

Nationalpark
Berchtesgaden



Höhlen und ihre Sedimente
in den
Berchtesgadener Alpen



Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen

Dokumente der Landschaftsentwicklung
in den nördlichen Kalkalpen

Ewald Langenscheidt

Angefertigt unter Leitung von Prof. Dr. H. Zankl
Lehrstuhl für Geologie an der Philipps-Universität Marburg

Impressum:

Nationalpark Berchtesgaden
Forschungsbericht 10/1986

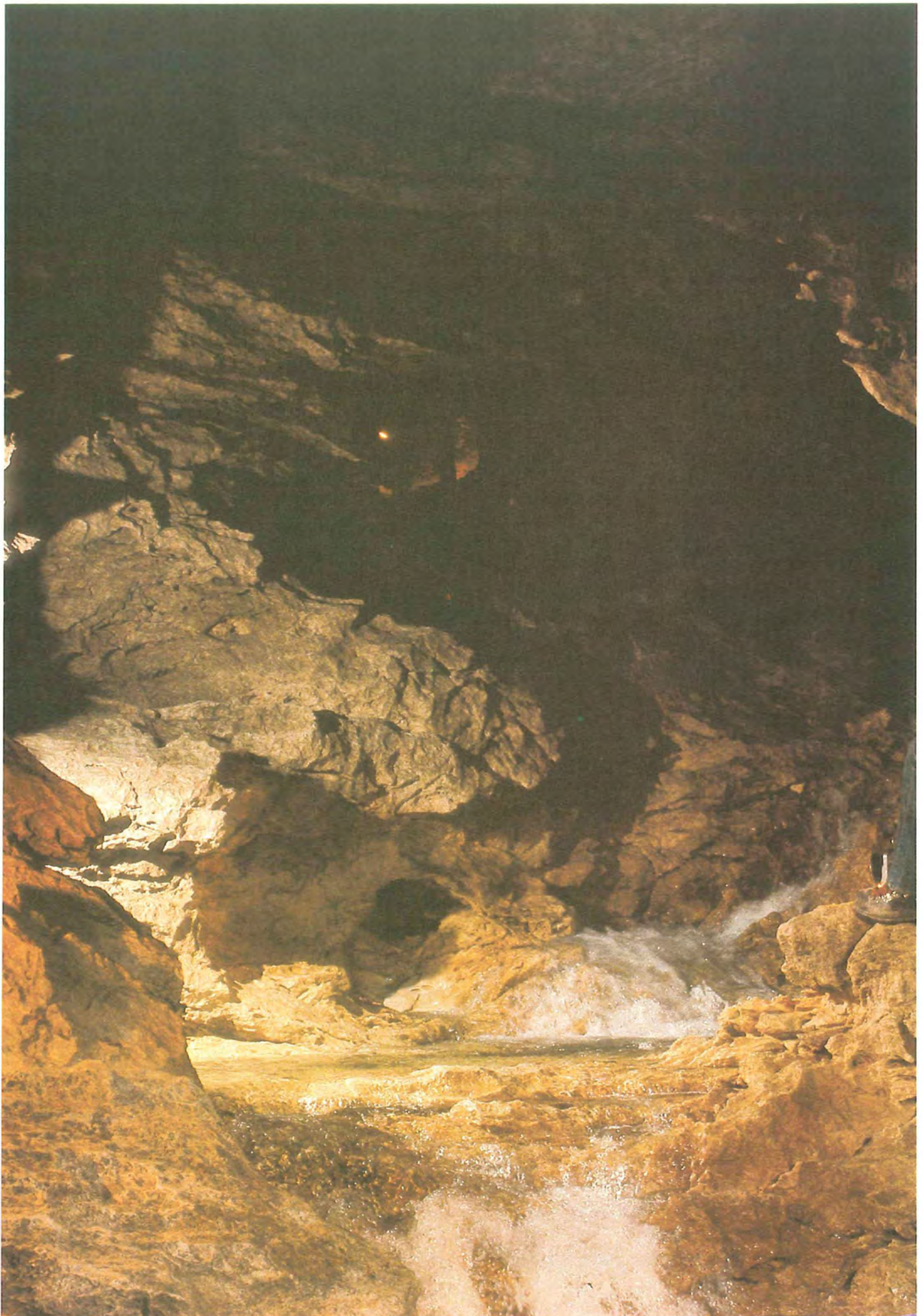
2. Auflage 1992

Herausgeber:
Nationalparkverwaltung Berchtesgaden
im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums
für Landesentwicklung und Umweltfragen

