

Neue Beiträge zur Geomorphologie der Nördlichen Kalkhochalpen

HELMUT RIEDL, Salzburg

Inhalt

1. Der heutige Stellenwert der klassischen alpinen Geomorphologie	81
2. Der Aspekt von Reliefgenerationen	82
3. Der morphometrische Aspekt	83
4. Der paläopedologische-sedimentologische Aspekt	85
5. Der speläologische-karsthydrologische Aspekt	88
5.1. Die Probleme im Allgemeinen	88
5.2. Das Höhlenruinenniveau	89
5.3. Das Riesenhöhlenniveau	89
5.4. Das Quellhöhlenniveau	90
5.5. Die großmorphologische Bedeutung der Höhlenniveaus	91
5.6. Die Korrelationsprobleme	92
6. Literatur	95

1. Der heutige Stellenwert der klassischen alpinen Geomorphologie

Der zentrale Fragenkreis der klassischen alpinen Geomorphologie liegt hauptsächlich in der Erklärung der Großformen der Gebirge. Obwohl manchmal die Ansicht (LICHTENBERGER, E., 1975, S. 19) geltend gemacht wird, daß die Nachkriegszeit den Theorien über die Großformengese nichts grundsätzlich Neues hinzugefügt hätte, vielfach in Zirkelschlüssen von tektonischen Vorgängen und Morphogenese verharnte und über ein völlig unzureichendes Instrumentarium aus der Zwischenkriegszeit verfügt, sollen die folgenden Ausführungen zeigen, daß die klassischen Fragestellungen in der Gegenwart sehr wohl methodologisch neuen Erkenntnissen zugänglich gemacht werden können.

Die Neusondierung der Beziehung Augensteinlandschaft-Raxlandschaft (RIEDL, H. 1966, LOUIS, H. 1968, RIEDL, H. 1977) kehrte aus paläopedologischer Sicht bereits die entscheidende Bedeutung klimamorphologischer-paläoökologischer Faktoren bei der Genese der alpinen Großformen hervor, wobei die Anwendung sedimentologischer-bodenkundlicher Methoden eine wesentlich höhere Beweiskraft zeitigte als die einfachen Vergleiche zwischen alpinen relikten Verflachungen und unter aktuellen morphodynamischen Prozessen stehenden Flächensystemen vorwiegend tropischer Breiten. Derartige Analogieschlüsse wurden in einer ersten, zielgerichteten Annäherung an die klimamorphologische Steuerung der Morphodynamik alpiner Flächentreppen bereits von der geomorphologischen Schule H. SPREITZERS (1965) getätigt, die allerdings das Hauptaugenmerk der Verifizierung des Rumpftreppenmodells (SPREITZER, H. 1951) altersverschiedener Flächensysteme schenkte. Für den Bereich der Salzburger Kalkhochalpen wurden seit der Berichterstattung durch E. LICHTENBERGER (1975, S. 16 und 18 ff) über den Forschungsstand der österreichischen Geographie, bei der die derzeitige Aufgabenstellung der klassischen alpinen Geomorphologie recht schlecht weg kam, sodaß der Eindruck entstehen konnte, sie sei überhaupt aus der „Forschungs-

front“ (– eines der modernen Schlagwörter ohne Wert) der Geographie längst ausgeschieden, mehrere neue Erkenntnisse über das Wesen der alpinen Großformen erbracht.

Es waren mehrere Betrachtensweisen, welche die Altflächenforschung über eine reine Niveaugliederung von Flächensystemen hinausführten:

a) der Aspekt von Reliefgenerationen, der nicht nur für die Ostalpen (RIEDL, H., 1977), sondern auch für die Helleniden (RIEDL, H., 1984) den Zugriff auf die Altflächen im Sinne einer komplexen morphogenetischen Gliederung ermöglichte.

b) der morphometrische Aspekt (WEINGARTNER, H., 1983, S. 150 ff), der im Zuge seiner Mathematisierung die Gesetzmäßigkeit in der Verbreitung alpiner Ebenheiten wesentlich zu erhärten vermochte.

c) der paläopedologische-sedimentologische Aspekt (RIEDL, H., 1966, 1979, S. 429 ff, WEINGARTNER, H., 1983, S. 141 ff, KNAPCZYK, H., 1984, S. 221 ff) mit seiner Filterkapazität klimamorphologischer Kriterien.

d) Der speläologische-karsthydrologische Aspekt (RIEDL, H., 1961, 1963, KNAPCZYK, H., 1984, S. 271 ff, KALS, R., 1984, S. 124 ff.), der in großräumiger Sicht als *differentia specifica* im Vergleiche morphotektonischer Modelle von Großformentreppen fungieren kann.

2. Der Aspekt von Reliefgenerationen

Versteht man unter Reliefgeneration Formen oder Formengesellschaften, die gleiches Entstehungsalter aufweisen, wobei sie weder in ihrem morphotektonischen noch in ihrem klimamorphologischen Habitus einheitlich sein müssen, so erhält man einen theoretischen Ansatz, der auch Vergleiche mit anderen Gebirgen (RIEDL, H., 1984) zuläßt. Die folgende Tabelle versucht, eine Übersicht über den derzeitigen Stand in der Kenntnis der präpleistozänen Reliefhauptgenerationen im Vergleiche zwischen Ostalpen und Helleniden zu geben.

Der aufgezeigte Vergleich läßt im Hinblick auf das Wesen der Reliefgenerationen eine grundsätzliche Aussage zu: das äußerst jugendliche Alter der hellenidischen Rumpfflächentreppe steht im großen altersmäßigen Gegensatz zur Flächentreppe der Ostalpen (RIEDL, H., 1977), obwohl in den morphogenetischen und sogar paläoökologischen Randbedingungen Ähnlichkeit besteht. Die Ursache liegt in der wesentlich früheren tektonischen Konsolidierung der Ostalpen gegenüber den jung-mobilen Helleniden. So stehen im hellenidischen Bereich für die Haupt-rumpfflächentreppebildung (zum Beispiel in den Kykladen) nur 3–4 Millionen Jahre zur Verfügung. Für die Genese der alpinen Treppe flächenhaft über die Wasserscheiden hinweggreifender Niveaus – von der höchsten Kuppenlandschaft abgesehen – konnten auch nur 6–7 Jahrmillionen benötigt worden sein. Aber die gesamte hellenidische Abtragungsflächentreppe wurde um 13 Millionen Jahre später (RIEDL, H., 1984, S. 58) als die ostalpine Treppe angelegt. Erst durch den konsequent angewandten Begriff der Reliefgeneration gelingt es, derartige Konvergenzen in der Altformenforschung aufzuheben.

Innerhalb der gesamten Datierungsproblematik stellt die mittelmiozäne Reliefgeneration (4b) eine Schlüsselstelle dar. Allerdings vertritt A. TOLLMANN (1986, S. 198) einerseits die Auffassung, daß das badenische Alter der großen Abrasionsplattform am Alpenostrand nicht gesichert sei, weil sedimentär nur Oberpannon nachweisbar ist. Andererseits hält er an anderer Stelle (A. TOLLMANN, 1986, S. 216) bei den über der Abrasionsterrasse liegenden Altflächen der Nördlichen Kalkalpen doch ein vor-frühkarpatisches Alter als wahrscheinlich.

Übersicht über tertiäre Reliefhauptgenerationen Alpen – Helleniden

Reliefgeneration	Ostalpen-Parathetis	Helleniden-Thetis
1. Oberkreidezeitl.-ältest-tertiäre RG	Bauxiterfüllte Karstgassen, Felstürme, Karstkuppen, Cockpitdolinien – meist exhumiert; Fischauer Berge.	Homologer Formenkreis, aber meist verschüttet, Parnaßzone, Amvlemapaß
2. Eozäne RG	Nicht belegt.	Trichterdolinen und Karstschächte, vom Fylsch plombiert, Karstkegel vom Fylsch inkrustiert; Gavrovo-Tripolitazone der Südpeloponnes.
3. Oligozäne-frühestmiozäne RG	Höchste Kuppen der Raxformengruppe der NKHA, aus Augensteindecke exhumiert; Thermalalpen-Loferer Steinberge.	Rumpfflächenschwellen des Subpelagonikums, meist von aquitanen Konglomeraten verschüttet.
4a. Frühmiozäne RG	Mehrgliedrige, verschieden alte Treppe von Karstebenenheiten unterhalb Kuppenniveau mit allochthonen Rotlehmen (Eger-Karpat).	Reliefenergiestarkes Verwitterungsbasisrelief der Meteora – weitgehend exhumiert (Wende Aquitan/Burdigal).
4b. Mittelmiozäne RG	Karstsacktäler, talgebundene obere Systeme, Abrasionsterrassen (Baden).	fraglich
5. Spätmiozäne RG	Überwiegend Akkumulation riesiger Schwemmfächer in alpinen Becken und Alpenvorländern, synchron: mittlere talgebundene Felsterrassen.	Reliefüberschobene Inselberglandschaft der Kykladen. Primärrumpfbildung im Zuge 10–20 km großer intratortoni-scher Hebungen.
6. Endmiozäne-unterpliozäne RG	Glacisförmige Kappungsflächen der großen Schwemmfächer, untere talgebundene Felsebenenheiten.	3- bis 4gliedrige Hauptrumpfflächentreppe, glacislose Karstpedimente auf Peloponnes, Primäranlage aller Großpoljen.
7. Plio/pleistozäne RG	Intramontane Beckenausgangflächen, auch des Wiener Beckens, teilweise Glacis des Alpenostrandes	Formengruppe Pediment-Glacis von intramontanen Becken und Großpoljen, Küstenrandpedimente der Ägäis, vulkanische Aufbauformen.

