

talität. An der Mehrzahl aller Tage der Sommer 1959–1978 konnten die Zyklonen jedoch ungehindert auf Deutschland übergreifen. Die Sommer sind dann relativ feucht. In diesen Sommern erscheint der Südosten des Bundesgebietes relativ warm – verglichen mit dem übrigen Untersuchungsraum – infolge seiner ausgeprägteren Kontinentalität. Diese beschert ihm während „blocking“-Lagen übrigens eine höhere Anzahl von Niederschlagstagen als Folge häufigerer Gewitter.

Bei kontinentalen Hochdrucklagen im Sommer ist dieser im Südosten warm-trockener ausgebildet als im übrigen Bundesgebiet.

So erklären sich die häufigeren Raummuster der Affinität des Südwestens mit Norddeutschland.

Schlußbemerkung

Die deutliche Nord-Süd-Differenzierung des Bundesgebietes, wie sie bei der zeit-räumlichen Analyse der Zahl der Sommer- bzw. der Niederschlagstage von Juli und August zutage getreten ist, hatte sich bereits bei den Analysen der zeitlich integrierten Mittelwerte der Zahl der Sommertage erwiesen. Nördlich der Mainlinie liegt generell die Zahl der

Sommertage unter dem Mittelwert, südlich davon darüber. Überdies eignen dem Osten mehr Sommertage als dem Westen. Damit erweist sich das Raummuster der mittleren Zahl der Sommertage geprägt durch den von Norden nach Süden zunehmenden solaren Strahlungsgenuß in Interferenz mit der von Westen nach Osten zunehmenden Kontinentalität. Nach Osten geht der Anteil advektiver Bewölkung zurück, was sich letztlich auch in einer West-Ost-Zunahme des Strahlungsgenusses ausdrückt.

Literatur

- Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 1959 bis 1978.* Deutscher Wetterdienst, Offenbach 1961–1980.
- DOORNKAMP, J., GREGORY, K. J., a. BURN, A. S.: Atlas of the drought in Britain 1975–1976. Institute of British Geographers, London 1980.
- FLOHN, H.: Witterung und Klima in Deutschland. Entwurf zu einer allgemeinen Klimatologie Mitteleuropas. Forschungen zur Deutschen Landeskunde 41, Leipzig 1942.
- LAMB, H. H.: Climate in the 1960s. Geographical Journal 132, 1966, S. 183–212.

GEOMORPHOLOGISCHE STUDIEN AN SCHUTTFÄCHERN IN OSTKRETA

Ein Beitrag zur Klimageschichte des Jungquartärs in Mittelmeerländern

Mit 3 Abbildungen und 7 Photos

LUDWIG HEMPEL

Summary: Geomorphological studies on alluvial fans in Eastern Crete

The author has investigated sedimentation cycles within alluvial fans in the high mountains of Crete. They provide an insight into the palaeoclimatic situation during late-quaternary times.

The period from the high Würm glaciation to the present time is illuminated by sequences of debris masses moved by solifluction, fluvial transport and torrential washes. Consolidated material (breccia) gives evidence of warm interstadials. The Holocene can be divided into two periods characterized by torrential transport of weathered material. They are separated by a short humid phase. During this time the surface of older debris layers was converted into breccia. The origin of the older debris dates back to times prior to human influences on the ecosystems. The most recent debris-complex can be paralleled with the "historical fills" of the basin landscapes. With regard to the total volume of the alluvial fan, it is relatively small. Roughly calculated it comprises about 20% of the total debris masses of late-quaternary (Würm glaciation till present).

By historiograms (orientation, roundness) the sediments of the high zone are affiliated to the dated sediments of the coastal plains,

along the course of a valley extending from the sea shore to the high mountains area. This valley offers the only opportunity to indicate the lower limit of solifluction processes fairly reliably, probably because of the high amount of water. It must be left undecided whether the torrential sediments at an altitude of about 600 m a.s.l. are the result of Pleistocene melt water run off or of heavy rain fall run off during the warmer period.

Problemstellung und Voruntersuchungen

Die Vielgliedrigkeit der Bergländer und Hochgebirge Kretas ist das Ergebnis einer Vielfalt von Gesteinen und tektonischen Störungsrichtungen. Dies hat ein schroffes Nebeneinander von Hoch und Tief im Relief zur Folge gehabt. Damit wurden alle Abtragungsprozesse besonders gesteigert. Darüber hinaus spielen wegen der Höhen bis 2400 m NN auch klimatische Unterschiede in Gegenwart

und Vergangenheit für die Abtragungs- und Aufschüttungsdynamik und damit für die Reliefgenese eine große Rolle. In der Jetztzeit grenzt die Zone mit vorzugsweise heftiger Schneeschmelzabtragung in Höhen zwischen 1800 und 2400 m NN, in Tälern bis 800 m NN herabreichend, an die Zone mit winterlichen Starkregenabspülungen, die bis in die Becken und Küstenebenen reicht. Während der Kaltzeiten des Pleistozäns reichte die frostdynamische Verwitterung und Hangabtragung bis 800 m NN. Von dort führten Schneeschmelzabflüsse den Schutt bis an die Küste weiter, wo er heute als Schotterkörper, z. T. in Terrassenform, von der jüngeren torrentiellen Erosion zerschnitten wird. Das Ergebnis dieser zeitlich verschiedenen und in ihrer Wirkung unterschiedlichen Materialbewegung und Akkumulation sind schwer entwirrbare Sedimentanhäufungen, von denen bereits CREUTZBERG (1961) berichtet hat.