Alle Rechte vorbehalten

ISSN 0172-0023
ISBN 3-922325-09-2

Satz und Druck:
Druckerei Plenk, Berchtesgaden



Salzgrabenhöhle, Achenal. Höhlen, deren Raumformen, und die darin eingelagerten Sedimente liefern den Schlüssel zum Verständnis der Landschaftsentwicklung in den Berchtesgadener Alpen.

1	Einleitung	6
1.1	Problemstellung	6
1.2	Ältere Vorarbeiten zum Problem der Landschaftsentwicklung in den Salzburger Alpen	6
1.3	Augensteine - Augensteinlandschaft	8
1.4	Zur Altersfrage der kalkalpinen Verebnungsflächen	9
2.	Der Aufbau einer aktiven Landschaft – die karsthydrographischen Zonen	11
2.1	Speläogenese - Hohlraumbildung	11
2.1.1	Die Auflösung der Karbonatgesteine	11
2.1.2	Die Mischungskorrosion	12
2.1.3	Bedeutung von Normalkorrosion und Mischungskorrosion für die Hohlraumbildung	12
2.1.4	Unterirdische Verkarstung - Entwicklung eines Hohlraumes	13
2.2	Speläomorphologie	14
3	Der Zusammenhang zwischen Landschaftsentwicklung, Höhlenbildung und Höhlensedimenten und dessen Analysierbarkeit in Bezug auf die Problemstellung	17
4	Das Untersuchungsgebiet – Allgemeines	19
4.1	Geologische Übersicht	22
4.1.1	Großtektonischer Überblick	22
4.1.2	Die Schichtenfolge im Untersuchungsgebiet	22
4.1.2.1	Perm/Trias	22
4.1.2.2	Trias	23
4.1.2.3	Jura	23
4.1.2.4	Tertiär und Quartär	24
4.1.3	Zur Tektonik des Hagengebirges und des Steinernen Meeres	24
4.2	Zur Morphologie des Hagengebirges und des Steinernen Meeres	24
4.3	Karsthydrologie des Untersuchungsgebietes	26
4.4.	Die Höhlenverteilung im Steinernen Meer und im Hagengebirge	28
5	Die Lokalitäten	30
5.1	Geländearbeiten – Probennahme	34
6	Speläomorphologische Untersuchungen	35
7	Höhlensedimente	39
7.1	Chemische Höhlensedimente – Sinter	39
7.2	Klastische Höhlensedimente	41
7.2.1	Lockersedimente	41
7.2.2	Vergleich Quarzkomponentengehalt von Lockergesteinen und Augensteinen mit Quarzgehalten verfestigter Höhlensedimente	58
7.2.2.1	Interpretation der erzielten Ergebnisse in Bezug auf die Problemstellung	58
7.2.3	Verfestigte Höhlensedimente – Untersuchungsmethoden	59
7.2.3.1	Lagerungsverhältnisse	59
7.2.3.2	Kornform, Rundungsgrade und Größen der Komponenten	62
7.2.3.3	Qualitative Untersuchungen	62
	Dachsteinkalkgerölle	62
	Gerölle der liassischen Rotkalkgruppe	62
	Filamentkalke	62
	Fleckenkalke	62
	Radiolarit	62
	Bohnerze und Bauxite	63

