

- LANDSBERG, H. S., 1960: Bioclimatic Work in the Weather Bureau. Bull. Am. Meteorol. Soc., vol. 41, No. 4, S. 184–187.
- LAUER, W., 1951: Hygrische Klimate und Vegetationszonen der Tropen, mit bes. Berücksichtigung Ostafrikas. Erdkunde 5, 1951, S. 284–293.
- LEHMANN, H., 1956: Schwüleverteilung und Schwülewetterlagen in Deutschland. Sitz Ber. Ges. f. Beförd. d. gesamten Naturw. zu Marburg, 79. Bd., H. 1, 30 S.
- LEISTNER, W., 1951: Die hygienische und klimatische Bedeutung des Dampfdruckes in Innenräumen und die Behaglichkeits- und Schwülegrenze. Mediz.-Meteorol. Hefte, Nr. 6.
- , 1964: Die praktische Bedeutung eines geeigneten Schwülemaßes. Arch. f. Physikalische Therapie, 16. Jg., H. 3, Leipzig, S. 67 ff.
- MARNER, J., 1940: Die klimatischen Bedingungen für die Siedlung von Nordeuropäern in den Tropen, dargestellt am Beispiel von Deutsch-Ostafrika. Aus d. Arch. d. Dt. Seewarte u. d. Marineobservat., 60. Bd., Nr. 1, Hamburg, 70 S., 6 Kart.- u. Diagrammtafeln.
- MISSENARD, A., 1949: Klima und Lebensrhythmus. Meisenheim, 208 S. (Neuausgabe von: Der Mensch und seine klimatische Umwelt. Stuttgart u. Berlin 1936).
- PAAP, W., 1934: Die Niederschlagsverhältnisse des Schutzgebietes Deutsch-Ostafrika. Aus d. Arch. d. Dt. Seewarte, Bd. 53, H. 3, Hamburg, 20 S., 16 Kartentaf.
- PAFFEN, K. H., 1959: Stellung und Bedeutung der physischen Anthropogeographie. Erdkunde, Bd. 13, S. 354 bis 372.
- RUGE, H., 1932: Das Verhalten der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit auf einem modernen Kreuzer in den Tropen. Ein Beitrag zur Frage der praktischen Brauchbarkeit von Schwülekurven. Veröff. a. d. Geb. d. Marine-Sanitätswesens, H. 22, Berlin, 101 S., 11 Taf.
- SCHARLAU, K., 1941: Schwüle und Behaglichkeit als Klimagrößen. Zt. f. Hygiene u. Infekt. Krankh., Bd. 123, S. 511–530.
- , 1942 (a): Bioklimatische Beobachtungen aus den Südrussischen Steppen. Arch. f. Hygiene, Bd. 128, S. 260 bis 280.
- , 1942 (b): Zur objektiven Beurteilung der Schwüle. Wärme- und Kältetechnik, Jg. 1942, S. 97–102.
- , 1943 (a): Schwülegrenze und raumklimatische Behaglichkeitsanforderungen. Ebenda. Jg. 1943, S. 43–44.
- , 1943 (b): Die Schwüle als meßbare Größe. Bioklimat. Beibl., Braunschweig, S. 19–23.
- , 1950: Zur Einführung eines Schwülemaßstabes und Abgrenzung von Schwüleazonen durch Isohygromenen. Erdkunde, Bd. 4, S. 188–201.
- , 1952: Die Schwüleazonen der Erde. Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone, Nr. 42 (KNOCH-Heft). Bad Kissingen, S. 246–249, 1 Karte.
- SCHULZE, A., 1956 (a): Jahresmittel der thermischen Schwüle und Behaglichkeitswerte in °C – Mean Annual of Thermic Sultriness Values in °C. Afrika-Karte 1 : 20 Mill. In: Weltseuchen-Atlas – World Atlas of Epidemic Diseases, hrsg. von E. Rodenwaldt und H. J. Jusatz, Teil II, Hamburg, Nr. 77/C 11/VI.
- , 1956 (b): Der Jahresgang der Schwüle in Afrika. Geogr. Taschenbuch, hrsg. v. E. Meynen, Hg. 1956/57. Wiesbaden, S. 270–273.
- SEMMELHACK, W., 1942: Physiologische Klimakarte von Kamerun und den Nachbargebieten. Mitt. d. Gruppe Dt. Kolonialwirtsch. Unternehm., Bd. 5, Berlin, S. 1–60, 4 Taf.
- THOM, E. C., 1955: Measuring the Need for Air Conditioning. Air Cond., Heating, Ventilation, vol. 53, Aug. 1956.
- TROLL, C., 1943: Thermische Klimatypen der Erde. Pe-term. Geogr. Mitt., S. 81–89, Taf. 13–14.
- , 1955: Der jahreszeitliche Ablauf des Naturgeschehens in den verschiedenen Klimagürteln der Erde. Stud. Gener., Jg. 8, S. 264–274.
- , 1964: Karte der Jahreszeitenklimate der Erde. Erdkunde, Bd. 18, S. 5–28.
- TROMP, S. W., 1962: Medical Biometeorology (Weather, Climate and the living Organism), Amsterdam.
- YAGLOU, C. P. a. MILLER, W. C., 1925: Effective Temperature with Cooling. Transact. Americ. Soc. Heat. Ventil. Engineers, vol. 31, S. 89–99.
- ZIMMERMANN, G., 1952 (a): Die Komponenten der Schwülehäufigkeit in Süddeutschland. Ber. d. Dt. Wetterd. i. d. US-Zone, Nr. 38 (Weickmann-Heft), Bad Kissingen, S. 278–281.
- , 1952 (b): Andauer und Tagesgang der Schwüle nach stündlichen Auswertungen in Potsdam. Ebenda, Nr. 42 (Knoch-Heft), S. 23–27.

