

# Klimabedingte Karstformen in den Alpen, den Dinariden und im Taurus

Mit 4 Abbildungen im Text und einer Karte auf Tafel VIII.

FRANZ ZWITTKOVITS, Wien

## Vorbemerkung

Die Betrachtung der Formen der festen Erdoberfläche unter dem neuerdings stark forcierten, klimatischen Gesichtspunkt hat auch in der Karstforschung Eingang gefunden und vor allem in den letzten Jahren eine stärkere Würdigung erfahren, obwohl Ansätze zu dieser Forschungsrichtung schon bis in den Beginn des 20. Jhdts. zurückreichen, als J. v. DANEŠ (1914) seine bekannte Publikation über den tropischen Karst von Jamaika verfaßte. Zwar wurde auch dieser Karsttypus zunächst in das Modell der zyklischen Lehre gestellt (A. GRUND, 1914), aber bald setzte sich der Gedanke einer eigenen Formengebung, nicht zuletzt durch die Erschütterung der klassischen Karstzyklenlehre, durch die karsthydrographischen Theorien von F. KATZER (1909) und O. LEHMANN (1932), entscheidend durch. War durch die Arbeit von DANEŠ eine Trennung der Karstformen in Zusammenhang mit horizontal auftretenden Klimaregionen sehr bald eingeleitet worden, kam dann durch O. LEHMANN's Publikation über das Tote Gebirge als Hochkarst (1927), eine 2. Richtung klimat. Betrachtung der Karstformen hinzu, indem hier eine Differenzierung der Formen mit der Höhe — wohl zunächst noch nicht deutlich als Ausdruck einer klimagebundenen Formengebung gewertet — durchgeführt wurde.

In systematischer Entwicklung und Fortführung der kurz angedeuteten 2 Richtungen, sind dann eine Reihe einschlägiger Arbeiten namhafter Wissenschaftler erschienen, die die klimabedingte Formengebung im verkarstungsfähigen Gestein zum Inhalt hatten und die jeweils von dem Hauptgedanken geleitet waren, daß bestimmte Karstformen wie etwa der Turm- und Kegelkarst oder die Karstrandverebnungen, die Poljen u. a. m., unter einem bestimmten Klima gebildet worden sind, und daß selbst die zonare Anordnung bestimmter Karstformen wie Karrenfelder und Dolinen im Hochgebirge als klimagebunden anzusehen wären.

In der vorliegenden Arbeit wurde nun untersucht, ob einerseits die bestehenden Theorien über die vertikale Anordnung der Karstformen in den Gebirgen unserer Alpen Allgemeingültigkeit besitzen und sowohl in den Alpen selbst, als auch in den Gebirgen anderer Beiten einer Bestätigung erfahren, und ob andererseits ein bestimmter Karsttypus — wie eben Karren und Dolinen — nur unter einem speziellen Klima gebildet werden könnte. Dazu wurden das Warscheneck und der östliche Teil des Toten Gebirges in den Nördl. Kalkalpen, das Velebitgebirge und der dinarische Küstensaum in den Dinariden sowie der Kilikische Ala Dağ und die südanatolische Küstenabdachung im Taurus als Untersuchungsräume gewählt.

Es obliegt dem Verfasser, seinem verehrten Lehrer, Herrn Univ.-Prof. Dr. H. SPREITZER, für die oftmals gewährte Hilfe bei der Abfassung dieser Arbeit, für die Ermöglichung einer gemeinsamen Taurusfahrt, sowie für viele Hinweise und Aussprachen und die freizügige Bereitstellung vieler Ergebnisse aus dem Taurischen Raum, seinen ergebensten Dank auszusprechen. Dank gebührt ferner Herrn Dr. Walter KURZ, der den Verfasser auf einigen Reisen begleitete und stets beratend zur Seite stand.

## I. Die Untersuchungen in den Nördlichen Kalkalpen

Seit der Arbeit O. LEHMANN's (1927) gingen die Karstuntersuchungen in den Nördlichen Kalkalpen stets unter einer stärkeren Berücksichtigung einer Höhengliederung vor sich. LEHMANN hat hervorgehoben, daß im nördlichen Teil des Toten Gebirges Zonen bestehen, in denen ganz spezielle Karsttypen vorkommen oder mindestens vorherrschen. Er unterscheidet eine Karrige Plattenlandschaft in den höchsten Gebirgsregionen, eine Dolinenlandschaft in den tieferen Lagen sowie eine Karrendolinenlandschaft in der Grenzzone zwischen den beiden vorher genannten. Obzwar die von LEHMANN gegebene Dreigliederung der Karstformen im Toten Gebirge mit den speziellen Beobachtungen in diesem Gebirgsstock, wie der Kenner des Toten Gebirges oder der aufmerksame Leser des LEHMANN-Aufsatzes feststellen kann, keineswegs übereinstimmt, hat gerade seine Arbeit die späteren Untersuchungen stark beeinflusst. In der Meinung, daß diese Dreigliederung klimabedingt sei, haben Forscher wie BAUER (1952) und RATHJENS jun. (1954) die in anderen Gebieten der Nördlichen Kalkalpen gefundenen Karstformen, im LEHMANN'schen Sinne gedeutet und dabei die Schwierigkeiten, die durch „azonal“ ausgebildete Karstformen entstanden waren, durch sehr hypothetische Theorien überbrückt und Verschiebungen der Höhengürtel infolge von Klimaänderungen oder tektonischer Verstellungen durchaus in Betracht gezogen. Der Verfasser ist schon früher (1961/62 und 1963 zusammen mit W. KURZ) zu anderen Ergebnissen gelangt und konnte auch bei den neuen Untersuchungen die zonare Gliederung von Einzelkarstformen nicht bestätigt finden. Dies wird im folgenden näher zu erläutern sein.

### 1. Allgemeine Charakteristik der beiden Gebirgszüge<sup>1</sup>

Das Tote Gebirge und das Warscheneck gehören dem geologischen Bau und der Form nach zu den Plateaubergen der Salzburger Kalkalpen. Das fast ausschließlich aus Dachsteinkalk aufgebaute Tote Gebirge hebt sich mit mehreren 100 m hohen Wänden mauergleich aus der Voralpenzone und der Mitterndorf-Ausseer Senkenzone hoch empor. Der vollkommen als Einheit in Erscheinung tretende Gebirgsstock wird durch mehrere große Tiefenfurchen gegliedert und besonders durch zwei NNO-SSW ziehende Senken in drei Hauptabschnitte zerlegt. Im untersuchten östlichen Abschnitt herrscht Plateaucharakter vor. Im Durchschnitt 1900/2100 m hoch gelegen, wird die Plateaufläche einerseits von 300—400 m hohen Kuppen, die selbst noch Flachlandschaftsreste einer früheren Verebnungszeit tragen, überragt und andererseits durch tiefere Karsttäler zerschnitten. Nach den Außenseiten im N, O und S wird der geschlossene Wand-

<sup>1</sup> In jedem Kapitel wird eine kurze Skizzierung der natürlichen Gegebenheiten der genannten Untersuchungsräume vorangestellt und — entsprechend dem Untersuchungsziel — besonders auf die ökologischen Bedingungen hingewiesen. Dabei wird nicht so sehr ein einzelnes Element wie etwa der Niederschlag, die Temperatur, der Bodentyp, die Vegetation etc. berücksichtigt, sondern vielmehr die integrale Wirkung der äußeren Faktoren in den einzelnen Naturhaushalten.

abfall des Gebirgsstockes von hoch ausmündenden Hängetälern unterbrochen. Lediglich nach W dacht sich der östliche Teil des Toten Gebirges zur Tiefenfurche Elmsee-Lahngangseen sanfter ab. Weniger geschlossen als das Tote Gebirge ist das Warscheneck. Obwohl im zentralen Teil noch durchaus Plateaucharakter vorherrscht, zeigt sich nach allen Seiten hin Auflösung in Kämme und Grate, die durch die randlich auftretenden Dolomite und jurassischen Gesteine noch verstärkt wird. Besonders die N- und W-Seite sind durch breite Kare und weit herabziehende Trogtäler gut gegliedert. Das aus Dachsteinkalk aufgebaute Plateau selbst wird von 200/300 m hoch aufsteigenden Antiklinalen, die ebenfalls kleine Restebenhheiten tragen, überwölbt.

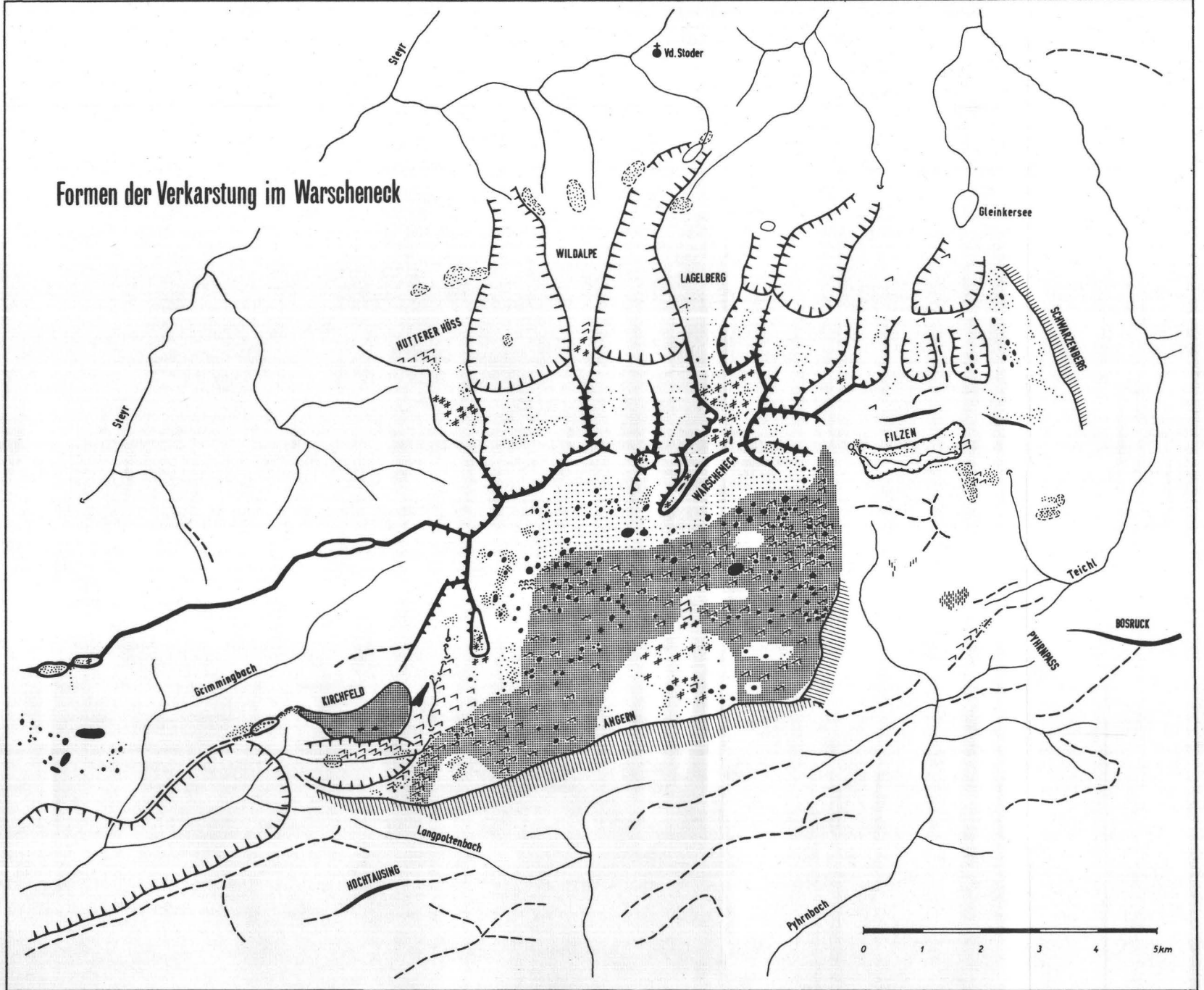
Die beiden Gebirgszüge gehören klimatisch einem einheitlichen Raume an, der unter der Westwindlage steht und sich durch hohe Niederschläge, schneereiche Winter und relativ kühle Sommer auszeichnet. Die Niederschläge sind im N der Gebirgszüge und in den Hochregionen ( $\phi$  1600/2400 mm im Jahr) weit höher als im Süden ( $\phi$  1000/1800 mm), was als Ausdruck der Lagegunst dieser Zonen zu den regenbringenden Westwinden gewertet werden muß. Trotz der starken Unterschiede in der Niederschlagshöhe, ist die Grenze der geschlossenen Vegetationsdecke an der Nordabdachung kaum höher als im Süden, weil durch die intensive Sonnenbestrahlung im südlichen Teil die Vegetation höher hinaanzusteigen vermag. Größere Schwankungen in der Höhe der geschlossenen Vegetationsdecke sind eher durch die Orographie und durch die Exposition bedingt. So wird an den steilen Südwänden des Warschenecks (Weißenbacher Mauern), in den kahlen Plateauteilen des Toten Gebirges sowie an der windexponierten Nordabdachung beider Gebirgszüge die Vegetation örtlich um einige 100 m und mehr herabgedrückt. Die geschlossene Vegetationsdecke liegt im gesamten gesehen zwischen 1900/2000 m und wird sowohl von einer schütterten Krummholzvegetation als auch von der alpinen Rasenflur gebildet. Einzelne inselförmige Vorkommen reichen dann, was vor allem für die Rasenstreifen und Latschengruppen zutrifft, bis in die höchsten Regionen auf 2300/2500 m hinauf, wodurch die Grenzzone von vornherein ziemlich breit und die Übergänge fließend gestaltet sind. Eine Besonderheit des Mikroklimas — auf die H. v. WISSMANN (1927) hinweist — sind in den Plateauteilen beider Gebirgszüge die vegetationslosen Gruben und großen Karsthohlformen, die durch die längere Schneedeckelage und die kühlere Lufttemperatur keine vegetative Besiedlung tragen, während die höher gelegenen Rundbuckel meist latschenbedeckt sind.


