Lösungen für eine sinnvolle Ordnung nach Zeit und Geomorphodynamik können nur dort gefunden werden, wo die Wurzeln aller Formungsabläufe liegen: Das sind die Höhen zwischen 600 und 2000 m NN, wo Schutt, Schotter und Feinmaterial sammelnde Hochbecken von Hochgebirgsketten umgeben werden. Von diesen Ketten müssen auch Täler in die Becken führen, um neben den Abtragungsmechanismen am Hang die morphologisch deutlicher ausgeprägten Erosions- und Akkumulationszyklen in einem Tal bzw. am Talaustritt studieren zu können. Solche Beobachtungsvoraussetzungen trifft man sowohl im Lefka-Ori im Omali-Becken als auch an der Westflanke des Dikti-Oros zum Becken von Kastellion an. An beiden Stellen reihen sich – korrespondierend mit Tälern – Fächer aus Schutt und Rotlehm aneinander. Stellenweise wird dieses Lockermaterial zum Ausbau der Gebirgspisten abgebaut, wodurch gute Einblicke in die morphologischen Zyklen möglich werden. Schon 1980 im Rahmen einer kurzen Exkursion fiel mir auf, daß in den Schuttfächern am Lefka-Ori brekzienartig verfestigte Lagen mit Lockersedimenten von rötlicher Farbe abwechselten. Anlässlich eines Aufenthaltes im Osten Kretas konnte ich an Hangschuttdecken des Kapsas über der Mirabello-Bucht bei Kavousi eine ähnliche Folge von lockeren und festen Schuttlagen feststellen (Photo 1). Angeregt durch diese mehr unsystematisch gemachten Beobachtungen sowie nach Abschluß der Studien in den Becken und Küstenebenen der Peloponnes bzw. Nordkretas wurden die Schuttfächer und Beckenfüllungen an der Westseite des Dikti-Oros 1983 genauer untersucht (vgl. auch Abb. 3).^{*)}

Beobachtungen an Schuttfächern in Ost-Kreta

Vom Becken von Kastellion führen mit nahezu regelmäßigen Abständen Trockentäler nach Osten (vgl. Abb. 1). Sie durchbrechen eine Vorkette des Dikti-Oros, die rund 1000 m NN hoch liegt, und führen von dort in die Hauptkette des Hochgebirges. Am Beispiel eines Schuttfächers

^{*)} Für die Gewährung einer Reisebeihilfe danke ich der Gesellschaft der Förderer der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster sehr herzlich.

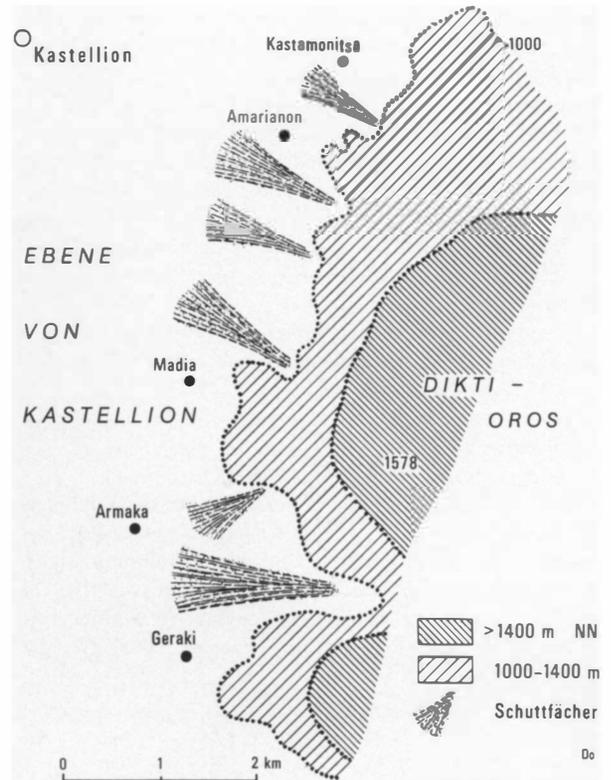


Abb. 1: Schuttfächer an der West- und Nordwestflanke des Dikti-Oros in Ostkreta

Alluvial fan on the west- and northwest-facing slopes of Dikti-Oros in eastern Crete

zwischen den Orten Geraki und Madia soll das Prinzipielle des Aufbaus aller Fächer erläutert werden. Hangschutt und Fächerschutt reichen von 1200 m NN bis in ein kleines Becken zwischen den Orten Geraki und Armaka in ca. 600 m NN. Es hat Anschluß an das große Becken und die Hochebene von Kastellion. Sowohl im Schuttfächer als auch in den Beckenablagerungen hat die junge Erosion ein tiefes Torrentental eingeschnitten, das damit Einblick in den Profilaufbau erlaubt. Zusätzlich gewinnt man Informationen über den Sedimentgehalt des Fächers durch den Abbau des Schuttes zur Pistebefestigung.

Der Schuttfächer hat eine Länge von ca. 500 m. Die Bogenbreite beträgt etwa 200 m. In seinem Wurzelbereich am Austritt des Tals aus dem Gebirge ist er 2–5 m, im Mittelteil nach ca. 250 m bereits 20 m mächtig. Dies dürfte die größte Mächtigkeit sein, denn am Übergang in die Ebene des Nebenbeckens dünnt das Schuttpaket auf 3–5 m aus. Im Anschluß daran erfolgt über eine Strecke von ca. 800 m der Übergang von der mehr denudativen Hangschuttbewegung in die mehr fluviale Talschotterbewegung.

Der Aufbau des Schuttkegels in der Vertikalen (Abb. 2) gliedert sich in mehreren Lagen lockeren Kalkgesteinschutts, brekzienartig ausgebildeten Kalkgesteinsschutts und einer Matrix aus rotem Lehm (Hue 10 R 4/6).