GLAZIALMORPHOLOGISCHE PROBLEME IN DEN HOCHGEBIRGEN VORDERASIENS ¹⁾

Mit 6 Abbildungen und 8 Bildern

WENDELIN KLAER

Summary: Glacial morphological problems in the high mountains of the Middle East

On the basis of various observations in the mountains of subtropical latitudes in the Near East, the importance of climatic-genetic factors for the morphology of high

mountain ranges is discussed. It can be shown that, in summer-drought subtropical latitudes, 'radiation' is the climatic element which has the most influence on the morphological development of the highest mountain ranges. Radiation alone overwhelmingly and dominantly influences the total geomorphic process in 'nival' and 'subnival' mountain zones in a way undemonstrable in any other climatic zone. High radiation intensity forces 'nival' processes to operate at a height of more than 1500 m over the climatic snowline on south-facing slopes

¹⁾ Erweiterte Fassung eines Vortrages auf der Tagung der Deutschen Quartärvereinigung am 6. 8. 1968 in Biberach unter dem Titel: „Grundzüge der Quartärmorphologie von Hochgebirgen subtropischer Breiten“.

and the same reason adds to the effectiveness of solifluction processes (e. g. Elburz Mountains). The situation on north-exposed slopes is quite the reverse. Because of the virtual elimination of radiation, which here touches slope surfaces with only a very shallow angle of impact, other ablation-hindering climatic factors gain in morphological importance. Glaciers more than 1000 m below the climatic snow-line are no rare occurrence (e. g. Artos Dagh). Glacial slope formation, despite greater continentality, is depressed in the north-exposed area and solifluction slope formation in the south-exposed area is encouraged, despite greater maritime influence (e. g. Toros Dagh, Artos Dagh). In this way the 'subnival' mountain range on the southern facet with its strong solifluction influence (level slope formation) approaches in height the 'nival' mountain range on the northern facet which is distinguished by its well-developed glacial forms. It is from this situation that asymmetrical ridge or valley-side formation, in the form almost exclusively found in the mountains of subtropical latitudes, arises.

Sichten wir die hochgebirgsmorphologischen Arbeiten der Nachkriegsjahre, so wird die Forschung durch eine Reihe z. T. hervorragender Arbeiten dokumentiert. In der Mehrzahl handelt es sich um Untersuchungen über Formen und Vorgänge der Verwitterung und Abtragung in der nivalen und subnivalen Gebirgsstufe unserer Hochgebirge. Es fehlt auch nicht an Versuchen, neue Schneegrenzwerte für subrezente und eiszeitliche Gletscherhochstände zu konstruieren, die in der Regel von den bereits bekannten Daten nur unwesentlich abweichen. Bei der an sich schon recht bescheidenen klimatologischen Aussagekraft der Schneegrenze fragt man sich aber nach dem tieferen Sinn derartiger, oftmals dazu noch recht subjektiver Korrekturen.

Der hier vorliegende Beitrag möchte am Beispiel der Gebirge Vorderasiens eine Fragestellung aufgreifen, die letztlich für alle Gebirge der subtropischen Breiten von Bedeutung ist. Darüber hinaus dürfte die hier angewandte spezifisch klimagenetisch-geomorphologische Betrachtungsweise in der vergleichenden Hochgebirgsmorphologie der Klimazonen zu interessanten Ergebnissen führen.

„Die Schneegrenze ist weder eine Temperaturgrenze noch eine Strahlungs- oder Niederschlagsgrenze, sondern eine Klimagröße besonderer Art, die vom Zusammenspiel von Schneemenge, Strahlung, Temperatur, Windeinwirkung, Geländegestaltung und anderen Faktoren derart abhängt, daß jeder dieser Faktoren für sich allein beträchtlichen Einfluß ausüben kann“ (H. LOUIS 1960). Bereits im Jahre 1912 hatte V. PASCHINGER in einer ausführlichen Arbeit das Problem der Schneegrenze in verschiedenen Klimaten aufgegriffen und dem damaligen Stand der Forschung entsprechend abgehandelt. Auch PASCHINGER sieht in der Schneegrenze einen klimatischen Begriff, die Höhenlage der Schneegrenze wird von klimatischen und außerklimatischen Faktoren bestimmt. „Da die Schneegrenze

hauptsächlich das Produkt klimatischer Faktoren ist, bildet die Darstellung ihres Verlaufs und der Gesetze, unter denen er sich vollzieht, einen wichtigen Bestand der Klimalehre“ (V. PASCHINGER 1912).

Wir pflichten den beiden Autoren bei, daß die „Schneegrenze“ ein komplexer Begriff ist und sowohl klimatische wie auch außerklimatische Elemente und Faktoren in einem sehr wechselhaften Zusammenspiel die Lage der Schneegrenze bestimmen. Dabei ist es außerordentlich schwierig, wenn nicht gar unmöglich, die Wertigkeit der einzelnen in diesem Begriff vereinten Faktoren und Elemente zu ermitteln, eine Wertigkeit, die zudem noch für jeden einzelnen Faktor von Klimazone zu Klimazone von stark wechselnder Größenordnung ist. So wird beispielsweise dem Klimatelement „Strahlung“ in den subtropischen Breiten eine sehr viel höhere Wertigkeit im Faktorengefüge „Schneegrenze“ zukommen als in den gemäßigten Breiten oder in den Tropen, wo andere Klimatelemente wie Temperatur und Niederschlag u. a. im Schneegrenzbegriff an Wertigkeit gewinnen.

Man kann die Schneegrenze ganz sicherlich als eine Klimagrenze auffassen, wie es üblich und u. a. auch in den von mir zitierten Arbeiten geschehen ist; aber wenn wir nach der klimatischen Aussagekraft der Schneegrenze fragen, die wir bedenkenlos von den Polen über die gemäßigten Breiten und den subtropischen Trockengürtel hinweg zum Äquator hin durchziehen, dann stehen wir wiederum vor dem oben bereits angedeuteten Dilemma, nämlich einen Faktorenkomplex aufschlüsseln zu müssen, der sich aufgrund der hohen Zahl von unbekanntem Größen kaum aufschließen läßt. Es ist daher enttäuschend, daß der Schneegrenze doch nur eine relativ bescheidene Aussagekraft über die realen Klimaverhältnisse in einem bestimmten Höhenbereich eines Gebirges zugesprochen werden kann. Nicht einmal die Jahresmittelwerte von Temperatur, Niederschlag, Strahlung usw. lassen sich aus dem Schneegrenzbegriff ableiten, geschweige denn, daß wir über den Jahresgang der Klimatelemente und -faktoren irgend etwas erfahren könnten. Haben wir durch Messungen die Klimawerte an irgendeinem Punkt der Schneegrenze erfaßt, dann sind diese Werte nicht einmal übertragbar, da sie in ihrer Größenordnung von Exposition zu Exposition und von Klimazone zu Klimazone wechseln. Man kann daher aus der Schneegrenze kaum mehr als recht allgemeine Ableitungen klimatologischer Art erhalten.

In der Geomorphologie, wie sollte es auch anders sein, wird die klimatische Schneegrenze in erster Linie – ausgesprochen oder unausgesprochen – als geomorphologische Grenzlinie aufgefaßt. Wir erwarten also von der Schneegrenze keine Klimawerte, sondern fragen dabei nach der geomorphologischen Formungskraft der im Schneegrenzbegriff enthaltenen Klimatelemente und -faktoren.