Die höchsten Teile der beiden Gebirgszüge werden von einem Rendzina-Boden überzogen, der in den tieferen Zonen ab einer absoluten Höhe von etwa 1200/1300 m, von einer verbraunten Rendzina und von Braunerden abgelöst wird. Nur in kleineren Resten kann man im flacheren Gelände der Plateaus auch reliktsche Terra fusca beobachten.

#### Zur Karte der Tafel VIII

Die Karte „Formen der Verkarstung im Warscheneck“ wurde bereits 1962 im Geographischen Jahresbericht aus Österreich in ähnlicher Form veröffentlicht und aufgrund von Begehungen des Gebietes während der Aufnahmen zu der Dissertation des Verfassers sowie einer eingehenden Luftbildauswertung gezeichnet. Sie enthält in absoluter Darstellung die Dolinen und Karsthohlformen. Leider konnte nur bei den etwa 200 größten Karsthohlformen die Größe maßstabsgetreu wiedergegeben werden, während bei den anderen Formen die generell gesetzte Punktensignatur, weder Größe noch Form angibt. Die schematisch eingetragenen Dolinendichten im Warscheneck-plateau und auf dem Kirchfeld wurden durch Stichproben ermittelt. Schwierigkeiten bereitete die exakte Erfassung und Darstellung der Karrenfelder und der Scherbenkarstgebiete. Es mußte hier ein Kompromiß geschlossen werden, so daß die hierfür verwendeten Signaturen lediglich die relative Häufigkeit angeben. Immerhin sind dadurch die einzelnen Hauptvorkommen zu ersehen und die genaue Anordnung des Scherbenkarstes durchaus ersichtlich.

## Formen der Verkarstung im Warscheneck



	GRAT		SEE		DOLINEN (+)		KARREN
	RÜCKEN		GEWÄSSER		DOLINEN in MORÄNE (+)		SCHERBENKARST
	WAND		KARSTQUELLE		GROSSDOLINEN KARSTBECKEN (+)		BUCKELWIESEN
	KAR		PONOR		ERDFÄLLE (+)		
	TROGTAL				POLJE (+)		

(+) Absolute Darstellung - eine Signatur entspricht einer Hohlform

Entwurf und Zeichnung: F.Zwitkovits

## 2. Die speziellen Untersuchungen in den beiden Gebirgszügen

### A) Das Warscheneck:

Bei den Einzeluntersuchungen über die Verkarstung des Warschenecks hat sich frühzeitig gezeigt, daß die spezifischen Karsttypen keineswegs an bestimmte Höhen gebunden waren, sondern sich durchaus stark vermischten. Im Hauptverbreitungsgebiet des Plateaus, auf den aufragenden Kuppen und Restbergen sowie in den glazial gestalteten Karen und Trogtälern — in Gebieten, die eine Höhendifferenz von 600/800 m und mehr aufweisen — treten Dolinen und Karren<sup>2</sup> in mehr oder minder starker Häufigkeit geschlossen auf, obwohl manchmal eine Reihe von Gegebenheiten, die eine oder andere Formengruppe begünstigt. Man kann anhand des quantitativen Verbreitungsbildes der Karstformen kaum von einer richtigen Zonierung sprechen, wengleich in der Gesamtanordnung in einigen Regionen eine starke Konzentration besteht, die — sieht man von den Vorkommen auf den höchstgelegenen Flächen einmal ab — erstaunlich eng an die pleistozänen Vereisungsgebiete gebunden erscheint (vergleiche dazu die Karte). Im einzelnen reichen die Vorkommen beider Typen von einer absoluten Höhe von 1000/1100 m bis in die höchsten Regionen auf 2350 m hinauf.

Es war aber bei den Untersuchungen im Warscheneck die Tatsache bemerkenswert, daß nämlich die Dolinen und vor allem Karren in ihrem Habitus nach Region und Höhenstufe verschieden zu bewerten waren, wobei sich bei bewußter Vernachlässigung der gesteinsbedingten Formen eine eindeutige Differenzierung in Karstformen, die unter Boden und Vegetation gebildet worden waren, und in solche, die auf bloßliegenden Kalkflächen entstanden sind, ergab. Dies hängt mit den schon erwähnten ökologischen Bedingungen zusammen, die unter der Bedeckung weitaus anders sind als im freien Gelände; nicht nur, weil durch das Einwirken von Säuren die chemische Lösung unter Bedeckung 2—3 mal so groß ist als sonst, sondern weil vor allem auch die Abflußverhältnisse ganz anders und geregelt werden. Die Bedeckung hält das Wasser viel länger zurück und sorgt für eine relativ stetige und gleichförmige Lösung<sup>3</sup>.

Da das Warscheneckgebirge im zeitlichen Bildungsgang mehrere, mit der Höhe abgewandelte Klimaphasen durchlaufen hat und ehemals anderen ökologischen Bereichen angehörte, kommt es zum Auftreten von Relikt- und Fremdformen und zur Ausbildung gewisser Leitlinien für die rezente Verkarstung. Die Altformen sind aber insoferne leichter zu erkennen, als sie sich durchwegs als Großformen über das Pleistozän hinweg erhalten konnten.

Die morphologische Gestalt des reich geformten Warscheneckgebirges und die bei rund 1900/2000 m ausgebildete Vegetations- und Bodengrenze bewirkte, daß relativ kleine Gebiete wie z. B. das eigentliche Warscheneck, Teile der Querlsteinfläche oder die Angern über der rezenten Vegetationsgrenze zu liegen kommen, während der weitaus größte Teil wie vor allem das Warscheneckplateau, das Kirchefeld oder das Schwarzenbergplateau eine mehr oder minder ge-

<sup>2</sup> Es waren in den einzelnen Gebieten die verschiedensten Karsttypen wie Poljen, Dolinen, Karren, Karstgassen, Karstchlote und -schächte, Buckelwiesen etc. ausgebildet — jedoch fanden für einen allgemeinen Vergleich nur Dolinen und Karren eine Berücksichtigung, weil an der Verbreitung dieser Formen besonders gut die klimatische Gebundenheit beobachtet werden konnte.

<sup>3</sup> Obwohl die einzelnen Bodentypen und die einzelnen Vegetationsarten (dichte Wälder, einzelne Baumbestände, Latschen, Graswuchs etc.) ganz verschieden auf den Wasserhaushalt und den Untergrund einwirken und dadurch spezifische Formen erzeugen, konnte in den Nördl. Kalkalpen infolge Fehlens eines ausreichenden Beobachtungsmaterials zunächst keine diesbezügliche Unterscheidung in der Formenausbildung getroffen werden. Es mag für diese Untersuchung eine Trennung in die 2 Hauptökologiebereiche genügen.

schlossene Bedeckung trägt (siehe Abbildung 1). Dadurch tritt die Verkarstung auf den nackten Gesteinsflächen stark zurück und ist in den tieferen Lagen nur auf die ausstreichenden, steilen Kalkbänke und die kurzen Wandstücke beschränkt.

Das Karstphänomen in den einzelnen ökologischen Großbereichen weist nun folgendes Aussehen auf:

a) Die Karstformen des vegetations- und bodenfreien Bereiches<sup>4</sup>

In der obersten Zone des Warschenecks kommen über 1900/2000 m Höhe die Karren und Dolinen vorwiegend auf nacktem Gestein vor, denn die subkutanen Formen unter der z. T. spärlichen Bedeckung sind ausschließlich Ausnahmeerscheinungen. Die beiden Karsttypen sind hier sehr unterschiedlich zu

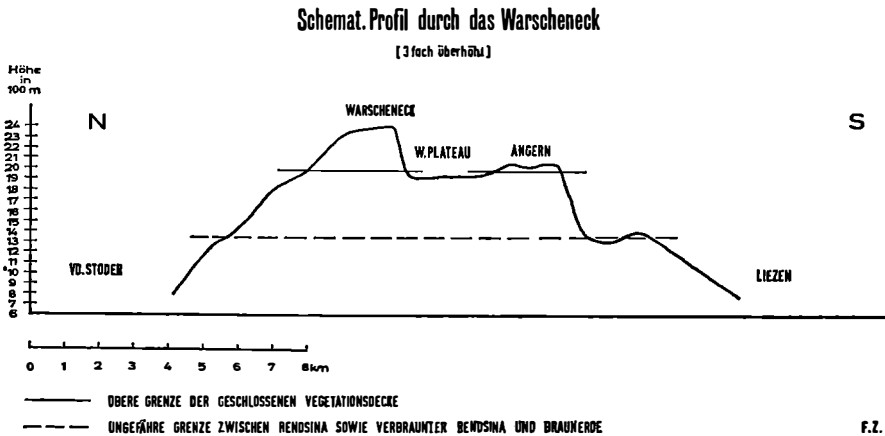


Abbildung 1.

bewerten, weil vor allem die in reicher Anzahl ausgebildeten Dolinen infolge ihres Größenausmaßes einen landschaftsbeherrschenden Charakter einnehmen, während Karren selten sind und oftmals vollständig fehlen.

Die Dolinen verteilen sich in dem relativ kleinen Bereich über der Bedeckungsgrenze auf die ehemaligen Täler und alten Strukturlinien der höchsten Verebnungen, wo sie sich förmlich in Reihenanordnung finden. Sie überraschen durch ihre Größe, die bei den Großformen 150/200 m im Durchmesser und rund 50 m Tiefe — bei den Kleinformen 10—20 m Durchmesser und 8—10 m Tiefe betragen kann. Allein auf Grund der enormen Ausmaße der Dolinen und des geringen Lösungsbetrages seit dem Eisfreiwerden dieser höchsten Gebirgsteile — etwa Schlern<sup>5</sup> — müßte die Entstehung und erste Anlage zumindest der großen Hohlformen ins Vorpleistozän verlegt werden. Sie konnten sich hier insofern über die Eiszeit hinweg erhalten, als auf den obersten Flächen keine

<sup>4</sup> Unter bodenfreiem Bereich versteht der Verfasser im folgenden die nackten Kalkflächen ohne Bodenkrumme, die man gleich wohl noch als Rohböden hätte ansprechen müssen.

<sup>5</sup> BÜGLI (1951) berechnet bei ähnlichen Verhältnissen auf der Glattalp z. B. bei freiem Abfluß einen jährlichen Abtrag von 0,0125 mm, der natürlich bei Dolinen etwas höher zu liegen kommt. Trotzdem kann der theoretische Wert seit dem Eisfreiwerden (8—10 000 v. Chr.), nicht mehr als maximal einige m ausmachen.

abströmenden Gletscher die Formen zerstörten, sondern eine mächtige, zusammenhängende Eisdecke diese gewissermaßen konservierte. Rezent tritt an allen Vorkommen eine klimabedingte Umprägung in Trichter- und Nivationsdolin ein. Auffällig ist bei vielen Vorkommen die schöne trichterförmige Gestalt und die Auskleidung der Dolinhänge mit Schutt. Dies hängt aber im höchsten Maße mit den rezenten äußeren Verhältnissen zusammen. Bei einer Höhenlage von 1900/2000 m — und diese Regionen liegen ja darüber — setzt die Frostsprengung verstärkt ein und führt nicht selten zur Auflösung der Hänge in ganze Schuttstreifen. Die Dolinen werden dadurch dermaßen umgestaltet, daß der in sie fallende Schutt an den Seitenwänden abgelagert wird und eine trichterförmige Gestalt hervorruft. Neben diesen Schuttrichterdolin gibt es noch die Nivationsdolin, die mit der Schneelage in Zusammenhang zu bringen sind. In den Hochzonen kann sich der Schnee in den Längsfurchen und Großdolin z. T. über die Sommermonate hindurch halten und durch das abtropfende Schmelzwasser bestimmte Flanken und Unterseiten stärker korrosiv angreifen. Dadurch wird eine Umbildung der Hohlformen eingeleitet. Es entstehen oft langgezogene, asymmetrische Dolinen, die besonders in der bevorzugten Schneelage in W bzw. WNW Position eine stärkere Ausweitung erfahren.

Die Karren im vegetationsfreien Gebiet der Hochregion des Warschenecks sind nicht allzu zahlreich anzutreffen und treten lediglich an der Untergrenze um 1800/1900 m auf (siehe Tafel VIII). Hier allerdings sind sie erst in der letzten Zeit von der Vegetation entblößt worden und gehören ihrem Formencharakter nach den subkutanen Karren an.