3. Der morphometrische Aspekt

Diese Betrachtungsweise wurde in letzter Zeit im Hinblick auf die alpinen Altflächen mit doppelter Zielsetzung praktiziert. Einerseits galt es, durch morphometrische-statistische Methoden die Gesetzmäßigkeit in der Verbreitung der Altflächenelemente zu erhärten, andererseits sollte die Gesetzmäßigkeit der Auflösung der Altflächensysteme aufgehehlt werden.

In dem von 1.850 m Höhe–2.410 m Höhe reichenden Testgebiet Hinteres Pitschenbergtal im Tennengebirge führte H. WEINGARTNER (1983, S. 151) in Anlehnung an die Neigungswinkelgruppierungen von H. KUGLER (1974) die Konstruktion einer Neigungswinkelkarte mit 7 Böschungsklassen durch. Schon dadurch lassen sich – selbstverständlich in Auseinandersetzung mit im Felde kartierten Altflächenresten – zusammenhängende morphographische Einheiten im Altfor-

menbereich ausscheiden. So können im gegenständlichen Fall 6 Großformenbereiche bestimmt werden, wobei 4 Verflachungszonen mit alternierenden Steilreliefs quantitativ durch die interne Homogenität der Böschungsverhältnisse determiniert werden können. Schon dies bedeutet einen objektivierenden Definitionsmodus, der zu den im Gelände kartierten Altformenresten hinzutritt. Darüber hinaus aber kann die Bestimmung der quantitativen Verteilung der Neigungswinkelgruppen (WEINGARTNER, H., 1983, S. 156) weiter erhärtend wirken. Bei der Erfassung der Flächen der einzelnen homogenen Neigungsareale nach Maßgabe der 20 m-Äquidistanz zeigen die verschiedenen Hangneigungsklassen bestimmte Häufigkeitsverteilungen ihrer Flächenausdehnung in den verschiedenen Höhenstufen. Ein wesentlicher Schritt in der Morphometrie der Altformengruppen besteht nun in der Anwendung des Chi-Quadrat-Testes (WEINGARTNER, H., 1983, S. 161), der prüft, ob zwischen einer hypothetischen und einer tatsächlich beobachteten Verteilung signifikante Unterschiede bestehen. Im Rahmen der Nullhypothese wird angenommen, daß zwischen der tatsächlichen und der hypothetischen Verteilung Gleichheit besteht. Für das Testgebiet Hinteres Pitschenbergtal wurde als Nullhypothese angenommen, daß in allen Höhenlagen innerhalb der 20 m Isohypsen die Neigungswinkelgruppen im Verhältnis zur jeweiligen Äquidistanzgesamtfläche gleich verteilt sind. Entsprechend der hypothetischen Gleichverteilung muß nun im Bereiche der Höhenlandschaft von 1.840–2.400 m jedes der 28 Höhenintervalle von 20 m in die hypothetischen Prozentanteile aller Neigungswinkelklassen zerlegt werden und unter Berücksichtigung der tatsächlich beobachteten Verteilung der Neigungen durch den Chi-Quadrat-Test auf eine Abweichung von der Nullhypothese überprüft werden. Ein wesentliches Ergebnis (WEINGARTNER, H., 1983, S. 162) besteht in der Herausarbeitung der positiven Abweichung der Neigungswinkelklassen von der Erwartungsverteilung, wobei die höhenzonale Verteilung der einzelnen positiven Abweichungen ganz besondere Aussagekraft besitzt. So konnte in dem Testgebiet Hinteres Pitschenbergtal nachgewiesen werden, daß Sanftreliefs unter 7 Grad Neigung in ganz bestimmten Höhenbereichen (Niveaus) überzufällig auftreten: innerhalb einer Höhenspannweite von 1.850–2.410 m Höhe, also von 560 Höhenmetern treten 5 statistisch abgesicherte Niveaus von Verflachungen entgegen, wobei die relativen Höhenunterschiede zwischen den 5 Verflachungssystemen von unten nach oben 20 m, 60 m, 40 m und 120 m betragen.

Damit ist aber ein richtungsweisender Tatbestand gegeben, der mehrere Fakten ins rechte Licht rückt:

a) Durch die morphometrischen Methoden wird das übliche vorsichtige Vorgehen bei Altflächenkartierungen in dem Sinne, daß man sich aus subjektiven Gründen von vornherein scheute, allzuvielen Niveaus auszuscheiden (LICHTENBERGER, E., 1975, S. 19), ernstlich in Frage gestellt.

b) Das Testgebiet H. WEINGARTNERS (1983, S. 158) zeigt eindeutig, daß Gesetzmäßigkeit in der höhenmäßigen Verbreitung der Verflachungen auch bestehen kann, wenn sich die relativen Höhenunterschiede der Niveaus im Ausmaß von nur wenigen Dekametern bewegen und die „klassische“ Dreigliederung der Altflächen E. SEEFELDNER'S (1934, S. 58) im Salzburger Raum nur teilweise mit der Fünfgliederung des Testgebietes koinzidiert.

c) Das Ergebnis der morphometrischen Analyse zeigt, daß hinter der Überzufälligkeit der betreffenden Verflachungssysteme keine lokalen, standörtlichen morphogenetischen Faktoren stehen können (z. B. auch nicht Flächenbildungen über dem Vorflutniveau im Sinne von H. LOUIS, 1956), sondern epigenetische und exogene Ursachenkreise von überregionaler Gültigkeit.

Im Bereiche des Untersberges hat H. KNAPCZYK (1984, S. 158) in die digitale statistische Auswertung linearer Morphostrukturen insgesamt 1.200 Messungen mit 88,3 km Gesamtlänge eingezählt nach Maßgabe fluvioglazialer-erosiver Tiefenlinien, von Wandformationen (> 30 m rel. Höhe) und Karst- und Kluftgassen, wobei die speziell geowissenschaftlich programmierte EDV an der Zentralstelle für Photogrammetrie und Fernerkundung an der Universität München genutzt werden konnte. Während die fluvialen Tiefenlinien entsprechend der mittleren Abdachung der Altflächen NW-NNE verlaufen und ähnliche Lineamentdiagramme die Wandgürteln zeigen, sind die Karstgassen ohne Nordvergenz entwickelt, wonach eine Ausschürfung der Richtung 310°–320° durch den Plateaugletscher unterblieben ist. Es erweist sich, daß 60% der Kluftgassen in dem nur 20° weiten Intervall 310°–320° bzw. 130°–140° ausgebildet sind. Betrachtet man nicht nur die Anzahl und Länge der Strukturlinien, sondern die Gesamtzahl der morphologischen Elemente, so wird als primäres Maximum ein leicht verdrehtes „Scherflächensystem“ (KNAPCZYK, H., 1984, S. 162) mit 130°–140° und ein sekundäres Maximum von 50° bis 70° sichtbar. In der Unterordnung der erosiven Nordkomponente wird die quantitative Bedeutung bestimmter endogener Kausalfaktoren bei der Zerlegung der Altformen deutlich.

4. Der paläopedologische-sedimentologische Aspekt

Diese Betrachtungsweise eröffnet im Wesentlichen zwei Fragenkreise:

- a) Die Beziehung der Raxlandschaft zur Augensteinlandschaft infolge Abkunft der Paläoböden aus nichtkarbonatischen Substraten,
- b) die paläoklimatische Aussagemöglichkeit.

