

## Neue Beiträge zum Problem: Raxlandschaft — Augensteinlandschaft

HELMUT RIEDL, Graz

Im Gegensatz zur älteren Literatur über die Morphologie der kalkalpinen Altlandschaften findet man in den jüngsten richtungsweisenden morphologischen Arbeiten (W. KURZ, 1963, F. ZWITKOVITS, 1963), die in überzeugender Weise den Piedmonttreppenbau der nördlichen Kalkalpen herausstreichen, ein Stagnieren in der Klärung der Detailfragestellung des Verhältnisses der Raxlandschaft zur Augensteinlandschaft. Man begnügt sich allgemein mit der Feststellung (F. ZWITKOVITS, 1963, S. 52), daß endogene Vorgänge die Zerstörung der hypothetischen Augensteinlandschaft einleiteten. Von dieser würden heute nur mehr die Augensteine zeugen, die jedoch infolge ihrer sekundären und tertiären Lage keine Rückschlüsse auf die ehemalige Landschaft ermöglichen. Eine Belebung der alten Fragestellung kann nur unter Heranziehung neuen Beobachtungsmaterials stattfinden. Die „hypothetische“ Adjektivierung der Augensteinlandschaft durch verschiedene Autoren bedingt noch lange nicht, daß keine Möglichkeit bestünde, die Dynamik der Umformung zu fassen. Das Schwergewicht der Erklärungsversuche muß auf Zeit und Wirkungsweise der morphologischen Kräfte zwischen der heutigen Position der Augensteine und deren primärer Ablagerung gelegt werden. Dies erscheint nur dann möglich, wenn man das Problem der Lagerungsmodalitäten der Augensteine neu aufrollt. Ein wesentliches Hilfsmittel dazu bietet die paläopedologische Prägung des Augensteinmaterials. In letzter Zeit wurden von F. SOLAR (1964) die Reliktböden der Raxalpe ausgezeichnet untersucht, jener kalkalpinen Altlandschaft, von der die später zu einem Gattungsbegriff gewordene Namengebung durch N. LICHTENECKER (1926, S. 160) ihren Ausgang nahm. Die Altlandschaft der Raxalpe wird zur Gänze von Wettersteinkalk aufgebaut, einem sehr reinen und gut verkarstungsfähigen Kalk. Der unlösliche Rückstand (hauptsächlich Bitumina) beträgt 0,1—0,3%; die Eisengehalte schwanken zwischen 0,00—0,01%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Die sehr geringen Lösungsrückstände lassen sofort die Frage anklingen, ob es sich bei den Böden der Altlandschaft der Raxalpe um Bildungen auf Kalk oder aus Kalk handelt. Die ältesten Reliktböden interessieren in dieser Beziehung wegen ihres initialen Aussagewertes am meisten. F. SOLAR (1964, S. 27) fand zwei Generationen von Rotlehmen auf der Altlandschaft der Rax. Bei der älteren Rotlehmgeneration treten sowohl vollständige Horizonte auf: Muttergestein, Zersatz- und (B)-horizont, als auch unvollständige, bei denen Muttergestein und Zersatzgestein fehlen und der (B)-Horizont allochthon über Kalk liegt. Als Muttergestein der ältesten Rotlehmgeneration fungieren zum geringeren Teil sandige Kalksteinbänder, die dem ansonst sehr reinen Wettersteinkalk teilweise eingelagert sind. Auf diesen Kalksandsteinbändern entwickelte sich ein seichtgründiger Matadero-Rotlehm. Ein tiefgründiger Matadero-Rotlehm

aber entstand aus den Augensteindecken. Ein typisches Profil der älteren Rotlehmvarietät wurde von F. SOLAR von der Haberfeldebenheit (1910 m) beschrieben. Der Matadero-Rotlehm erreicht dort eine Dicke von 2 m. Der rubefizierte Oberboden (30 cm) ist rot (10 R 4/5—4/6), dicht, hochplastisch, stark klebend und zeigt mehrere makroskopische sowie zahlreiche mikroskopische Eisenkonkretionen. Die Matadero-Horizonte sind fahlbraun und graugelb (2,5 Y 6/2, 7/2; 10 Y R 6/6) und rot durchzogen. Ihre Konsistenz ist hochplastisch-klebend. Nach unten stellt sich eine Vergrößerung der Granulate ein, wobei sich die groblockige Struktur den Zersatzformen des Augensteinschottermaterials angleicht. Hämatitbildung tritt sowohl im Oberboden als auch in bestimmten Partien des Unterbodens ein. Das sehr stark verwitterte Muttergestein des Rotlehms, das unmittelbar auf dem Wettersteinkalk ruht, besteht aus kristallinem Sand, Kies und Schotter, wobei letzterer Faustgröße erreicht. Die scheinbar festen Schotter innerhalb des Augensteinmaterials zerfallen bei leichtem Druck in grusige Bestandteile, die dicke mataderoartige Tonüberzüge zeigen. Dieses Profil wird oft gekappt, indem sich eine jüngere Rotlehmgeneration stockwerkartig über der Kappungsfläche erhebt. Bei diesem jüngeren Rotlehm sind die braun- und gelbroten Farben weniger intensiv infolge geringerer Verwitterungsintensität, die auch die Unterschiedlichkeiten zwischen Ober- und Unterboden verwischt. Tonanteil und Hämatitbildung sind geringer als beim älteren Rotlehm. Dieser jüngere Rotlehm wird an der Oberkante durch solifluidales Augensteinmaterial abgeschnitten. Auf die darüber folgenden noch jüngeren Bodenbildungen der Terra fusca und Rendsina soll hier nicht weiter eingegangen werden. Es sei aber festgehalten, daß diese beiden Bodentypen der Rax selbst noch relikten Charakter haben und ihr Muttergestein aus Staubmaterial besteht, das aus den im Süden und Südosten gelegenen Zentralalpen (Hochwechsel, Stuhleck-Pretulzug) eingeweht wurde.

