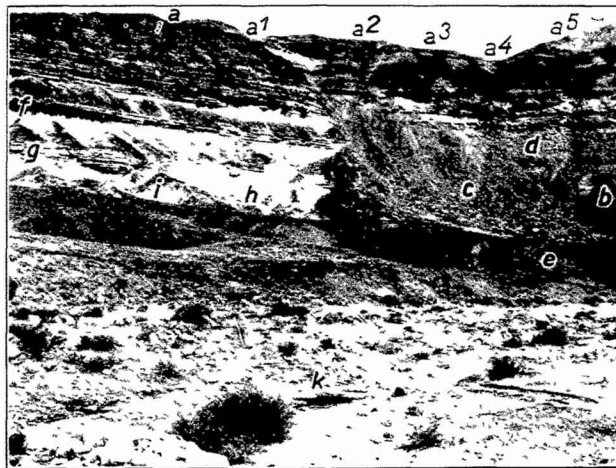


Abb. 24. Ostliche Talseite in der Doflerschlucht zwischen Zirkusstufe II und III. Punkt 23



Abb. 27. Der Boden der Hamada bei Punkt 2 südlich Wadi Schuscha (S. 38)

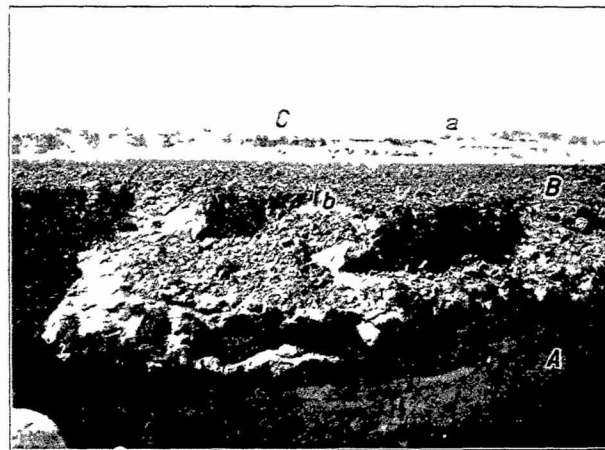


Abb. 32. Das Wernertal bei Punkt 5 (S. 41).

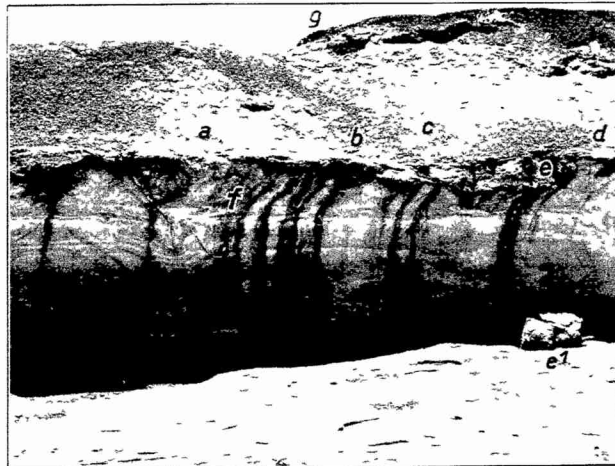


Abb 43. Prallhang an der Westseite des Wadi Risched bei Punkt 11 (S. 49)

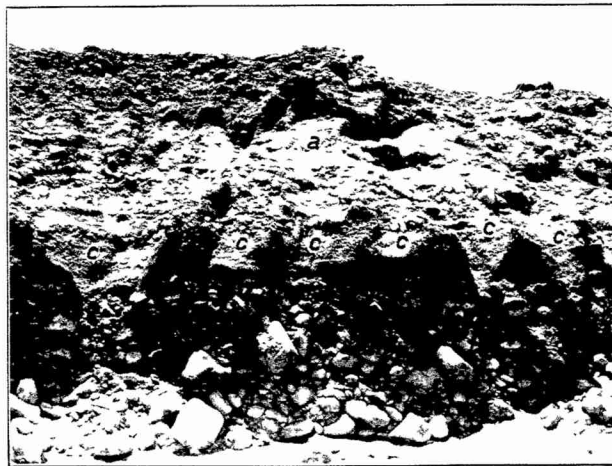


Abb 45. Langsstute im Wadi Risched zwischen Punkt 11 und 12 (S. 51).