7.2.3.3.2	Gerölle nicht kalkalpiner Herkunft	63
	Gangquarze und metamorphe Quarzaggregate	63
	Quarzaggregat, Typ 1	66
	Quarzaggregat, Typ 2	66
	Quarzaggregat, Typ 3	66
	Quarzaggregat, Typ 4	66
	Quarzaggregat, Typ 5	66
	Gerölle metamorphen Ursprungs	66
	Quarzreicher Glimmerschiefer	66
	Intern verfalteter Quarzglimmerschiefer	67
	Zwei - Glimmerschiefer	67
	Sehr schwach hornblendeführender Glimmergneis	67
	Muscovit - Sillimanitfels	67
	Granit	67
7.2.3.3.3	Quarzeinkristalle - Kappenquarze	67
7.2.3.3.4	Gerölle unsicherer Zuordnung	69
	Sandsteine	69
	Graubrauner Fein- bis Mittelsandstein	69
	Schwach feldspatführender Feinsandstein	69
	Roter glimmerführender Feinsandstein	69
	Schwach glimmer- und feldspatführender Feinsandstein	69
	Glimmerführender Feinsandstein	69
	Schwach glimmerführender und hämatitimprägnierter Feinsandstein	70
	Sonstige Gerölle	70
	Chalzedongerölle	70
	Laminiertes feinkörniges Hornsteingeröll	70
	Massiges Hornsteingeröll	70
	Fossilfreie Mikritkalke	70
	Rekristallisierte Kalkgerölle	70
	Dolomitgerölle	71
	Tonsteingerölle	71
	Kalziteinkristalle	71
7.2.3.3.5	Höhleninterne Resedimente	71
	Aufgearbeitete Höhlensedimente	71
	Sintergerölle	71
7.2.3.3.6	Matrix der verfestigten Höhlensedimente	71
7.2.3.3.7	Abschließende Betrachtungen	
	zu den qualitativen Untersuchungen der Höhlensedimente	73
7.2.3.4	Quantitative Untersuchungen	73
7.2.3.4.1	Untersuchung der verfestigten Höhlensedimente	
	mittels der Point-counter - Methode	73
7.2.3.4.2	Schwermineralanalyse	74
8	Das Problem Salzgrabenhöhle	80
8.1	Vergleich: Luftbildauswertung - Höhlenplanlineationen - Kluftmessungen	80
8.1.1	Die Hauptlineationsrichtungen	80
8.1.2	Luftbildauswertung	80
8.1.3	Höhlenplanlineationen	81
8.1.4	Kluftmessungen	82
8.1.5	Diskussion der bisher erzielten Ergebnisse	82
8.2	Faktorenanalyse	82
8.2.1	Ergebnisse aus der Faktorenanalyse	87
9	Zusammenfassung	88
10	Literaturverzeichnis	91
11	Anlagen	94

1 Einleitung

Durch ein Pilotprojekt auf die Problematik Höhlen und Höhlensedimente und deren wissenschaftliche Aussagekraft aufmerksam geworden, finanzierte die Nationalparkverwaltung Berchtesgaden die vorliegenden Untersuchungen.

Ziel dieses Projektes war es, durch die Analyse von Höhlen und Höhlensedimenten Aussagen zur tertiären Landschaftsentwicklung im Alpenpark Berchtesgaden und in dessen weiterem Umfeld zu erzielen. Wie im folgenden dargestellt, konnte diesen Anforderungen entsprochen werden und ein Beitrag zur tertiären Geschichte des Berchtesgadener Landes geleistet werden.

Die Geländearbeiten zu diesem Projekt wurden 1982 und 1983 im Sommer durchgeführt, daneben wurden jeweils im Winter seit 1980 Forschungen in der Salzgrabenhöhle betrieben.

Die aufgesammelten Sedimentproben wurden am Fachbereich Geologie der Philipps-Universität Marburg untersucht, wo auch die weiteren Auswertungen stattfanden.