Photo 1: Hangschuttsedimente über der Mirabello-Bucht in Ostkreta. Photo: HEMPEL 1983
Talus scree sediments above Mirabello Bay in eastern Crete

Photo 2: Würmeiszeitliche Kalkschutt-Brekzie als Talfüllung an der Westflanke des Dikti-Oros in 1000 bis 1400 m NN nahe dem Ort Geráki. Photo: HEMPEL 1983
Würm-glacial limestone breccia as valley fill on the western slope of Dikti-Oros at about 1000-1400 m a.s.l. near Geráki village

Photo 3: Fluviale (1) und solifluidale (2) Ablagerungen an den West- und Nordhängen des Dikti-Oros nahe dem Ort Armácha (Kreta) in ca. 1000 m NN. Photo: HEMPEL 1983
Fluvial (1) and solifluidal (2) sediments on the west- and north-facing slopes of Dikti-Oros near Armácha village (Crete) at about 1000 m a.s.l.

Photo 4: Würmeiszeitliche Basisbrekzie als Füllung eines alten Kerbtals (1); darüber ein lockerer würmeiszeitlicher Kalkschutt-Rotlehm-Komplex (2) mit einer Brekziendecke (3). Es folgt ein ähnlicher Schutt-Rotlehm-Komplex (4) mit Brekziendecke (5) holozänen Alters. Schuttfächer an der Westflanke des Dikti-Oros oberhalb des Ortes Armácha (Kreta) in ca. 1200 m NN. Photo: HEMPEL 1983
Basal breccia of the Würm glaciation filling a former v-shaped valley (1); above a loose Würm-glacial complex of limestone debris and red loam (2), covered by a breccia (3). A similar complex of debris and red loam (4) topped by a breccia of Holocene age (5) follows. Alluvial fan on the west-facing slope of Dikti-Oros above Armácha village (Crete) at about 1200 m a.s.l.

Die Basis ist eine Kalkbrekzie (Photo 2). Sie füllt ein ehemaliges Tal aus, das im Oberlauf eine Kerbform, im Mittel- und Unterlauf eine mehr muldenartige Form besaß. Diese Füllung enthält Schuttstücke aller Größen, von wenigen Zentimetern Durchmesser bis über kopfgroße Exemplare. Eine Sortierung nach der Größe von oben nach unten ist nicht festzustellen, so daß für den Transport ein einfacher fluvialer Prozeß ausscheidet. Regelungsmessungen haben auf der ganzen Strecke ein Diagramm ergeben, wie man es von solifluidalen Bewegungen kennt: Maximum der läng-

sten Achsen parallel zur Bewegungsrichtung. Der Höhenlage nach würde ein solcher frostdynamischer Vorgang während der Kaltzeiten des Pleistozäns durchaus möglich sein (vgl. auch POSER 1957). Die relativ gute Ausprägung der Einregelung verdanken die Schuttstücke der Tatsache, daß im Gegensatz zu den Hangpartien in Hohlformen wie Tälern in den Kaltzeiten offenbar ausreichend Wasser für frostdynamische Prozesse vorhanden war.

Die Frage, ob es sich bei diesem Sediment möglicherweise um das Ablagerungsergebnis einer schlammig-breigen

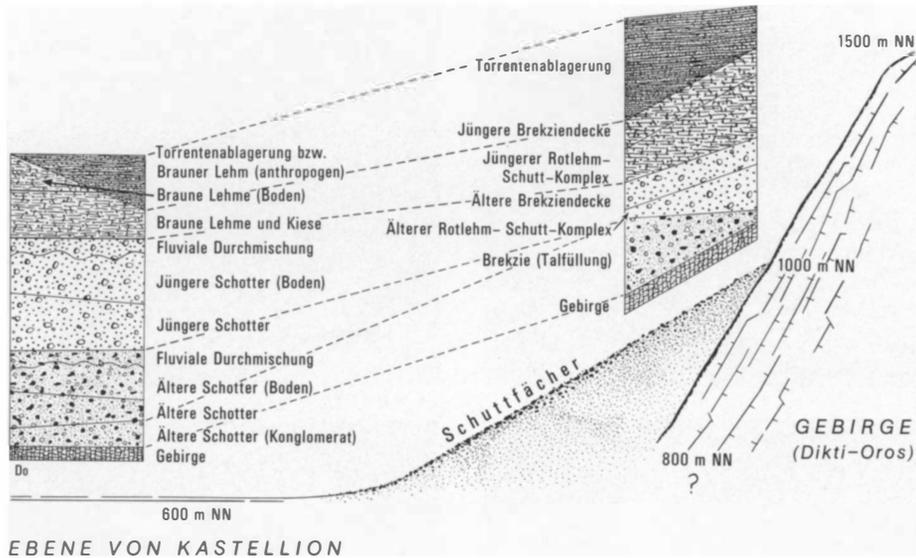


Abb. 2: Schematische Übersicht über die Sedimentationsfolgen innerhalb der Schuttfächer und in den benachbarten Becken sowie deren Korrelation

Scheme of the sequences of the sediments within the alluvial fan and in the adjacent basin areas and their correlation

Lockermasse ohne Frosteinfluß handelt, kann m. E. verneint werden (vgl. HÖLLERMANN 1971, S. 216). Der Anteil des Feindetritus ist zu gering, als daß dadurch eine Fließbewegung allein durch Wasserübersättigung denkbar wäre. Überhaupt wird man im und über Kalkgestein ausgeprägte Schuttbewegungen wegen der starken Klüftigkeit nur dann antreffen, wenn das notwendige Wasser oberflächennah bleiben konnte, d. h. die Klüfte versetzt waren. Das ist in aller Regel nur bei Frostbodenbildung denkbar. Daß dennoch die Formen im Kalkgestein gegenüber anderen Gesteinen kümmerlich bleiben, ist bekannt und für die Beurteilung der Formen im Gelände mit einkalkuliert (vgl. auch HEMPEL 1955; HÖLLERMANN u. POSER 1977, S. 336; HAGEDORN 1977, S. 221–237).