Besonderes Augenmerk ist zunächst den älteren Rotlehmern hinsichtlich ihrer klimatischen Aussagefähigkeit zu widmen. Es besteht kein Zweifel, daß es sich bei diesen hämatitischen Lehmen um einen Boden handelt, der zu seiner Reifung ein Klima benötigte, das nur in der Vorzeit existent war. Die Mataderovariante wird von W. KUBIENA (1954) aus der spanischen Landschaft La Vera (Sierra des Gredos) und der Waldregion La Selva bei Gerona beschrieben. KUBIENA fand die Mataderovariante in Rotlehmern selten, weil diese Variante als Übergang zu den Braunlehmern (1954, S. 216) auf leicht verwitterbarem Muttergestein in sehr niederschlagsreichen und hochgelegenen Gebirgsstandorten vorkommt. Typisch aber ist auch dort der Reliktcharakter dieses Bodentyps. KUBIENA kommt unter Berufung auf die Rañasuntersuchungen zu dem Schluß, daß der Höhepunkt der spanischen Rotlehm Bildung im Miozän lag, wobei die Rotlehm Bildung bis in das Pliozän hineinreichte. Für die Braunlehme wird teilweise ein alttertiäres Alter angenommen. Die Mataderovariante (KUBIENA 1954, S. 216) ist für besonders feuchte tropische bis subtropische Klimate typisch und ist als rezenter Boden in der Küstenzone von Fernando Póo in tiefen Braunlehmern, der heute herrschenden Bodenbildung, entwickelt. So wurde der typische Mataderohorizont nach einem Vorkommen im Bereich der Negersiedlung Matadero bei St. Isabel auf der Insel Fernando Póo im Golf von Guinea benannt. Nach KÖPPENS Klassifikation fällt dieser Standort in das Af-Klima, das zentraltropische Regenwaldklima. Die Jahresniederschläge schwanken im Küstengebiet von etwa 2350 mm bis 6300 mm. Modifiziert wird dieser immerfeuchte tropische Typ durch eine regenärmere Zeit von Dezember bis Februar.

Da die spanischen Untersuchungen KUBIENAS zeigten, daß typische Matadero-horizonte im Rotlehm nur in Übergangsstadien zu Braunlehmen vorkommen, muß auch bei den Matadero-Rotlehmen der Rax auf eine derartige Verwandtschaft geschlossen werden. Unter dieser Voraussetzung liegt eine Abwandlung des klimatischen Bildungstypus vor, denn die Matadero-Rotlehme benötigen zu ihrer Bildung ein wechselfeuchtes Feuchtsavannenklima. Dabei weist aber nicht so sehr wie bei der im Hoggar Gebirge (KUBIENA 1955, S. 120) festgestellten relikten Rotlehm-Weißhorizontvariante der Akzent auf eine allzu starke edaphische Wirkung der früheren heißen Trockenzeiten, sondern mehr auf eine Feuchtseite. Eine derartige Änderung vom tropischen immerfeuchten Klima zum Feuchtsavannenklima mag, wenn es sich um eine horizontale Abwandlung handelt, verwundern; denn aller Wahrscheinlichkeit nach kann man zum letzten Mal im Oberoligozän mit einem heißfeuchten tropischen Klima vom Af-Typ rechnen. Bei vielen klimatisch-morphologischen Studien wird für das Miozän-Pliozän ein warmes Feuchtsteppenklima mit winterlicher Trockenheit (Aw-Typus) angenommen. Eine Einordnung der Rotlehme der Rax in ein derart einfaches, undifferenziertes Schema des vorzeitlichen Klimaablaufes bereitet erhebliche Schwierigkeiten. J. P. BAKKER (1960 u. 1964, S. 43) zeigte vorwiegend an Hand von Tonmineraluntersuchungen, daß die Gelb-Rot-Verwitterung mit Kaolindominanz in der Tonfraktion für Gebiete des rand- und subtropischen Klimatyps an der Ostseite der Kontinente typisch ist, wobei als Beispiele Florida und die Golfstaaten Nordamerikas namhaft gemacht werden. Als Bildungszeit für Westeuropa käme Pont bzw. Präpont in Frage. Ein anderer Typ der Gelbrot-Verwitterung, bei dem Kaolinit kaum oder gar nicht gebildet wird, ist im Mittelmeerraum verbreitet, z. B. die Terra rossa mit Illitdominanz. Dieser Verwitterungstyp hat sich nach BAKKER in den wärmeren Perioden vor ungefähr dem Mittelpliozän bis in das große Interglazial (M/R) gebildet. Den ausgezeichneten Laboruntersuchungen Th. W. M. LEVELTS (1965) über die Plateaullehme Süd-Luxemburges stehen leider keine ebenso intensiven profilmorphologischen Beschreibungen der Bodentypen zur Seite, daß auf Grund des Mataderocharakters der Raxlehme eine Korrelierung vorgenommen werden könnte. Dies ist andererseits auch deshalb schwer möglich, weil SOLARS Analysen (1964, S. 69) der Raxrotlehme keine Tonmineralbestimmungen aufweisen. Es liegt nahe, bei dem Braunlehmprimärstadium der Raxrotlehme nicht unbedingt an ein zentraltropisches immerfeuchtes Klima zu denken, sondern hierfür ein warm gemäßigt durch das ganze Jahr feuchtes Klima, wie es z. B. in den atlantischen Südstaaten Nordamerikas herrscht, anzunehmen.

Sohin ergibt sich zunächst seit Ausgestaltung der Raxlandschaft eine Abwandlung immerfeuchter subtropisch bis tropischer Bildungsbedingungen zu solchen des ausgesprochen wechselfeuchten Typs. Berücksichtigt man die Kapung der ersten Rotlehmgeneration auf der Raxlandschaft und die danach folgende nochmalige klimatische Ermöglichung einer Rotlehmmentstehung (zweite Generation), so muß zwischen den zwei Rotlehmphasen eine stärkere klimatische Zäsur liegen, denn die Erosionstätigkeit im Rahmen des Klimas einer Feuchtsavanne kann in der Folgezeit keinen so unterschiedlichen, viel weniger rube-fizierten Rotlehm schaffen, da müßte ein der ersten Rotlehmgeneration ähnlicher, wenn nicht gleicher Bodentyp zustande kommen. So gesehen kann die markante Erosionsphase zwischen erster und zweiter Rotlehmgeneration nur als Auswirkung einer trockenen Phase aufgefaßt werden, in der sich das Schichtfluten voll entfalten konnte, wodurch auch die allochthonen B-Horizonte zustande