1.1 Problemstellung

Schon seit dem letzten Jahrhundert ist die Landschaftsentwicklung der Salzburger Kalkalpen Gegenstand wissenschaftlicher Forschung (PENCK, 1885). Durch die grundlegenden Arbeiten von SEEFELDNER (1926, 1933 u. 1934) und LICHTENECKER (1926 u. 1938) wurden zwei gegensätzliche Theorien zur Landschaftsentwicklung begründet, die bis heute in der Literatur diskutiert werden. Gemeinsam ist beiden das Forschungsobjekt ihrer Studien: Verebnungsflächen, die in verschiedenen Höhenlagen in den Salzburger Kalkalpen auftreten. Deren Genese wird jedoch völlig widersprüchlich erklärt. So sind sie nach SEEFELDNER das Produkt mehrerer Erosionszyklen, die Geländestufen zwischen den Verebnungen werden als Erosionsränder gedeutet.

Dagegen steht die Auffassung von LICHTENECKER, der die verschiedenen Flächen in den unterschiedlichen Höhenlagen als das Ergebnis von tektonischen Verstaltungen einer Altlandschaft interpretiert. Die Geländestufen werden als tektonische Bruchstufen aufgefaßt.

Zwar hat sich in den letzten Jahren mehr und mehr das Konzept der mehrphasigen Landschaftsentwicklung im Sinne SEEFELDNERs durchgesetzt, doch konnten dafür keine schlüssigen geologischen Beweise angeführt werden (vgl. TOLLMANN, 1968).

Erst durch die Verbindung von Geomorphologie, Karsthydrographie und Speläologie mit geologischen Untersuchungsmethoden in dem durchgeführten

Projekt wurde es ermöglicht, eindeutige Aussagen zu den aufgestellten Theorien über die Landschaftsentwicklung zu machen.

Am Beispiel des Steinernen Meeres und des Hagengebirges, zweier zentraler Gebirgsstöcke der Salzburger Kalkalpen und gleichzeitig Forschungsgegenstand klassischer Arbeiten zur alpinen Geomorphologie, werden diese Verknüpfungen vorgestellt und bearbeitet.

1.2 Ältere Vorarbeiten zum Problem der Landschaftsentwicklung in den Salzburger Alpen

PENCK liefert 1885 eine ausführliche geographische Beschreibung der Berchtesgadener Alpen. Er spricht von Plateaubergen wie dem Steinernen Meer, dem Hagengebirge und der Reiteralm. Aus Konglomeratvorkommen im Eisbachtal westlich von St. Bartholomä leitet er ab, daß das Talsystem im Berchtesgadener Land bereits während der jüngeren Kreide angedeutet war. Die heute tief eingeschnittenen Täler (Königsseetal, Wimbachtal) werden als Fjorde des Molassemeeres angesehen. Das Alter der Seen im Berchtesgadener Land wird mit nacheiszeitlich angegeben. Verkarstung und Denudationsvorgänge erscheinen ihm als die wichtigsten formbildenden Kräfte.

H. v. STAFF äußert 1912 die Auffassung, die Plateaus der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen seien die Überreste einer fast ebenen Rumpffläche, die sich über die Alpen gespannt habe.

Von GÖTZINGER (1913) werden die Plateauformen der östlichen Kalkalpen als eine Kuppenlandschaft beschrieben, die zuweilen sehr flach sei. Den Kuppen wird altmiozänes Alter zugewiesen, sie seien durch Denudation entstanden. Die zwischen ihnen auftretenden Verebnungen seien fluviatilen Ursprungs, wie die Augensteine, bei denen er zwischen primärer und sekundärer Lagerstätte unterscheidet.

1919 erscheint eine weitere Arbeit von PENCK, in der er die v. STAFFschen Vorstellungen ablehnt. Er stellt drei verschiedene Abtragungs- und Umbildungsreihen auf, die nach seiner Meinung in ihren Wirkungen und Wechselwirkungen für das morphologische Bild der Alpen verantwortlich sind. So wird das Zusammenspiel von der Hebung des Alpenkörpers mit der erosiven Einschneidung der Täler betont. Desweiteren weist PENCK auf die modellierende Kraft der Gletscher und der des Eises im allgemeinen hin. Er prägt in dieser Arbeit den Begriff »Gipffelur« und erwähnt auch die Bedeutung von Höhlen, die allerdings nicht im selben Maße wie heute genetisch mit Altlandschaften verknüpft werden.