Ein weiterer Hinweis, daß es sich um eine kaltzeitliche Ablagerung handeln muß, sind gelbe Lehme. Sie sind z. T. als kleine Nester von der Größe von Taubeneiern, z. T. als Schleier oder millimeterdicke Streifen in die Kalkbrekzie eingelagert. Schon POSER (1957) hat solche Sedimente an anderer Stelle und in anderer Lagerung als Produkte einer kaltzeitlichen Bodenbildung auf Kreta beschrieben.

Auf die Zeit solifluidaler Schuttwanderung folgte eine solche, in der die Schuttstücke zu einer Brekzie verfestigt wurden. Der Grad der Verfestigung – sie reicht durch die Schuttmasse von bis 10 m Dicke voll hindurch – weist darauf hin, daß über längere Zeit Wasser zur Kalklösung und Trockenheit mit Wärme zur Kalkausfällung vorhanden gewesen sein muß. Bei einem bis in diese Höhen (über 1000 m NN) reichenden Wandel im Ökohaushalt muß man an eine deutliche und durchgreifende Klimaänderung wie in einem Interstadial denken. Dafür spricht auch der weitere Aufbau des Schuttfächers.

Über der Basisbrekzie folgt eine Ablagerung von kleinscherbigem Kalkschutt annähernd gleicher Größe, der in einem roten Lehm als Feinmatrix eingebettet ist. Die Grenze von Brekzie und rotem Lehm ist so glatt ausgebildet und reicht an keiner Stelle in die Brekzie hinein, daß Transport und Ablagerung des Lehms erst nach vollständiger Verfestigung stattgefunden haben muß. Kalkschutt und roter Lehm sind offensichtlich das Ergebnis der interstadialen Verwitterung und Bodenbildung auf den benachbarten Hängen im Einzugsbereich des Tals. Der rote Lehm weist auf relativ warme Klimaverhältnisse hin. Die Bodenbildung setzt abtragungsstabile Hangverhältnisse voraus, wozu eine relativ dichte Pflanzendecke gehört. Daß der Wasserabfluß während dieser Zeit nicht extremen Schwankungen unterlegen gewesen sein kann, erhellt auch aus der Beobachtung, daß die Basisbrekzie nirgends Einregelungen mit fluvialem Charakter erfahren hat. Es muß sich eher um eine Sicker-spülung gehandelt haben. Rotlehm und Kalkschutt wurden während des Interstadials auf den Hängen gebildet und in einer späteren Zeit von dort abgespült. Diese Denudation setzt voraus, daß die Hänge abtragungslabil wurden, was nur durch eine Auflichtung der Pflanzendecke möglich ist. Sucht man nach den Abtragungsmedien, so weisen die Regelungsmessungen im Kalkschutt in zwei Richtungen: Solifluidale und fluviale Diagramme wechseln sich lagen- und nesterweise ab (Photo 3). Frostdynamik und Wasserabfluß – letzterer wohl von Schneeschmelze stammend – sind Anzeiger für kaltzeitliche Verhältnisse unter relativ feuchten Bedingungen.

Diese doppelte Form des Materialtransportes – fluvial und solifluidal – ist auch von anderen Autoren beobachtet worden. HÖLLERMANN (1971, S. 216) hat mit Nachdruck auf

die große Bedeutung der „Verlagerung durch oberflächlich abfließendes Wasser (Abspülung, Schneeschmelze)“ während des kaltzeitlichen Solifluktionsprozesses verwiesen. Eigene Messungen im Thessalischen Olymp haben die Verzahnungen der Vorgänge unter mediterranen Bedingungen in Verbindung mit Starkregenabfluß der Gegenwart angezeigt (HEMPEL 1972, S. 301–314). Naturgemäß liegt in der Kombination zweier Vorgänge eine Schwierigkeit bei der Deutung solcher Sedimente. Sichere Aussagen können nicht von einem einzelnen Aufschluß gewonnen werden. Es muß schon eine Morphogrammreihe zu einer Art Historiogramm führen. Das wurde im Falle dieses Schuttkegels sowohl für die Einregelung als auch die Zurundung erstellt. Bei einer Laufstrecke von über 4000 m lassen sich folgende Stadien ablesen (von oben nach unten):

- 0–1800 m: solifluidal (fossil)
- 1800–2500 m: solifluidal (fossil) – fluvial (fossil)
- 2500–3200 m: fluvial (fossil)
- 3200–4000 m: fluvial (fossil) – fluvial (rezent)

Die Rotlehm-Kalkschutt-Ablagerung ist nur wenig verfestigt (Photo 4:2). Sie wird nach oben von einer ca. 0,5 bis 0,8 m dicken Brekziendecke mit Rotlehmresten abgeschlossen (Photo 4:3). Diese geringe Dicke der Verfestigungsschicht weist auf eine relativ kurze Zeit der Kalklösung und Ausfällung und damit auch auf eine Klimagunst (Wärme, Feuchte), vergleichbar einem Interstadial, hin. Über die Bedeutung der geringeren Mengen von Rotlehm in der Brekziendecke kann man nur spekulieren: Ausspülung im Zuge der Kalkinfiltration und Verfestigung oder dürtigere Einschwemmung à priori (Basislage eines Roterde-Rendzina-Bodenprofils).