Die auf nacktem Gestein gebildeten Karren hängen mit der Neigung der Gesteinsfläche und den dadurch bedingten Abflußverhältnissen zusammen. Bei steiler Neigung — einheitliches, kompaktes Gestein immer vorausgesetzt, da bei der starken tektonischen Beanspruchung und Klüftigkeit des Gesteins, die Schwächezonen ja unabhängig von irgendeiner Regelmäßigkeit stärker von der korrosiven Lösung erfaßt werden — entstehen senkrecht zur Abdachungsrichtung verlaufende, bis mehrere Meter lange Rinnenkarren, die kaum eine Breite von 5—8 cm übersteigen und nur wenige Zentimeter tief in den Untergrund eingesenkt sind. Die parallel zueinander verlaufenden Rinnen werden durch scharfkantige Firste voneinander getrennt. Diese Karren treten bevorzugt an austreichenden Schichtköpfen und glatten Plattenwänden auf, die einem freien Abfließen der Niederschläge keine Hindernisse in den Weg setzen. Mit dem Flacherwerden des Gefälles beginnen sich die Abfluß- und Lösungsverhältnisse zu ändern. Auf flacher geneigten Platten (Neigung  $30^\circ$ ) herrscht zunächst flächenhafte Lösung vor, bedingt durch den steten Wechsel der Wege des ab rinnenden Niederschlagswassers. Erst allmählich bilden sich seichte, breite Mulden heraus, die in einem Winkel zur Gefällsrichtung verlaufen der umso spitzer ist, je steiler die Platte geneigt ist. Oft werden aber die trennenden Firste durch in- und resequente Wasserfäden angegriffen und abgetragen und dadurch dreiecksförmige Vorsprünge und Zacken aus einem Gesteinspaket herausmodelliert. Bei Neigungen um  $20^\circ$  und darunter kommt es nicht selten zur Ausbildung von Mäanderkarren (vergleiche dazu KURZ-ZWITTKOVITS, 1963). Alle Karrenformen des vegetationsfreien Gebietes können nur wenig zu einer plastischen Umbildung der Gesteinsflächen beitragen, erreichen kaum Tiefen und Breiten von Dezimetern und zeichnen sich durch eine scharfe Profilierung und eckigen Formencharakter aus. Zu diesem Bereich gehören noch als Skulptur- und Initialformen die Firstrillen und Trittkarren.

Die geringe Verbreitung der Karren im vegetations- und bodenfreien Raum des Warschenecks hängt einerseits von den orographischen Verhältnissen ab, da die glatten Wände in der Hochregion fehlen, andererseits von einer klimatischen Grenze. Von oben herab stößt nämlich die Zone der mechanischen Verwitterung weit vor und wird zur beherrschenden Kraft. Sie führt zur Zerstörung der Karstformen und zur Einengung der Formengebung. Obwohl die chemische Lösung und die Ausbildung von Karstformen in der Zone über 1900 m noch durchaus möglich ist, wird das Karstphänomen im Warscheneck durch die zerstörenden Kräfte der Frostsprengung vielfach abgeschwächt und bleibt auf wenig bevorzugte Gebiete, insbesondere auf hohe, kompakte Felspartien beschränkt. Mit der Frostsprengung steht auch die zonare Anordnung des Scherbenkarstes in Verbindung, der sich in einer Höhe von 50—80 m zwischen den beiden ökologischen Großbereichen oft deutlich hervorhebt. Er ist vorwiegend durch die Zerstörung der bloßgelegten, subkutanen Karrenfelder entstanden<sup>6</sup>.

#### b) Die Karstformen des bedeckten Bereiches

Bei der Verbreitung der Dolinen und Karren des bedeckten Bereiches fällt vor allem die starke Konzentrierung der Karstformen im Warscheneckplateau auf und die Bevorzugung der glazial überformten Gebiete.

Im Warscheneckplateau hat sich in der Kampfzone zwischen Vegetation und Fels über den leicht nach O-fallenden Dachsteinkalkschichten eine Karstwildnis ausgebreitet, wie sie nur wenigen Stöcken der Nördlichen Kalkalpen eigen ist. In einer unüberschaubaren Vielzahl kommen hier Dolinen verschiedener Größe und Form und meist subkutane Karren vor, obwohl gerade auch auf exponierten und freiliegenden Flächen und Stufen Primärrinnenkarren auftreten. Auch die anderen Gebiete sind ähnlich gehalten, nur daß örtlich die starke Verdichtung fehlt oder durch morpholog.-petrographische Verschiedenheiten (z. B. Dolinen im Dolomit am Kirchfeld und bei den Interhütten) beeinflusst wird<sup>7</sup>.

Im einzelnen ergeben sich noch Unterschiede im Aussehen und in der Genese der Formen. Bei einer Anzahl unter Bedeckung gebildeter Dolinen, deren Größe zwischen 3—10 m im Durchmesser und 1—3 m Tiefe schwankt, ist eine gleichmäßige Abschrägung der Hänge unverkennbar und ein kreisrunder bis ovaler Grundriß charakteristisch. Bei den Wannendolinen neigen sich die Hänge flacher zu einem ebenen Dolinenboden, während sie bei den Trichterdolinen steiler zu einem Ponor abfallen. Zum Unterschied zu den Trichterdolinen des vegetationsfreien Gebietes sind die Wände der subkutanen Dolinen aus dem Anstehenden gebildet.

Dieser aufgezeigte Idealfall in der subkutanen Formengebung wird aber sehr oft durch die geolog.-petrographischen Gegebenheiten beeinflusst und abgewandelt, sodaß Dolinen mit unregelmäßigem Grund- und Aufriß bei weitem überwiegen. Die Gesteinsunterlage der gebankten Dachsteinkalkschichten war im Verein mit der glazialen Überformung für das vielgestaltige Aussehen von Bedeutung. Meist haben sich die Dolinen zwischen den Schichtköpfen und Strukturlinien eingesenkt und sind nicht selten zu ganzen Karstgassen zusammengewachsen. Dabei haben die pleistozänen Gletscher fast immer zur Anlage der Dolinen beigetragen, indem sie Hohlformen und Senken ausweiteten und vor

<sup>6</sup> Der Verfasser sieht zum Unterschied zu anderen nur die zerstörten Karstformen als Scherbenkarst an und keinesfalls auch die korrosiv gerundeten Blöcke der Frostschuttzone. Für diese Formengruppe müßte wegen der anderen Genese ein eigener Begriff eingeführt werden.

<sup>7</sup> Obzwar die Gesteinsverhältnisse bei der Ausbildung der Karstformen eine entscheidende Bedeutung besitzen, konnte auf ihre Wirkung in diesem Aufsatz nur selten hingewiesen werden.



allem in den Kar- und Trogtalböden Rundhöckerfluren schufen, die der Dolinbildung besonders zugänglich waren (daher ein gewisser Konnex zwischen pleistozäner Vereisung und Kleinkarstformenverbreitung — eine ähnliche Verbindung besteht bei den Karren, wo die gletschergeschliffenen Wände eine Bevorzugung zeigen). Trotz des wechselnden, oft vom Gestein her bestimmten Habitus, läßt sich eine korrosive Abrundung und stärkere Abschrägung der Hänge erkennen. Die Kleinformen mit einem Durchmesser von 5—10 m und einer Tiefe von 3—8 m (im Durchschnitt) sind postglazialer Entstehung. Demgegenüber muß man die Großformen — die bis zu 200 m Durchmesser und 80 m Tiefe erreichen — dem Präpleistozän zurechnen, zumal sie sich in den ehemaligen Tälern und den Flächen der älteren Niveaus zu ganzen Reihen verbinden<sup>8</sup>. Sie sind durch die Verkarstung des vorzeitlichen Entwässerungsnetzes entstanden und durch die Gletschererosion umgeformt und oft zu langgezogenen Wannen umgestaltet worden. Rezent tritt nur örtlich eine geringe Modellierung auf.

Starke Verbreitung erreichen hier die subkutanen Karren, die in der Natur nur im Grenzbereich sichtbar werden, wo die Entblößung das Gestein freigibt und Aufschlüsse gestattet. Sie sind von den freien Karren vollkommen verschieden, besitzen breite Stege und Rinnen und stets abgerundetes Profil, weshalb sie in der Literatur häufig als Rundkarren bezeichnet werden. Sie weisen im Durchschnitt 30—50 cm tiefe und 20—30 cm breite Rinnen und ebenso breite Stege auf. Sie können unmöglich, wie vielfach behauptet wird<sup>9</sup>, aus ehemaligen Primärrinnenkarren (Karren auf nackten Platten) entstanden sein, weil abgesehen vom bildungsgeschichtlichen Gang im Warscheneck, eine nachträgliche Zurundung der Primärrinnenkarren, allein der Breite und Gestalt wegen, nicht stattgefunden haben kann<sup>10</sup>. Außerdem finden sich die Rundkarren in der typischen Prägung auf rund 30° geneigten Kalkplatten, auf denen aber, wie oben gezeigt werden konnte, keine senkrechten Rinnenkarren zur Ausbildung gelangen, sondern dreiecksförmige Vorsprünge und Zacken. Die Rundkarren verdanken ihre Bildung der Rendzinabodenbedeckung und der Latschen-Nadelwald-, z. T. Grasvegetation! Offensichtlich wird der Abfluß unter Bedeckung durch das unmittelbar dem Kalkstein auflagernde Wurzelwerk und den feinerdigen A-Horizont anders geregelt, wodurch weitverzweigte Karrenrinnen entstehen. Die Bedeckung trägt außerdem zur Abrundung und tieferen Ausformung bei. Es kann die Genese der Rundkarren mit der aufgezeigten Bedeckung in Verbindung gebracht werden.

Selbstverständlich gibt es in dieser Zone an vegetationsfreien Stellen, insbesondere an den Schichtköpfen der austreichenden Dachsteinkalkbänke und bloßliegenden Wänden eine Unzahl von Primärrinnenkarren. Sie hängen mit den „mikroökologischen“ Gegebenheiten zusammen.

Die Karstformen dieses Bereiches haben eine untere Verbreitungsgrenze, die bei 1200/1300 m liegt. Sicherlich kommen noch Karren und auch Dolinen in den seichtgründigen Talböden und an den glazial geschliffenen Talflanken bis 1000 m vor, aber trotzdem sind sie in der tieferen Lage eher Ausnahmereis-

<sup>8</sup> Vergleiche dazu die beiliegende Karte. Die Großdolinen lassen sich zu verkarsteten Tal-furchen vereinigen.

<sup>9</sup> Neuerdings hat K. HASERODT diese Meinung wieder vertreten (Siehe Lit. 12, S. 19 u. S. 45).

<sup>10</sup> Der Verfasser hat früher (1961/62 u. 1963 zusammen mit W. KURZ) nachgewiesen, daß im Warscheneckplateau erst seit dem Daun eine Karrenbildung durch das Vorherrschen anderer morphologischer Kräfte möglich war, umgekehrt aber dieser Raum seit dem Klimaoptimum eine Vegetationsdecke trug. Es wäre daher für eine Karrenbildung auf nacktem Gestein nur ein Zeitabschnitt von etwa 2000 Jahren zur Verfügung gestanden. Bei der geringen Lösungskraft des Wassers auf nacktem Gestein kann in dieser kurzen Zeit keine prägnante „Vorform“ entstanden sein.

nungen. Das Aussetzen der Karstformen ab einer gewissen Höhe hängt eindeutig mit den geänderten Abflußverhältnissen zusammen. Während nämlich in den Hochregionen obertägige Gerinne fast vollständig fehlen und die Gebiete unterirdisch entwässert werden, entspringen ab etwa 1200/1300 m viele Quellen, die nicht nur an Werfener Schichten oder andere Stauhorizonte gebunden sind, sondern vielmehr mit einer Art „Karstwasserniveau“ in Verbindung stehen dürften. Die linear abfließenden Gewässer ziehen das abrinnde Niederschlagswasser stärker an sich und wirken regulierend auf den Wasserhaushalt der umliegenden Gebiete ein. Auffallend ist zudem noch, daß ebenfalls ab einer absoluten Höhe von etwa 1200—1300 m die Bodenverhältnisse eine Änderung erfahren. Während nämlich in den Hochregionen über Kalk und Dolomit ausschließlich Rendzinaboden auftritt (abgesehen von der reliktschen Terra fusca), dessen feinerdiger A-Horizont unmittelbar dem anstehenden Muttergestein auflagert, kommen in tieferen Lagen verbraunte Rendzinen und Braunerden, mit einem deutlich ausgebildeten B-Horizont vor. Dadurch tritt offensichtlich ebenfalls eine andere Wasserregulierung und Lösungseinwirkung auf den Untergrund ein.

#### B) Das Tote Gebirge:

Auch im östlichen Abschnitt des Toten Gebirges liegen die Verhältnisse ähnlich wie im Warscheck, nur daß es in diesem Gebirgsabschnitt durch die größere Massenerhebung und stärkere Herauswölbung zu einer Verschiebung der Formengrenzen kam. Da auch im Toten Gebirge die Vegetations- und Bodengrenze im Durchschnitt bei 1900/2000 m liegt, ragen nicht nur die Kuppen und die inselbergartigen Restberge über diese hinaus, sondern auch die weitgespannten Plateauflächen, die eigentlich seit dem Postglazial nie mit einer geschlossenen Vegetationsdecke ausgestattet waren. Es wird die Formengebung im östlichen Abschnitt des Toten Gebirges stärker als im Warscheneck von den freien Abflußverhältnissen beherrscht, zumal die Formengebung unter Vegetationsbedeckung infolge der Steilheit der Außenzonen und der auch hier wirksamen unteren Verbreitungsgrenze der Karstformen bei 1200—1300 m, auf die relativ engen Streifen der hochgelegenen Kar- und Talböden sowie die flacher geneigten Talflanken beschränkt bleibt (siehe Abbildung 2).