MACHATSCHEK (1922) trennt eine »Kuppenlandschaft« von einer abgesetzten »Verebnungsfläche« und darunter folgenden »Talniveaus« ab. Er sieht keine engere Beziehung zwischen Augensteinen und einer der alten Reliefformen, vielmehr werden sie von ihm als lokal ausgewittertes Material gedeutet.

Von LICHTENECKER (1924) wird die hypothetische »Augensteinlandschaft« eingeführt, die über den heutigen Gipfeln zu denken wäre. Sie wird als unvollständige Einebnungsfläche beschrieben. Er sieht in ihr den Vorläufer der »Raxlandschaft«. 1926 führt LICHTENECKER seine Gedanken weiter aus und deutet die verschiedenen Flächen in den unterschiedlichen Höhenlagen als das Ergebnis von tektonischen Verstaltungen einer frühmittelmiozänen Landschaft, der sogenannten »Raxlandschaft«. Geländestufen werden als Bruchstufen angesehen, die die alte Landschaft zerteilen. Sie können erosiv überprägt werden, und somit kann ihr tektonischer Ursprung nicht mehr erkannt werden.

Ebenfalls 1926 begründet SEEFELDNER seine Theorie der mehrphasigen Landschaftsentwicklung, zwei verschieden alte Landoberflächen werden unterschieden. In weiteren Arbeiten (SEEFELDNER 1933 u. 1934) werden diese zwei Landoberflächen nochmals differenziert und in drei Altlandschaften aufgliedert. Die Begriffe »Hochkönigniveau«, »Tennenniveau« und »Gotzenniveau« für die in den verschiedenen Höhenlagen auftretenden Verebnungsflächen werden eingeführt und mit Flächensystemen der Zentralalpen in Verbindung gebracht. Die Augensteinlandschaft wird als Rumpffläche angesprochen. SEEFELDNER argumentiert im wesentlichen mit der Parallelisierung von verschiedenen Hochlagen von Verebnungen und mit deren gleichmäßigem Ansteigen vom Alpennordrand gegen Süden. Die Stufen zwischen den einzelnen Verebnungen werden als Erosionsränder gedeutet, was im weiteren eine längere Diskussion über das Wirken von erosiven und denudativen Prozessen auslöste. Es sei hier nur auf den Diskussionspunkt der rückschreitenden Wandverwitterung aufmerksam gemacht. Desweiteren begründet SEEFELDNER seine Auffassung mit dem unterschiedlichen morphologischen Charakter der einzelnen Geländestufen. So beschreibt er das Hochkönigniveau als eine nahezu eben erscheinende Oberfläche mit sanften Hängen und geringer Verkarstung. Das Tennenniveau dagegen wird gekennzeichnet als eine flachwellige Landschaft mit geringer Reliefenergie und alten breiten Tälern mit intensiver Verkarstung. Als ein weiteres wichtiges Argument wird das »fingerförmige Eingreifen des einen Niveaus in ein höhergelegenes« vorgebracht, was sehr gut im nördlichen Hagengebirge und im Steinernen Meer, südlich des Simetsberges, zu beobachten sei.

Damit waren in den wesentlichen Zügen die konträren Ansichten zur Geomorphologie in den Nördlichen Kalkalpen konzipiert. Sie bestimmen die Diskussion bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt.

RATHJENS (1939) deutet die Oberflächenformen der Reiteralm genetisch im Sinne LICHTENECKERS.

Im gleichen Jahr betont GANSS in seiner Arbeit zur »Tektonik und Landoberflächen der Dachsteingruppe« den hypothetischen Charakter der Augensteinlandschaft und lehnt sie als unmöglich ab. Das Hochkönigniveau im Sinne SEEFELDNERs und die Augensteinlandschaft sind seines Erachtens identisch. Im

weiteren stellt er die Bruchtektonik als formgebendes Element in den Vordergrund und weist auf jurassisch angelegte Flächen hin, die während der Kreide (Erosion prägosauisch, bzw. Konservierung durch die Gosautransgression) wiedererstanden sind und sich über das Tertiär bis heute erhalten haben.