Im Hinblick auf das erste Kriterium hat der Verfasser (RIEDL, H., 1966, 1973, 1977) wiederholt herausgestellt, daß die roten Böden der Nördlichen Kalkalpen zum überwiegenden Teil nicht als terra rossa, also als Bodenbildung aus dem Kalke im Sinne von N. LICHTENECKER (1938) angesprochen werden dürfen, sondern nur als Bodenbildungen auf Kalk. Die roten Paläoböden stellen vorzeitliche Verwitterungsprodukte der jungtertiären, silikatischen Augensteinsedimente dar. Die Hauptargumente für diese Tatsache wurden seinerzeit vom Ostsporn der Alpen erbracht. Die noch vor einem Vierteljahrhundert stereotyp angenommene Zweiphasigkeit der höchsten Anteile der Raxformengruppe und der „hypothetischen“ Augensteinlandschaft (H. RIEDL, 1979, S. 430 ff.) muß heute fallen gelassen werden, da nunmehr auch Belege aus den Salzburger Kalkalpen die Arbeitshypothese der Synchronität von höchsten Formenelementen der Raxformengruppe und Augensteinlandschaft bzw. der überhaupt älteren Stellung der höchsten Flächen der Raxlandschaft im Vergleich zur Augensteinlandschaft sehr wesentlich erhärten.

Im Gegensatz zur Skepsis von A. TOLLMANN (1986, S. 192) im Hinblick auf die Frage der Autochthonie der Paläosole auf der Rax sei hier darauf hingewiesen, (RIEDL, H., 1986, S. 101), daß die Augenstein-Rotlehme inselförmig verbreitet sind, daß sie sowohl in Kuppenscheitel – als auch in Kuppenhang- und Muldenlage auftreten und demnach indizieren, daß zur Bildungszeit der silikatischen Rotlehme eine noch geschlossen verbreitete Augensteindecke existiert haben muß.

Von den höchst gelegenen Kuppen (Schubbüchel, 2.334 m) des südlichen Tennengebirges wurde bereits vor 9 Jahren (RIEDL, H., 1979, S. 431) der Nachweis erbracht, daß die Rotlehme aus silikatischen Schwemmfächern sich entwickelten, deren Einzugsbereich auf Grund der mineralogischen Befunde größtenteils in der Ankogelgruppe lag. H. WEINGARTNER (1983, Karte 3) kartierte alle Augensteinvor-

kommen, Rot- und Braunlehme sowie Quarzsande, Bohnerze und Pseudobohnerze im westlichen Tennengebirge. Hierbei zeigt es sich, daß die hypothetische Augensteinlandschaft viel realer und konkreter ist, als zuvor angenommen. Auch bedingen die scharf definierbaren Sedimentprovinzen von sich aus bereits die Existenz autochthoner–parautochthoner Standortsräume der Substrate der Paläoböden und nicht ihre ausschließliche Allochthonie, wie früher stereotyp postuliert wurde. Es zeigt sich auch, daß innerhalb eines heutigen Kalkhochalpenstockes mit einer Differenzierung der Einzugsbereiche der alten kristallinen Hülldecken des Paläokarstes gerechnet werden muß. Im westlichen Tennengebirge liegen im Bereiche des Hinteren Streitmandtles (2.100 m) Quarzsande, Milchquarze und Werfener Schichtengerölle in einer Mächtigkeit von 2 m (WEINGARTNER, H., 1984, S. 141).

Hingegen zeigt ein 3.000 m von dieser Stelle entferntes Augensteinvorkommen in einer Doline (2.240 m) im Bereiche des Windischkopfes die Dominanz von Gneis- und Granitgeröllen. Die Tatsache weist auf petrographisch und einzugsmäßig sehr differenzierte ehemalige Gerinnewege hin. Diese leiten sich nicht nur aus den Zentralalpen her. Das Vorkommen von Stilpnomelan und blauen Natriumamphibolen in den Sedimentproben (WEINGARTNER, H., 1983, S. 144) ist wohl so zu deuten, daß zur Zeit der Augensteinschüttung auch Akkumulationen aus den Gebieten nördlich der Nördlichen Kalkhochalpen bestanden haben mußten, da beide Minerale durch regionale Metamorphose dort entstanden.

Aus dem Salzburger Schacht des Untersberges (KNAFCZYK, H., 1984, S. 233) ergaben acht Feinsedimentprobenanalysen (Höhlenlehm), daß der reiche Anteil von Quarz, Illit-Muskovit sowie Chlorit die Herkunft dieser Höhlensedimente aus silikatischem Augensteinmaterial beweist. Die Grobsand-Feinkieslagen sind im Schwermineralspektrum durch opake Minerale, Hornblenden, Granat, Turmalin, Epidot, Disthen und Staurolith gekennzeichnet. Das Spektrum deutet einerseits auf ein variables metamorph-kristallines Liefergebiet hin, andererseits deuten die starken Ätzerscheinungen bei Granat und das Fehlen von Zirkon auf eine lateritische Verwitterung der Augensteinsedimente auf den höchsten Elementen der Raxformengruppe hin; dieses Bild fügt sich demnach lückenlos in die Profilmorphologie von Rotlehmen (SOLAR, F., 1964) bzw. Braunlehmen (RIEDL, H., 1966) auf den Kuppenregionen der Steirisch-Niederösterreichischen Kalkhochalpen und des Toten Gebirges (GRAF, G., 1972) ein. Wenngleich tropisch feuchtes – wechselfeuchtes Klima zur Zeit der Verwitterung der silikatischen Resthülldecken auf den ältesten Formenelementen des Kuppenkarstes sowohl durch profilmorphologische Aufnahmen als auch durch Analysen der Paläoböden in den unterirdischen „Archiven“ der Höhlen in gleichem Maße konvergierende paläoklimatische Befunde ergeben, so stellt die Rekonstruktion des Paläoklimas zur Zeit der Verschüttung des Paläokarstes durch das Substrat der Paläoplastosole noch ein Problem dar. Gegen ein durchgängiges tropisches Klima mit chemischer Tiefenverwitterung zur Zeit der Augensteinakkumulation spricht jedenfalls die Existenz von Schottern bzw. Kiesen und Sanden, sodaß mediterrane – torrentenartige Morphodynamiken wahrscheinlich sind. Chemische Tiefenverwitterung allerdings beherrschte weitgehend die anschließende Verwitterungsphase der Hülldecken. Autochthone Matadero-Rotlehme aus Augensteinmaterial an den für den Südrand des Tennengebirges (RIEDL, H., 1979, S. 431) prototypischen Oberhängen des Schubühels (2.334 m) geben mit 7,7 Massenprozent Hämatit deutliche Hinweise auf ein wechselfeuchtes-tropisches Klima zur Zeit der postaquitanen und der präbadischen Verwitterungs- und synchronen Verschwemmungsperiode der Hülldecken, mit der auch die vorflutergebundene Karstenbenheitsgestaltung ver-

bunden war. Es ist auffallend, daß im Hinblick auf den Tonmineralgehalt der autochthone Kuppen-Rotlehm im Bv-Horizont 56% Illit als Hauptgemengteil und im Cm-Horizont 44,2% Illit und 14,6% Montmorillonit (RIEDL, H., 1979, S. 431) aufweist. Ähnlichen Befund zeigen auch die Analysen aus dem westlichen Tennengebirge. Auch hier handelt es sich bei den relikten Rotlehmen um goethitisch-hämatitische Rotlehme, bei denen Kaolinit nur spurenhaf vertreten ist (WEINGARTNER, H., 1983, S. 148); dies muß wohl dadurch erklärt werden, daß während der Paläobodengenese aus silikatischem Substrat ständige Beeinflussungen durch laterale Karstgewässer aus dem Karbonatgesteinsrahmen stattfanden und durch diese Varianz petrologischer Milieufaktoren die tropisch-wechselfeuchten Klimabedingungen im Tonmineralspektrum nicht in Wert gesetzt werden konnten; auffallend ist auch hier der relativ hohe Gehalt an Montmorillonit, der sich zwischen 3% bis 15% bewegt. Ob der Montmorillonitgehalt zur morphogenetischen Trennung (WEINGARTNER, H., 1983, S. 148) der Altflächensysteme herangezogen werden darf, ist problematisch, da er auch in den Paläoböden der höchsten Kuppensysteme vertreten ist, wie vorhin aufgezeigt wurde. Jedenfalls deutet der Montmorillonitgehalt auf eine abflußhemmende Paläo-Mikromorphologie im Bereiche der silikatischen Plastosole über dem stark verkarstungsfähigen Grundgebirge hin, wonach entgegen dem persistierend abwärts gerichteten Bodenwasserstrom mit seinem Ionenverlust zur Bildungszeit der Paläoböden in weitgehend reichten Hohlformen, in denen sich vielleicht Karsthohlformen durchpausten, Restkationen sich anreicherten und zum Aufbau der Montmorillonite herangezogen werden konnten.