##### a) Die Karstformen des vegetations- und bodenfreien Bereiches

Die Hochzone des Toten Gebirges besitzt wegen ihrer starken Relieferung und Mannigfaltigkeit gegenüber der entsprechenden Zone im Warscheneck einen derartigen Formenreichtum, daß eine zusammenfassende Beschreibung der Karstformen dem Verfasser nicht gerechtfertigt erschien. So wurde eine Trennung in einzelnen Teilbereichen vorgenommen, wodurch von vornherein eine bessere Beziehung zu den bestehenden Theorien gegeben war. Soweit die Formen eine Verwandtschaft mit dem Karstformenschatz des Warschenecks zeigten, wurde auf ihre genetische Erklärung verzichtet.

Im gesamten gesehen weist die oberste Zone des östlichen Teiles des Toten Gebirges eine Verkarstung auf, wie sie wohl im ganzen alpinen Raum nicht gleiches findet. Landschaftsbeherrschende Dolinenreihen, tiefe Karstschlote, weite Karrenfelder und riesige Scherbenkarstgebiete bestimmen das Landschaftsbild, wobei die Nacktheit des Gesteins sowie die kaum nennenswerte Rückzugsvegetation den ausgeprägten Karstcharakter noch unterstreicht.

Die hochaufragenden Kuppen des Großen Priels, des Hochkastens, des Hebenkas, des Feuertalberges, der Trageln ... etc. tragen ähnlich wie die weitgespannten Wölbungsantiklinalen im Warscheneck schöne, vielfach kreisrunde Trichterdolinen mit auskleidenden Schutthängen sowie Nivationsdolinen mit langgezogenem, asymmetrischem Grund- und Aufriß. Karren fehlen fast vollkommen.

Die Hänge, die von diesen hochgelegenen Restflächen zum Plateau durchschnittlich 200/400 m hinabziehen, sind infolge der Gesteinsverhältnisse sehr verschieden ausgestaltet und der zerstörenden Kraft der mechanischen Verwitterung, die in der Hochzone beherrschend wird, nicht gleich ausgesetzt.

Besonders exponierte Wände und Stellen, wie die in kleinen Stufen austreichenden Schichtköpfe und -flächen der gebankten Dachsteinkalke, werden bevorzugt von der Frostsprengung erfaßt, und derart aufgelöst, daß nicht selten mächtige Schutthänge die Restebenen ummanteln. Wenn aber die Neigungs-

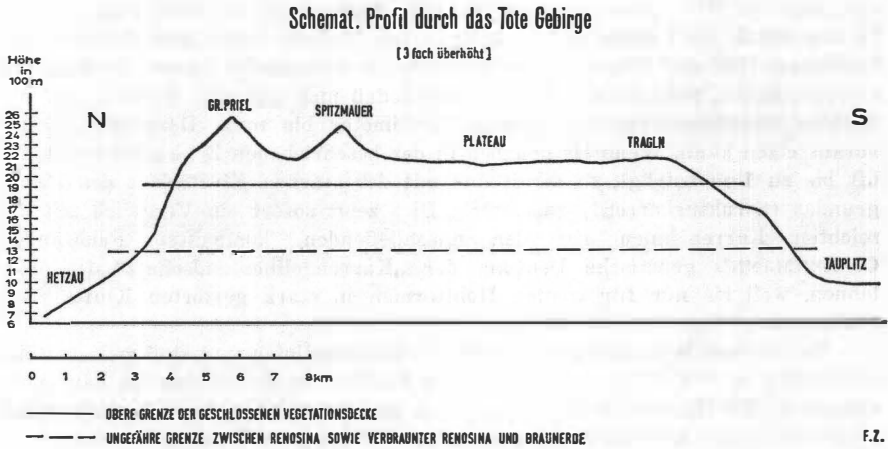


Abbildung 2.

verhältnisse so günstig liegen, daß nicht die Schichtköpfe, sondern die viel kompakteren und meist auch während des Pleistozäns durch die hier abströmenden Gletscher glatt geschliffenen Schichtflächen auf mehrere Dekameter bis Hundertern von Metern die Wandabfälle bilden, kann die mechanische Verwitterung nicht so wirksam werden, da der Frostsprengung nur ein beschränkter Raum zum Angriff geboten wird. Diese Platten, die vorwiegend im N-Teil des östl. Toten Gebirges vorkommen und bezeichnenderweise Namen wie Plattenwand, Hochplatter Kogel, Hochbrett, Plankenmeer etc. tragen, sind infolge der Glattheit des Gesteins lediglich einer Umformung durch die ab rinnenden Niederschlagswässer zugänglich. Obwohl diese Region in die Zone der mechanischen Verwitterung zu liegen kommt, ist aber die chemische Verwitterung wirksam die gerade hier die herrlichsten Rinnenkarre schaffte, die oft viele Dekameter lang, aber nur wenige Zentimeter tief und breit, die Platten strukturieren. Die Rinnen sind durch scharfe Firste voneinander getrennt und in einer unüberschaubaren Vielzahl in die Kalkfläche eingesenkt. LEHMANN, der diese Karstformen in der Hochzone des nördlichen Toten Gebirges fand, glaubte an eine Dominanz dieser Formen in den höchsten Gebirgstteilen, und hatte dafür

den Begriff der „Karrigen Plattenlandschaft“ eingeführt. In Wirklichkeit gibt es keine bevorzugte oder, wie später behauptet wurde, ausschließliche Karrenzone in den obersten Regionen der Kalkalpen, da sie eben im Toten Gebirge durch ein besonders glückliches Zusammentreffen von geologisch-petrographischen Verhältnissen (Schichtfallen und starke Konsistenz der Kalke), morphologischer Gegebenheiten (Gletscherschliff) und klima-ökologischer Faktoren (Vegetationslosigkeit) zustande kam.

Die darunter liegenden Plateauflächen des östlichen Teiles des Toten Gebirges (Fleischbanksattel, Rotkogelsattel etc.) sind übersät von einer Unzahl von Dolinen und Karsthohlformen, wobei die unregelmäßigen Dolinen von meist kleiner Gestalt die weitaus häufigeren sind. Ihre Hänge sind oft von Kluft- und z. T. Rinnenkarren besetzt. O. LEHMANN nahm an, daß die Dolinen durch Erweiterung der Karrenrinnen entstanden waren und bezeichnete diese Formen deshalb als Karrendolinen. Er übertrug sogar diesen Begriff in erweiterter Bezeichnung als „Karrendolinenlandschaft“ auf eine ganze Gebirgszone. Nun sind aber die Karren — von ganz wenigen Ausnahmen vielleicht abgesehen — in den nördl. Kalkalpen und erst recht im Plateau des Toten Gebirges, wo Gletscherschliff und Frostsprengung eventuelle vorzeitliche Karren zerstört und entfernt haben, postglazialer Entstehung, sodaß man mit Berechtigung auf den nackten Gesteinsflächen nur wenige Zentimeter bis max. Dezimeter Lösung voraussetzen kann. Wenn sie dennoch in der beschriebenen Zone stärker ist und oft bis zu 1 m beträgt, so hängt das mit der starken Klüftigkeit des Untergrundes (Strukturkarren!) zusammen. Dies zeigt sofort ein Vergleich mit den seichten Karrenrinnen auf den anschließenden, kompakten Felswänden. O. LEHMANN's genetische Deutung der „Karrendolinenlandschaft“ ist abzulehnen, weil sie nur für wenige Hohlformen in stark gestörten Kluftkarrenfeldern einige Berechtigung hat.

Die Dolinen bevorzugen auch hier die Strukturlinien und sind zwischen den Schichtköpfen und -flächen der gebankten Dachsteinkalkschichten am häufigsten eingetieft. Die Karren sind im gesamten gesehen nicht sehr zahlreich ausgebildet und zudem noch durch die zerstörende Wirkung der Frostsprengung gerade im klüftigen Gestein in Scherbenkarstrümmer aufgelöst. Neben Primärrinnenkarren gibt es an wenigen, vor kurzem vegetationsentblößten Stellen — wie vor allem auf einigen Rundhöckern des Plateaus — Rundkarren.

Die dominierende Hohlformengruppe in der Hochzone sind die in die Plateauflächen rund 200/300 m tief eingesenkten, mehrere 100 m langen Karsttäler wie Schneetal, Feuertal, Weitgrube, Meierltal u. a. m., die hier als Gruben bezeichnet werden. Diese sind riesige, präpleistozäne Karsthohlformen, die später durch die Gletscher noch ausgeschliffen und zu ganzen Talfurchen zusammengelegt wurden. Rezent findet man noch in ihnen gewissermaßen als „Initialformen“ unregelmäßige Kleindolinen, Schuttrichterdolinen und bei günstigen Gesteinsverhältnissen auch Karren.

Alle Gebiete über der Vegetationsgrenze besitzen so, je nach den morphologischen Verhältnissen abgewandelt, eine Verbreitung von Dolinen und Karren, die im einzelnen eine Modifizierung zeigen.

#### b) Die Karstformen des bedeckten Bereiches

In der boden- und vegetationsbedeckten Zone des östlichen Toten Gebirges — in den hochgelegenen Tallandschaften und auf den jüngeren Verebnungssystemen — gibt es sowohl Dolinen von unregelmäßiger Form und Gestalt zwischen den

Schichtfugen und den Schichtflächen, als auch schöne kreisrunde oder ovale Dolinen auf den flachen Ebenheiten wie z. B. der Tauplitzalm. Die Dolinen erreichen kaum eine Größe von 20—30 m im Durchmesser und 10 m Tiefe. Sie sind vorwiegend Kleindolinen der postglazialen Zeit, die oft in einer Unzahl die weiten Flächen bedecken. Eine starke Abrundung und weichere Formengebung unter Boden- und Vegetationsbedeckung ist unverkennbar. Auch Karren sind noch häufig anzutreffen und in der Senkenzone zwischen Elmgrube und Elmsee oder auch am Freubergabfall im Süden der Tauplitzalm so zahlreich ausgeprägt, daß man gerade diese Gebiete als die stärksten Karrengebiete des östlichen Toten Gebirges ansprechen muß, zumal hier fast ausschließlich Rundkarren in Erscheinung treten, die zu einer besonders tiefen Strukturierung der Kalkflächen beitragen. Man kann hier nicht von einer Dolinenzone sprechen! Unterhalb einer absoluten Höhenlage von etwa 1300 m treten auch im östlichen Teil des Toten Gebirges die Karstformen zurück und sind nur äußerst selten zu beobachten.

### 3. Zusammenfassung

Die Einzeluntersuchungen im Warscheneck und im östlichen Abschnitt des Toten Gebirges zeigen trotz einer Fülle von speziellen Ausprägungen eine Reihe Gemeinsamkeiten, die nun zusammenzufassen sind, da sie größtenteils für die gesamten Nördlichen Kalkalpen Allgemeingültigkeit besitzen dürften.

Im Hinblick auf die Gesamtverbreitung der Karstformen treten bei Ausschaltung der Altformen dieser Gebirgszüge 2 Grenzen mehr oder minder deutlich in Erscheinung.

Die oberste Grenze der Karstformenverbreitung wird durch die mechan. Verwitterung bestimmt, die in manchen Gebieten von oben herab bis zur Vegetationsgrenze auf 1900/2000 m vorzustoßen vermag und durch Zerstörung der Gesteinsschichten die Bildung von Karstformen verhindert oder diese mindestens umprägt und, obwohl die chemische Verwitterung in den höchsten Gebirgstteilen durchaus wirksam wird, unterbindet gerade die Frostsprengung vielfach eine eigene korrosive Formengebung, sodaß Karstformen — soweit sie nicht auf eine frühere Bildungszeit zurückzuführen sind — auf bevorzugte Stellen beschränkt bleiben.

Die untere geschlossene Karstformengrenze hängt mit den Abfluß- und Bodenverhältnissen zusammen und liegt in den untersuchten Räumen bei rund 1300 m. In dieser Höhenlage entspringen viele Quellen, die offensichtlich die oberirdische Entwässerung einleiten und eine geänderte Lösung des Untergrundes bedingen. Ferner wechselt hier die Bodenbedeckung, indem die Rendzinen in verbraunte Rendzinen und Braunerden mit einem deutlich ausgeprägten Humushorizont übertreten. Dadurch wird die Wasserzirkulation anders geregelt und eine gleichförmige Lösung ohne einer speziellen Formenprägung unter der Bedeckung hervorgerufen.

In den rund 600/800 m breiten Hauptkarstgürtel der beiden Untersuchungsräume erhält nun die Boden- und Vegetationsgrenze eine besondere Bedeutung, weil durch sie eine Trennung in 2 wesentlich verschiedene Naturhaushalte vollzogen wird.