Die Bedeutung dieser Wärmezeit innerhalb des Pleistozäns wird durch eine zweite Roterde-Kalkschutt-Ablagerung im Hangenden erkennbar (Photo 4:4). Die warme Zeit hat ausgereicht, ein neues Roterde-Bodenprofil auf den Hängen zu bilden, bevor es von dort wieder abgetragen wurde. Der Abtragungsprozeß war kein solifluidaler wie bei der liegenden Roterde-Kalkschuttbrekzien-Serie. Die Regelungsdiagramme zeigen Richtungsmaxima, wie sie für rein fluviale Transport- und Ablagerungsvorgänge bekannt sind. Aus den Bildungsbedingungen dieser Serie kann somit entnommen werden, daß die Kaltzeit zu Ende gewesen sein muß. Eine weitere Transporteigenschaft des Schuttes kann aus der Beobachtung abgeleitet werden, daß Teile der Ablagerung torrentiellen Charakter haben. Dies weist auf periodisch starke Abflüsse hin, wie sie entweder bei heftiger Schneeschmelze oder bei Starkregen auftreten. Beide Vorgänge kommen heute in diesen Höhenbereichen (1000 bis 2000 m NN) vor.

Faßt man an dieser Stelle die bisher beschriebenen Vorgänge zusammen und interpretiert sie für eine Geoökodynamik, so ergibt sich folgendes Bild:

1. Solifluidale Talfüllung aus Kalkgesteinsschutt = Kaltzeit;
2. Verfestigung der Füllung durch Kalkinfiltration (Photo 4:1) und Bildung von Roterdeboden auf den Hängen = Warmzeit;
3. Solifluidal-fluvialer Schuttfächer mit Rotlehm (Photo 4:2) = Kaltzeit;

4. Verfestigung des Schuttfächers (Photo 4:3) und Bildung von Roterdeboden auf den Hängen = Warmzeit;
5. Fluvialer, torrentieller Schuttfächer mit Rotlehm (Photo 4:4) = periodisch feuchte Warmzeit.

Mit dieser fünfteiligen Serie ist die Morphogenese des Schuttfächers noch nicht abgeschlossen. Zwei Vorgänge schließen sich an. Zum einen lagert über der oberen Kalkbrekziendecke ein Schuttpaket, zum anderen zerschneidet eine junge Erosionsrinne den Fächer von der Wurzel bis zum unteren Drittel und dies stellenweise in voller Tiefe.

Das Schuttpaket besteht sowohl aus groben, kopfgroßen als auch kleinen, wenige Zentimeter messenden Stücken. Der Schutt ist in großen Loben formiert, was auf einen schwallartigen Wasserabfluß hinweist (Photo 5). Die Loben messen am Außenbogen bis 6 m. Dieser ist von den größten Schuttstücken aufgebaut. Der kleinscherbige Schutt hat sich auf der bergwärtigen Seite angesammelt. Im Einregelungsdiagramm ist keine Richtung bevorzugt, ein Zeichen für periodische Abflüsse großer Wassermengen. Die Loben liegen der oberen Brekziendecke locker auf und im mittleren Teil des Fächers übereinander (Photo 5:1 u. 2), so daß dieser jüngste Schutt komplex bis 5 m Mächtigkeit erreichen kann. Er ist heute in Ruhe und nahezu ohne Feinmaterial geblieben, so daß er fast pflanzenlos ist. Sein Außenrand lagert sowohl seitlich im Hang als auch am unteren Ende den roten Lehmen sowie Schotter-Schuttfüllungen des Beckenrandes auf.

In diese subrezentem Ablagerungen hat die jüngste Erosion eine Kerbe oder eine tobelähnliche Hohlform eingeschnitten (vgl. auch Photos 2 u. 4). Sie hat bis 5 m Tiefe, erreicht am Wurzelbereich des Schuttfächers das Anstehende und läuft im unteren Drittel des Hanges auf dem Schutt flach aus. Letzteres spricht gegen eine Form, die sich aus einer wiederbelebten Erosion als Folge tektonischer Hebung entwickelt hat. Es wäre auch sicherlich sehr konstruiert, wenn man aus dem Eintiefungsprozeß einen Wechsel im Abflußregime infolge klimatischer Veränderungen ableiten will. Es



Photo 5: Holozäner Deckenschutt auf einem Schuttkegel in Staffellagerung (1, 2) an der Westflanke des Dikti-Oros oberhalb des Ortes Armácha (Kreta) in ca. 1100 m NN. Photo: HEMPEL 1983
Stepped Holocene mantle debris on a talus cone (1,2) on the west-facing slope of Dikti-Oros above Armácha village (Crete) at about 1100 m a.s.l.

ist ein Wasserabfluß, der – arm an Ballaststoffen – seine Energie fast rein in Erosion umsetzen kann. Die Hänge sind nahezu frei von abtragbarem Material. Die Abtragung folgt den Schwachstellen des Schuttfächers, in erster Linie den Rotlehm-Schuttkomplexen. Diese werden ausgespült und die hangenden Brekziendecken brechen nach. Im hohlraumreichen Schuttfächer verliert sich das Wasser rasch, so daß sich die Erosionsrisse quasi verlaufen.