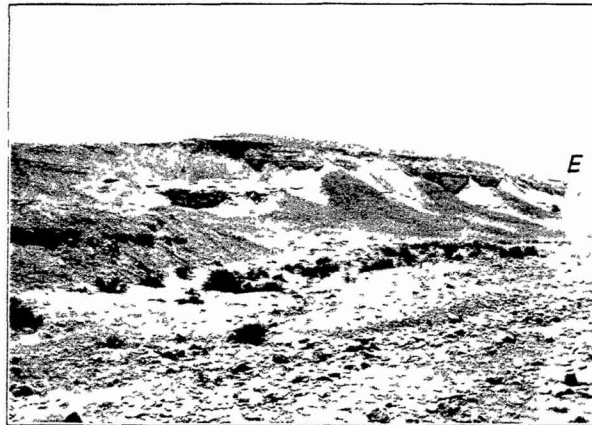


Abb. 50 Nordostrand der Platte der Engelhöhe bei Punkt 13 (S 53).



Abb. 51 Nordrand der Tafel der Engelhöhe bei Punkt 14 (S 53).

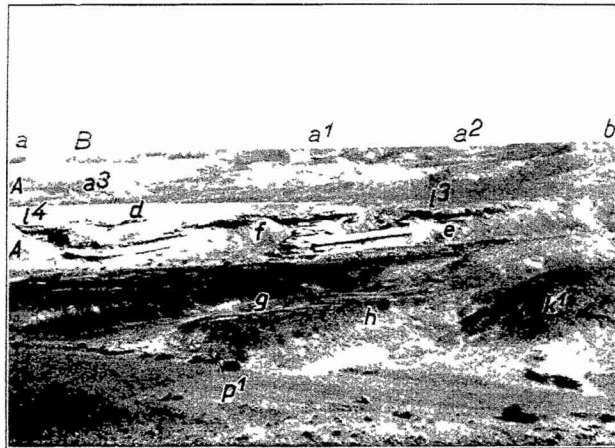


Abb. 56. Das Wernertal unterhalb der Stufe bei Punkt 2 (linkes Bild) (S. 56)



Abb. 57. Das Wernertal unterhalb der Stufe bei Punkt 2 (rechtes Bild) (S. 56)

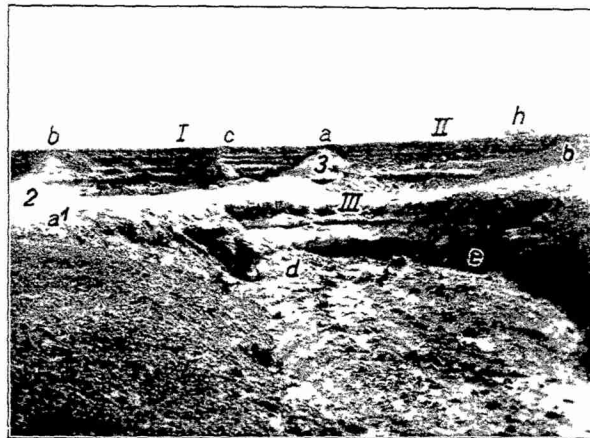


Abb. 58. Die Talzirken im Wernertal bei Punkt 3 (S. 57)



Abb. 60. Die Talzirken im Wernertal bei Punkt 3 (S. 58)

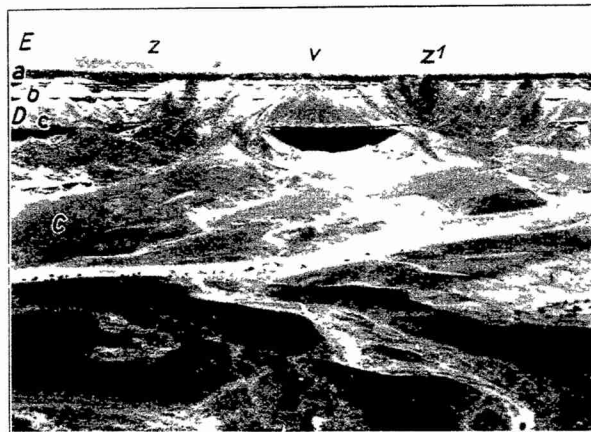


Abb. 65 b. Konvexe Dreiecksnische am Südhang der El Qurn-Tafel, von Punkt δ gesehen (S. 62).