Die Oberflächenformen der Osterhorngruppe werden von LECHNER (1943) ebenfalls im Sinne LICHTENECKERs interpretiert.

Diese Theorie der einphasigen, tektonisch bedingten Landschaftsentwicklung wird von WINKLER v. HERMADEN (1950) zurückgewiesen und die Richtigkeit des SEEFELDNERschen Konzepts unterstrichen. Diese Arbeit bietet einen sehr guten Überblick über den damaligen Stand der Diskussion. Dies gilt auch für DEL-NEGRO (1950), der gleichfalls das SEEFELDNERsche Konzept favorisiert.

In einer weiteren Arbeit schließt sich LECHNER (1951) weder der einen noch der anderen derzeit vorherrschenden Theorien zur Landschaftsentwicklung an; er führt vielmehr die Vielgliedrigkeit einer Hochfläche auf die Wirkungen nivaler chemischer und organochemischer Korrosion und glazialer Erosion zurück. Er versucht, mit dieser Arbeit die verhärteten Fronten zwischen den Anhängern der einen oder anderen Theorie wieder in Bewegung zu bringen.

1952 meldet sich SEEFELDNER wieder zu Wort und unterstreicht nachhaltig seine Theorie der Folge mehrphasiger Erosionsstockwerke untereinander und spricht von einer flächenhaft entwickelten Formengruppe, gliederbar in Gotzenniveau, Tennenniveau und Hochkönigniveau. Diese Dreigliederung sei auch auf die Zentralalpen übertragbar, weitgespannte Verbiegungen führten zu Dislokationen des Hochkönigniveaus in der Übergangszeit zwischen Hochkönigniveau und der Ausbildung des Tennenniveaus.

GOLDBERGER (1955) lehnt für die Morphologie des Hochkönigs beide vorherrschenden Theorien ab. Er erarbeitet eine Gliederung, die basierend auf einer eingehenden Analyse der tektonischen Verhältnisse, diese mit verschiedenen alten Tallagen unter besonderer Berücksichtigung glazialer Erosion zu einem Modell vereint. Von großer Bedeutung war auch seine Beobachtung, daß Bruchstufen und Störungslinien erst sekundär herausgearbeitet werden durch die an Störungslinien haltmachende Erosion. Diese Beobachtungen stehen in Gegensatz zu der Auffassung LICHTENECKERs.

Ähnliches gilt für die Arbeit von MORAWETZ (1950), der gleichfalls weder dem einen noch dem anderen Konzept zuneigt. Vielmehr stehen bei ihm denudative Vorgänge als hauptsächlich formgebende Kräfte im Vordergrund.

Von LEIDLMAIR (1956) wird eine Gliederung der heutigen Landschaft nach dem Auftreten bestimmter Karsterscheinungen vorgenommen. Die oberste Einheit wird als »Scherbenkarstlandschaft«, die darunter folgende als »Karren-Dolinen-Landschaft« bezeichnet.

net. Beide werden in das Jungtertiär gestellt. Karren und Dolinen treten jedoch bis in die Gipfelregionen auf, so daß, wie HASERODT (1965) gezeigt hat, eine Höhengliederung nach bestimmten Formelementen der Verkarstung nicht möglich ist.

1961 erscheint von SEEFELDNER »Salzburg und seine Landschaften«, worin er erneut seine Auffassungen einer mehrphasigen Landschaftsentwicklung darstellt und zu beweisen sucht.

TOLLMANN (1968) diskutiert ausführlich die paläomorphologische Entwicklung der Ostalpen, wobei ein Schwerpunkt auf der altersmäßigen Einstufung der Altflächen liegt. Er verbindet das Auftreten von Augensteinen bzw. Quarzgeröllen in den Sedimenten der Molasse mit der inneralpinen Landschaftsentwicklung und kommt so zu begründeten Altersangaben für die jeweiligen Altlandschaften (s. a. FÜCHTBAUER, 1964). Wie in seiner Literaturdiskussion dargestellt, hatte sich zu diesem Zeitpunkt das Konzept der mehrphasigen Landschaftsentwicklung immer mehr in den Vordergrund geschoben, wenn es sich auch geologisch nicht eindeutig nachweisen ließ.