Bevor der Versuch unternommen werden soll, den Aussagewert dieser Beobachtungen für das Paläoklima des Jungquartärs abzuschätzen, sei auf parallele Erscheinungen an anderen Schuttfächern verschiedenster Größe verwiesen. Sie alle liegen an der Nord- und Westflanke des Dikti-Oros und zeigen über eine Distanz von ca. 15 km Luftlinie mehr oder weniger vollständig die beschriebene Ablagerungsserie. Damit dürfte eine Erklärung der Zyklen als lokal bedingte Erscheinung ausscheiden.

Der Aussagewert der Schuttfächer für das Paläoklima Kretas im Jungquartär

Zwei Wege bieten sich an, den Aussagewert der Schuttfächerzyklen für das Paläoklima Kretas im Jungquartär zu prüfen. Der eine führt über einen Versuch, die einzelnen morphodynamischen Phasen mit bekannten Klimaphasen des Jungquartärs zu parallelisieren. Dabei ergäbe sich folgendes Bild:

Solifluidale Talfüllung: Hochwürm

Verfestigung zur Brekzie und Rotlehm am Hang: Philippi-Interstadial

Solifluidale und fluviale Abtragung von Rotlehm und Kalkschutt: Endwürm

Verfestigung der obersten Schuttlage zur älteren Brekziendecke und Rotlehm am Hang: Xanthi-Interstadial
Fluvial-torrentielle Abtragung von Rotlehm und Kalkschutt: Boreal

Verfestigung der obersten Schuttlage zur jüngeren Brekziendecke: Atlantikum

Torrentielle Abtragung der unverfestigten Schuttdecke und Erosionsrisse: anthropogene Aktivitäten

Bei einer solchen Parallelisierung entfallen auf die Nacheiszeit, d. h. die Zeit nach dem Xanthi-Interstadial, zwei Perioden mit torrentieller Schuttbewegung, denen eine Zeit der Verfestigung dazwischen geschaltet wäre. Für die torrentielle Schuttbewegung benötigt man ein Klima mit periodisch starken Abflußregimen und einer schütterten Vegetationsdecke. Dies wäre mit dem Mediterran-Klima gegeben. Die einzige feuchtere Klimaperiode in der Nacheiszeit wäre das Atlantikum, an dessen Ende mit einer Periodisierung der Niederschlagsverhältnisse der heute noch andauernde Zustand erreicht würde.

Dieser mehr deduktiv abgeleiteten Parallelisierung kann eine durch Korrelation gewonnene zur Seite gestellt werden. In den Fußzonen der Gebirge, d. h. an der Nordküste Kretas, ist eine Sedimentationsfolge aus Schottern und Lehmen sowie deren konglomeratischen Verfestigungen untersucht worden (vgl. HEMPEL 1982). Sowohl die Anzahl der Zyklen, die abtragungstable bzw. -labile Verhältnisse im

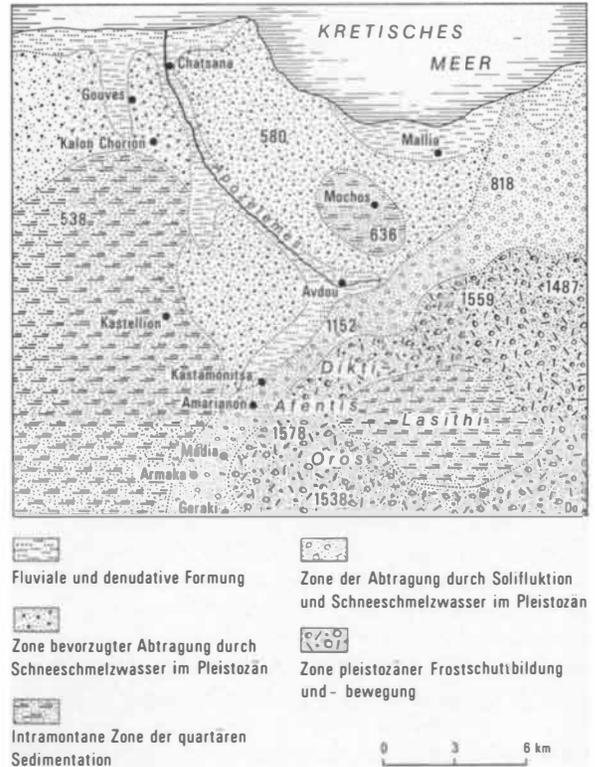


Abb. 3: Jungquartäre morphologische Formenkreise in Ostkreta um den Dikti-Oros

Categories of morphological forms of late Quaternary in eastern Crete around Dikti-Oros

Einzugsgebiet anzeigen, als auch die Mechanismen der Vorgänge (fluvial, torrentiell) sowie die Verfestigungen stimmen mit denen in den Hochzonen überein. Hinzu kommt, daß in den lockermaterialreichen Ablagerungen Paläoböden als zusätzliche Anzeiger für die Klimaverhältnisse dienen. Die Küstenablagerungen konnten durch ^{14}C -Daten (Fundort ca. 250 m westl. vom Hotel Marina, Gemeinde Gouves), palynologische Analysen und archäologische Funde (Fundort ca. 5 km westl. von Mallia) absolut datiert werden (vgl. HEMPEL 1982, 1983). Das wichtigste Fazit aus diesen Befunden ist, daß dort für die Nacheiszeit zwei Perioden starker Ablagerungen nachgewiesen werden können, von denen die älteste zwischen 5500 und 3500 v. Chr. vor die geschichtliche Zeit fällt. Ihr würde die jüngere fluvial gebildete Roterde-Schutt-Akkumulation im Gebirge entsprechen. Sie würde belegen, daß bereits von einem breit angelegten Eingriff des Menschen in die Naturlandschaft Kretas Abtragungsvorgänge abgelaufen waren, die von einem mediterranen, also periodischen Niederschlagsrhythmus bestimmt wurden.