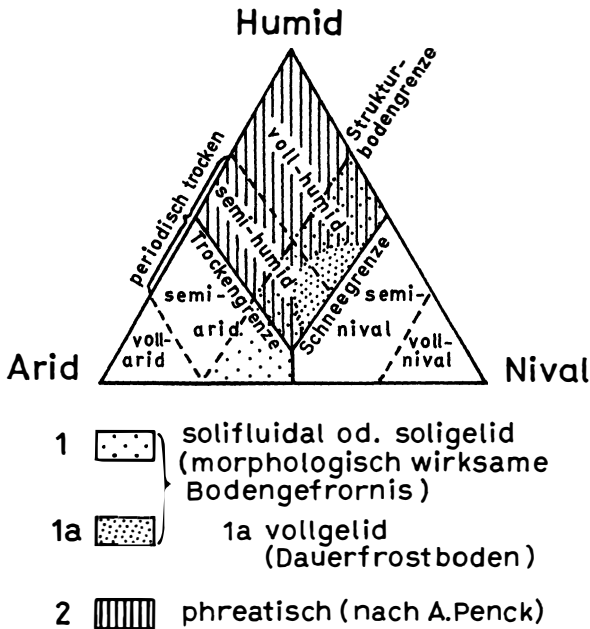


Abb. 1: Die Klimabereiche der Erde nach ihrer physiographischen Auswirkung (nach C. TROLL, 1948)

C. TROLL (1947) hat in seinem bekannten Klimadreieck (Abb. 1) die Klimabereiche der Erde nach ihrer physiographischen Auswirkung diagrammatisch dargestellt. Darin erscheint die Schneegrenze nicht nur als Grenzlinie zwischen seminivalen und semihumiden bzw. vollhumiden Klimabereichen, sondern zugleich auch als geomorphologische bzw. edaphische Grenzlinie. Sie scheidet eine Zone oder ein Gebirgsstockwerk mit dominierender solifluidaler Formungstendenz von einem darüberliegenden Ge-

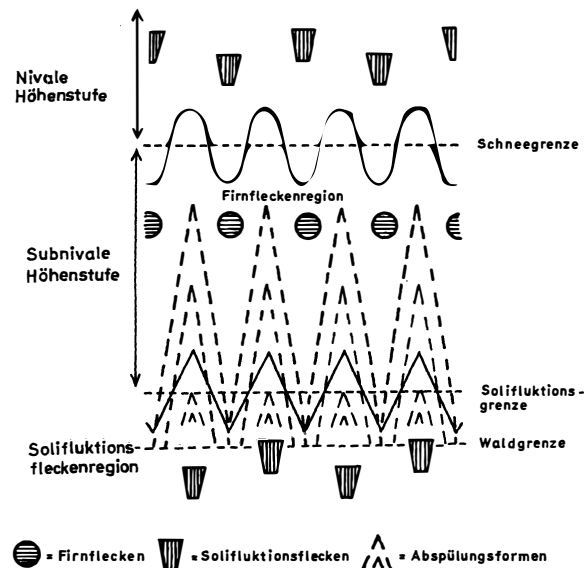


Abb. 2: Schematische Darstellung der Höhengrenzen in Gebirgen der subtropischen Breiten

birgsstockwerk, dem der nivale Formenschatz das Gepräge gibt.

Aufgrund von Untersuchungen in Gebirgen Vorderasiens wurde das von mir diagrammatisch in anderer Form zum Ausdruck gebracht (W. KLAER 1962) (Abb. 2).

Dabei darf es uns nicht stören, daß der unterschiedliche geomorphologische Formenschatz der beiden durch die Schneegrenzlinie getrennten Gebirgsstockwerke tief ineinander verzahnt liegt und sich nicht exakt durch eine einfache Höhenlinie trennen läßt. So greift der nivale Formungsprozeß vor allem im Bereich der Gletscherzungen, aber auch in expositionsgünstigen Gebirgsabschnitten aus verschiedenen Ursachen weit unter die Schneegrenze in das überwiegend solifluidal überformte subnivale Gebirgsstockwerk hinab, wie umgekehrt unter bestimmten Bedingungen auch im nivalen Höhenbereich sich solifluidale Formungstendenz punkt- und flächenhaft ausbreiten kann.

Fragt der Geomorphologe nach der geomorphologischen Aussagekraft der Schneegrenzlinie, dann kann er mit diesen einfachen Feststellungen nicht zufrieden sein; es ist nicht mehr weit bis zu der Erkenntnis, daß sich zwangsläufig ähnliche Schwierigkeiten auftun, wie sie der Klimatologe bezüglich der Aussagekraft der Schneegrenzlinie als Klimagrenze erfahren muß. Wir sehen klar, daß die von Klimazone zu Klimazone wechselnde Wertigkeit der den Schneegrenzbegriff bestimmenden Klimafaktoren in einer unterschiedlichen geomorphologischen Prägekraft dieser Faktoren im Höhenbereich der Schneegrenze in den verschiedenen Klimazonen zum Ausdruck kommt. Oder mit anderen Worten gesagt:

Wenn die Wertigkeit der einzelnen Klimafaktoren im Schneegrenzbegriff wechselt, so beobachten wir folgerichtig analog dazu auch einen Wandel in der Geländeformung im Höhenbereich der Schneegrenze.

Wir stehen hier also vor einer echten klimagenetisch-geomorphologischen Fragestellung von globaler Bedeutung. Ein Vergleich der schneegrenznahen Gebirgsstufen in den verschiedenen Klimazonen der Erde, der m. W. unter dieser Fragestellung bislang noch nicht vorgenommen worden ist, wird zu interessanten Ergebnissen führen und Zeugnis davon ablegen, daß nicht die tektonetische, sondern die klimagenetisch-geomorphologische Betrachtungsweise uns in der hochgebirgsmorphologischen Forschung weiter voranbringen kann.

Ich möchte hier Grundzüge der klimagenetischen Quartärmorphologie im Höhenbereich der Schneegrenze in Hochgebirgen subtropischer Breiten erörtern und damit einen ersten Beitrag zu der von mir aufgeworfenen Fragestellung liefern. Dazu lege ich meine Beobachtungen aus den Hochgebirgen Vorderasiens zugrunde.

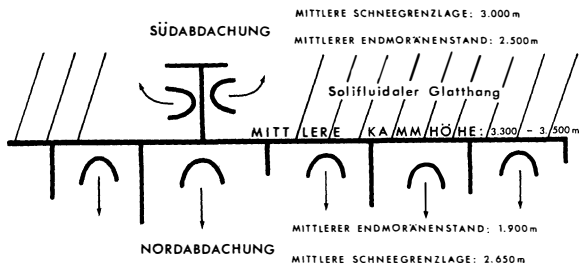


Abb. 3: Toros Dagh (Taurusgebirge)
Vereinfachte Kammverlaufsskizze im Gebirgsabschnitt westlich des Medetsiz

Die geomorphologische Situation im höchsten Gebirgsstockwerk des Taurus westlich der Kilikischen Pforte (Toros Dagh) wurde für diesen Zweck in einer vereinfachten wirklichkeitsechten Skizze dargestellt. (Abb. 3) ²⁾.