kamen. Es ist angezeigt, diese Erosionsphase in ein semiarides Klima mit 2—4½ humiden Monaten zu legen. Da die Rubefizierungsmerkmale mit 7.5 YR 4/3 (F. SOLAR 1964, S. 30) der zweiten Generation bedeutend schwächer sind, kann zu deren Bildungszeit ein mediterranes Klima angenommen werden. Die Kappung der zweiten Generation indiziert bereits deutliche kaltzeitliche Einwirkung unter Zurücklassung einer größeren zeitlichen Lücke. Ähnliche Abfolgen des jungtertiären Klimas hat W. SZAFFER (1961, S. 183—185) herausgearbeitet. Seine miozänen Vollzyklen gliedern sich jeweils am Beginn in ein trockenes semiarides Klima, es folgt ein Mittelmeerklima, dann ein warmes (sogar subtropisches) ganzjährig feuchtes Klima, das wieder von einem Mittelmeerklima abgelöst wird, schließlich stellt sich wieder ein trockenes semiarides Klima (BS-BW Klima) ein. Vier solcher Zyklen hat SZAFFER während des polnischen Miozäns herausgearbeitet. Die klimatische Abfolge der Bildungsbedingungen für die Rotlehme der Rax erlaubt hinsichtlich ihrer stratigraphischen Altersstellung nur eine grobe Abgrenzung. Da für das Pannon bereits eine weitgehende Annäherung an ein sommertrockenes mediterranes Klima anzunehmen ist, kann es als wahrscheinlich betrachtet werden, daß die Bildung der ersten Generation in präpannonischer Zeit stattfand. Alle diese paläoklimatischen Erwägungen basieren auf der Vorstellung eines horizontalen und zeitlichen Klimawandels. Bei der Umwandlung Braunlehm-Rotlehm kann es sich nicht um einen höhenzonal bedingten Wandel handeln, da der geringe primäre Heraushebungsbetrag der Raxlandschaft in einem wechselfeuchten Klima in der Höhenlandschaft noch keine ganzjährige Befeuchtung bewirken konnte.

Neben der allgemeinen paläoklimatischen Aussagekraft der Rotlehme der Rax gewinnt aber vor allem der Lagebezug dieser Reliktböden an eminenter morphogenetischer Bedeutung. Der Rotlehm ist vorwiegend als Unterlage der Terra fusca ausgeprägt. Er ist inselförmig verbreitet, tritt sowohl in Kuppen-, Hang- und Muldenlage auf. Besonders mächtig sind die Augensteinrotlehme auf dem höher gelegenen Westteil der Rax, z. B. auf der Ebenheit des Haberfeldes (F. SOLAR 1964, S. 45) und im Bereich der Kote 1742 m ausgeprägt. Die heutige inselhafte Verbreitung der Rotlehme zeigt jedoch zur Bildungszeit eine geschlossene weitverbreitete Rotlehmdecke aus Augensteinmaterial an, die sich über Kuppen, Mulden und Ebenheiten in gleichem Maße breitete. Diese Tatsache muß eine Revidierung der herrschenden Anschauungen nach sich ziehen. Bis jetzt war man gewohnt, die roten Böden der Rax als Terra rossa Bildungen anzusprechen, also als Ergebnisse der Kalkrückstandsverwitterung. N. LICHTENECKER (1938, Taf. I) erklärt so ein Bodenphoto vom Trinksteinboden (1860 m), bei dem die Augensteine in Verbindung mit dem Rotlehm zu sehen sind. Er spricht von Augensteinen in der Terra rossa. Wie man sieht, eine Umkehrung der tatsächlichen genetischen Verhältnisse. Wie eingangs gezeigt wurde, hat der Wettersteinkalk infolge seiner sehr geringen Rückstände im Laufe der Bodenbildungsgeschichte überhaupt keine Böden gebildet. Dies gewohnte Terra rossa-Bild ist nun zu Gunsten der Augenstein-Rotlehmverwitterung zu streichen. Die Existenz einer zur Bildungszeit der ersten Rotlehmgeneration noch geschlossen verbreiteten Augensteindecke veranlaßt sofort, auf die Vorgänge der Entstehung des Augensteinmaterials einzugehen. Es ist dies eine Fragestellung, die durch die modernen bodenkundlichen Diagnosen in den Vordergrund gerückt wurde. Bei dem früher herrschenden Terra rossa-Bild beschränkte man die Aufmerksamkeit auf die sporadischen blanken Augensteinvorkommen (Streu-

funde), für deren Erklärung sich freilich andere Kräfte heranziehen ließen als bei dem nunmehrigen Bilde einer einst hautförmigen Verhüllung des Kuppenkarstes der Raxlandschaft mit Augensteinmaterial, worauf die Verbreitung der Rotlehmverwitterung eindeutig schließen läßt. Besonders dann ist dieser Rückschluß von Wert, wenn die Verwitterung der C-Horizonte der Rotlehme derart stark ist, daß das Ausgangsmaterial der alten Bodenbildung mit oberflächlichen makroskopischen Methoden gar nicht mehr erkannt werden kann und sich überall der Trugschluß einer Kalkverwitterung anbietet, während doch der Bodentyp der Rotlehme auch in diesen Fällen die einstige Verbreitung einer alten kristallinen Sedimenthülle über dem Kalkrelief beweist. G. GÖTZINGER (1913, S. 57) hat sich in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts intensiv des Augensteinproblems angenommen, also der Frage, wie die Schotter und Sande, die heute auf der Raxlandschaft liegen, dort hingelangten. Da die Augensteine auf den Ebenheiten des Kuppenreliefs besonders häufig auftreten, glaubte er, daß die Augensteine mit einer lateralerosiven Formung dieser Ebenheiten in einem kausalgenetischen Zusammenhang stünden. N. LICHTENECKER (1938, S. 76) betont, daß die Augensteine auch auf den Kuppen, die sich über die örtlichen Verflachungen erheben, auftreten, womit die Augensteine nicht mehr in einem Äquivalenzverhältnis zu der Gestaltung der Ebenheiten stehen können, sondern als Abkömmlinge einer höheren, heute nicht mehr bestehenden Ausgangslandschaft aufgefaßt wurden. Dabei stützt er sich besonders auf die oben konvexe und unten konkave Hanggestaltung der Kuppen, wie sie besonders markant an der Abdachung der Heukuppe (2009 m) gegen das Karl Ludwighaus entgegentritt. Solche Hangprofile drängten LICHTENECKER zur Anschauung, daß das Kuppenrelief der Raxlandschaft nicht durch Einebnung eines höheren Gebirges, sondern nur infolge einer Hebung geschaffen werden konnte, die zur Zerschneidung einer ursprünglich noch flacheren Landschaft führte. LICHTENECKER nimmt aber nicht Stellung zu dem wesentlichen Problem, auf welche Weise, durch welche morphologischen Kräfte die Augensteine von der Aufschüttungslandschaft (Augensteinlandschaft), von der heute nichts mehr vorhanden sein soll, bei einer erosiven Zerschneidung des Kalksockels dieser Aufschüttungslandschaft auf die Kuppen der Raxlandschaft kamen. Gerade die Kuppenposition der Augensteine zieht LICHTENECKER als Beweis heran, daß die Augensteine von Flüssen transportiert wurden, die der Kuppenlandschaft nicht angehörten, sondern einer Landschaft, die deren Vorläufer war. In diesem Falle aber, wenn die Kuppen aus einer höheren Rumpffläche durch fluviatile Arbeit modelliert wurden, also gänzlich neu geformt werden mußten, ist es unverständlich, daß die gleiche Erosion, welche die Vollformen als Fernlinge übrig ließ, die am leichtesten abtragbare Sedimentdecke auf den Kuppen nicht angegriffen hat, wo sie doch kompakten Wettersteinkalk über der heutigen Kuppenhöhe entfernte. Die Augensteine aber haben das Hangende der erodierten Felsmassen eingenommen. Der Fels konnte nur dann erosiv angegriffen werden, wenn die hangende Schotterschicht der Augensteine bereits erosiv entfernt war, womit LICHTENECKERS Anschauungen widerspruchsvoll erscheinen.