Eine wesentliche Bereicherung des sedimentologisch-paläopedologischen Bildes der Nördlichen Kalkalpen erbrachten auch die höhlensedimentologischen Untersuchungen E. LANGENSCHIEDTS (1985, S. 96) aus dem Gebiete des Alpenparks Berchtesgaden, wobei das Hagengebirge und das Steinernes Meer erfaßt wurden. Hierbei ist von Bedeutung, daß Quarzite > 2 mm mit Ausnahme des Scheukofens ausschließlich in Höhlensysteme großer Höhenlage nachgewiesen wurden, wonach eine Beziehung zum Hochkönigniveau E. SEEFELDNERNS wahrscheinlich gemacht wird, und dort Quarzkristalle, polykristalline Quarze, Opake, Hornsteine und Sandsteine von Anteilen um 20% auf Gehalte um 1% in den tieferen Höhlensstockwerken (LANGENSCHIEDT, E., 1985, S. 146) zurückgehen. Gleichzeitig steigt in den tieferen Höhlenniveaus der Anteil der Dachsteinkalkkomponenten von Werten um 20% im höchsten Stockwerk auf Werte von 30–90% in den tieferen Höhlenetagen. Umlagerungserscheinungen innerhalb der verschiedenen Höhlensstockwerke wurden zwar festgestellt (LANGENSCHIEDT, E., 1985, S. 179), aber nur geringfügig, sodaß die nach Höhlenniveaus differenziert in Erscheinung tretenden Höhlensedimente unmittelbare Rückschlüsse auf die mit den Höhlenniveaus in Beziehung stehenden Großformen ermöglichen. Die Mehrphasigkeit und Verschiedenaltigkeit von Sedimenten, Höhlenniveaus und Großformen ist auch aus dem Schwermineralspektrum der Matrix verfestigter Höhlensedimente zu erschließen. Höhlensedimente aus dem Bereich der Formengruppe des Hochkönigniveaus sind demnach durch hohen Gehalt an Granat, Apatit und opaken Mineralen gekennzeichnet; daneben treten Staurolith, Epidot, Hornblende, Glimmer, Zirkon, Rutil und Turmalin auf. Im Bereiche der Formengruppe des Tennenniveaus hingegen gehen die Gehalte an Apatit und Granat am stärksten, die der übrigen Schwerminerale in geringerem Umfang zurück zugunsten eines steigenden Dolomitanteils. Diese Tendenz setzt sich im Bereiche der Formengruppe des Gotzenniveaus fort, während in den Sedimenten tieferer Höhlenniveaus der Dolomit das Schwermineralspektrum beherrscht.

5. Der speläologische-karsthydrologische Aspekt

5.1. Die Probleme im Allgemeinen

Ein vieldiskutiertes Problem stellt die Beziehung von Höhlen und gesetzmäßig im Gelände vertretenen Verflachungssystemen dar. Um die Mitte der 50er Jahre (TRIMMEL, H., 1955, ARNBERGER, E., 1954, 1955) bestand die Ansicht, daß Niveaugebundenheit von Höhlen als Ausdruck spezifischer Petro- und Tektovarianz betrachtet werden muß, wobei als karsthydrologisches Modell das Bild einer stark individualisierten, baumförmigen Verzweigung der Karstgefäße (LEHMANN, O., 1932) Pate stand und als morphotektonisches Modell – oft nur zwischen den Zeilen der damaligen Publikationen stehend – das Bild von alpinen Bruchscholentreppe (LICHTENECKER, N., 1938) fungierte. In die Ansicht, daß Niveaugebundenheit von alpinen Höhlen singulären Charakter hat und jedenfalls unabhängig von gesetzmäßig verbreiteten Altformenelementen, aber auch unabhängig von generalisierten karsthydrologischen Zuständen auftritt, lassen sich auch die zuletzt getätigten Äußerungen (ARNBERGER, E., 1984, S. 103) eingliedern, wonach „man sich jede weitere Debatte um die Zuordnung von Höhlenniveaus zu Vorflutniveaus der Vergangenheit ersparen könne“. Es sei vorerst von dem direkten, empirisch faßbaren Zusammenhang zwischen ober- und unterirdischen Niveaus abgesehen. Vielmehr soll das Augenmerk auf die Frage der Niveaugebundenheit von Höhlensystemen als Ausdruck genereller, relikter und rezenter karsthydrologischer Tatbestände gelenkt werden. Hiebei ist von grundlegender Bedeutung, daß fast gleichzeitig mit dem Höhepunkt der Diskussion um Höhlen und Niveaus die karsthydrologischen Theorien und damit auch die speläogenetischen Modelle eine wesentliche Neuerung erfuhren (ZÖTL, J., 1961, BÖGLI, A., 1964, 1966), die allerdings bereits J. ČVUIČ (1918) in seiner karsthydrologischen Zonengliederung im Grunde vorweg genommen hat.

Die modernen Methoden der Markierung der Karstgewässer durch Isotopen und Tracer erbrachten den Nachweis einheitlicher Karstwasserkörper in den Nördlichen Kalkalpen, sodaß das alte Modell der akrotonen Verzweigungsstruktur der unterirdischen Karstgefäße durch das Modell einer bereits basitonen Verzweigungsstruktur abgelöst werden mußte.

In die Geomorphologie fand dieser Umschwung erst viel später Eingang, wie die späte Berücksichtigung der modernen karsthydrologischen Forschungsergebnisse samt deren Konsequenzen erst in der 4. Auflage des großen Lehrbuches der Allgemeinen Geomorphologie (LOUIS, H., FISCHER, K., 1979, S. 379 ff.) deutlich erkennen läßt!

Für alle speläogenetischen Erörterungen und für die Frage, inwieweit großräumige Höhlenniveaus mit alte Vorfluter indizierenden tektonischen Ruhephasen im Einklang stehen, ist entscheidend, daß in der phreatischen Zone alle Karsthohlräume permanent nach Maßgabe des Gesetzes der kommunizierenden Röhren mit Wasser gefüllt sind und korrosive Höhlengenesen in diesem Bereich nur unter dem Parameter der Mischungskorrosion erfolgen können. Die Oberfläche der phreatischen Zone stellt keine geometrische, sondern eine piezometrische Fläche dar, deren interne, vertikalen Lagedifferenzen mehr als 100 m betragen können; neben der räumlichen Niveauschwankung können bedeutende jahreszeitliche Schwankungen im Piezometerflächenbereich auftreten – zwei Kriterien, die bei einer nur formalistischen-schematischen Interpretation der notwendigen und logisch erforderlichen Vorflutgebundenheit der Oberfläche des Karstwasserkörpers zu berücksichtigen sind. Über der piezometrischen Oberfläche des Karstwasserkörpers liegt die vertikal (im Sinne von SWINNERTON, A. C., 1932) – vadose Zone,

in der kein Druckfließen mehr herrscht, sondern größtenteils gravitatives Fließen mit Ausbildung von Canons.

Nun zeigen die speläologischen Forschungsergebnisse der letzten Jahre in den großen Kalkhochgebirgsstöcken des Landes Salzburg und benachbarter Anteile der Nördlichen Kalkhochalpen wesentliche gemeinsame Merkmale, die eindeutig gegen eine singular-faktorielle Veranlagung der Großhöhlensysteme sprechen.

Entgegen der Konstruktion kompliziert verflochtener Retentionsbecken im Untersberg (1.853 m) durch E. SEEFELDNER (1937) entwirft H. KNAPCZYK (1984, S. 285 ff) auf Grund umfangreicher Vorarbeiten, die vor 1980 zurückreichen und auf Grund eines wesentlich eigenständigen Anteils an der Erkundung der Großhöhlensysteme des Untersberges, basierend auf einem riesigen Datenmaterial, das Bild von 3 gesetzmäßig vertretenen Höhlenhauptniveaus, die nicht nur für den Untersberg Geltung haben, sondern überregionale Gültigkeit aufweisen.