Allerdings wird von TOLLMANN (1968) der Zusammenhang zwischen den kalkalpinen und den zentralalpinen Hochfluren in Frage gestellt, worauf SEEFELDNER (1973) wieder Stellung bezieht und nochmals den Zusammenhang zwischen den Hochflurensystemen der Nördlichen Kalkalpen und der Zentralalpen bekräftigt.

Nach den neueren Ansichten von GRAF (1978) sind Altlandschaftsreste nur in kleinen Verebnungen der höchsten Kuppen zu sehen, die tiefer gelegenen Verebnungsflächen sind dagegen als das Resultat eiszeitlicher Erosion anzusprechen.

Eine jüngst erschienene Arbeit von LEMCKE (1984) bestätigt die stratigraphischen Auffassungen von TOLLMANN (1968), dies gilt insbesondere für das Auftreten von Augensteinen in der Molasse.

Wie durch diese ausgewählten Arbeiten dargestellt, war und ist der Verlauf der tertiären Landschaftsentwicklung in den Nördlichen Kalkalpen noch immer sehr umstritten. Während zunächst tektonische Bewegungen als ausschlaggebend für die Formgebung angesehen wurden, hat sich in neuerer Zeit jedoch die Meinung durchgesetzt, die besagt, daß mehrere Ein-ebnungszyklen zum heutigen Landschaftsbild geführt haben.

Diese Diskussion wurde mit den verschiedensten Argumenten geführt, so mit großräumigen Untersuchungen und Flächenparallelisierungen, mit detailliert ausgearbeiteten kleinräumigen Untersuchungen, mit tektonischen Analysen, wie auch mit der Deutung und Bewertung erosiver fluvialer und glazialer Prozesse sowie karstmorphologischer Erscheinungen.

Ganz sicher können auch nicht sämtliche lokal auftretenden morphologischen Phänomene - tektonische Bewegungen und Verstellungen sind bis weit in das

Tertiär hinein nachweisbar - in das eine oder andere Konzept gepreßt werden, bleibt dennoch die Frage nach dem **vorherrschenden** formgebenden Mechanismus letztendlich geologisch offen.

Der Verfasser möchte nun mit der vorliegenden Arbeit neue Argumente in die »morphologische« Diskussion um die tertiäre Landschaftsentwicklung einbringen, die auf der Untersuchung von Höhlen und ihrer Sedimente aus dem Hagengebirge und dem Steinernen Meer basieren.

1.3 Augensteine - Augensteinlandschaft

Der Begriff Augensteine geht vermutlich wohl auf SIMONY (1851) zurück. Darunter werden den Hochflächen der nordalpinen Kalkplateaus auflagernde Schotter verstanden, die im wesentlichen aus Quarzen und Quarziten, verschiedenen Sandsteinen, Glimmerschiefern, Gneisen, Graniten sowie aus dunklen Kalken, Dolomiten und Lyditen bestehen. Sie sind in der Regel sehr gut gerundet und Millimeter bis Dezimeter groß.

Verschiedenste Entstehungs- und Transportmechanismen wurden zur Erklärung der Augensteinvorkommen herangezogen. SIMONY (1851) deutet sie als Gerölle alpiner Flüsse, H. v. FOULLON (1887) erkannte in ihnen Reste »kristallinischen Gesteins«. SUEß (1860) erklärt die Augensteinvorkommen als Eruptionerscheinungen entlang von Verwerfungen, während A. v. KERNER (zit. in GÖTZINGER, 1913) vermutet, sie seien in Mägen von Vögeln gerundet und auf die Plateaus gebracht worden. MACHATSCHEK (1922) sieht in ihnen Auswitterungen aus jurassischen Kalken und vor allem aus Gosaukonglomeraten. LEUCHS (1924) hält den Ursprung der verschiedenen Komponenten in den Zentralalpen für gesichert, nimmt aber submarinen Transport und Einlagerung in oberliassischen Breccienkalk, Gosaukonglomerate oder eozäne Konglomerate an. Er lehnt den Transport durch Flüsse ab und hält lokale Auswitterung aus den o. a. Gesteinen für wahrscheinlich.