Während im boden- und vegetationslosen Bereich allein die freien Abflußverhältnisse zum Wirken kommen, tritt unter Bedeckung eine spezifische Wasserregulierung ein, die im Verein mit der verstärkten Lösung, ihre eigenen

Formen herauszumodellieren vermag. Im ersten Bereich entstehen spitze, scharfkantige Formen wie Primärrinnenkarren, dreiecksförmige Vorsprünge, Firstrillen und schafprofilierte Dolinen — im zweiten Bereich weiche, runde Formen wie Rundkarren, abgeschrägte Trichter- und Wannendolinen.

Da nun die Boden- und Vegetationsbedeckung entsprechend den Höhengürteln eine zonare Anordnung zeigt, die nur vereinzelt durch die Orographie, die Exposition etc. durchbrochen wird, sind auch die Karstformen der beiden Großbereiche zonar gegliedert. Aber allein aus der verschiedenen Masserhebung und morphologischen Gestalt des Warschenecks und des Toten Gebirges erwachsen in einem relativ einheitlichen Gebiet Unterschiede in der Karstformengebung.

In den höchsten Teilen der beiden Gebirgszüge werden durch die Schneelage (Nivationsdolinen) und durch die Frostsprengung (Schuttrichterdolinen und Scherbenkarst) die Karstformen verändert. Da der Verfasser zum Unterschied von anderen nur die zerstörten Karstformen als eigentlichen Scherbenkarst anspricht, tritt die zonare Verbreitung des letzteren gerade im Grenzsaum der beiden großen ökologischen Bereiche augenfällig in Erscheinung.

Die angeführten Ergebnisse stehen im Gegensatz zu anderen Hochkarsttheorien, die eine zonare Anordnung der einzelnen Karsttypen hervorstreichen.

Während aber schon rein überlegungsmäßig nicht einzusehen ist, warum bestimmte Formen wie Dolinen (Karsthohlformen) und Karren (Karstrinnen) nur unter einem bestimmten Klima entstehen können, weisen auch die im Gelände gemachten Befunde in eine andere Richtung.

Karren und Dolinen können je nach Beschaffenheit des Untergrundes in jeder Höhenlage entstehen, nur erhalten sie durch die klimabedingten, ökologischen Verhältnisse jeweils ein ganz spezifisches Aussehen.

## II. Die Untersuchungen in den Dinariden

Die Untersuchungen zum Karstphänomen in den Dinariden galten von Anfang an der Hydrographie des Karstgesteins sowie den Großkarstformen wie Poljen, Karstrandverebnungen und z. T. Dolinen. Sie standen bis auf den heutigen Tag in hohem Maß unter dem Einfluß der Karstzyklenlehre; denn erst in den letzten Jahren hielt auch hier die klimat. Forschungsrichtung Eingang, wobei sie sich aber im Gegensatz zu den Untersuchungen in den Alpen, vorwiegend auf die Erfassung der Alt- und Vorzeitformen konzentrierte. Es war daher für den Verfasser lohnend zu untersuchen, ob auch im klassischen Karstgebiet der Dinariden klimabedingte Karstformenarten bestehen und ob diese gegebenenfalls eine Verwandtschaft mit den alpinen zeigen.

### 1. Allgemeine Charakteristik der beiden Untersuchungs-räume

Der Gebirgszug des Velebit erstreckt sich in NW—SO-Richtung ab Senj in einem zur Adria hin leicht konvexen Bogen über 100 km lang bis Knin. Das junge Faltengebirge wird im Küstenbereich von einer in rund 1000 m absoluten Höhe ausgebildeten Hochfläche beherrscht, die im Inneren von mehreren 100 m hohen Kuppen, die im dinarischen Streichen eine z. T. geschlossene Gipfebene abgeben, überragt und abgelöst wird. Während das Gebirge nach W zum Meer hin mauergleich abfällt und nur selten kleinere, in Einzelberge aufgelöste Ebenheiten von 100/300 m Höhe ausgebildet hat, die sich im SW des Gebirgszuges zur beherrschenden Piedmontfläche um das Zrmanjatal vereinigen. dacht es sich

sanfter nach O zur geologischen Tiefenzone der Poljenlandschaft von Lika und Otočac ab. Im Aufbau stellt das Gebirge keineswegs eine Einheit dar, da die an der Küste austreichenden Kreidekalke der dalmatinischen Ketten von Zadar und Split im Osten an die Jurakalke des Kroatischen Hochlandes angeschlossen sind. Klimatisch tritt das Faltengebirge durch seine geschlossenen Höhen und seine vorgeschobene nördliche Lage als Scheide in Erscheinung und trennt den mediterranen Klimabereich im W vom kontinentalen im E vielfach scharf ab. Die klimatischen Unterschiede äußern sich in der Verteilung der Niederschläge, die im Gebirge vorwiegend im Sommer fallen, während im Küstenbereich zur selben Zeit Dürre herrscht; in der Niederschlagsmenge, die im Gebirge von unten (500/700 mm) nach oben (rund 1500/2000 mm im Jahr) stark ansteigt; und in der Temperatur, die z. B. im Jahresmittel im Gebirge unter 0° zu liegen kommt, während die Küste rund 5—6 Wärmegrade aufweist

Im vorwiegend kontinentalen Bereich des Velebits kommen über Braunerden und azonal auftretende Rendzinen die Birken- und Tannenwälder des illyrischen Raumes vor, die nur im südlichen Teil, etwa ab dem Vaganjski Vrh 1758 m, in den höheren Lagen in Krüppelvegetation und in Grasfluren übergehen. Im Küstenbereich finden sich auf den flachen Plattformen und an den unteren Hängen über Terra-rossa oder submediterraner Braunerde dann immergrüne Wälder oder Hartlaubgewächse vertreten.

Alle zunächst als Einheit aufgezeigten Regionen erhielten durch die mikro-klimatischen und -ökologischen Gegebenheiten und nicht zuletzt durch die Eingriffe des Menschen eine Abwandlung. So üben die Großdolinen des stark bewaldeten Nordteiles des Velebit auf die Vegetation einen gewichtigen Einfluß aus (HORVAT, 1962) indem die stärker und länger befeuchteten Dolinenböden und unteren Dolinenhänge dichte Wälder tragen, während die hoch aufragenden Kuppen und exponierten Restberge lediglich schütterere und spärliche Bedeckung oder kahle Felsflächen besitzen, und so wurde die Vegetation des steilen W-Abfalles des Velebit in historischer Zeit durch die Abholzung der Hänge umgestaltet und fast vollkommen entfernt, so daß dadurch rezent für die Verkarstung andere Verhältnisse auftreten, als sie während der Hauptbildungszeit der Karstformen bestanden.

Der 2. Untersuchungsraum der Keidekalkpattform der dalmatinischen Küste zwischen Zadar und Split liegt nur wenige 100 m über dem Meer und dacht sich meist flach zu diesem ab. Hier kommen die vollmediterranen Verhältnisse voll zur Herrschaft. Zwar ist vielfach die ursprüngliche Vegetation entfernt worden, aber in den meisten Fällen kann man die hier wichtigere Wirkung auf den Untergrund durch den ausgebildeten Terra-rossa Boden gut erkennen.

## 2. Die speziellen Untersuchungen in den Dinariden

### A) Das Velebitgebirge:

Die Karstformen dieses Gebirgszuges treten im gesamten gesehen in 2 Gebieten augenfällig in Erscheinung, wobei noch mehr als der gewaltige Großdolinenbereich in den höchsten Gebirgstteilen, die bekannte W-Abdachung mit ihrem schon bizarren Formenreichtum bei fast vollständiger Vegetations- und Bodenentblößung beeindruckt.

Die erste Anlage der Karstformen war im ganzen Untersuchungsraum — außer bei einigen örtlichen Ausnahmen — unter Bedeckung vollzogen worden; denn erst durch die in historischer Zeit getätigte Vegetations- und Bodenent-

fernung kam es im Küstenbereich zur Änderung des ursprünglichen Naturhaushaltes und zur Ausbildung zweier wichtiger Großeinheiten.

Aber dominanter noch als diese „historisch“ bedingten Großregionen vorzugeben vermögen, waren von vornherein die 2 ökologischen Bereiche des kontinentalen Inneren und des mediterranen Küstenabschnittes bei der Ausbildung der Karstformen wirksam, wobei in diesen vor allem die Böden besondere Bedeutung erlangten. Während unter der Rendzinabodenbedeckung in den höchsten Lagen des Velebit ähnliche Verhältnisse herrschten wie in den Alpen, trat unter der Terra-rossabedeckung im Küstenbereich eine ganz andere Formengebung ein. Diese ist so bedeutungsvoll, daß selbst die unter der reliktsichen Terra-rossabedeckung zu liegen kommenden Teile im Osten des Gebirges dem Formencharakter nach eher dem mediterranen Bereich zuzuordnen sind.

Im gewissen Sinne treten Unterschiede zu den Gegebenheiten in den Alpen auf, weil einerseits infolge der Bedeckung des gesamten Gebirgszuges der „freie“ Bereich in den höchsten Gebirgsteilen fehlt und andererseits die großen ökologischen Regionen stärker als nach der Höhe nach der horizontalen Verbreitung geordnet sind (nicht zuletzt auch wegen der geringen Massenerhebung).

#### a) Die Karstformen des kontinentalen Bereiches

Im Bereich des kontinentalen Bezirkes der Hochflächen und Hochzonen des Velebitgebirges herrschen die Großdolinen eindeutig vor, während die kleinen Dolinen und Karren stark zurücktreten, obwohl auch sie vielfach ausgeprägt sind. Riesendolinen von 300/500 m Durchmesser und 200/300 m Tiefe überziehen die hochgelegenen Teile des Gebirgsstockes in einer unüberschaubaren Fülle und haben die Hochfläche derart aufgelöst, daß man kaum noch den Zusammenhang der ehemaligen Verebnungen erkennen kann. Hier haben die Dolinen, die sicherlich infolge der Verkarstung eines einstmals horizontalen Entwässerungsnetzes entstanden sind, das Makrorelief ganz besonders geformt. Vor allem ist bei den Formen eine enorme Tiefe und eine Versteilung der Dolinenhänge, die nicht selten bis zu 90% Neigung erreichen, augenfällig. Nur im südlichen Teil des Velebitgebirges kommt es in den höchsten Regionen über der geschlossenen Vegetationsdecke durch Schuttanfall zur Ausbildung von Schuttrichterdolinen; man kann aber wegen der geringen Verbreitung der Formen keinesfalls von einer eigenen Zone sprechen. Großdolinen wie sie im Velebitgebirge anzutreffen sind, fehlen im gesamten alpinen Raum, selbst wenn man die pleistozän umgestalteten Vorzeitformen miteinbezieht. Da die Entstehung der Dolinen in den Dinariden kaum früher einsetzte als in den Alpen und die Verkarstung zudem in tertiärer Zeit unter keinen wesentlich anderen äußeren Bedingungen vonstatten ging, dürfte das Pleistozän für die Ausgestaltung der Großhohlformen die entscheidende Ursache gewesen sein. Während in dieser Periode die Karstformen in den Alpen wenn nicht zerstört, so doch konserviert wurden, konnten sie sich in den Dinariden infolge des feuchten Klimas erst recht ausbilden. Neben diesen Großformen gibt es in diesem Gebiet noch eine Unzahl von unregelmäßigen Kleindolinen, die zwischen Senkenzonen, Schicht- und Strukturlinien eingelassen sind. Es ist keine eindeutige Bindung an morphologische Formen zu erkennen. Natürlich überwiegen sie als Hohlformengruppe in den Senken und Tiefenlinien, die selbst wieder mit ehemaligen, schwer rekonstruierbaren Tälern identisch sind.

Viele große Karsthohlformen des Velebit, die in charakteristischer Weise im Streichen des Gebirges gelegen sind, hängen mit den geolog.-tektonischen und



auch petrographischen Verhältnissen aufs engste zusammen. Sehr oft konnten intramontane Becken in den weicheren Gesteinen des unreinen und stark wechselnden Kalkes als eine Art Polje erkannt werden, wie z. B. an der oberen Paklanica und bei Beata Vergine im südl. Teil, um nur einige zu nennen.

An der ebenfalls unter kontinentalem Einfluß stehenden Ostabdachung des Velebitgebirges zur Poljezone von Lika und Otočac hin ist eine Häufung von schönen, runden bis ovalen Dolinen von meist 5—10 m Durchmesser und 4—6 m Tiefe bei den Großformen und 1—3 m Durchmesser und  $1/2$ —2 m Tiefe bei den Kleinformen zu beobachten. Diese liegen in einem Gebiet reliktsicher Terra-rossa und kommen nicht selten im Verein mit später genauer zu beschreibenden Stockkarren vor. Es dürfte sich dabei um eigene Formen der speziellen Bodenbedeckungsart handeln, die aus Sonderformen der reliktsichen Terra-rossa aus dem großen kontinentalen Bereich herauszuschälen wären. Da der andersgeartete

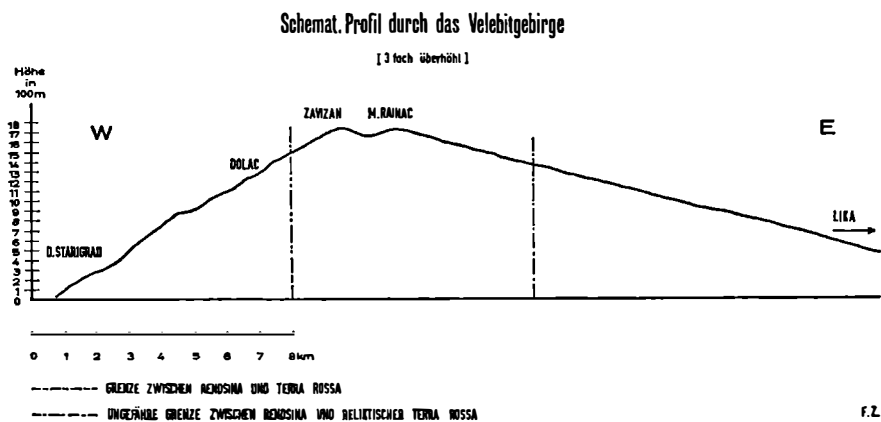


Abbildung 3.