Wir kommen in einer zusammenfassenden Betrachtung zu folgendem Ergebnis: Die Nordabdachung des Toros Dagh zeigt weit verbreitet starke eiszeitliche Vergletscherungsspuren. Kar reiht sich an Kar, diese sind durch steil aufragende brüchige Felsriegel voneinander getrennt. Der mittlere Endmoränenstand an der Nordabdachung liegt bei 1900 m, die mittlere Schneegrenzlinie bei 2650 m.

Auf den südexponierten Hangabschnitten – nicht zu verwechseln mit der Südabdachung des Gebirges – fehlen über weite Strecken alle Anzeichen einer eiszeitlichen Vergletscherung. An die Stelle der glazialen Steilhangformung tritt hier die solifluidale Glatthangformung. Darauf werde ich weiter unten noch näher eingehen. Glaziale Formen finden wir nur dort, wo orographisch besonders begünstigte Ansatzpunkte für eine eiszeitliche Vergletscherung vorhanden waren, so beispielsweise eine nach Süden vorspringende Hangverzweigung. Die Zwickel in dieser Verzweigung unterliegen einer so starken lokalorographischen Begünstigung, daß sich darin Firnsammelmulden bilden konnten, aus denen heraus Gletscherzungen an der Südabdachung des Toros Dagh bis auf etwa 2500 m hinabstoßen konnten (H. LOUIS 1944). Die mittlere eiszeitliche Schneegrenze wäre demnach an der Südabdachung etwa bei 3000 m Höhe zu suchen, also um 350 m höher als an der Nordabdachung. Dabei ist besonders herauszustellen, daß weite Hangflächen oberhalb dieser Schneegrenze unvergletschert waren. Es ist weiter zu berücksichtigen, daß die Kare, auf die diese Schneegrenzberechnung zurückgeht, nicht in Südexposition liegen, sondern wohl an der Südabdachung aber in Ost- bzw. Westexposition und in diese Kare von den flachen benachbarten Hängen große Mengen von Treibschnee hineingeweht wer-

den konnten. Dennoch liegen die Endmoränen dieser Gletscher etwa 600 m höher als auf der Nordabdachung. Darüber hinaus hat die eiszeitliche Vergletscherung auf der Nordabdachung ein weit größeres Ausmaß erreicht als auf der Südabdachung.

Die Tatsache ist um so überraschender, als die Nordabdachung sich zum trockenen inneranatolischen Hochland hinneigt, während die Südabdachung dem maritimeren Mittelmeerraum zugewendet ist. Hier wird die Gesetzmäßigkeit durchlöchert, daß die maritimeren Klimaeinflüssen unterworfenen Gebirgsseiten stets stärker vergletschert sein sollen als die ihnen entgegengesetzten, dem Binnenland zugerichteten Abdachungen. Demzufolge fällt im Taurusgebirge westlich der Kilikischen Pforte die Schneegrenze von der maritimen Südabdachung des Taurus zur kontinentaleren Nordabdachung hin ein und steigt erst dann über Inneranatolien zu größerer Höhe empor, wo man sie an den hochaufgebauten Vulkanen im Binnenland wieder fixieren kann (Abb. 4). Diese widersinnige Umkehr der Schneegrenzverhältnisse im Toros Dagh ist zweifellos mit auf die Orographie des Gebirges zurückzuführen, denn es handelt sich hier um einen hoch herausgehobenen, absolut dominierenden, schmalen langgestreckten Gebirgskamm. Dem Gebirge fehlt eine tiefere Staffelung von annähernd gleich hohen Gebirgsketten, wie sie beispielsweise der Kilikische Ala Dagh zeigt. So ist der Hauptgrat des Toros Dagh keine echte Klimascheide, die Nordabdachung unterliegt zumindest im oberen Gebirgsstockwerk noch den von Süden kommenden mediterranen Klimaeinflüssen, und durch Kammüberwehung kommt es zu einer zusätzlichen Schnee- und Firnakkumulation im nordexponierten Windschatten. Ganz offensichtlich bedingen hier orographische Faktoren mit den widersinnigen Verlauf der Schneegrenze am Gebirgsindividuum des Toros Dagh.

Aber dennoch dürfen wir aus der Tatsache, daß die südexponierten Hänge bis in größte Höhen – hoch über die mittlere Schneelagegrenze hinaus – unvergletschert waren, schließen, daß hier ein klimatischer Faktor das geomorphologische Geschehen während des gesamten Quartärs bis auf den heutigen Tag maßgeblich bestimmt hat, nämlich das Klimaelement „Strahlung“. In den subtropischen Breiten hat dieses Element eine besonders hohe morphologische Wertigkeit. Die Südhänge in den Gebirgen der subtropischen Breiten unterliegen be-

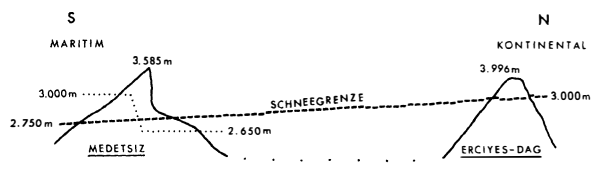


Abb. 4: Verlauf der eiszeitlichen Schneegrenze zwischen Medetsiz (Toros Dagh) und Erciyes Dagh (Zentralanatolien)

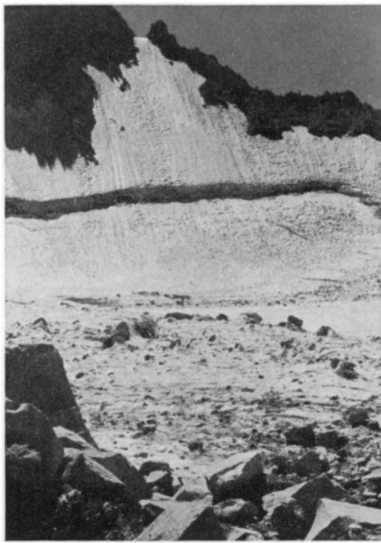
²⁾ Eine ausführliche Geländebeschreibung ist zu finden bei W. KLAER 1962, S. 67 ff. sowie Abb. Nr. 31–40.

sonders während der wolkenlosen Sommermonate einer so intensiven Sonneneinstrahlung, daß dadurch die durch Überwehung bereits reduzierte winterliche Schneedecke bis in größte Höhen hinauf durch Ablation verschwindet. Das muß auch schon während der pleistozänen Kaltzeiten und Warmzeiten so gewesen sein, denn andernfalls müßten an den südexponierten Hängen Spuren einer eiszeitlichen Vergletscherung zu finden sein. Sie fehlen, wenn man von den oben erwähnten Ausnahmen absieht. Aufgrund des geomorphologischen Befundes kann man übrigens auch den nicht ganz unwichtigen paläoklimatischen Schluß ziehen, daß zumindest in den süd-anatolischen subtropischen Hochgebirgen auch während des Pleistozäns in den Sommermonaten strahlungsintensive Hochdruckwetterlagen vorherrschten, die dem rezenten Klimageschehen sehr ähnlich gewesen sein müssen.