A. WINKLER-HERMADEN (1957, S. 580) muß es zu Gute gehalten werden, daß er den Widerspruch der erosiven Zerstörung einer einstigen Flachlandschaft bei gleichzeitiger Erhaltung einer Sedimentdecke an sich begründen konnte. Zunächst stellt WINKLER (1957, S. 579) eine Zugehörigkeit der Augensteinschotterdecken zum Miozän des Ennstals fest. Beide sind nicht nur durch gleiche Gesteinstypen, sondern auch durch die Politur der Gerölle gekennzeichnet.

Er stuft den Augensteinschotter in das Unterhelvet ein und nimmt als Urform für das älteste jungtertiäre Relief (Raxlandschaft) eine Oberfläche an (Augensteinlandschaft), die durch postsavische Bewegungen angelegt und durch im wesentlichen burdigalische Denudation ausgestaltet wurde. Die Vergesellschaftung von eckigen und gerollten Radiolariten sowie Quarzaugensteinen, die sekundär in Spalten und Klüften der Dachstein-Altlandschaft angereichert sind, deutet WINKLER durch die Annahme, die Augensteinschotterdecke wäre unmittelbar einst den Juraschichten aufgelagert gewesen. Er rekonstruiert aus der Tatsache, daß am Roßboden, am Südrand des Steinplateaus, Radiolaritbrekzien und Gerölle in Form von Spaltfüllungen auftreten, ein Dachsteinkalkgewölbe, das zur Zeit der Augensteinschotterablagerungen am Scheitel noch eine jurassische Radiolaritdecke getragen haben mußte, wobei die Auflagerungsfläche der Augensteine auf dem Jura 400—500 m über der heutigen Plateauhöhe zu suchen sei. Gesteinsmassen von solcher Mächtigkeit mußten nach WINKLER (1957, S. 581) zusammen mit einer noch mehrere 100 m mächtigen Augensteinschotterdecke abgetragen werden, wonach sich erst völlig neu die Raxlandschaft entwickeln konnte. Die Tatsache, daß die heutigen Sekundärpositionen der Radiolaritaugensteine in den Klüften, die nahe der höchsten Altlandschaft senkrecht in die Luft austreichen, nur dann erklärt werden können, wenn die Hilfsvorstellung eines durch Schächte durchsetzten einstigen Trias-Juragewölbes hinzukommt, das später zusammen mit den Schächten bis auf die untersten Pakete und Schachtstumpen gekappt wurde, ist an sich einleuchtend, aber nicht zwingend. Ein derartiger Mechanismus würde die Übertragung der Augensteinschotter von der hypothetischen Augensteinlandschaft auf die Raxlandschaft erklären trotz deren erosiver Neuformung. Im Falle der Kuppenlandschaft in seiner deutlichsten Ausprägung vom Hochschwab bis zur Raxalpe würden die Sedimentdecken mit ihrer Rotlehmprägung auf den Kuppenhäuptern für ihre Ableitung aus der Augensteinlandschaft die teleologische Annahme benötigen, daß über jeder Augensteine tragenden Kuppe sich einst ein Schacht inmitten eines später abgeschnittenen Gesteinspaketes befand, damit die Augensteine auf die Kuppenhöhe abgelassen werden konnten. Bei derartig zwanghaften Vorstellungen soll die Möglichkeit solcher Bildungsweisen, wie sie WINKLER annimmt, in seltenen Einzelfällen nicht negiert werden, wenngleich die ehemals entfernten Gesteinschichten in so großer Mächtigkeit aus der Tatsache der Radiolaritfunde allein auch da abzulehnen ist. Das beste Beispiel, daß die Juraradiolarite keine schematische Rückrechnung über tertiäre Abtragungsbeträge im Dachsteinkalk ermöglichen, lieferte in letzter Zeit A. TOLLMANN (1962) in eindeutiger Weise. Schon durch O. AMPFERERS Untersuchungen sind am Zinödlplateau (Hochtorgruppe des Gesäuses) viele Reste von Augensteinfeldern mit blanken, dunklen Erzstücken bekannt. TOLLMANN (1962, S. 343) entdeckte fossilienführende Pseudoaugensteine von quarzitischem Habitus an der Nordostabdachung der Ebenheit in einer Dolinengasse (2100 m). Seine Analysen ergaben nun, daß es sich bei diesen „Augensteinen“ mit quarzitischem Habitus um stark zersetzte Juraradiolarite handelte. Als Fossilien traten jurassische Brachiopoden auf. Wesentlich ist nun die Tatsache, daß die Dolinenwände, in deren Bereich der obige Fundort liegt, zeigen, daß Manganerz- und brachiopodenführender Liaskalk mit Hierlatz- und Adneterkalktypen an dem gebankten Dachsteinkalk diskordant ansetzt, wonach eindeutig eine tiefreichende präliassische Karstgasse im Dachsteinkalk angelegt wurde, in die im Lias die Radiolaritkalke sedimentiert wurden. Diese Verhältnisse zeigen sehr schön, daß zur Erklärung der heutigen