Bodentyp bei rund 1400/1500 m Höhe einsetzt, ist dadurch eine gewisse Höhenabhängigkeit der schönen Trichterdolinen und der Stockkarren im Osten des Gebirgszuges gegeben.

Obwohl nun die Dolinen in der eigentlichen kontinentalen Zone der höchsten Teile des Velebit (siehe Abbildung 3) weitaus dominieren, kann man wegen der starken Ausbildung der Karren hier ebenfalls nicht von einer reinen Dolinenzone sprechen. An allen bloßgelegten Wänden und Kalkflächen sind Primärinnenkarren ausgebildet, die aber infolge Fehlens der glättenden Wirkung der pleistozänen Gletscher nicht so großflächig in Erscheinung treten. Bei den Karren handelt es sich meist um bis Dekameter lange und wenige Zentimeter bis Dezimeter breite und tiefe Kluffkarren, die bei der vielfach saigeren oder fast saigeren Klüftigkeit des Gesteins die senkrechten Linien bevorzugen. Selbstverständlich kann man auf den größeren, einheitlichen Gesteinspakten der zu Tage tretenden Kalke alle Spielarten der freien Karren beobachten, die hier wahrscheinlich infolge des rascheren Lösungsablaufes und der vielleicht stärkeren Anreicherung der Niederschläge mit Salzen (Nähe des Meeres), besonders prägnante Formen zeigen. Eigenartigerweise fehlen bei relativ ähnlichen Bedingungen wie in manchen Gebieten der Alpen die schönen Rundkarren.

## b) Die Karstformen des mediterranen Bereiches

Die an und für sich dem mediterranen Klimabereich angehörende W-Abdachung des Velebit, besitzt heute infolge der historisch belegten Entwaldung und Bodenabschwemmung kahle Felsflächen, Gesteinstrümmer, aufgelöstes Blockwerk und mannigfaltige Karren. Wie dieser früher unter Terra-rossa Bedeckung liegende Raum im einzelnen ausgesehen haben mag, kann heute nur aus anderen, ökologisch gleichartigen Gebieten geschlossen werden, jedoch dürften Ähnlichkeiten mit der Formengebung an der Ostabdachung des Gebirges bestanden haben. So kann man bei einiger Kenntnis auch an dem vorherrschenden, scharfkantigen Blockwerk z. T. kreisrunde bis ovale Kleindolinen und vor allem 1 bis  $\frac{1}{2}$  m hohe und bis max. mehrere Meter breite Stockkarren erkennen. (Die Genese dieser Formen wird später zu erläutern sein).

Die Vegetations- und Bodenentblößung hat dazu beigetragen, daß dieser Bereich der „freien“ Verkarstung anheimfiel. Die starke Klüftigkeit des Gesteins, die verstärkte Kluftlösung (Einfluß durch das Meer), der schnellere Lösungsablauf in wärmerem Klima und die großen Temperaturoegensätze begünstigten die Zerstörung des ungeschützten Gesteins und haben sehr rasch zur Auflösung der Formen in Blockwerk geführt. Auf den Blöcken kann man nun als Sekundärformen bei einer relativ kurzen Bildungsperiode äußerst prägnante und scharfkantige Formen der „freien“ Karren (Rinnenkarren, dreiecksförmige Vorsprünge, Zackenkarren etc.) und als Skulpturarten Firstrillen und Trittkarren in einer Höhe von rund 1500 bis unmittelbar zum Meer hinab, auffinden. Insbesondere die Firstrillen überzeugen durch ihre scharfe Profilierung. Sie sind durchaus auch in tieferen Zonen ausgebildet, in denen sie in den Alpen Ausnahmeerscheinungen darstellen würden.

Im gesamten kann man den Bereich der zerstörten Karstformen (bei aktiver Kleinformengebung) am treffendsten als Scherbenkarstzone bezeichnen — vielleicht aber wegen der etwas anders gearteten Genese gegenüber der alpinen Formengebung besser als mediterrane oder dinarische Scherbenkarstzone.

## B) Die Untersuchungen an den Kreideplattformen zwischen Zadar und Split:

Die unter vollmediterrane Klima stehenden, weiten Flächen der dalmatinischen Küste zwischen Zadar und Split weisen unter Terra-rossa-Bedeckung Karrenfelder auf, die sich zwischen Pirovac und Šibenik sowie auf dem Randvorsprung zwischen Šibenik und Trogir (besonders zwischen Roganica und Marina) und um Split, zu einer herrlichen Formengemeinschaft vereinigen. Da die Erhebungen der Karren gleichsam wie große Stücke aus einer einheitlichen Fläche herausragen, hat der Verfasser die ganze Formengruppe schon früher als Stockkarren bezeichnet. Ihre Entstehung hängt aufs engste mit der Bildung des Terra-rossa Bodens und mit dem Chemismus des vollmediterranen Klimabereiches zusammen. Hier dringen nämlich Lösungswässer entlang der Klüfte und Strukturlinien weit in das Innere des Gesteins vor und wirken oft bis zu Dekametern unter der obersten Bodenschichte auf die Kalkfläche ein und bilden den feinerdigen A-Horizont. Dieser lagert nicht gleichförmig dem Muttergestein auf, sondern greift in Rinnen und weiten Taschen tief ins Innere ein. Dadurch bleiben zwischen den Strukturlinien breite Stege des anstehenden Muttergesteins erhalten, die durch die subkutane und obertätige Abschwemmung des feinerdigen Materials allmählich aus dem Boden wachsen. Größtenteils sind die  $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  m

hohen Aufragungen noch in sich gegliedert, so daß durch die Auflösung der langgezogenen Gesteinsrippen stockförmige Erhebungen entstehen. An allen steileren Hängen — insbesondere wenn die Vegetation zurückgedrängt oder wie am W-Abfall des Velebit entfernt wurde — kommt es zur Abschwemmung des feinerdigen Materials und zur Block- und Scherbenkarstbildung. Aus diesem Grunde finden sich die aktiven Stockkarrenfelder auf den abtragungsgeschützten flachen Küstenplattformen zurückgedrängt.

### 3. Zusammenfassung

In den beiden untersuchten Räumen des klassischen Karstgebietes der Dinariden findet man in jeder Höhenlage und klimatischen Zone Dolinen und Karren meist vergesellschaftet in mehr oder minder großer Häufigkeit vertreten, wobei alle Karstformen — sieht man von örtlichen Ausnahmen ab — zunächst einmal unter Bedeckung entstanden sind.

Der Bedeckungsbereich gehört aber keinesfalls einer einzigen ökologischen Region an, sondern weist einige Unterabteilungen auf. Es kann ein mediterraner Bereich an der Küste Dalmatiens—Kroatiens von einem kontinentalen Bereich des Landesinneren getrennt werden und ferner sind durch die Vegetations- und Bodenentfernung an vielen Küstenstrichen eine sekundäre „freie“ Verkarstungszone sowie durch die Erhaltung reliktsicher Bodenverhältnisse an der Ostabdachung des Velebit ein vererbter „mediterraner“ Bereich zu unterscheiden.

Der mediterrane Raum an der Küste besitzt neben den schönen Kleindolinen unter der Terra-rossa Bedeckung gewissermaßen als Leitform die typischen Stockkarrenfelder, die auch den „mediterranen“ Raum im Innern des Landes charakterisieren und hat als Sonderform bei Vegetations- und Bodenentblößung die mit reichlichen Kleinkarrenarten versehene dinarische Scherbenkarstzone ausgeprägt.

Der kontinentale Raum ist zumindest im Velebit auf die Hochzone über 500 m beschränkt. Er besitzt als typische Form die Großdolinen, die sich aus tertiärer Zeit kontinuierlich entwickeln konnten und an vegetations- und bodenentblößten Stellen lange Primärrinnenkarren.

Im Grunde genommen weichen diese Ergebnisse kaum von jenen in den Alpen ab, da einerseits auch hier die Karren und Dolinen zusammen auftreten und andererseits trotz Fehlens des „freien“ Bereiches eine Zonierung nach Hauptökologiebereichen besteht, die sich wahrscheinlich wegen der geringen Höhe des Gebirgszuges weniger deutlich vertikal als horizontal dokumentiert. Auch hier konnte eindeutig, ähnlich wie bei den alpinen Rundkarren, ein bestimmter Karrentyp einer speziellen Bedeckungsart zugerechnet werden. Als Ausdruck des mediterranen Klimas sind die Stockkarren das Produkt der Terra-rossa Bodenbedeckung!

### III. Die Untersuchungen im Taurus

Die Veröffentlichungen über die Verkarstung in taurischen Gebieten befassen sich durchwegs mit Einzelproblemen des Karstphänomens oder mit der Darstellung der Verkarstung innerhalb einer geomorphologischen Gesamtbehandlung bestimmter Detailräume. So hat sich vor allem H. LOUIS (1956) mit der Entstehung von Poljen an Hand von taurischen Beispielen auseinandergesetzt, während H. SPREITZER, u. a., den gesamten Karstformenschatz ihres Untersuchungsraumes beschrieben. Für die folgenden Ausführungen über die Verkarstung des

südl. Teiles des Weißen Ala Dağ, waren besonders die Arbeiten von SPREITZER (1956 u. 1960) von ausschlaggebender Bedeutung, weil darin nicht nur die Verkarstung der vom Verfasser nicht aufgesuchten Räume des Weißen Ala Dağ aufgezeigt war, sondern auch viele geomorpholog. Ergebnisse, die für die Ausbildung des Karstformenschatzes Bedeutung haben, enthalten waren.

### 1. Allgemeine Charakteristik der beiden Untersuchungsräume

Der Kilikische Ala Dağ tritt als geschlossenes Kalkhochgebirge von etwa 400 km<sup>2</sup> Fläche in Erscheinung und erreicht dadurch ein ungefähres Größenausmaß wie das Tote Gebirge der Nördlichen Kalkalpen, dem es in vieler Hinsicht auch verwandt erscheint. Ähnlich wie dieses, besteht das aus mehreren Decken aufgebaute und bis zu 3800/3900 m aufsteigende Kalkgebirge aus mächtigen Kalken, die vom jüngeren Paläozoikum über die vorherrschende Trias bis zur Kreide reichen. Während sich der Gebirgsstock im N zur eingeschalteten Flyschzone zwischen ihm und dem Schwarzen Ala Dağ sanfter abdacht, fällt er nach W zum breiten Korridor der Tekir Senke, sowie nach S und O zur Ophiolithzone des weitaus niedrigeren Masmili Berglandes mit prächtigen Wänden und Steilrändern ab. Lediglich im S ist der Übergang vom Kalkgebirge zu den vulkanischen Bergländern etwas unvermittelter, weil nämlich einzelne Kalkschuppen als Reste dem vulkanischen Gebiet auflagern.

Der ziemlich einheitliche Gebirgsstock hat um 3000/3200 m seine größte denudative Ebenheit ausgebildet, die von einer Gipfflur um 3500—3900 m gekrönt und von Trogtälern an seinen Außenseiten stark zerschnitten wird. In den Karen, den Trogtälern und z. T. im Plateau haben die pleistozänen Gletscher durch Ausbildung von Rundhöckern und glatten Wänden der Verkarstung bestimmte Leitlinien gewiesen.

Entsprechend seiner geographischen Breite würde der gesamte Raum bereits dem subtropischen Klimabereich angehören, jedoch schafft die Höhe und Geschlossenheit dieses Randgebirges sowie die vorgerückte Lage zum kontinentalen Inneranatolien eine Abänderung. Der N und W tragen streng kontinentale Niederschlags- und Temperaturverteilungen und haben geringe Niederschlagsmengen, die am Bergfuß noch unter 400 m liegen und nur an den Hängen bis max. 800/1000 m ansteigen, während der S und O mediterrane Klimazüge aufweisen, und mit 1000 mm bis 2000 mm hohen Niederschlagsmengen, auch gut befeuchtet erscheinen. Die N- und W-Seite hatten daher zwischen der unteren Trockengrenze um 1500/1600 m und der oberen Waldgrenze um 2100/2200 m einen relativ schmalen Waldgürtel ausgebildet. Darüber war im gesamten Gebirgszug eine mehrere 100 m breite Zone von Kniehölzern und grasreichen Matten in wechselnder Höhe ausgeprägt.

Örtlich wurde die Bedeckungsgrenze durch Glatthang- und allgemeiner Schuttbildung von vornherein weit herabgedrückt und außerdem hat der Mensch in dem alten Kulturland die Primärvegetation oft entfernt und bis auf einige wenige Zeugen zerstört. Viele Flächen sind daher seit dem Postglazial schon länger vegetationsentblößt, als sie vorher vegetationsbestanden waren.