Die für die Küstenebene bewiesenen und die vom Sedimentationsrhythmus her für die Hochgebirge vermuteten Zusammenhänge können an zwei Stellen morphodynamisch aneinander gekoppelt werden. Aus der Küstenebene

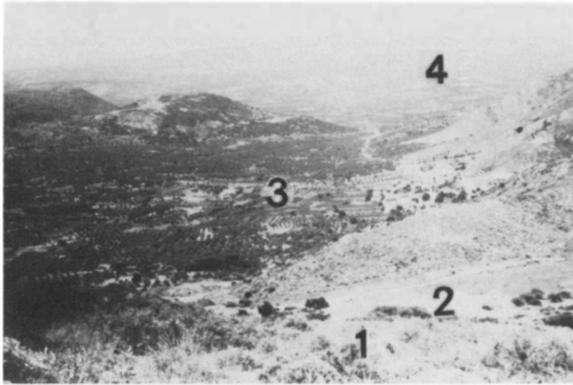


Photo 6: Gesamtbild der Westabdachung des Dikti-Oros mit heute stabilem Hangschutt (1), einem aktiven Schuttfächer am Talaustritt (2), der in das Nebenbecken von Armácha (3) übergeht. Von dort bestand im Würm in breiter Fläche und Tiefe, heute in einem Torrentental Anschluß an die Hochebene von Kastellion (4). Photo: HEMPEL 1983

Overall view of the west-facing slope of Dikti-Oros with stabilized screes (1), an active alluvial fan at the valley outlet (2) which merges gradually into the basin close to that of Armácha (3). During the Würm glaciation the alluvial fan – broader and thicker than at present time – extended up to the high plain of Kastellion (4). Today there is only a connection by a narrow torrente-valley

von Heraklion bei Chatsana führt das Apozelemes-Tal bis an die Nordwestflanke des Dikti-Oros (Abb. 3). Dort – nahe dem Ort Avdou – teilt sich das Tal in einen östlichen und einen südwestlichen Ast. Beide Äste reichen mit ihren Einzugsgebieten bis an die Schuttkegel der Dikti-Kette. Tiefe Einschnitte in die Schotterfluren und Lehmdecken als Folge jüngster Erosion besonders in der Umgebung der Dörfer



Photo 7: Junges aktives Torrentental mit Schotterloben, eingeschnitten in jungquartäre Sedimente (Schotter, Lehme) in der Küstenebene von Nordkreta bei Gouves ca. 15 km östlich von Híraklion. Photo: HEMPEL 1981

Recent active torrente-valley with lobes of debris, incised into late-Quaternary sediments (boulders, gravel, loam) within the coastal plain of northern Crete near Gouves village, about 15 km east of Híraklion (Crete)

Geraki und Armaka erlauben es, in Form einer Catena den Übergang vom Schotterkomplex der Talzone zum Schuttkegel der Hang- und Fächerzone festzulegen (Photo 6). Die Lockermassen verlieren ihren solifluidalen Charakter bereits oberhalb der Grenze der Beckenoberfläche zum steileren Hang. Das ist bei etwa 700 m NN. Dort geht die solifluidal bewegte Brekzientalfüllung der Hochzone in die an ihrer Basis konglomeratisch verfestigte „Ältere Schotterterrasse“ der Ebene über. Damit ergibt sich folgender Korrelationszyklus:

Küste/Tal	Zeit/B.P.	Hochgebiet
Riff	33 690 ⁺⁶⁴⁰ ₋₅₇₀	-
Dünen (fossil)	Krinides-Interstadial	-
Älterer Schotterkörper	Hochwürm	Talfüllung (Schutt)
Verfestigung (konglomeratisch) und Bodenbildung	Philippi-Interstadial	Verfestigung (Brekzie) Bodenbildung
Jüngerer Schotterkörper	Ende Würm	Älterer Rotlehm-Schuttkegel
Bodenbildung	Xanthi-Interstadial	Verfestigung (Brekzie) Bodenbildung
Lehm + Schotter	bis Boreal	Jüngerer Rotlehm-Schuttkegel
Bodenbildung	Atlantikum	Verfestigung (Brekzie)? Bodenbildung
Lehm + Schotter	ab Subboreal	lockerer Schutt ohne Rotlehm
Artefakte		
Zerschneidung	Gegenwart	Zerschneidung
Torrente (Photo 7)		

Schlußbemerkung

Sowohl über die Deduktion als auch über die Korrelation sind Ergebnisse erzielt worden, die mit den bekannten Klimazyklen nördlich und südlich des Mittelmeerraumes gleichlaufen. Kalt- und Warmzeiten Mitteleuropas spiegeln sich mehr in den Gebirgsräumen Kretas wider, Trocken- und Feuchtzeiten Nordafrikas mehr in den Ebenen und Küstenhöfen der Insel. Die Übergänge der Wirkungsbereiche kaltzeitlicher periglazialer Vorgänge sowie der Schneeschmelz- und Starkregenabflüsse liegen heute im Höhenraum um 1000 m NN. Nur auf schmalen Bahnen wie den Schuttfächern mit zur Höhe anschließenden Tälern oder Mulden bieten sich Möglichkeiten zur Analyse und Trennung der Formenkreise.

Literatur

CREUTZBURG, N.: Über junge Verschüttungserscheinungen auf der Insel Kreta und ihre Beziehungen zum Klima des Pleistozäns. *Annales Géologiques des Pays Helléniques* 12, 1961, S. 1–11.