Position der Jurahornsteinaugensteine durchaus keine generellen Abtragungsbeträge von 500 m für im Liegenden des Juras befindliche Dachsteinkalkpakete angenommen werden müssen, womit das Hauptargument WINKLERS für eine gänzliche Neuformung der Raxlandschaft aus der Augensteinlandschaft entkräftet wird. Im Falle der Kuppenlandschaft kann der Winklersche Schachtsiebmechanismus nicht das Hauptagens für das Überkommen der Augensteindecken sein. So finden sich auf den Kuppenscheiteln der Rax normale Sedimentauflagerungen ohne Einstreuung in Schachtstumpen. Überdies bedingt die Vorstellung WINKLERS der Abführung der Augensteinschotter durch mehrere 100 m tiefe Schächte zur Zeit der Sedimentation einen Karstwasserspiegel, der sehr tief unter dem Vorfluter der Augensteinschwemmfächer gelegen haben muß. In dieser Hinsicht ergeben sich auch große Schwierigkeiten hinsichtlich der karsthydrographischen Verifizierung der Winklerschen Anschauung, dem wohl das Bild der heutigen karsthydrographischen Verhältnisse in den Kalkalpen vorgeschwebt haben mag. Heute ist eine Umlagerung der Augensteine durch Schächte bis zu den höherrangigen Vorfluten der tiefen Talsohlen ohne weiteres möglich und kann auch hie und da beobachtet werden. Aber nur deswegen, weil infolge der heutigen Summenwirkung der Kalkalpenhebung die Karsthydrographie mit umgekehrten Vorzeichen wie zur Augensteinzeit verläuft. Das wesentlichste Moment in WINKLERS Theorie ist neben der Abtragung der Augensteinschotterdecke eine solche des Felskernes. Es ist ein Hauptgrund, daß er die Raxlandschaft als ein System auffaßt, daß dem vö l l i g e n Ausklang des großen oberhelvetisch-tortonisch-altarmatischen Denudationszyklus angehört. WINKLER (1957, S. 582) folgert, daß eine Erhaltung von Oberflächen aus der altmiozänen Augensteinzeit des Burdigals oder älteren Helvets nicht möglich ist, weil im Zuge der steirischen Hebungsphasen auch Felskerne abgetragen werden mußten. Man sieht, wie die stereotype Annahme der abgetragenen Felskerne auch die Datierungsfrage bestimmt.

Das Bild der Paläoböden der Rax zeigt uns, dies sei noch einmal hervorgehoben, daß zur Zeit der morphologischen Ausgestaltung der Raxlandschaft noch eine geschlossene Sedimenthaut das Kuppenrelief mit all seinen Voll- und Hohlformen überzogen hat. Dies ist ein Erscheinungsbild, das im krassen Widerspruch zu sämtlichen bisherigen Ableitungstheorien steht. Eine derartige Hülle kann nur dann erhalten bleiben, wenn keine erosive Neugestaltung durch den Abtrag von Felskernen stattfand. Vergegenwärtigt man sich zunächst die Petrographie des Augensteinmaterials, nämlich deren Abkunft aus den kristallinen Zentralalpen, so handelt es sich dabei um Schwemmfächer, die der Karsterosion nicht unterlegen sind, die aber über einem verkarstungsfähigen Felssockel von Wettersteinkalk gebreitet waren. Die Schwemmfächer der Augensteinlandschaft waren infolge ihrer grobklastischen Bestandteile wasserdurchlässig. An der Grenzfläche Felssockel - Lockermaterial waren die Ansätze einer gleichmäßigen Korrosion gegeben. In diesem bedeckten Karst mußten die ersten Wellungen des Felssockels bereits in burdigalisch-unterhelvetischer Zeit zustande gekommen sein. Die folgenden steirischen Hebungsphasen bewirkten den unvollständigen Abtrag der Schwemmfächer. Bereits während der Hebungen mußte sich die Tiefenkorrosion an der Grenze des begrabenen verkarstungsfähigen Felssockels zur unlöslichen Augensteinschotterdecke stärker auswirken und griff da auch in Schwächezonen der Gesteine ein, wobei eine kräftige Lösung unter Begünstigung feuchter rand- und subtropischer Klimate des Oberhelvets und Torton vor sich ging. Wesentlich ist, daß nach unserer Vorstellung die Korro-

sion sich während und besonders gleichzeitig mit der durch Hebung bewerkstelligten erosiven Abräumung der Schotterdecke abspielte. So gesehen stellt die Raxlandschaft einen aufgedeckten Karsttyp dar, dessen Initial- und Hauptformung als Ergebnis eines korrosiven Grenzflächeneffektes der Augensteinlandschaft aufgefaßt werden kann. Der typische Kuppenkarst der Raxlandschaft bildet mit seinen korrosiven, tieferen talähnlichen Formen eine geschlossene und exhumierte Grenzflächeneinheit aus der Zeit der Bedeckung, aber auch aus jener der Abräumung der Schotterdecke. Damit kann die Raxlandschaft nicht mehr als ein Produkt eines getrennt-zyklischen Geschehens in bezug auf die Augensteinlandschaft im Sinne der älteren Literatur angesehen werden. Das Alter der Raxlandschaft kann unter dieser Annahme der Bildungsvorgänge als postsavisch angesehen werden.

J. BÜDEL (1951, S. 170) weist kurz auf die bereits von LICHTENECKER festgestellte, aber anders interpretierte Konvexmorphologie der Kuppen hin und stellt mit Recht eine fluviatile Erklärung der Voll- und Hohlformen in Abrede, wenn er auch keine Begründung dafür gibt. Viel eher möchte BÜDEL hier einen miozänen Kegelkarst sehen. Aber schon 1913 war G. GÖTZINGER (S. 45) dem Problem der Kuppenlandschaft nahe gerückt. Er erkannte, daß die Kuppen das Ergebnis einer Abtragung seien, die anders als die heutige war. Er meinte: daß zur Zeit der Entstehung der flachen Kuppen die Bedingungen der Entwicklung des Karstphänomens noch nicht bestanden haben konnten. Es mußte nach GÖTZINGER das Grundwasser sehr viel höher über der heutigen Landoberfläche bestanden haben als heute. Die Bildung der glatten Hänge erfordert die Entwicklung von zusammenhängenden Schuttdecken. Freilich konnte GÖTZINGER damals keine Vorstellungen des tropisch-subtropischen Karstformenschatzes haben. Eher verband sich bei ihm der Karstbegriff entsprechend der damaligen Zeit mit dem Begriffsinhalt der dinarischen und rezenten alpinen Verkarstung, so daß er bei den einfachen, oft isolierten Kuppen den Karstbegriff überhaupt nicht angewendet wissen wollte. Deutlich tritt aber bei ihm das Kriterium der Verhüllung des Reliefs entgegen, wodurch die glatten Hänge entstanden. Weil er an Schutt dachte, trat der Konnex mit den Augensteinen in den Hintergrund.