Das zweite Untersuchungsgebiet im Taurus erstreckt sich auf die zwischen den Steilabfällen der taurischen Südabdachung gelegenen, flachen Plattformen und Abrasionsflächen der Ebenen von Adana und Antalya. Im gesamten handelt es sich, um den in wechselnder Breite ausgebildeten Küstensaum, der über Trias-

und Neogenkalken zwischen 100/800 m über dem Meeresspiegel ausgeprägt ist. Er wird beherrscht vom vollmediterranen Klimaregime. Die Vegetation über dem Terra-rossa Boden besteht vorwiegend aus Pinienvertretern.

## 2. Die speziellen Untersuchungen im Taurus

### A) Der Kilikische Ala Dağ:

Das Karstphänomen im Kilikischen Ala Dağ weist im Hinblick auf die Einzelformgebung große Ähnlichkeiten mit dem alpinen Karstformenschatz auf, obwohl es, was die Verbreitung der Formen anbelangt, an diesem nicht heranreicht.

Klar ist zunächst die Trennung in die „freie“ und „bedeckte“ Verkarstung im Anschluß an die 2 Hauptökologiebereiche der boden- und vegetationsfreien und der boden- und vegetationsbedeckten Zone zu erkennen. Die bei rund

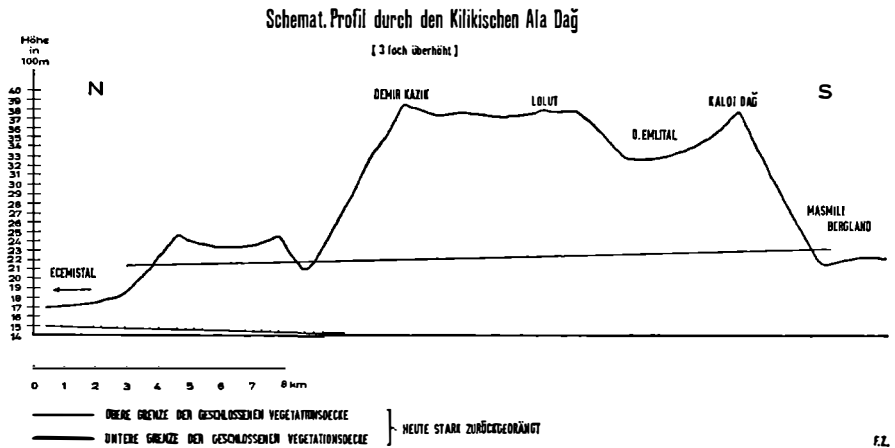


Abbildung 4.

2100/2300 m Höhe ausgeprägte obere Grenze (siehe Abbildung 4) bewirkte dann im einzelnen, daß der weitaus größere Bereich wie namentlich die Gipffluren, die inneren Hochflächen und die höher gelegenen Kar- und Trogtalböden über der Bedeckungsgrenze zu liegen kommen, während sich unter Bedeckung nur die Außenränder und die Randvorsprünge finden<sup>11</sup>. In beiden Bereichen ist eine Vergesellschaftung von Dolinen und Karren anzutreffen.

### a) Die Karstformen des vegetations- und bodenfreien Bereiches

Die Verkarstung des riesigen Bereiches über der Bedeckungsgrenze wird im gesamten gesehen auf einige bevorzugte Stellen verwiesen. Meist ist nämlich in der obersten Zone infolge der klimatischen Gegebenheiten die mechanische Verwitterung vorherrschend, die hier gefördert durch das Zusammenwirken von

<sup>11</sup> Da vom Verfasser nur der südl. Teil des Kilikischen Ala Dağ aufgesucht wurde, konnten zum Karstphänomen unterhalb der tieferen Bedeckungsgrenze keine Beobachtungen gemacht werden.

Frostsprengung und Insolation (Nähe der Subtropen) das morphologische Kräftespiel steuert. Dadurch sind über einer Höhe von rund 3200/3300 m fast ausschließlich Glatthänge, Streifenböden und in geschützter Lage an rezenten Blockgletschern und über den Kar- und Trogtalböden Steilwände ausgebildet, die selbst der zerstörenden Kraft unterliegen. Mächtige Schutthalden ummanteln die Seitenhänge und Talstufen der großen Täler, sodaß nur die großen Ebenheiten und wenige kompakte Felswände der Verkarstung zugänglich sind. Aber auch sie werden vom verstärkt anfallenden Schutt förmlich „ertränkt“.

Auf den zu Rundhöckerfluren umgestalteten Verebnungsflächen des Inneren und der Hochtäler finden sich nun unabhängig von einer Höhenstufung Dolinen und Karsthohlformen von vorwiegend unregelmäßiger Gestalt in einer Größenordnung von im Durchschnitt 10—20 m im Durchmesser und 8 m Tiefe bei den Kleinformen und 100/150 m Durchmesser und 50 m Tiefe bei den Großformen, für deren Entstehung das flachere Gelände von Bedeutung war. Sie sind besonders auf den Niveauflächen um 3200/3000 m (vor allem Yildigöl und Yedigöl), um 2600/2500 m und 2200/2000 m zu beobachten. In den Vorzugslandschaften kommen bis einige 100 solcher Hohlformen auf gedrängten Plätzen vor. Viele Dolinen werden aber an den randlich zu den Schutthängen und Schutthalden gelegenen Gebieten von Lockermaterial überfahren und überdeckt. Meist handelt es sich um Dolinen, deren Anlage, Form und Größe durch die abschleifende und aushobelnde Wirkung der pleistozänen Gletscher entsanden waren. Die glazialüberformten Plateauteile und die eisüberschliffenen Tallandschaften, insbesondere die Rundhöckerfluren, sind daher Gunstgebiete für die Dolinenbildung. Trotz der hohen Lage fehlen aber meist Schuttrichter- und Nivationsdolinen. Bei den großen Hohlformen kann ähnlich wie bei den Großformen der Alpen eine präpleistozäne Vorform angenommen werden.

Innerhalb der Formengruppe der Karsthohlformen, nehmen manche Vorkommen des Yedigöl eine Sonderstellung ein, da sie, wie der Name schon sagt, mit kleinen Seen erfüllt sind und genetisch mit den Dolinen im Dolomit unserer Breiten Parallelen aufweisen. H. SPREITZER (1956) beschreibt im Yedigöl wassererfüllte, viereckiggeformte Wannen von mehreren 100 m Länge und 50/200 m Breite, die durch randlich auftretende Karstquellen gespeist und seitlich angeordnete Ponore entwässert werden. Der Dolinenboden setzt sich aus eingeschwemmten, lehmigen Lockermaterial zusammen, das durch die Verklebung der Abflußwege, den Wasserstau bewirkte. Die an den Dolinenrändern zu beobachtenden Gletscherschliffe weisen auf eine präpleistozäne Anlage dieser Hohlformen hin.

Karren sind in dieser Zone verständlicherweise selten, jedoch konnten an einigen glattgeschliffenen Talflanken und -stufen, Rinnenkarren von je nach Gesteinsbeschaffenheit wechselnder Länge ( $\phi$  2—6 m), 5—8 cm Breite und 5—10 cm Tiefe sowie auch in etwas untypischer Ausbildung dreiecksförmige Vorsprünge und Zackenkarren beobachtet werden.

#### b) Die Karstformen des bedeckten Bereiches

Andersgeartet nach Form und Genese sind die Karstformen der 2. Zone, der ehemals unvergletscherten und zur Zeit teilweise noch vegetations- und bodenbedeckten Region. Sowohl auf den zwischen den Trogtälern vorspringenden breiten Bastionen in etwa 2000 m Höhe, als auch auf den, dem vulkanischen

Masmili Bergland auflagernden Kalkschuppenresten, sind z. T. schon frei, z. T. noch unter Bedeckung, Karrenfelder ausgeprägt. Es handelt sich ausschließlich um Klufftkarren, deren Form aber gänzlich von den subkutanen Rundkarren der alpinen Bereiche, wie auch der Stockkarren mediterraner Gebiete, verschieden ist. Obwohl die Karren oft bis zu 1—1½ m Tiefe erlangen, und gewiß auch heute noch unter Bedeckung eine Erweiterung erfahren, ist die Auflösung bei weitem nicht stark, was sicherlich hier mit den anderen Vegetations- und Bodenverhältnissen sowie mit der Niederschlagsverteilung im Zusammenhang steht. Die über den stark klüftigen Kalken ausgebildeten seichtgründigen Kalkbraunerden und Rendzinen üben durch ihre geringe Bodenmächtigkeit und ihre Beschränkung auf enge Spalten und Klüfte keine allzu große Lösungskraft aus. Nebenbei wird durch die wolkenbruchartigen Niederschläge das Gestein, abgesehen von den Klüften, gleichmäßig tiefer gelegt. So sind trotz der langen Verkarstungsperiode wohl tiefe, aber äußerst enge Rinnen herausmodelliert worden.

Lediglich im stark aufgelösten Gestein findet man breitere Hohlformen und Dolinen.

Als Detail soll nicht unerwähnt bleiben, daß in der postglazialen Bergsturlandschaft von Barazama in 1100—1200 m Höhe an Blöcken scharfprofilierter Firstrillen in einmaliger Ausbildung zu beobachten waren. Sie stehen dadurch vom Klima her im Gegensatz zu den „höhengebundenen“ alpinen Firstrillen und den mediterranen der dinarischen Küste.

## B) Die taurische Südabdachung:

Abweichend vom Hochgebirgskarst des Kilikischen Ala Dağ ist das Karstphänomen auf den dem Mittelmeer zugewandten Küstensäumen im Süden der taurischen Gebirgsketten. Auf den zwischen Steilabfällen gelegenen flachen Plattformen sind Stockkarrenfelder anzutreffen, wobei die Terra-rossa die feinsten Strukturlinien und Klüfte erfaßt und sie zu geologischen Orgeln bzw. in Oberflächennähe zu breiten Furchen ausgeweitet hat. Infolge des kompakten Gesteins sind aber seltener herauspräparierte Stöcke und Blöcke zu beobachten, als vielmehr langgezogene, 1—2 m breite Stege und Rippen, die über dem rezenten, feinerdigen Boden, etwa ½ m hoch aufragen.

An den Stockkarren der Ebene von Adana sind dann bereits wenige dm große und einige cm tiefe Kleinformen ausgebildet, die schon ganz dem subtropisch-ariden Klima zuzuordnen sind. Es handelt sich dabei um Bröckellöcher an den im Schatten gelegenen Seiten der Stockkarrenauftragungen, die nicht mehr von den äußeren Abflußverhältnissen bestimmt werden. Es kommt die oberflächliche Lösung nicht mehr allein zur Wirkung. Das Wasser versiegt in dem (hier porösen) Gestein und wird mit gelösten Substanzen kapillar an die Oberfläche gesaugt. Das Innere des Gesteins und die im Schatten liegenden Teile der aufragenden Blöcke werden infolge der Lösung mürbe gemacht und bröckeln aus, während die der Sonne zugewandten Seiten eine Schutzrinde von 1/10—1 mm Dicke erhalten (Mangan- oder Eisenoxydüberzüge). Dadurch entstehen auch im Kalkgestein die bekannten Tafoni- und Halbhöhlenbildungen in genetisch gleicher Weise wie im Kristallin. Im Taurus schließen sich übermannshohe Einzelformen, die von SPREITZER beschrieben und genetisch treffend charakterisiert wurden, in den Baldachinfelsen der Außenabdachung des Mittleren Taurus südl. der Kilikischen Pforte in rund 800 m absoluter Höhe, in mehreren 100 m breiten

und 10ern von Metern hohen Wänden, zu einer imposanten Formengemeinschaft zusammen<sup>12</sup>. Daneben sind kleinere Dolinen selten ausgeprägt.

### 3. Zusammenfassung

In den beiden untersuchten Räumen des Taurus ist im Zusammenhang mit ökologischen Großregionen ein eindeutige Differenzierung der Karstformen durchzuführen.

Zunächst kann als Ausdruck der horizontalen Anordnung der Klimabereiche ein „Hochgebirgskarst“ im Kilikischen Ala Dağ von einem mediterranen Karst im südlichen Küstenbereich unterschieden werden.

Entsprechend der klimabedingten (und stärker als in den anderen Gebieten vom Menschen her bestimmten), vertikalen Anordnung der Boden- und Vegetationszonen im Gebirge läßt sich hier eine Trennung in die Karstformen, die subkutan, und in die Karstformen, die ohne Bedeckung entstanden sind, trennen. Der Bereich der „freien“ Verkarstung wird durch die mechanische Verwitterung stark eingeengt und auf einige, großflächige Stellen der ehemaligen Verebnungen zurückgedrängt. Die Einzelformen sind denen der Hochzone der Alpen durchaus gleichzustellen.

Demgegenüber besitzt die bedeckte Zone gerade bei den Karren eine eigene Formengebung, die, soweit das schmale Beobachtungsmaterial dazu ausreicht, wahrscheinlich auf die ander Boden- und z. T. Niederschlagsverhältnisse zurückzuführen ist. Im gesamten Bereich fehlen die alpinen, subkutanen Rundkarren, obwohl man unter Bedeckung wiederholt eine korrosive Abrundung der Kalke erkennen kann.

Im mediterranen Küstengebiet sind ähnlich wie an der Küste Dalmatiens—Kroatiens die Stockkarren typisch, die hier örtlich aber bereits Formen des ariden Klimas zeigen.