5.2. Das Höhlenruinenniveau (1.670–1.740 m)

Dieses Hauptniveau besitzt phreatisches Raumbild, ist nestartig über das gesamte Plateau verbreitet und knüpft sich teilweise an die Ränder der Uvalas. Es besteht im Höhleninhalt ein Defizit an Feinsedimenten, hingegen ist Versturzmateriale prägend. Dieses Höhlenniveau ist bei den stärker gehobenen Kalkalpenstöcken (KNAPCZYK, H., 1984, S. 289) des Steinernen Meeres und Tennengebirges sowie Hagengebirges im gleichen Maße vertreten, wobei es dort sehr weitflächig ausgebildet ist und nicht unter dem Höhenbereich von 1.970–2.000 m vertreten ist. Es reicht aber andererseits bis über 2.200 m Höhe. Bei rund 25 km Horizontaldistanz zwischen dem vorgeschobenen Untersberg und den südlicheren Kalkstöcken zeigt dieses oberste Höhlenhauptniveau ein Gefälle von 12%, wobei diese Böschung im Einklang mit den Neigungsverhältnissen jungtertiärer Flächensysteme steht.

Ein auffallendes Kriterium¹⁾ stellt die Tatsache dar, daß das Höhlenruinenniveau ausschließlich am Karstrand zur Grauwackenzone einerseits mit tunnelförmigen Riesensystemen (Eiskogelhöhle des Tennengebirges, Kolkbläusersystem des Steinernen Meeres mit fast 20 km Länge) ausgebildet ist und andererseits in denselben Bereichen in die Kuppenformationen hinaufzieht.

5.3. Das Riesenhöhlenniveau (1.240–1.500 m)

Dieses System weist eine optimale Ausbildung in 1.320–1.500 m Seehöhe auf. Vertreten durch Gamslöcher, Salzburger Schacht und Windlöcher verfügt das Riesenhöhlenhauptniveau über sedimentarme röhren- und canonartige Zubringersysteme. Hingegen weisen die tiefen Teile des Riesenhöhlenniveaus mächtige Augenstein-Feinsedimente (auch Silt-Ton) auf. Das Gesamtsystem ist sowohl im Reiteralmkalk als auch im Hauptdolomit des Untersberges angelegt, wobei der innere Bau (Schichtgrenze) jedenfalls für die Anlage des Systems nicht ausschlaggebend gewesen sein kann. Mit fast 60 km Länge stellen sich Äquivalenzen (KNAPCZYK, H., 1984, S. 293) im Tantalhöhlen-Jägerbrunnaltalsystem des Hagengebirges sowie im 60 km langen Eisriesenweltsystem des Tennengebirges ein. An der Nordseite des Tennengebirges hat R. KALS (1984, S. 124) auf Grund eines reichhaltigen empirischen Materials und dessen Erwerb durch eigenständige Befahrungen und Expeditionen entsprechend der höheren Lage der Altformen des Tennenge-

¹⁾ Briefliche Mitteilung von Dr. H. HASEKE-KNAPCZYK vom 18. 12. 1986.

birges ein äquivalentes Höhlenniveau in 1.550–1.750 m Höhe erkannt, wobei in Schneeloch, Schwarzhöhle, Windloch, Röth-Eishöhle, Windauge und Schwersystem die Kriterien vernetzter Gangsysteme, der Dominanz von Schichtfugenräumen, von weitgehend symmetrischen, elliptischen Querschnitten und wechselnden Gefälles und Gegenfälles im Sinne von A. BOGLI (1978, S. 213) für ehemals phreatische Bildungsbedingungen des Riesenhöhlensystems sprechen. Es besteht nur Anlage im Dachsteinkalk, wobei das früher überbewertete Nachtasten der Kalk/Dolomitgrenze nicht augenfällig ist und die primäre, generelle Ursache für die Niveaugebundenheit darstellen kann.

D. KUFFNER (1985, S. 36) ordnet den größten Teil der Raucherkarhöhle (TRIMMEL, H., 1969) des Toten Gebirges dem Riesenhöhlensystem ein, wobei die optimale Niveaupersistenz in 1.400–1.560 m Höhe zu verzeichnen ist. K. SULZBACHER (1983, S. 80) betont das Auftreten großräumiger, annähernd horizontal verlaufender Höhlenstrecken in der Dachstein-Mammuthöhle (STUMMER, G., 1980) in einer Höhenlage von 1.300–1.500 m.

Vermutlich kann das Riesenhöhlensystem der Nördlichen Kalkalpen in 3 Subsysteme gegliedert werden, wie dies R. KALS (1984, S. 125) mit seinen Teilniveaus im Tennengebirge in 1.550–1.600 m, 1.600–1.700 m und 1.700–1.750 m durchführte und H. KNAPCZYK (1984, S. 291) mit seinen 3 Subsystemen von 1.240–1.320 m, dem Hauptsystem von 1.320–1.450 m und dem Teilsystem von 1.450–1.500 m Höhe andeutete.

5.4. Das Quellhöhlenniveau (595–720 m)

Die Fürstenbrunnerhöhle läßt sich in 3 deutliche Stockwerke gliedern (KNAPCZYK, H., 1984, S. 296):

a) Der rezente, weiträumig überstaute Canon, der den Karstwasserspiegel in 630 m Höhe anzapft. Die Quelle liegt in 595 m Höhe (750 l/s).

b) Die Zone steiler Piezometerröhren (620–700 m) wird von quartären Konglomeraten, Tonen und Moränenmaterial gefüllt.

c) Ein älterer Hauptgang (700–740 m) mit Verbindungen zum Karstwasserspiegel.

Der Karstwasserkörper dehnt sich vertikal bis unter 440 m Höhe aus und kann nach oben bei max. 700 m Höhe begrenzt werden.

Im nördlichen Tennengebirge (KALS, R., 1984, S. 126) ist das Quellhöhlenniveau in den großen Quellhöhlen: Dachserfall-, Trickfall-, Winnerfall- und Brunneckerhöhle vertreten. Wesentlich ist der befahrungsmäßige Nachweis des Karstwasserspiegels ca. 3 km im Berginneren durch Tiefenvorstöße im Schachtsystem der Schwerhöhle, wo der Karstwasserspiegel in 650 m Seehöhe angefahren werden konnte (KALS, R., 1984, S. 116). Außerdem werden im Schachtsystem des Schneeloches (KALS, R., 1984, S. 113) 955 Höhenmeter unter dem Einstieg die Gänge durch Siphone verschlossen, womit hier der Karstwasserspiegel in 660 m Seehöhe erreicht wurde. Die im „Cyclotron-System“ des Schneeloches (KALS, R., 1984, S. 126) nachgewiesenen Spiegelschwankungen der Piezometeroberfläche des Karstwasserkörpers betragen bis 50 m über Minimalstand.

Der Karstwasserspiegel liegt im Hagengebirge (KNAPCZYK, H., 1984, S. 298) in 620–670 m Höhe, im Hohen Göll in 580 m Höhe, in den Leoganger- und Loferer Steinbergen sowie im Steinernen Meer in 660–780 m Höhe. Man kann generell feststellen, daß in den Salzburger Kalkalpen der rezente Karstwasserspiegel 150–200 m über den rezenten Talböden liegt. Auch in der Raucherkarhöhle des Toten Gebirges (KUFFNER, K., 1985, S. 36) ist das Quellhöhlensystem durch die Neuent-

deckungen des Jahres 1984 südlich des Kantenschachtes gesichert. Vielleicht kann auch das Niveau des in 910 m Seehöhe gelegenen Höhlensees mit der Höhlenniveaunezone II von R. KALS (1984, S. 125), die in der 12 km langen Bergerhöhle des Tennengebirges vertreten ist, parallelisiert werden.

Die Hierlatzhöhle²⁾ mit 46 km Gesamtlänge zeigt über dem Quelhöhlenniveau liegende Röhrennetze, die mit ihren Feinsedimentmassen deutlich vom Karstwasserspiegel abgegrenzt sind und niveaumäßig vermutlich der tiefsten Etage der Gamslöcher des Untersberges entsprechen.

5.5. Die großmorphologische Bedeutung der Höhlenniveaus

Von den 185 bekannten Höhlen des Untersberges wurden von H. KNAPCZYK (1984, S. 216 ff.) die 20 wichtigsten Systeme lineamentstatistisch ausgewertet. Mit insgesamt 1.820 Messungen wurden 26.225 m Gesamtganglänge erfaßt. Das wesentlichste Ergebnis dieser speläometrischen Arbeiten beruht in der Erkenntnis, daß sich das Höhlenruinniveau und das Riesenhöhlenniveau mit bevorzugten Kluftrichtungen verknüpfen lassen, die sich beide voneinander markant unterscheiden. Hingegen läßt das Quelhöhlsystem keine spezifische Häufigkeit von Störungsrichtungen erkennen.