Ob nun, wie BÜDEL (1951, S. 170) meint, die Raxlandschaft einen relikten Kegelkarst darstellt, wobei sich die Kuppen nachträglich aus Kegelformen entwickelt haben mußten, ist nach unseren Erwägungen unwahrscheinlich. Der einst durch Bedeckung entstandene Kuppenkarst der Raxlandschaft kann als die primäre Formenwelt angesehen werden. Gerade in letzter Zeit wurden wir vor allem durch V. PANOŠ (1964) an Hand des Urkarstes im Ostflügel der Böhmisches Masse über heute noch begrabene oder teilweise bedeckte Karstreliefs ausgezeichnet unterrichtet. Besonders instruktiv ist das bedeckte Karstgebiet von Hranice (PANOŠ 1964, S. 125)! Eine durch geoelektrische Messungen zustande gekommene Karte zeigt eindrucksvoll das Kuppenkarstrelief unter der Tertiärbedeckung. PANOŠ betont auch, daß bei der Bildung des Kuppenkarstes ein hoher Karstwasserspiegel vorlag. Daß auch zur Bildungszeit der Raxlandschaft ein hoher Karstwasserspiegel angenommen werden muß, zeigt die Morphologie verschiedener Schächte. Typisch sind z. B. der Jakobskogelschacht und der Schwaigriegelschacht (MRKOS 1960, S. 146). Besonders bei letzterem tritt eine tektonische Anlage sehr in den Hintergrund. Er erreicht eine Tiefe von 84 m und weist zwei Absätze auf. In 60 m gabelt er sich mehrmals röhrenförmig. Gegen den Schachtgrund aber schließen sich die Röhren wieder zum Hauptschacht zusammen, der unvermittelt im Anstehenden endet. Das Querprofil

ist elliptisch, die Seitenwände größtenteils überhängend und ausgebaucht, so daß die Leitern stets frei hängen. Im großen und ganzen liegt eine birnenförmige Gestaltung der Schächte vor, die mit Ausnahme des Lechnermauernschachtes nur an geringfügige Schwächezonen oder Inhomogenitäten des Wettersteinkalkes gebunden sind. Eine einige Dekameter tiefgründige, mit der Bildung der Raxlandschaft einhergehende Kalklösung bei weitgehender Querschnittsfüllung durch das Karstwasser war die Hauptkraft der Schächtebildung dieser alten Höhlengeneration, in der sich, wie im sackförmigen Jakobskogelschacht, massenhaft kristallines Rotlehmmaterial, das sekundär eingeschwemmt wurde, einstellt. Eine alte wabenartige Korrosion überzieht die aufgemürbten Überhänge.

Sobald von dem Kuppenrelief das unterhelvetische Schwemmfächermaterial derart abgetragen war, daß nur mehr eine geringe Dicke desselben das Kuppenkarstrelief umhüllte, erfolgte die tiefgründige Zersetzung des kristallinen Schotter, der über dem Kalk liegt; die Braun-Rotlehm Bildung der ersten Paläobödenegeneration trat ein. Nun setzten bei entsprechender Bodenreife für die Verkarstung der Raxlandschaft völlig geänderte Bedingungen ein. Die Matadero-Horizonte wirkten wie eine Isolationsschwarte. Sie entzogen das primäre Kuppenkarstrelief (in vielen Fällen bis zum heutigen Tage) dem weiteren Angriff der Atmosphärien und der weiteren Verkarstung. Auf solche Karsthemmungsvorgänge verwies eindrucksvoll S. MORAWETZ (1965, S. 164). Die Matadero-horizonte sind infolge ihrer dichtmachenden Eigenschaften weitgehend wasserundurchlässig. Sie stellen den Hauptgrund für die gute Erhaltung des alten Karstes dar. Andererseits bildeten diese kristallinen Verwitterungsschwarten der Augensteindecke infolge ihrer Unlöslichkeit und ihrer Undurchlässigkeit in den Furchen des Kuppenkarstes (den negativen Grenzflächenbereichen) zahlreiche Erosionsbasen aus, von denen aus unter teilweiser Beteiligung von Abspülungsvorgängen, vorwiegend aber durch laterale Korrosion, die Kuppenlandschaft mannigfach mit Gesimsen, Verflachungen und größeren Verebnungen überzogen wurde, wobei die Höhenlage dieser Niveaus stark schwankt. Diese Kleinststockwerke innerhalb des höchsten Kuppenreliefs der Raxlandschaft lassen sich auf diese Weise zwangloser erklären als durch eine allzu starke piedmontförmige Aufgliederung der höchsten Teile der Raxlandschaft. Ob diese Matadero-horizonte durch langwirkenden Wasserstau auch die weitflächigen Randebenheiten entstehen ließen, die über den Vorfluterniveaus gebildet wurden, läßt sich für die Rax noch nicht beantworten. Es ist dies jedoch denkbar, wenn wir die eingangs erwähnte Klimaabfolge beachten und vergegenwärtigen, daß die erste Rotlehm Bildung nach unseren Erwägungen ohne weiteres im Präarmat eingesetzt haben konnte. Bei Betrachtung der miozänen Klimazyklen W. SZAFERS (1961) erscheint besonders sein Obertorton- bis Untersarmat-Zyklus für eine Einstufung der Rotlehme von Bedeutung. Es ist möglich, daß während der trockenen und mediterranen Teilphasen am Beginne dieses Zyklus eine besonders wirksame Abtragung der Augensteine während der Hebungsvorgänge stattfand. In der immer- und wechselfeuchten Phase aber schloß sich die Braunlehm Bildung und deren Umprägung zum Rotlehm an, wobei die anschließende aridere Teilphase im Untersarmat die Kappung der ersten Rotlehmgeneration samt ihrem Muttergestein bewirkte, wonach im Obersarmat oder während des Palmengrenzklimas des Pannons die jüngere Rotlehmgeneration zur Entwicklung gekommen sein kann. Dieser Datierungsversuch weicht von F. SOLARS (1964, S. 32—34) Datierungsversuch ab, der sich an das Winklersche Schema halten mußte, so daß er eine erste Bodenbildung erst nach der im Sarmat beendeten

Formengebung für möglich hielt. Bei den Erklärungsversuchen enthielt ich mich eines generellen Aufwerfens der Frage einer Verstellung verschiedener gleichalter Schollen in der Raxlandschaft bzw. eines Eingreifens verschieden alter Flächensysteme, weil diese Problemstellung für den Zusammenhang Raxlandschaft—Augensteinlandschaft bereits als sekundär erscheint. Es sei aber bemerkt, daß auf dem 300 m tiefer als die Altlandschaft der Rax gelegenen Grünschacherplateau noch gekappte Mataderohorizonte sich einstellen.