### IV. Schlußbemerkung

Die Arbeiten über die klimagebundene Formengebung des Karstphänomens in den Nördl. Kalkalpen gaben Anregung für die vorliegende Veröffentlichung, wobei aber über den engeren Untersuchungsraum der genannten Gebirgszone hinausgegangen und für einen allgemeinen Vergleich einige Abschnitte der Dinariden und des Taurus in den Untersuchungsrahmen eingefügt wurden. Damit war der Fragenkreis, ob eine klimabedingte Ausbildung der Karstformen in den Alpen mit der Höhe besteht, erweitert und auf andere Gebirgsgruppen und Klimaprovinzen ausgedehnt worden und zu der Stellung der vertikalen Anordnung des Karstphänomens, die der horizontalen Anordnung gekommen.

Die Verbreitung des Karstphänomens steht aber nicht allein mit dem Klima oder gar einem einzelnen Klimatelement in Verbindung, sondern vielmehr mit der Gesamtheit der äußeren Faktoren, die sicherlich vom Klima her stark beeinflußt werden und daher eine deutliche Bindung an Klimaprovinzen und Klimazonen zeigen.

Entsprechend der geographischen Breite, der Höhenlage, der Massenerhebung etc. ergab sich bei den 3 untersuchten Räumen, abgesehen von der Beeinflussung durch das Medium des Gesteins, eine horizontale Unterteilung

<sup>12</sup> Der Verfasser konnte ähnliche, unter den gleichen genetischen Vorgängen gebildete Formen in der Arabischen Wüste beobachten und untersuchen, jedoch in dieser Arbeit nicht mehr berücksichtigen.



in die ökologischen Großbereiche der Alpen, der Dinariden und des Taurus, die selbst wieder als Ausdruck des Klimas horizontal und vertikal zu unterteilen waren. Gerade bei den großen Massenerhebungen des Toten Gebirges — Warschenecks und des Kilikischen Ala Dağ kam eine höhengebundene, zonare Ausprägung klar hervor.

Im einzelnen ergab sich in allen 3 Untersuchungsräumen eine eindeutige Differenzierung in die Karstformen, die unter Boden- und Vegetationsbedeckung entstanden waren und in die Karstformen, die auf nackten Felsflächen gebildet wurden. Nicht, daß etwa ein Karsttyp, wie Karren oder Dolinen einem dieser Bereiche zugeordnet werden könnte, sondern die durchaus vergesellschaftet auftretenden Formen erhalten in den einzelnen ökologischen Bereichen durch die spezifische Einwirkung auf die Lösung und deren Ausrichtung einen eigenen Habitus. Ob z. B. Dolinen oder Karren vorkommen hängt vom Relief und Gestein ab, da an steilen Fesflanken und kompakten Gesteinsrippen eher Karren, in Tal-furchen, Rundhöckerlandschaften und an großen Strukturlinien eher Dolinen entstehen werden.

Der „freie“ Bereich war nun in allen 3 Gebirgsgruppen durch scharf profolierte Karren und unregelmäßige Dolinen charakterisiert. Da die freien Abflußverhältnisse allein zum Tragen kommen, besteht zwischen der Formengebung und der Neigung des Gesteins ein enger Zusammenhang. Vor allem kann bei den Karren eine richtige Folge erkannt werden, die entsprechend der Gefälls- verminderung von den Primärrinnen über die dreiecksförmigen Vorsprünge bis zu den Mäander- und Zackenkarren reicht.

Die Ausdehnung des freien Verkarstungsbereiches ruft allein schon eine spezifische Formgebung hervor und ist in den einzelnen untersuchten Gebieten starken Schwankungen unterworfen. So ist im Warscheneck nur die Gipfelzone der freien Verkarstung zugänglich, während entsprechend der größeren Massenerhebung im Toten Gebirge oder gar im Kilikischen Ala Dağ die ganze Hochzone von dieser eingenommen wird. Die weiten Plateauflächen, die Kar- und Trogtalböden sowie die gletschergeschiffenen Talflanken in letztgenannten Gebirgszügen werden von den freien Abfluß- und Verkarstungsverhältnissen beherrscht.

Im weiteren ist der freie Verkarstungsbereich anderen morphologischen Kräften, wie insbesondere der mechanischen Verwitterung oder der Wirkung des Schnees ausgesetzt. Die Karstformen werden dadurch oft zurückgedrängt oder umgeprägt. Im Taurus verhindert der enorme Schuttanfall als Folge der Frostsprengung und Insolation vielfach eine Karstformgebung, doch gibt es in breiten Hochtälern um 3000 m schöne Dolinen, teilweise als Vorzeitformen, aber auch solche, die dem heutigen Klima der Höhenregion mit dessen Schneereichtum entsprechen. In den Alpen kommt es durch die Wirkung anderer morphologischer Kräfte zur Entstehung der Schuttrichter- und Nivationsdolinen sowie des Scherbenkarstes.

Während sich die Karstformen des freien Bereiches in allen 3 untersuchten Räumen, soweit sie von einem humiden Klimaregime bestimmt werden (die ariden Formen der Gegend von Adana bilden eine Ausnahme), einigermaßen gleichen und nur in der Konzentration und Verbreitung eine Abwandlung zeigen, die auch mit den Reliefverhältnissen und dem gesamtmorphologischen Kräftespiel in Zusammenhang stehen — weisen die Karstformen des bedeckten Bereiches große Unterschiede auf.

Der bedeckte Verkarstungsbereich zeigt im Hinblick auf die Einzelformen unverkennbar eine weichere und ausgeglichene, wenn auch tiefgründigere Formgebung. Hier wird die Lösung unterhalb der Bedeckung (subkutan) einerseits von der Bodenaufgabe und andererseits vom Wurzelwerk der speziellen Bedeckungsart gesteuert. Dadurch entstehen bei den Karren Formen, die den freien Abflußverhältnissen kaum entsprechen, während bei den Dolinen lediglich eine stärkere Vertiefung zu bemerken ist. Als richtige Leitformen der speziellen Bedeckungsart kommen in den Alpen über dem Rendzinaboden im Verein mit der Latschen-Nadelwaldvegetation herrliche Rundkarren vor — im mediterranen Küstensaum der Dinariden und im Taurus unter der Terra-rossa Bodenbedeckung die typischen Stockkarren.

Die Konzentration und Verbreitung der Karstformen steht wieder mit den allgemeinen, morphologischen Gegebenheiten in Verbindung, denn nicht von ungefähr finden sich auf den weiten, eiszeitlich überformten und nun vegetations- und bodenbedeckten Plateauflächen des Warschenecks die herrlichsten Rundkarrenfelder, während im Toten Gebirge solche Voraussetzungen vielfach fehlen und daher die Rundkarrengebiete seltener sind. Im mediterranen Bereich wiederum sind die flachen Küstenplattformen Gunstgebiete für die Stockkarrenbildung und die Ebenheiten nahe des Mittelmeeres daher von diesen Formen ausgefüllt.

Am W-Abfall des Velebitgebirges kam es durch Entwaldung und Bodenabschwemmung und -abbläsung zur Abwandlung der mediterranen Verhältnisse und zur Zerlegung der ehemaligen Karstformen in Scherbenkarst bei aktiver Bildung von Kleinformen auf grobem Blockwerk.

Im einzelnen bedarf noch die Tatsache Erwähnung, daß in den untersuchten Gebirgsgruppen der Alpen, ab einer Höhe von 1200/1300 m die Karstformen zurücktreten oder vollkommen fehlen. Diese Erscheinung hängt mit den anderen Abflußverhältnissen (obertätige Gerinne gibt es erst ab 1200/1300 m in größerer Anzahl) und den anderen Böden (Verbraunte Rendzina sowie Braunerden mit einem deutlichen B-Horizont) zusammen.

Es kann abschließend festgestellt werden, daß den ökologischen Bereichen bei der Karstformgebung größte Bedeutung beikommt und daß durch die Anordnung dieser in horizontalen und vertikalen Räumen von vornherein eine zonare Verbreitung der Karstformenarten besteht, die vor allem in den Gebirgen in Höhenstufen deutlich sichtbar wird.

#### Literaturverzeichnis

1. BARTSCH, G.: Das Gebiet des Erciyes Dagi und die Stadt Kayseri in Mittel-Anatolien. — Jb. d. Geogr. Ges. zu Hannover f. 1934 u. 1935.
2. BAUER, Fr.: Verkarstung und Bodenschwund im Dachsteingebiet. — Mitt. d. Höhlenkomm. Wien, 1954.
3. BAUER, Fr.: Zur Verkarstung des Sengengebirges in O.Ö. — Mitt. d. Höhlenkomm. Wien, 1952.
4. BÖGLI, A.: Kalklösung und Karrenbildung. — Zt. f. Geom., Supplementband 2, 1960.
5. BÖGLI A.: Probleme der Karrenbildung. Geographica Helvetica VI, 1951.
6. CRAMER, H.: Systematik der Karrenbildung. — P. M. 1935.
7. CVIJIC, J.: Das Karstphänomen. — Pencks Geogr. Abh. 5, 3, Wien, 1893.
8. DANES, J. v.: Geomorphologische Studien im Karstgebiet Jamaikas. — Comptes Rendus 9. Intern. Geogr. Kongreß Genf u. Schriften der Böhm. Akad. d. Wiss. Prag, 1914.
9. GÖTZINGER, G.: Der voralpine Karst und seine Gesetzmäßigkeiten. — Klebelsberg-Festschrift, Mitt. Geol. Ges. Wien, 1955.
10. GRUND, A.: Der geographische Zyklus im Karst. — Zt. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin, 1914.
11. GRUND, A.: Zur Frage des Grundwassers im Karst. — Mitt. d. Geogr. Ges. Wien, 1910.
12. HASERODT, K.: Untersuchungen zur Höhen- und Altersgliederung der Karstformen in den Nördlichen Kalkalpen. — Münchner Geographische Hefte, H. 27, Regensburg 1965.
13. HORVAT, I.: Die Vegetation Südeuropas in klimatischem und bodenkundlichem Zu-

- sammenhang. — Mitt. d. Geogr. Ges. Wien, 1962.
14. KATZER, F.: Karst und Karsthydrographie. — Zur Kunde der Balkanhalbinsel H. 8, Sarajevo, 1909.
  15. KATZER, F.: Zur Morphologie des Dinari-schen Gebirges. — P. M. 1912.
  16. KREBS, N.: Zur Geomorphologie von Hochkroatien und Unterkrain. — Zt. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin, 1929.
  17. KURZ, W. und ZWITTKOVITS, F.: Zum Problem der Karrenbildung in den Nördlichen Karkalpen. — Anzeiger d. math.-naturw. Klasse d. österr. Akad. d. Wiss., Jg. 1963, Nr. 3.
  18. LECHNER, J.: Neue Formen des Hochgebirgskartes im Toten Gebirge. — Mitt. d. Höhlenkomm., Wien, 1952.
  19. LEHMANN, H.: Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. — Erdkunde, Bd. VIII, 1954.
  20. LEHMANN, O.: Das Tote Gebirge als Hochkarst. — Mitt. d. Geogr. Ges. Wien, 1927.
  21. LEHMANN, O.: Die Hydrographie des Karstes. — Enzykl. d. Erdkunde, Leipzig und Wien, 1932.
  22. LINDNER, H. G.: Das Karrenphänomen. — Peterm. Mitt. Erg. Heft 208, Gotha, 1930.
  23. LOUIS, H.: Das natürliche Pflanzenkleid Anatoliens, geographisch gesehen. — Geogr. Abh. III, R., H. 12, Stuttgart, 1939.
  24. LOUIS H.: Die Entstehung der Poljen und ihre Stellung in der Karstabtragung, auf Grund von Beobachtungen im Taurus. — Erdkunde X, 1956.
  25. MAULL, O.: Vergleichende Karstländerstudie. — Jb. Univ. Graz, 1940.
  26. METZ, K.: Beiträge zur Geologie des Kilikischen Taurus im Gebiete des Ala Dagh. — Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 148, Wien, 1939.
  27. PENCK, A.: Das Karstphänomen. — Schr. d. Ver. z. Verbr. naturw. Kenntn. Wien, 1904.
  28. RATHJENS, C. jun.: Karsterscheinungen in der klimat.-morpholog. Vertikalgliederung des Gebirges. — Erdkunde, 1954.
  29. SPREITZER, H.: Hangformung und Asymmetrie der Bergrücken in den Alpen und im Taurus. — Zt. f. Geom., Supplementband 1, Berlin, 1960.
  30. SPREITZER, H.: Zur Geographie des Kilikischen Ala Dag im Taurus. — Mitt. d. Geogr. Ges. Wien, 1956.
  31. TERZAGHI, K. v.: Beiträge zur Hydrographie und Morphologie des Kroatischen Karstes. — Mitt. a. d. Jb. Ungar. Geolog. R. A., 1913/14.
  32. WISSMANN, H. v.: „Das Mitter Ennstal“. — Forsch. z. dt. Landes- und Volkskunde, 1927.
  33. ZWITTKOVITS, F.: Geomorphologie der südlichen Gebirgsumrahmung des Beckens von Windscharsten (Warscheneck, Bos-ruck, westl. Haller Mauern). — Geogr. Jber. aus Österr., Wien, 1961/62.