Es zeigen aber die Quelhöhlen-Niveaus des Tennengebirges und neuerdings des Dachsteins (Hierlatzhöhle) eine frappierende Parallelität mit den Lineamenten der Deckenstirnen.

Zusammen mit den bisherigen Darlegungen können nun im Hinblick auf die Zusammenhänge mit der Altflächenmorphologie einige Schlüsse gezogen werden:

a) Die großräumige Persistenz von 3 Höhlenhauptniveaus betrifft nicht nur die Salzburger Kalkhochalpen, sondern auch die Oberösterreichisch-Steirischen Kalkhochalpen. Schon dieses Faktum der Großräumigkeit spricht gegen eine enge lithologisch-strukturelle Determinierung der Höhlenniveaus.

b) Der überregionale Verbreitungstyp der Höhlenniveaus kann nur durch mindestens 3 verschieden alte Hauptperioden höhenkonstanten Verweilens der seicht-phreatischen Zone und Piezometeroberfläche erklärt werden. Die Mischungskorrosive Intensivzone kann sich nur dann entfalten, wenn ein tektonischer Ruhezustand besteht, woraus folgt, daß die in verschiedenen absoluten Höhen über mindestens 120 km Horizontaldistanz (Leoganger Steinberge – Totes Gebirge als Raum derzeit gesicherter Höhlenniveaus) ausgeprägten Höhlenniveaus nur durch epirogenetische Hebungsperioden phasenhaft höher geschaltet werden konnten. Die jeweiligen Hebungsbeträge, die speläomorphologisch im Bereich der vertikal-vadosen Zone durch die Leitform der Canons vergegenständlicht werden, verhalten sich großräumig auffallend konstant.

c) Die Existenz des alpinen Höhlentreppenmodells bedingt, daß die obertägigen Altformentreppen nicht durch Bruchscholldynamik verursacht werden konnten. Bei Bruchschollentätigkeit hätte eine an Singularitäten reiche Auflösung der Höhlenniveaus stattfinden müssen. Die Höhlenniveaus wären im gleichen Maße wie die oberirdischen Ebenheiten zerbrochen.

d) Die seit Mitte der 50er Jahre sprunghaft angestiegenen Kenntnisse alpiner Großhöhlensysteme stellen sohin den eindeutigsten Beweis für die Verschiedenaltigkeit der Altflächentreppe im Kalkalpenbereich dar, womit das Piedmonttreppe-modell (SPREITZER, H., 1951) grundsätzlich bestätigt wurde, und auch die makromorphologische Dimension dieses Modells evident ist.

²⁾ Briefliche Mitteilung von Hr. Dr. H. HASEKE-KNAPCZYK vom 18. 12. 1986.

Im übrigen hat der Verfasser immer die Ansicht von der Verschiedenartigkeit der alpinen Altflächensysteme vertreten, – entgegen dem Vorwurf von A. TOLLMANN, 1986, S. 193 – wie aus H. RIEDL, (1960 und 1966, S. 107) eindeutig hervorgeht, wo von Interferenz alter und moderner Piedmonttreppenbaustile die Rede ist. Hier besteht also bereits eine konträre Auffassung zu N. LICHTENECKER (1938). Die einzige Übereinstimmung mit ihm ergibt sich im Bereiche des Grünschacherplateaus der Rax, an dessen tektonischer Absenkung wohl nicht gezweifelt werden kann. Damals wurde auch festgehalten (RIEDL, H., 1966, S. 107), daß ein einfaches Jüngerwerden von Piedmontflächen nach unten zu nicht immer gegeben sein muß. Dies muß dann nicht der Fall sein, wenn ein Zurückbleiben von Flächensystemen in der Hebung erfolgt.

e) Das Beispiel des Untersberges und der Berchtesgadener Alpen (KNAPCZYK, H., 1984, S. 220) zeigt darüber hinaus, daß die verschiedenen alten epirogenetischen Hebungsphasen nicht astrukturell verliefen, sondern mit streßartigen Dehnungsprozessen der Deckenkomplexe einhergingen, die dann jeweils zur niveaubundenen aber lineamentspezifischen Ausnützung von Störungen durch die Korrosion führten. So wurde nach einer ersten epirogenetischen Heraushebung der Augenstein-Kuppenlandschaft des Untersberges das Höhlenruinenniveau in 50 Grad angelegt, wobei Dehnung in 140 Grad stattfand. Hingegen erzeugte oder reaktivierte die zweite, jüngere Hebungsphase Lineamente von 120 Grad, die dann nach dem Abbau des epirogenetischen Streßfeldes (Dehnung in 30–50 Grad) für die niveaubundene Anlage des Riesenhöhlensystems korrosiv genutzt werden konnte.

5.6. Die Korrelationsprobleme

So eindeutig die Konsequenzen des Höhlenniveaumodells für die obertägige Paläomorphologie sind, so fällt die direkte räumliche Verknüpfung eines spezifischen Höhlenniveaus mit einem spezifischen Altflächensystem noch recht schwer.

Folgende Ursachenkreise hemmen eine durchgängige Verknüpfung gesetzmäßig verbreiteter Höhlenniveaus mit gesetzmäßig verbreiteten Altflächensystemen:

a) Wesentlich erscheint forschungspsychologisch die ungenügende Vorstellung mancher Autoren über die Morphogenese und deren Rahmenbedingungen, was die Altflächen betrifft. Beispielsweise spricht B. TOUSSAINT (1985, S. 50) im Falle der Altflächen des Tennengebirges von „überwiegend fluviatil entstandenen Rumpfflächen“, zu denen die älteren Augensteine *keine* Beziehung hätten. Hier wird abgesehen von der problematischen Anwendung des Terminus „Rumpffläche“ in einem Karstgebiet entgegen der paläoökologisch längst abgesicherten Dominanz der jungtertiären Schichtfluten, fälschlich den Flüssen im Hinblick auf die Altflächengense ein besonderer Wert zugemessen. Das alte Davissche Bild (RIEDL, H., 1984, S. 65) der Zyklentheorie mit fluvialer Rumpfflächenbildung als Ausdruck eines Greisenstadiums der Landschaftsentwicklung schwebt da vor. Die gleiche Vorstellung jungtertiärer Flüsse – ja von Strömen – ließ auch die Höhlenflußtheorie (BOCK, H., 1913) versanden. Im Gegensatz zu B. TOUSSAINT (1985, S. 50) arbeiten W. KLAPPACHER und H. KNAPCZYK (1985, S. 102) mit dem derzeitigen Forschungsstand entsprechenden Theorien bei der Typisierung der Altflächen des Tennengebirges, wobei auch Kenntnis des klimamorphologischen Aspektes besteht.

b) Der klimamorphologische Aspekt zeigt, daß unter bestimmten Voraussetzungen überhaupt keine Möglichkeit einer Parallelisierung von Höhlenniveaus und Altflächen existiert. So stellt sehr klar H. KNAPCZYK (1984, S. 307) die Tatsa-

che heraus, daß das krönende Kuppenniveau des Untersberges überhaupt kein unterirdisches Korrelat besitzt und auch nicht aufweisen kann, da durch die tiefgründige chemische Verwitterung der silikatischen Hüldecken wechselfeucht-tropische Umweltbedingungen im Oligozän und untersten Miozän angezeigt werden, wodurch fluviale Genesen mit dem Kuppenkarst nicht vereinbar sind. Entscheidend ist ferner, daß die mit dem Kuppenkarst verbundenen Karstrandebengenesen in den rezenten tropischen Bildungsräumen nie mit Grobhöhlennetzen verbunden ist. Es ist bezeichnend, daß am Untersberg die auf heute 1.700 ± 30 m eingespielten Uvalen (KNAPCZYK, H., 1984, S. 308) eine derartige Karstrandebene markieren, aber das oberste Höhlenruinenniveaus erst *nach* der Heraushebung dieser weitgehend höhlenlosen Karstrandebene entstehen konnte. Derartige, reale, auf genauen Kartierungen und Höhlenvermessungen beruhenden Beziehungen zwischen Höhlenniveau und Altflächensystem lassen den zwanghaften Korrelierungsschematismus (z. B. SCHAUBERGER, O., 1956) der älteren Forschung als bedenklich erscheinen.