In dieser Hinsicht hat auch das mächtige Augensteinlager mit Matadero-Braunlehmprägung in der Nixhöhle bei Frankenfels (H. RIEDL, 1960) einige Bedeutung. Diese Höhle liegt ca. 15 km südlich des nördlichen Alpenrandes in den Kalkvoralpen nahe ihrer Grenze zur schmalen Flyschzone. Es ist unmöglich, für die Ablagerung der Augensteinlehme in den Klüften der Nixhöhle eine mannigfache fluviatile Umlagerung im Sinne sekundärer und tertiärer Lagerstättenpositionen heranzuziehen. In einem solchen Falle könnten nur blanke Augensteine abgelagert werden, aber nicht die hochplastischen Zersatzhorizonte, deren Rohtonbestandteile sich unter fluviatiler Saigerung auflösen müßten. Nur eine geringe Umlagerung durch gravitative Gerinnarbeit kann stattgefunden haben. Die Lehmhorizonte sind hauptsächlich entlang der steilstehenden, einst mit der Augensteinlandschaft kommunizierenden Klüfte durch Gleitbewegungen in die Hohlräume verfrachtet worden. Heute liegt über der Höhle ein ältestpleistozänes, talgebundenes System (640 m). Erst 200 m darüber setzen sich die Rücken und kammartigen Reste einer großen Fußfläche sowohl über das Tal des Nattersbaches als auch über Kalk und Flysch im gleichen Maße hinweg. Dieses Hauptniveau streicht hoch über dem Alpenvorland aus. Bis jetzt sind von dieser Fläche keine Augensteine, Braun- oder Rotlehme bekannt geworden, weil sie auch kaum unter der eine geschlossene Grünland- und Waldbedeckung tragenden Terra fusca auftauchen können. Trotzdem ist es wahrscheinlich, daß hier der nördliche Saum der Augensteinlandschaft vorliegt, der durch das jungpliozäne Kräftespiel wieder aufgedeckt und umgeformt wurde.

Andererseits sind die Verhältnisse am Rande des südlichen Alpenvorlandes durch die Untersuchungen von H. PASCHINGER (1965) durchsichtiger geworden. Er stellte eine vorpannone Karstlandschaft an der Devonkalkumrahmung des Thalerbeckens in einer Höhenlage von 580—680 m fest, deren Karstniveaus mit den aufgesetzten Kuppenformen vermutlich im feuchtwarmen subtropischen Klima des oberen Miozäns gebildet wurden. Pannonische Verschüttung und oberpliozäne Wiederaufdeckung schaffen ein kompliziertes Geschehen. Die kuppige Formenwelt der höchsten Niveaus der Umrahmung des poljeähnlichen Thalerbeckens erinnern etwas an die Raxlandschaft der nördlichen Kalkalpen. Bedenkt man den Höhenintervall zur Raxlandschaft, die z. B. nach WINKLERS (1957, S. 554) Ansicht am Schöcklplateau (1445 m) auftritt, so ergibt sich bei annähernder zeitlicher Äquivalenz ein Höhenunterschied der beiden Systeme von rund 750 m, der für den Hebungsmechanismus des Gebirges ein großes Problem schafft. Nach unseren Überlegungen ist es jedoch wahrscheinlich, daß die hochgelegene Raxlandschaft des Randgebirges älter als Sarmat ist, wonach sich eine miozäne Piedmonttreppe noch bis zu den Beckensäumen hinunter abbildet, die in den tieferen Abschnitten, wie durch die mehrfache Koinzidenz mit meist pliozänen und postpliozänen Abtragungsniveaus angezeigt wird, exhumiert wurde. Es ergibt sich zwangsläufig eine komplizierte Interferenz alter und moderner Piedmonttreppebaustile. Jedenfalls ist das Bild eines einfachen Jüngerwerdens der Piedmontflächen nach unten zu schematisch. Grundsätzlich

dürften am Südrand ähnliche Verhältnisse wie am niederösterreichischen Alpen-nordrand herrschen, wo sich noch tiefe miozäne Beckensau Landschaften einstellen.

Besonders günstige Verhältnisse, die ein höheres Alter der Raxlandschaft indizieren, als bisher durch die Schule WINKLERS angenommen wurde, bieten sich in der niederösterreichischen Waschbergzone dar, die von der Wiener Pforte zwischen außeralpinem und inneralpinem Wiener Becken nach Südmähren zieht. Zusammen mit den markanten eingeschuppten Juraklippen wurde die oligozäne Hülle dem Helvet der außeralpinen Molasse aufgeschoben. Die von Obermalmkalken aufgebauten Leiserberge (H. RIEDL, 1960, S. 67) tragen eine Altlandschaft im Niveau von 450—ca. 500 m. Diese tritt teilweise in Form eines prächtig ausgebildeten Kuppenkarstes (Buschbergzug), z. T. als monotone, nach SE geneigte pulvertartige Karstebene auf. Von ihr etwas abgetrennt, tritt der Oberleiserberg als Schildkarstinselberg entgegen. Die Formung dieser das gesamte tertiäre Hügelland zwischen Karpaten und Böhmischer Masse krönenden Altlandschaft muß sich an der Wende Helvet-Torton abgespielt haben. Sie kann nur nach der helvetischen Aufschiebung eingesetzt haben. Da andererseits in 400 m Höhe an den Westhängen der Leiserberge Abrasionsplattformen mit Strandbrekzien liegen, und bereits präortonische Talungen die Rumpfflächen gliedern, muß die Altlandschaft älter als Torton sein. Im Sarmat drang das Meer in das außeralpine Wiener Becken nur in Form schmaler präarmatisch angelegter Rinnen ein, es fand aber keine Transgression auf den hohen Karstniveaus statt. Auch die terrestrische Akkumulation durch den Vorläufer der Donau erreichte im Pannon die höhere Raxlandschaft nicht mehr. Aufschlüsse der Kalkebenenheiten (Klafterbrunn) zeigen einen heute noch weitgehend begrabenen Kegelkarst mit tiefen Verwitterungsgassen, die von stark zersetztem sandigem Material der einst im Hangenden auf den Kalk aufgeschuppten Oberkreidefetzen ausgefüllt werden. Auffällig sind auch die karsthydrologischen Verhältnisse. Die meisten Karstquellen liegen an der 400 m Isohypse. Die Karstgefäße zeigen auch heute noch die Einstellung auf den alten tortonischen Vorfluter, obwohl die rezenten Talsohlen rund 150 m tiefer liegen. Es ist dies ein Hinweis, daß der teilweise begrabene Kegelkarst der Altlandschaft z. Zt. der tortonischen Transgression bereits vorhanden war. Die Abspülvorgänge des Obertortons und Sarmats bewirkten in der Raxlandschaft der Leiserberge eine Reduzierung der Kreideverwitterungsprodukte und deren tiefgründige Zersetzung. Randlich wurde der begrabene Karst im Sinne von Spülpedimenten zugestutzt. Es entstanden die glatten geneigten Ebenheiten wie am Oberleiserberg. Besonders die kaltzeitliche Solifluktion aber bewirkte die randliche Aufzehrung der Ebenheiten, die starke Schuttproduktion und verstärkte Exhumierung einiger Karstkegel samt deren randlicher Karstgassen (Klafterbrunn). Exhumierte Karsttürme treten besonders prächtig im Staatzer Burgberg bei Laa a. d. Thaya, jener heute völlig isolierten, einst von Helvet und Torton umschlossenen, kegelförmigen Juraschuppe, entgegen. Um die in dem am Südflügel der Malmkalkschuppe durch einen Steinbruch aufgeschlossenen, bis zu 15 m tiefen und mehrere m breiten Lösungsgassen gruppieren sich mehrere stark konvexe Karsttürme mit wabenartig korrodierten Oberflächen und aufgemürbtem Gesteinshabitus. Wenn man von der Waschbergzone etwa 45 km über das tertiäre Hügelland des Weinviertels nach Westen wandert, so gelangt man im Bereiche eines über 500 m gelegenen Randniveaus der Böhmisches Masse in das Gebiet einer exhumierten oligozänen Rumpffläche, auf der noch