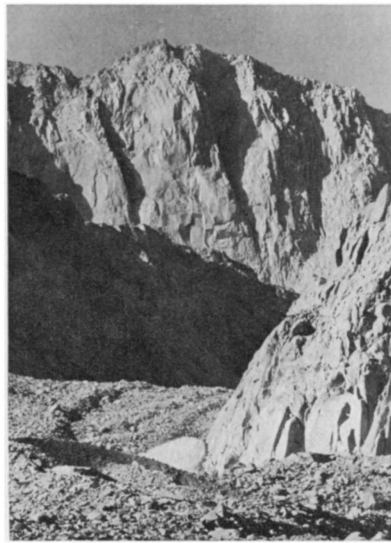
Die geomorphologische Wertigkeit des Klimaelementes Strahlung dominiert hier eindeutig über alle anderen Faktoren. Selbst der Einfluß der Maritimität, die ja an der Südabdachung des Taurus dem Strahlungsfaktor entgegenwirkt, wird von der Strahlung weitgehend eliminiert. Umgekehrt ist im Vergleich dazu die starke glaziale Überformung der Nordabdachung sowie der nordexponierten Hänge fast ausschließlich auf die starke Abschwächung der Strahlung in dieser Exposition zurückzuführen.

Im Elbursgebirge ist die Situation ähnlich. Auch hier beobachten wir im höchsten Gebirgsstockwerk der Tahkt-e-Suleiman- und Kulumbastak-Gruppe westlich und östlich der Paßstraße von Teheran zum Kaspischen Meer eine ähnliche Formungstendenz wie

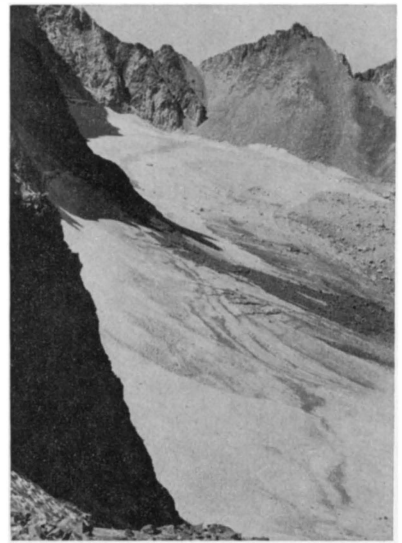
im Taurusgebirge. Hier wie dort fehlt weitgehend die eiszeitliche und rezente Vergletscherung an südexponierten Hängen, welche sich im Höhenbereich der Schneegrenze überwiegend als solifluidal überformte Glatthänge zeigen. Die nordexponierten Hänge im gleichen Gebirgsstockwerk sind hingegen von Glazialerosion stark überformt (Bild 1). Aus zahlreichen nordexponierten Kären konnten sich prächtige Talgletscher entwickeln (Bild 2 u. 7). Noch heute liegen in der Tahkt-e-Suleiman-Gruppe beachtliche Gletscher, ebenso sind in den geschützten pleistozänen Kären der Kulumbastak-Gruppe Eis- und Firnansammlungen sowie großartige Blockgletscher zu beobachten. Im Unterschied zum Taurusgebirge kommen hier die Klimaeinflüsse aber im wesentlichen von Norden vom Kaspischen Meere her. Strahlung und Maritimität wirken hier also nicht gegeneinander, sondern in gleicher Richtung, wodurch das Phänomen der asymmetrischen Vergletscherung von Gebirgsketten noch ausgeprägter in Erscheinung tritt. (W. KLAER 1962, Abb. 51). Der morphologische Effekt der ungleichmäßigen Hangabtragung an entgegengesetzt exponierten Hängen (Nord- und Südexposition) ist besonders nach Abzug der Gletscher durch Anhebung der Schneegrenze im Postglazial zu erkennen. Bergrücken- bzw. Talasymmetrie sind hier in besonders prägnanter Form zur Ausbildung gekommen. Die klimatische Schneegrenze steigt hier von Norden nach Süden zu langsam an. Aber es gilt dabei zu beachten, daß es sich hier bei ihr um eine Mittelwertlinie handelt, von der die orographische Schneegrenze von Kamm zu Kamm in besonders hohen Amplituden in Nord-



1



6



7

Bild 1: Vereiste Nordwand des Alam Kuh mit oberem Barirgletscher (Sept. 1959)

Bild 6: Nordwand des Alam Kuh (4823 m) mit Tahkt-e-Suleiman-Blockgletscher im Vordergrund (Sept. 1959)

Bild 7: Alam-Kuh-Gletscher am Fuße der steilen Nordwand (links) in 4200 m Höhe. Der Grat im Hintergrund führt zum Gipfel des Tahkt-e-Suleiman. (Sept. 1959)

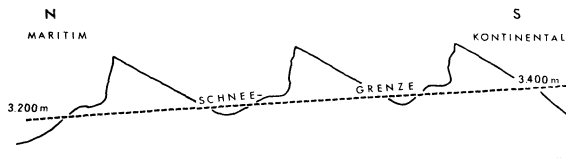


Abb. 5: Verlauf der eiszeitlichen Schneegrenze im Elbursgebirge (Kulumbastak-Gruppe) mit deutlicher Ausprägung von Bergrücken- bzw. Talasymmetrien in den Hochtälern

exposition nach unten und in Südexposition nach oben abweicht (Abb. 5).

Für die Bildung der schon wiederholt erwähnten Glatthänge oder Scheuerhänge ist der solifluidale Schutttransport von größter Bedeutung (H. SPREITZER 1957, 1960; W. KLAER 1962, 1962 a). Wenngleich sich der Solifluktuationsprozeß auch nur auf kurze Zeitabschnitte im Jahresablauf beschränkt, nämlich auf das späte Frühjahr und den Herbst (Feuchtigkeit und Frostwechsel sind unabdingbare Voraussetzung für den Ablauf des Solifluktuationsprozesses), ist seine dynamische morphologische Prägekraft nicht im geringsten anzuzweifeln (Bild 3). Man muß dabei vor allem den Zeitfaktor in Rechnung stellen. Nicht nur jetztzeitlich, sondern auch schon während der pleistozänen Kaltzeiten lagen die südexponierten Hänge bis hoch über die Schneegrenze hinaus schnee- und eisfrei und waren so intensiver solifluidaler Abtragung ausgesetzt. Da dieser Prozeß in gleicher Höhenlage auch in den pleistozänen Warmzeiten andauerte, unterlagen sie also praktisch während des ganzen Quartärs den gleichen Formungskräften.