c) Ein wesentliches Korrelierungsproblem entsteht durch die Interferenz epirovanter und klimavarianter Formenprägung. Das Riesenhöhlenniveau der Nördlichen Kalkhochalpen liegt höhenmäßig zwischen dem tiefsten und letzten noch flächenhaft verbreiteten, über die Wasserscheiden hinweggreifenden Altflächensystem und dem obersten und ersten talgebundenen System (N 1 nach SEEFELDNER, E., 1961) sowohl am Untersberg als auch im Tennengebirge; das heißt – morphodynamisch gesehen – daß sich das Riesenhöhlensystem zu jener Zeit entwickelte, in der die flächenhafte Abspülung der silikatischen Hüldecken-Paläosole und die damit verbundene synchrone flächenhafte Korrosion des Karstsockels von der linearen dominierenden Fluvialerosion (oft kombiniert mit der Anlage von Karstsacktälern) abgelöst wurde. Die Ursachen in der Gestaltung dieser morphologischen Züge sind im Paläoklima verankert: das wechselfeuchte Randtropenklima mit seiner Flächenspülung wurde von abflußkontinuierlichen Klimaten mit humider Note abgelöst. Es muß demnach angenommen werden, daß jener Hebungshalt, der subterran zur Ausbildung eines mächtigen Karstwasserkörpers führte, im Bereiche des oberirdischen Kräftespiels gar nicht in Wert gesetzt werden konnte, weil die Flächenbildung durch die bereits Grobmaterial mit sich führenden Flüsse und der linienhaften Zusammenfassung der Erosionsleistung unterbunden wurde, beziehungsweise stark verzögert und in Form von erosiven Talterrassen stark eingengt wurde. Hier interferiert also die den Hebungshalt klimamorphologisch zunächst auslöschende dominierende Linearerosion mit subterran niveauschaffender Korrosion im Bereiche eines Karstwasserspiegels. Hier wird also eine Gleichsetzung von Höhlenniveau im gleichen Maße nicht möglich sein, wie unter den in Punkt b) geschilderten Parametern. Der radikale Umschwung des Paläoklimas bringt demnach eine funktionelle Arbeitsteilung zwischen Speläosphäre und Morphosphäre mit sich. Im Falle des subterranean Geschehens tritt eine Summenwirkung von Hebungshalt und humid-kontinuierlichen Wasserzufluß durch den vertikal-vadosen Raum ein, sodaß sich die größten Evakuationen korrosiv bilden können. Der gleiche exogene Kausalfaktor wird im oberirdischen Kräftespiel nicht positiv zum Hebungshalt summiert, sondern läßt diesen sogar eine konvergente Phänomenologie zu einer Hebung (Tiefenerosion) annehmen.

d) Das methodologische Prinzip des Aktualismus lehrt nun eine zusätzliche Schwierigkeit in der Korrelierungsarbeit. Das Quelhöhlenniveau des Untersberges weist als Vorfluter für den wie in allen anderen Fällen der Nördlichen Kalkhochalpen weiträumig überstauten Karstwasserkörper der Gegenwart nicht

die rezenten Talböden, sondern den präglazialen Talboden von 630–700 m Höhe auf (KNAPCZYK, H., 1984, S. 314), der 150–200 m über der heutigen Erosionsbasis liegt. Übertragen auf die historische Entwicklung des Karstes des Untersberges würde dieser in den Nördlichen Kalkalpen häufige Tatbestand eines verzögerten karsthydrologisch-speläogenetischen Wirkfeldes gegenüber der aktuellen Dynamik in fluvialen Tiefenlinien eine beträchtliche Vertikaldistanz von mehreren Dekametern bis wenigen Hunderten von Metern zwischen an sich gleich alten Höhlenniveaus und oberirdischen Verflachungen als möglich erscheinen lassen. In solchen Fällen ergibt sich die morphologische Disparität gleich alter Systeme nicht als Funktion der Epirovarianz sondern durch den lithologisch-sedimentologischen Kausalfaktor, durch Abdichtung karstwasserwegsamere Hänge durch feinklastisches Material. Um derartige zeitliche Homologien bei phänomenologischer Disparität nachweisen zu können, bedarf es der subtilen Kenntnisse von Art und Verbreitung anorganischer Höhleninhalte und des oberirdischen Verbreitungsmusters von Paläosolresten. Auch die touristische Höhlenforschung kann sehr wesentlich zur Aufhellung derartiger Probleme beitragen, wie die Tauchversuche (KALS, R., 1984, S. 128) in den Siphonen der großen Quelhöhlen des nördlichen Tennengebirges zeigen, wo der Nachweis großräumiger Gänge unter dem Niveau des rezenten Talbodens erbracht wurde.

e) Höhenmäßiges Nichtübereinstimmen von Höhlenniveau und Altflächensystem bzw. talgebundener Terrasse kann auch in jenen Fällen bestehen, in denen als ehemaliger Vorfluter die Tagesfläche mächtiger Schwemmdecken über den korrosiven Kappungsflächen der Kalksockeln fungierte. Nach der späteren Abräumung der wenig resistenten Deckalluvionen steht nur mehr die Schnittfläche des Grundgebirges an, und das Höhlenniveau hängt über der Altfläche, ohne die alte Einstellung auf den Vorfluter noch erkennen zu lassen. So könnte am Untersberg das Höhlenruinniveau (1.670–1.740 m) auf die noch flächenhaft verbreitete Randverebnung von 1.570–1.600 m Höhe als Vorfluter eingestellt gewesen sein, falls diese einige Dekameter hoch von allochthonen Augenstein-Paläosolen ursprünglich inkrustiert war. Die Gleichsetzung der Randverebnung am Untersberg im Niveau von 1.570–1.600 m mit dem Gotzenniveau E. SEEFELDNERs am Tennengebirge bedingt bei dem konsequenten Nordgefälle dieser Piedmontfläche und fortschreitender Verspülung der unlöslichen Decksedimente die mächtigere Anreicherung am unmittelbaren Nordrand der Kalkhochalpen. So klaffen zwischen dem Untersaum des Höhlenruinniveaus am Tennengebirge in 1.950–2.050 m (KLAPPACHER, W., KNAPCZYK, H., 1985, S. 102) Höhe und dem Gotzenniveau 70 Höhenmeter und am Untersberg nur 50 Höhenmeter. Bei derartigen Hängestadien des relikten Karstwasserkörpers muß jedoch auch ein kegelmantelförmiger Anstieg des ehemals seicht phreatischen Raumes in das Berginnere (TOUSSAINT, B., 1985, S. 66) berücksichtigt werden.

f) Viele Schwierigkeiten hängen vom Forschungsstand ab. Die meisten Altflächenbearbeitungen (z. B. SEEFELDNER, E., 1961) liegen bereits Jahrzehnte zurück und weisen oft keine großmaßstäbigen Kartierungen auf. Seit den 60er Jahren hat sich die Neogenstratigraphie und damit die Einzeitung der Altflächen sehr wesentlich geändert. Viele Niveaugliederungen in den Kalkalpen erscheinen stark schematisiert. So konnte R. KALS (1984, S. 34) die von E. SEEFELDNER ausgewiesenen und von B. TOUSSAINT (1971, Tafel XIV) übernommenen Flächen des Gotzenniveaus in den Troggassen von Schwer und Röth bei seiner eigenen, auf intensiver Autopsie beruhenden Kartierung überhaupt nicht auffinden. Dahingehend spricht sich auch H. KNAPCZYK (1984, S. 313) aus, der Niveau II und III E. SEEFELDNERs (1961, S. 23 f.) der genetischen Überprüfung anheimstellt, da am Untersberg

zur Zeit der angeblichen Ausprägung derselben im Höhlenbereich die Gestaltung vertikal-vadoser Dynamik geherrscht hatte. Forschungsgeschichtlich gesehen ist auch von Bedeutung, daß viele der alpinen Altlandschaftsmorphologen, die in den Kalkalpen arbeiteten, sich nur mit der obertägigen Morphologie auseinandersetzen und nur sehr extensiv ihre Ergebnisse mit den allerdings früher auch spärlicher vorhanden gewesenem speleologischen Befunden verglichen haben. Es ist vor allem den Geographen unter den Speläologen zu danken, daß sie auf die ausgewogene Bearbeitung (TRIMMEL, H., 1968) beider Realobjekte stets gedrungen haben.