- HAGEDORN, J.: Probleme der periglazialen Höhenstufung in Griechenland. Abh. Akademie Wiss. Göttingen. Math.-Physikal. Kl., 3. Folge, Nr. 31, 1977, S. 223–237.
- HEMPEL, L.: Studien über Verwitterung und Formenbildung im Muschelkalkgestein. Ein Beitrag zur klimatischen Morphologie. Göttinger Geogr. Abh. 18, 1955.
- : Über die Aussagekraft von Regelungsmessungen in Mittelmeergebiet, geprüft an konvergenten Oberflächenformen. Ztschr. f. Geomorphologie, NF 16, 1972, S. 301–314.
- : Jungquartäre Formungsprozesse in Südgriechenland und auf Kreta. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 3114 (Fachgruppe Physik/Chemie/Biologie). Opladen 1982, S. 1–80.
- : Klimaveränderungen im Mittelmeerraum. Neue Ansätze und Ergebnisse geowissenschaftlicher Forschungen. UNIVERSITAS 8, 1983.
- HÖLLERMANN, P.: Zurundungsmessungen an Ablagerungen im Hochgebirge. Beispiele aus den Alpen und Pyrenäen. Ztschr. f. Geomorphologie, Suppl. Band 12, 1971, S. 205–237.
- HÖLLERMANN, P. u. POSER, H.: Grundzüge der räumlichen Ordnung in der heutigen periglazialen Höhenstufe der Gebirge Europas und Afrikas. Rückblick und Ausblick. Abh. Akademie Wiss. Göttingen. Math.-Physikal. Kl., 3. Folge, Nr. 31, 1977, S. 333–354.
- POSER, H.: Klimamorphologische Probleme auf Kreta. Ztschr. f. Geomorphologie, 1957, S. 113–142.

FOREST EXPANSION IN THE SUBALPINE ZONE DURING THE PAST HUNDRED YEARS, MOUNT BAKER, WASHINGTON, U.S.A.

With 6 figures, 2 photos and 2 tables

OLAVI HEIKKINEN

Zusammenfassung: Waldexpansion in der subalpinen Zone während der letzten hundert Jahre, Mount Baker, Washington, U.S.A.

Die subalpine Zone, ein Übergangsgürtel zwischen dem geschlossenen Bergwald und der baumlosen alpinen Tundra, ist am Mount Baker, wie allgemein in den maritimen Gebirgen des pazifischen Nordwestens Amerikas, exzeptionell breit ausgebildet. Der untersuchte Bergrücken, 1400–1600 m ü. M. gelegen, ist in jüngerer Zeit auffallend stark von Bäumen besiedelt worden, und zwar von folgenden Spezies: *Tsuga mertensiana* [Bong.] Carr., *Abies amabilis* [Doug.] Forbes und *Abies lasiocarpa* [Hook.] Nutt. Von den 100 untersuchten Exemplaren, die in der Zeit zwischen 1886–1960 ihr Wachstum begannen, stammen 47% aus den Jahren 1925–1945. Wegen der günstigen Exposition der unteren Teile des Bergrückens sind die Bäume dort im Durchschnitt älter, größer und gesünder als die, die auf den oberen Hängen und auf dem Scheitel selbst wachsen, wo starke Winde die Bäume zerzausen und einzelne Äste absterben, was zu fahnenförmigen und krummholzähnlichen Wuchsformen geführt hat. Die rezente Baumkolonisation wurde jedoch primär von einem verhältnismäßig warmen und teils trockenen Klima während der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts gefördert. Diese Klimaverbesserung verlängerte die schneefreie Saison, was die Ausbreitung der Bäume begünstigte.

The subalpine zone, also referred to as the upper timberline and forest-tundra ecotone, between closed forest and treeless alpine tundra is exceptionally broad in the Pacific Northwest of North America (FONDA a. BLISS 1969, KURAMOTO a. BLISS 1970, FRANKLIN a. DYRNESS 1973, pp. 248–284). In many places, this altitudinal belt, studded by mosaics of clumps and ribbons of trees, meadows, snow patches, and bedrock outcrops, can reach a vertical dimension of 300–500

metres. Abundant snowfall, particularly on the western flanks of the mountains, results in snowdrifts which persist late into the summer and are probably the main causes of the well-developed subalpine forest-meadow mosaic or parkland in Washington and Oregon (FRANKLIN a. DYRNESS 1973, pp. 248–250), and in British Columbia (BRINK 1959).

The elevation of the upper timberline as well as the position of the polar timberline is primarily determined by air temperature (TROLL 1973, TUHKANEN 1980, pp. 67–72). The duration of the growing season, and the severity of the winter and wind-related damage (WARDLE 1968, BAIG a. TRANQUILLINI 1976) are some of the most important factors in controlling the upper timberline. Topography, soil, fires, plant diseases, insect damage, and human activity may play an important role, at least on a local scale (e.g. BILLINGS 1969, KURAMOTO a. BLISS 1970). Because of changing conditions in the subalpine zone the forest-tundra ecotone is a dynamic environment.

Changes in the distribution of meadows and forested areas in the upper timberline region have tended to be gradual (FRANKLIN a. MITCHELL 1967, LOWERY 1972). In this century, however, many subalpine meadows have experienced a massive invasion by trees, e.g. throughout the Pacific Northwest: from British Columbia (BRINK 1959) and Washington (FONDA a. BLISS 1969, FRANKLIN et al. 1971, LOWERY 1972) to Oregon (e.g. VALE 1981). Besides, the phenomenon has been described from California (LAMARCHE 1973) and Wyoming (DUNWIDDIE 1977). Simultaneous forest expansions also occurred at the polar timberline in northern Europe (HUSTICH 1958) and in Canada