eine weiße, über 10 m mächtige Kaolindecke (WIEDEN, 1964) aus Bitteschen Gneis beim Orte Mallersbach erhalten ist, womit man bereits einen unter kerntropischen und feuchtheißen Bedingungen gebildeten Flächenstil betreten hat, der noch vor der Bildung der Augensteinlandschaft angesetzt werden muß.

Zum Schlusse sei festgehalten, daß es vor allem darum ging, die Problemstellung, die durch das Verhältnis der Raxlandschaft zur Augensteinlandschaft erwächst, an Hand der jüngsten pedologischen und morphologischen Arbeiten zu aktualisieren. Das Ziel dieser Überlegungen, die den Charakter einer Zwischenbilanz haben, kann nur in der Schaffung einer Diskussionsgrundlage beruhen.

#### Literatur:

- BAKKER, J. P.: Some observations in connection with recent Dutch investigations about granite weathering and slope development in different climates and climate changes. Zeitschr. f. Geomorphologie. Suppl. Bd. I, Berlin-Nikolassee 1960, S. 69 bis 92.
- An inguiring into the probability of a polyclimatic development of peneplains and pediments (etchplains) in Europe during the Senonian and Tertiary Period. Publicaties van lat. Fysisch-Geografisch Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam. Nr. 4, 1964, S. 27—76.
- BÜDEL, J.: Fossiler Tropenkarst in der Schwäbischen Alb und den Ostalpen, seine Stellung in der klimatischen Schichtstufen- und Karstentwicklung. Erdkunde, Bd. V, Bonn 1951. S. 168—170.
- GÖTZINGER G.: Zur Frage des Alters der Oberflächenformen der östlichen Kalkhochalpen. Mitt. Geogr. Ges. Wien, 1913, S. 39—57.
- KURZ, W.: Die Landformung der Kalkalpen an der oberen Mürz. Geogr. Jahresber. aus Österreich, XXIX. Bd., Wien 1963, S. 2 — 39.
- KUBIENA W. L.: Über Reliktböden in Spanien. Angewandte Pflanzensoziologie — Festschr. Aichinger, 1. Bd., Klagenfurt 1954, S. 213—224.
- Über die Braunlehmrelikte des Atakor (Hoggar-Gebirge, Zentral-Sahara). Erdkunde, Bd. IX, H. 1/4, Bonn 1956, S. 115 bis 132.
- Materialien zur Geschichte der Bodenbildung auf den Westkanaren. Vie. Congrès International de la Science du Sol, Paris 1956. S. 241—246.
- LEVELT, Th. W. M.: Die Plateaulerme Süd-Luxemburgs und ihre Bedeutung für die morphogenetische Interpretation der Landschaft. Publicaties van det Fisisch-Geografisch Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam, Nr. 6, 1965, S. 7—215.
- LICHTENECKER N.: Die Rax. Geogr. Jahresbericht aus Österreich, XIII. Bd., Wien 1926, S. 150—170.
- Beiträge zur morphologischen Entwicklungsgeschichte der Ostalpen. I. Teil: Die nordöstlichsten Alpen. Geographischer Jahresbericht aus Österreich XIX. Bd., Wien 1938, S. 1—82.
- MORAWETZ, S.: Zur Frage der Dolinenverteilung und Dolinenbildung im Istrischen Karst. Pet. Geogr. Mitt., Gotha 1965, S. 161—170.
- MRKOS, H.: Der Schwaigriegelschacht auf der Rax. Höhlenkundliche Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde in Wien u. N.Ö., 16. Jg., H. 12, Wien 1960. S. 146.
- PANOŠ, V.: Der Urkarst im Ostflügel der Böhmischen Masse. Zeitschr. f. Geomorphologie, 8. Bd., Berlin-Nikolassee 1964, S. 106—162.
- PASCHINGER, H.: Klimabedingte Oberflächenformen am Rande der Grazer Bucht. Geogr. Zeitschr., 53. Bd., Wiesbaden 1965, S. 162—170.
- RIEDL, H.: Beiträge zur Morphologie des Gebietes der Leiser Berge und des Falkensteiner Höhenzuges. Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., Bd. 102, Wien 1960, S. 65—76.
- Formengebung und Sedimententstehung in der Nixhöhle bei Frankenfels (NÖ). Die Höhle, 11. Jg., Wien 1960, S. 33—45.
- SOLAR, F.: Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 8, Wien 1964. S. 1—71.
- SZAFER, W.: Miocenska flora ze starych glicio na slasku. Warszawa, Instytut Geologiczny, prace XXXII. Warszawa 1961.
- TOLLMANN, A.: Das Alter des hochgelegenen „Ennstal-Tertiärs“ Mitt. d. Österr. Geogr. Ges. 104. Bd., Wien 1962, S. 337 bis 347.
- WIEDEN, P.: Kaolinlagerstätte Mallersbach. Mitt. d. Geol. Ges. in Wien, Bd. 57, Wien 1964, S. 169—170.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Geologisches Kräftespiel und Landformung. Grundsätzliche Erkenntnisse zur Frage junger Gebirgsbildung und Landformung. Wien 1957, 822 S.
- ZWITTKOVITS, F.: Geomorphologie der südlichen Gebirgsumrahmung des Becken von Windischgarsten. Geogr. Jahresbericht aus Österreich, XXIX. Bd., Wien 1963. S. 40 bis 74.