Die Gesteinsstruktur kann die Ausbildung von Glatthängen nicht verhindern, sie kommen im Grundgebirge ebenso vor wie im Sedimentgebirge (Bild 4 und 5).

Es sei aber eingeräumt, daß Glatthänge überall dort eine besonders prägnante Ausbildung erhalten, wo Glatthangoberfläche und Strukturfläche des Gesteins zusammenfallen oder nur unter einem geringen Winkel voneinander abweichen. Der Neigungswinkel der Hangflächen darf 25–30° nicht übersteigen, da bei steileren Hangwinkeln Kräfte wirksam werden, die die Ausbildung einer Solifluktuationschuttdecke nicht mehr erlauben. Und diese ist nun einmal die Voraussetzung für die Bildung von Glatthangflächen.

Von Kritikern ist wiederholt der Einwand gemacht worden, daß das Nichtvorhandensein von Vergletscherungsspuren kein Beweis dafür sei, daß die Glatthänge während der pleistozänen Kaltzeiten nicht doch eine mehr oder weniger dicke Eis- oder Firndecke getragen haben könnten, die heute eben morphologisch nicht mehr nachweisbar sei. Dem ist entgegenzuhalten: Wenn die Glatthänge oberhalb der Schneegrenze eine Firndecke getragen hätten, dann müßte auf den Hangabschnitten unterhalb der

Schneegrenze eine um so kräftigere solifluidale Abtragung wirksam gewesen sein, während die Hangflächen oberhalb der Schneegrenze zu dieser Zeit durch Firnüberzug konserviert worden wären. Diese Situation müßte aber zwangsläufig zu einem morphologischen Stillbruch im Hangprofil in Nähe der Schneegrenze geführt haben, ein Stillbruch, der noch heute zu erkennen sein müßte. Dem ist aber nicht so. Die Glatthangflächen ziehen durch, d. h. sie erstrecken sich auf Höhenbereiche oberhalb und unterhalb der Schneegrenze ohne daß ein Tendenzwandel im Formungsprozeß wahrzunehmen wäre.

Doch wem vergletscherungsmögliche schnee- und firnfreie Glatthangflächen 800–1000 m oberhalb der Schneegrenze unwahrscheinlich erscheinen, und wer meiner Argumentation zur Wiederlegung einer theoretisch möglichen Verfirnung dieser Flächen nicht folgen kann, den möchte ich mit einem aktuellen Beispiel aus dem Elbursgebirge zu überzeugen versuchen. Am Fuße des über 4800 m hohen Alam-Kuh-Gipfels (Bild 6) nimmt in Nordexposition der größte Gletscher dieser Gebirgsgruppe in 4200 m Höhe (Bild 7) seinen Anfang. Nach einer Wegstrecke von etwa 4 km endet er in 3600 m Höhe in einer gewaltigen Blockzunge. Die rezente Schneegrenze dürfte mit 4100 m nicht zu niedrig fixiert sein. Schauen wir uns aber den zum Alam Kuh führenden Hauptgrat an (Bild 8), so sehen wir, daß auch er – immerhin fast in Montblanc-Höhe – gleich seinem etwas niedrigeren Nachbargipfel, dem Tahkte-Suleiman, auf seiner Südabdachung keine Vergletscherung trägt, sondern Glatthangbildung zeigt. Selbst der 5670 m hohe Vulkangipfel des Demawend ist in Südexposition schnee- und eisfrei. Also liegen diese Glatthänge heute um mehr als 750 m über der rezenten Schneegrenze, und es bleibt nicht eine Schneeflocke in den Sommermonaten auf ihnen liegen. Dieselben Hänge zeigen aber auch keine vorzeitliche glaziale Überformung, so daß wir als sicher annehmen müssen, daß diese südexponierten Glatthänge am Alam Kuh und in anderen Gebirgsabschnitten des Elbursgebirges auch während der pleistozänen Kaltzeiten eis- und firnfrei waren. Sie lagen z. T. um mehr als 1500 m über der eiszeitlichen Schneegrenze!

Es soll in diesem Zusammenhang aber auch gesagt werden, daß der Gesamtkomplex der Glatthangbildung durchaus noch Fragen offenläßt, die erst in weiteren Geländeuntersuchungen geklärt werden können. Ich bin mir durchaus bewußt, daß der Abtragungsprozeß auf den Glatthängen durch eine Summe von Vorgängen von oben und von unten her gesteuert wird. So ist in der Diskussion um die Glatthänge bislang auch der Einfluß des präglazialen Reliefs nicht mit berücksichtigt worden. Bei den starken pleistozänen und rezenten Abtragungsvorgängen in den höchsten Gebirgsstockwerken dürfte seine Rekonstruktion jedoch sehr schwierig und mit



2



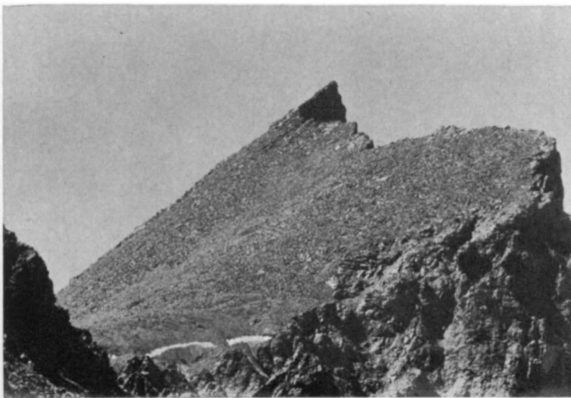
3



4



5



8

Bild 2: Talschluß des Barurgletschers mit nordexponierten Karen (Sept. 1959)

Bild 3: Glatthang mit Solifluktionsschuttdecke im Artos Dagh in 3100 m Höhe (Okt. 1959)

Bild 4: Kammasymmetrie im Grundgebirge der Tahkt-e-Sulaiman-Gruppe in 4250 m Höhe mit Blick auf die Blockzunge des Alam-Kuh-Gletschers. Solifluidaler Glatthang in Südexposition, glazialer Steilhang in Nordexposition. (Sept. 1959)

Bild 5: Blick vom Hasobesehir Tepe (Artos Dagh in 3500 m Höhe) nach Westen über südexponierte solifluidale Glatthangflächen. Gesteinsstruktur und Hangfläche schneiden sich in fast rechtem Winkel. Das niedrigere Gebirgsstockwerk im Hintergrund zeigt eine völlig andersartige geomorphologische Formungstendenz. (Okt. 1959)