6. Literatur

- ARNBERGER, E.: Zur Frage der Höhlenniveaus und der Abhängigkeit der Höhlengerinne von einem Vorflutniveau. In: Hkd. Mitt. d. Lv. f. Hkde. i. W. u. Nö., 10, 1954, S. 76.
- ARNBERGER, E.: Höhlen und Niveaus. In: Die Höhle, 6, 1955, S. 1–4.
- ARNBERGER, E.: Die wissenschaftliche Erforschung der Dachstein-Mammuthöhle und ihre Bedeutung für die Speläogenese. In: Die Höhle, 35, 1984 (Festschrift für H. TRIMMEL), S. 93–104.
- BOCK, H.: Über die Entstehung der Dachstein-Riesenhöhle und ihre hydrologischen Verhältnisse. In: Dachstein-Riesenhöhle bei Hallstatt-Obertraun im Salzkammergute, Linz, 1913, S. 19–23.
- BÖGLI, A.: Mischungskorrosion – ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. In: Erdkunde, 18, 1964, S. 83–92.
- BÖGLI, A.: Karstwasserfläche und unterirdische Niveaus. In: Erdkunde, 20, 1966, S. 11–19.
- BÖGLI, A.: Karsthydrographie und physische Speläologie. Berlin, 1978. 292 Seiten.
- CVJIĆ, J.: Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst. In: Rec. Trav. Inst. Geogr. Alpine, 6, 1918, S. 376–420.
- GRAF, G.: Karstmorphologische Untersuchungen im östlichen Toten Gebirge. Diss. Univ. Graz, 1972, 138 S.
- KALS R.: Beiträge zur quartären Landschaftsentwicklung des Beckens von Abtenau und des nördlichen Tennengebirges. Diss. Nat. Fak. Univ. Salzburg, 1984, 198 S.
- KLAPPACHER, W., KNAPCZYK, H.: Regionale und vertikale Gliederung der Höhlen. S. 99–103. In: Salzburger Höhlenbuch, 4, Salzburg, 1985, 556 S.
- KNAPCZYK, H.: Der Untersberg bei Salzburg. Die ober- und unterirdische Karstentwicklung und ihre Zusammenhänge. Ein Beitrag zur Trinkwasserforschung. Diss. Nat. Fak. Univ. Salzburg, 1984. 339 S.
- KUFFNER, D.: Die Raucherkarhöhle unter besonderer Berücksichtigung ihrer Genese und ihre Beziehung zum oberirdischen Karst. Hausarb. a. Inst. f. Geogr. d. Univ. Salzburg, 1985, 82 S.
- KUGLER, H.: Das Georelief und seine kartographische Modellierung. Diss. B. Martin Luther King Univ. Halle-Wittenberg, 1974, 517 S.
- LANGENSCHIEDT, E.: Höhlen und ihre Sedimente. Dokumente der Landschaftsentwicklung in den Nördlichen Kalkalpen. Abschlußbericht zum Projekt „Sedimentuntersuchungen in den Höhlen des Alpenparks Berchtesgaden“ der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, 1985. 194 S.
- LEHMANN, O.: Die Hydrographie des Karstes. Wien 1932.
- LICHTENBERGER, E.: Forschungsrichtungen der Geographie. Das österreichische Beispiel 1945–1975. In: Mitt. d. Österr. Geogr. Ges. 117, 1975, S. 1–116.
- LICHTENECKER, N.: Beiträge zur morphologischen Entwicklungsgeschichte der Ostalpen. 1. Teil. Die nordöstlichen Alpen. In: Geogr. Jahresbericht aus Österreich, 14, Wien 1938, 82 S.
- LOUIS, H.: Die Entwicklung der Poljen und ihre Stellung in der Karstabtragung auf Grund von Beobachtungen im Taurus. In: Erdkunde, 10, 1956, S. 33–53.
- LOUIS, H.: Altreliefreste und Augensteinvorkommen im Dachsteingebirge. In: Mitt. d. Geogr. Ges. München, 53, 1968.
- LOUIS, H., K. FISCHER: Allgemeine Geomorphologie, 4. Aufl. Berlin, New York, 1979, 814 S.
- RIEDL, H.: Beiträge zur Morphologie des Gebietes der Leiser Berge und des Falkensteiner Höhenzuges. In: Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., Bd. 102, 1960, S. 65–76.
- RIEDL, H.: Gedanken zur methodischen Intensivierung der speläogenetischen Forschung. In: Pet. Geogr. Mitt., 105, 1961, S. 264–268.

- RIEDL, H.: Versuch einer speläogenetischen Korrelationsmethode. III. Int. Kongreß für Speläologie, 2, Wien, 1963, S. 115–119.
- RIEDL, H.: Neue Beiträge zum Problem: Raxlandschaft – Augensteinlandschaft. In: Mitt. d. Österr. Geogr. Ges. 108, 1966, S. 98–109.
- RIEDL, H.: Zum Problem eines oberkreidezeitlichen Karstes in den Fischauer Bergen (Niederösterreich). In: Arb. aus dem Geogr. Institut d. Univ. Salzburg (Festschrift für H. TOLLNER), 3, 1973, S. 205–228.
- RIEDL, H.: Die Problematik der Altflächen am Ostsporn der Alpen, ein Beitrag zur Frage der Reliefgenerationen. In: Würzburger Geogr. Schr., 45, 1977, S. 131–155.
- RIEDL, H.: Schwerpunkte und Aspekte der landeskundlichen Forschung im Bundesland Salzburg. In: Innsbrucker Geogr. Studien, 6 (Festschrift für A. LEIDLMAIR), 1979, S. 429–446.
- RIEDL, H.: Die Reliefgenerationen Griechenlands. In: Österreichische Osthefte, 26 (Festschrift für J. BREU), 1984, S. 156–176.
- RIEDL, H.: Die Beziehung Geospeläologie–Geomorphologie seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges. In: Akten des Intern. Symposiums zur Geschichte der Höhlenforschung in Österreich. Wiss. Beihefte zur Zeitschrift „Die Höhle“. Bd. 31, 1984, S. 63–66.
- SCHAUBERGER, O.: Über die vertikale Verteilung der nordalpinen Karsthöhlen. In: Mitt. d. Höhlenkommission, 1, 1955, S. 21–28.
- SEEFELDNER, E.: Die alten Landoberflächen der Salzburger Alpen. In: Zeitschrift für Geomorphologie, 8, 1934, S. 157–198.
- SEEFELDNER, E.: Karsthydrographische Beobachtungen am Untersberg. In: Mitt. d. Höhlen- und Karstforschung, 1937, S. 30–39.
- SEEFELDNER, E.: Salzburg und seine Landschaften. Eine geographische Landeskunde, Salzburg 1961. 573 S.
- SOLAR, F.: Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau. In: Mitt. d. Österr. Bodenkd. Ges., 8, 1964, S. 3–72.
- SPREITZER, H.: Die Piedmonttreppen in der regionalen Geographie. In: Erdkunde, 5, 1951, S. 294–305.
- SPREITZER, H.: Altlandschaften und Vorzeitformen in den österreichischen Donauländern. In: Tijdschr. v. h. Kon. ned. Aardr. Gen., 88, 1965, S. 303–310.
- STUMMER, G.: Höhlenforschung gestern und heute am Beispiel von 70 Jahren Mammuthöhlenforschung. In: Die Höhle, 31, 1980, S. 50–62.
- SULZBACHER, K.: Die Dachstein-Mammuthöhle, Versuch einer Monographie. Hausarb. am Inst. f. Geogr. Univ. Salzburg, 1983. 93 S.
- SWINNERTON, A. C.: Origin of limestone caverns. In: Bull. Geol. Soc. Am., 43, 1932, S. 663–693.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich, Bd. III, Wien, 1986. 718 S.
- TOUSSAINT, B.: Hydrogeologie und Karstgenese des Tennengebirges (Salzburger Kalkalpen, Österreich). Steir. Beitr. zur Hydrogeol., 23, 1971, 115 S.
- TOUSSAINT, B.: Karst- und Glazialmorphologie, S. 50–69. In: Salzburger Höhlenbuch, 4, Salzburg, 556 S.
- TRIMMEL, H.: Höhlen und Niveaus. In: Die Höhle, 6, 1955, S. 5–8.
- TRIMMEL, H.: Höhlenkunde. Die Wissenschaft, 126, 1968. 300 S.
- TRIMMEL, H.: Allgemeine Charakteristik und wissenschaftliche Bedeutung der Raucherhöhle. In: Die Höhle, Wiss. Beih., 21, 1969, S. 9–16.
- WEINGARTNER, H.: Geomorphologische Studien im Tennengebirge. Arb. aus dem Inst. für Geographie der Univ. Salzburg, 9. 196 S.
- ZÖTL, J.: Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes. Steir. Beiträge zur Hydrogeologie, 13, 1961. 183 S.
- ZÖTL, J.: Beiträge zu den Fragen der Karsthydrogeographie mit bes. Berücksichtigung der Erosionsniveaus. Mitt. d. Geogr. Ges. Wien, 100, 1958, S. 101–130.