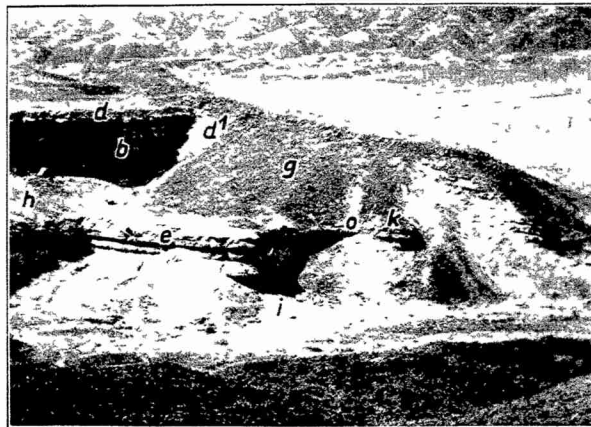


Abb. 70 Die rechte Seite der Doppelnische Abb. 65 im Suarez-Tal (S. 67)

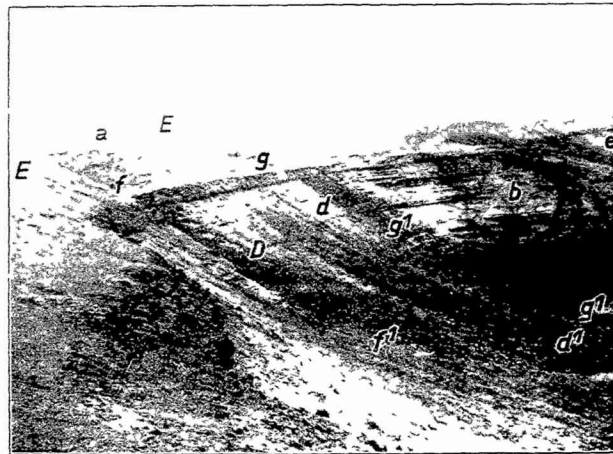


Abb. 71 a. Der Zirkus bei Punkt 15 am Osthang der Qurntafel (linkes Bild) (S. 67).

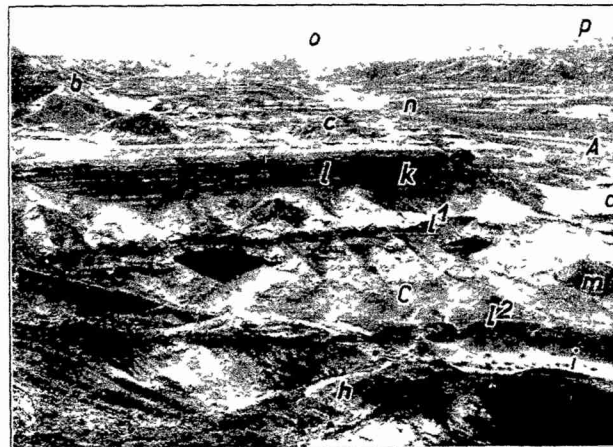


Abb. 71 b. Der Zirkus bei Punkt 15 und der Blick über den Ostabfall der Qurntafel (S. 67).

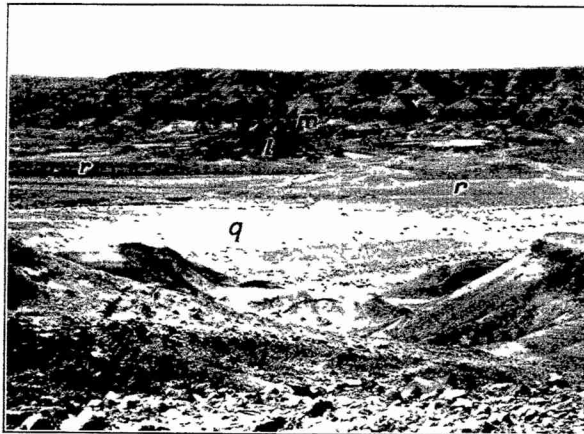


Abb. 72. Blick auf Wadi Hof und den Tafelrand im Norden, von Punkt 16 aus (S. 69)

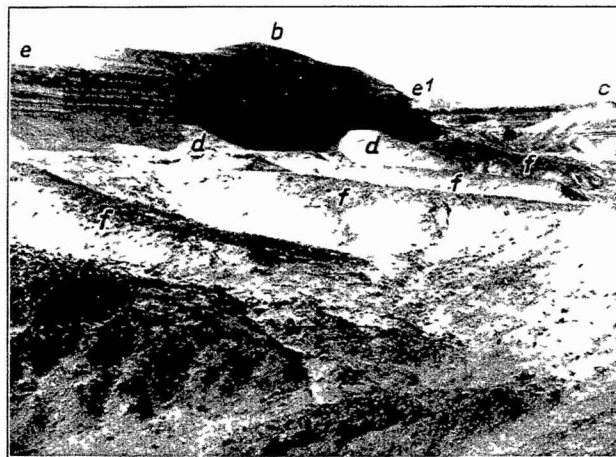


Abb. 73. Der Sudrand der Qurn-Tafel zwischen Punkt 17 18 (S. 71).