Bild 8: Südexponierter Glatthang mit Solifluktionsschuttdecke im Ostgrat des Alam Kuh in 4600 m Höhe (Sept. 1959)
Alle Aufnahmen vom Verfasser

großen Unsicherheitsfaktoren verbunden sein. Glatthänge sind auch nicht allein an die Südexposition gebunden. Wenn sie aber in dieser Exposition so sehr dominieren, dann liegt das vor allem daran, daß hier aufgrund der starken Strahlungsverhältnisse das subnivale, durch solifluidale Abtragung geprägte Gebirgsstockwerk weit über die aus allen Expositionen er- und gemittelte Schneegrenze hinausgeht und für den glazialen Formenkomplex die klimatischen Bedingungen nicht gegeben sind. Umgekehrt waren

in Nordexposition in der Regel alle vergletscherungsmöglichen Hangflächen oberhalb der Schneegrenze vergletschert, so daß hier für Glatthänge kein Platz mehr sein konnte. Wenn sie in Nordexposition dennoch vorkommen, dann liegen sie unterhalb der Schneegrenze im subnivale Gebirgsstockwerk. Und hier hat die Beobachtung gezeigt, daß Glatthangbildungen wiederum nur in den oberen Abschnitten des subnivale Gebirgsstockwerkes zu finden sind (H. SPREITZER 1960), in Abschnitten also, wo die

Solifluktionsvorgänge sich noch optimal auswirken können. Da aber der glaziale Formenschatz in Nordexposition sehr weit nach unten rückt, wird das subnivale Gebirgsstockwerk gerade in der Höhenlage, wo die Glatthangbildung einsetzen müßte, stark eingengt. Dies geschieht in deutlichem Gegensatz zu den Verhältnissen in Südexposition, wo es sich auf Kosten des nivalen Gebirgsstockwerkes unverhältnismäßig weit ausdehnt. Ist es unter diesen Bedingungen verwunderlich, daß Glatthänge in Nordexposition verhältnismäßig selten vorkommen?

In den subtropischen Breiten bin ich Glatthängen von bestechender Form auch in Höhenlagen begegnet, die nahe dem Meeresniveau niemals solifluidalen Abtragungsvorgängen ausgesetzt gewesen sein können. Trotz scheinbarer Formenkonvergenz hat die eingehende geomorphologische Untersuchung beider Hangtypen jedoch sehr bald eindeutige Unterschiede in der Genese beider Hangformen aufdecken können, so daß man sich davor hüten muß, beide Hangtypen begriffsmäßig zusammenzufassen. Die in diesem Beitrag aufgeworfene Problemstellung dürfte von all dem aber nur wenig berührt werden.

So charakteristisch das Heraufrücken des solifluidalen Formungsprozesses an südexponierten Hängen ist, so bemerkenswert ist aber auch das Herabgreifen des nivalen Formungsprozesses an nordexponierten Hängen bis weit unter die klimatische Schneegrenze. Hierzu seien Beobachtungen aus dem Artos Dagh hart südlich des Van Gölü angeführt.

Die rezente Schneegrenze liegt hier in 4000 m Höhe. Man kann sie anhand einiger Gletschervorkommen auf dem Gipfel des nahe gelegenen über 4000 m hohen Suphan Dagh-Vulkanes einwandfrei bestimmen. (W. KLAER 1965).

Im Artos Dagh finden wir kleine rezente Wandfußgletscher auf der nordexponierten kontinentalen Abdachung des Gebirges. Sie liegen in pleistozänen Karböden jeweils im Schutze einer steilen Karrückwand und genießen hier zweifellos eine starke lokalographische Begünstigung. Aber dennoch, sie existieren hier in 2900 m Höhe, also mehr als 1000 m unterhalb der klimatischen Schneegrenze, ohne durch Lawinenzufuhr ernährt werden zu können. Ja, sie reagieren sogar in sehr empfindlicher Weise auf die rezenten und frührezenten Klimaschwankungen durch Vorstoß und Rückzug, wie Moränenablagerungen im rezenten Gletschervorfeld deutlich erkennen lassen. Ihre morphologische Wirksamkeit ist allerdings bescheiden. Es gelang diesen kleinen Gletschern aber dennoch, durch wiederholten Vorstoß im Zuge von Klimaverschlechterungen in den letzten Jahrhunderten den pleistozänen Karboden und den Fuß der steilen Karrückwand schutfrei zu halten.

Beobachtungen auch aus anderen vorderasiatischen Gebirgen führen zu dem Ergebnis, daß das subnivale Gebirgsstockwerk an nordexponierten Hängen im Bereich der strahlungsintensiven subtropischen

Breiten in sehr viel höherem Maße von nivalen Formungskräften geprägt ist, als man das in diesem Höhenbereich in anderen Klimazonen beobachten kann.

Fassen wir zusammen: Anhand verschiedener Beobachtungen aus Hochgebirgen subtropischer Breiten in Vorderasien sollte die Bedeutung klimagenetischer Faktoren für die Hochgebirgsmorphologie herausgestellt und gezeigt werden, wie hier in den sommertrockenen subtropischen Breiten vor allem ein Klimatelement, nämlich die Strahlung auf die Formenentwicklung der höchsten Gebirgsstockwerke Einfluß nimmt.

Die Strahlung allein steuert im Bereich der Schneegrenze in überragender Dominanz das gesamte geomorphologische Geschehen im nivalen und subnivalen Gebirgsstockwerk, wie man das in keiner anderen Klimazone in dieser Weise beobachten kann.

Hohe Strahlungsintensität vermochte auf den südexponierten Hängen die nivalen Formungsvorgänge auf mehr als 1500 m über die klimatische Schneegrenze zu verdrängen und in gleichem Zuge die solifluidalen Formungsvorgänge entsprechend anzuheben (Beispiel Elbursgebirge).

Umgekehrt erscheint die Situation an den nordexponierten Hängen. Durch die weitgehende Eliminierung der Strahlung, die hier die Hangoberflächen nur noch unter sehr flachem Einfallswinkel berührt, gewinnen andere, ablationshemmende Klimafaktoren an morphologischer Wertigkeit. Gletschervorkommen von mehr als 1000 m unterhalb der klimatischen Schneegrenze sind keine Seltenheit (Beispiel Artos Dagh). Die glaziale Hangformung wird in Nordexposition trotz höherer Kontinentalität stark herabgedrückt, die solifluidale Hangformung in Südexposition trotz höherer Maritimität angehoben (Beispiel Toros Dagh, Artos Dagh). So rückt das subnivale Gebirgsstockwerk an der Südabdachung mit seiner kräftigen solifluidalen Überformung (Glatthangbildung) in seiner Höhenlage neben

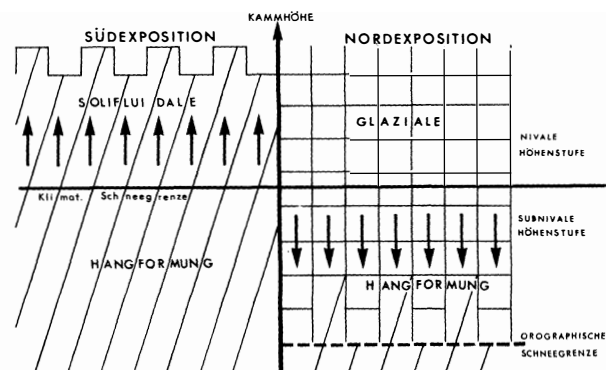


Abb. 6: Schema über die unterschiedliche Formungstendenz auf entgegengesetzt exponierten Hängen (Nord- und Südexposition) im Höhenbereich der Schneegrenze

das nivale Gebirgsstockwerk an der Nordabdachung, das sich durch einen ausgeprägten glazialen Formenschatz auszeichnet (Abb. 6).

Aus dieser Situation leitet sich die asymmetrische Bergrücken- oder Talhangformung ab, wie man sie in dieser Prägung ausschließlich in Gebirgen der subtropischen Breiten findet (W. KLAER 1962, Abb. 33 und 51 u. a.).

Literatur

- BOBEK, H. (1937): Die Rolle der Eiszeit in Nordwest-Iran. Ztschr. f. Gletscherkunde 25.
- HÖLLERMANN, P. (1964): Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenbildung im oberen Suldtal (Ortler-Gruppe/Südtirol) Z. f. Geom., Supplementband 4.
- HÖVERMANN, J. (1960): Über Strukturböden im Elburz (Iran) und zur Frage des Verlaufs der Strukturbodengrenze. Z. f. Geom. N.F. 4.
- KLAER, W. (1962): Untersuchungen zur klimagenetischen Geomorphologie in den Hochgebirgen Vorderasiens. Heidelberger Geographische Arbeiten H. 11.
- , (1962 a): Die periglaziale Höhenstufe in den Gebirgen Vorderasiens. Ein Beitrag zur Morphogenese der Hochgebirge in den subtropischen Breiten. Z. f. Geom. N.F. 6.
- , (1965): Geomorphologische Untersuchungen in den Randgebirgen des Van-See (Ostanatolien). Z. f. Geom. N. F. 9.
- LOUIS, H. (1944): Die Spuren eiszeitlicher Vergletscherung in Anatolien. Geol. Rdsh. 34.
- , (1960): Allgemeine Geomorphologie. Lehrb. d. Allg. Geographie, Berlin.
- MESSERLI, B. (1967): Die eiszeitliche und die gegenwärtige Vergletscherung im Mittelmeerraum. Geogr. Helvetica.
- PASCHINGER, V. (1912): Die Schneegrenze in verschiedenen Klimaten. Pet. Geogr. Mitt., Erg. H. 173, Gotha.
- RATHJENS, C. (1965): Ein Beitrag zur Frage der Solifluktionsgrenze in den Gebirgen Vorderasiens. Z. f. Geom. N. F. 9.
- SPREITZER, H. (1957): Zur Geographie des Kilikischen Ala Dagh im Taurus. Festschr. z. 100-Jahr-Feier d. Geogr. Ges. Wien 1856-1956.
- , (1960): Hangformung und Asymmetrie der Bergrücken in den Alpen und im Taurus. Z. f. Geom. Supplementband 1.
- TROLL, C. (1948): Der subnivale und periglaziale Zyklus der Denudation. Erdk. 2.
- WICHE, K. (1960): Klimamorphologische Untersuchungen im westlichen Karakorum. Verh. d. Dtsch. Geogr. T. 1959, Wiesbaden.

BÜSSERSCHNEE IN VORDERASIEN

Mit 7 Bildern

GÜNTHER SCHWEIZER

Summary: 'Büsserschnee' ('penitentes') phenomena in the Near East

Numerous recent observations of 'Büsserschnee' deposits in the mountain ranges of the Near East serve as the base for a fresh investigation of the problems concerning the geographical distribution of true snow 'penitentes' in this area. The 'Büsserschnee' formations investigated by the author in the Kuh-e-Sabalan Massif (NW Iran) and the volcanic plug of the Demavend (Elburz, northern Iran) are described in some detail. The appearance of 'penitentes' forms on the Kuh-e-Sabalan (4740 m) is of particular interest, since in the present state of research, it is the most northerly and westerly true 'Büsserschnee' deposit in the entire Asian mountain system. Study of many glaciologic and alpinist reports on the Anatolian mountains allows the formation of 'Büsserschnee' in that area to be firmly disregarded. There thus seems to be a clear boundary fence between Elburz, Kuh-e-Sabalan and the Zagros (?) on the one hand and the Caucasus, Ararat, Süphan Dagı and the Hakkâri Taurus on the other which separates the Near Eastern mountains with annual 'Büsserschnee' in the east from those without periodic 'penitentes' formation in the west.

In seinem grundlegenden, weltweite Beobachtungen zusammenfassenden Werk über den Büsserschnee schreibt C. TROLL (1942, S. 88): „In den übrigen vorderasiatischen Hochgebirgen [d. h. abgese-

hen vom Hindukusch] ist Büsserschnee bisher nicht beobachtet worden. Man könnte an Möglichkeiten im Älburs (Demavend), im östlichen Kaukasus, am Ararat, im Südiranischen Randgebirge, im Taurus und im Erciyes Dağı denken.“ Auch in einem späteren Nachtrag kann C. TROLL (1949, S. 26) mangels einschlägiger Unterlagen noch keine genaueren Angaben zur Verbreitung des Büsserschnees im vorderasiatischen Raum machen.

Aufgabe des vorliegenden Berichtes soll es sein, einige Beobachtungen an Büsserschneebildungen in iranischen Hochgebirgen mitzuteilen sowie einen Überblick über die Verbreitung dieser eigenartigen Ablationsformen im Gesamttraum Vorderasiens zu geben. Während der letzten zehn bis fünfzehn Jahre wurden die Hochgebirge dieses Raumes einer intensiven bergsteigerischen Erschließung und – zumindest in großen Teilgebieten – einer gletscherkundlich-glazialmorphologischen Erforschung unterzogen, so daß beim heutigen Stand der Kenntnisse eine solche Zusammenfassung angezeigt zu sein scheint.

1. Beobachtungen am Kuh-e-Sabalan (Nordwestiran)

Die breite, in E-W-Richtung langgezogene Kette des vulkanischen Sabalan-Gebirges erhebt sich über