Trotz dieser Vielfalt an Erklärungsversuchen wurden schließlich immer mehr Argumente dafür zusammengetragen, daß die Augensteine als Reste von Flußschottern anzusprechen sind, die über den gesamten Kalkalpenraum verbreitet waren (stellvertretend: GÖTZINGER 1913, WINKLER 1928, WINKLER-HERMADEN 1950 u. 1957, TOLLMANN 1960, RIEDL 1966, Zusammenstellung bei TOLLMANN 1976).

Eine erste stratigraphische Einstufung wurde von MOJSISOVICS (1889) vorgenommen, der sie mit dem »Ennstalertiär« parallelisierte. Nach TOLLMANN (1976) ist für das Ennstalertiär lediglich ungenau Miozän anzugeben. Weit bessere Anhaltspunkte zur stratigraphischen Einordnung wurden durch Vergleiche mit Untersuchungen der Molasse erzielt, die, wie in Kap. 1.4 näher ausgeführt wird, unteroligozänes bis untermiozänes Alter ergaben.

Der Begriff »Augensteinlandschaft« wurde von LICHTENECKER (1924) eingeführt für eine Altlandschaft,

die nicht mehr direkt morphologisch nachweisbar ist. Auf ihr wurden die Flußschotter abgelagert, die nach der vollständigen Erosion dieser Altlandschaft nun auf sekundärer und/oder tertiärer Lagerstätte zu liegen kamen (WINKLER 1928 u. 1957). Somit sind die gesamten Augensteinvorkommen nicht primäre Ablagerungen, sondern teilweise sogar mehrfach umgelagert worden.

Der morphologische Charakter bleibt hypothetisch und umstritten (vgl. Kap. 1.2), während allgemein eine Höhenlage der Augensteinlandschaft zwischen 50 und 100 m über der heutigen Gipfelregion angenommen wird, was aus rezenten erosiven und denudativen Vorgängen abgeleitet wird. Nach neueren Erkenntnissen von RIEDL (1966) sind einige Altflächen am Rande des Wiener Beckens als Reste der Augensteinlandschaft anzusprechen.

Die Summe dieser Beobachtungen, fußend auf tektonischen, sedimentologischen und paläontologischen Untersuchungen aus dem Raum der gesamten Nördlichen Kalkalpen läßt keinen Zweifel daran, daß sich während des Oligozäns eine alte Landoberfläche ausgebildet haben muß, auch wenn sie nur indirekt nachzuweisen ist.

1.4 Zur Altersfrage der kalkalpinen Verebnungsflächen

Ebenso unterschiedlich wie die Interpretation der Verebnungsflächen, sind auch die jeweiligen Altersangaben. In Tabelle 1 sind mehrere Arbeiten verschiedener Autoren in Hinsicht auf die stratigraphische Einstufung der Verebnungsflächen zusammengestellt. Im engen Zusammenhang damit steht die stratigraphische Einordnung inneralpiner tertiärer Schichten und Konglomerate, die mit paläontologischen Methoden direkt datierbar sind. Aus Verzahnungen dieser Tertiärvorkommen mit Altlandschaftsflächen wurden Aussagen zur Altersfrage der Verebnungen möglich.

Aus detaillierten paläontologischen und sedimentpetrographischen Untersuchungen der Molasse konnten ebenfalls Hinweise zur Alterseinstufung der Altlandschaften abgeleitet werden. So steht das Einsetzen von Fernschottern in der Molasse (SCHIEMENZ 1960, FÜCHTBAUER 1964, WOLETZ 1963 u. 1967, LEMCKE 1984) im Lattorf in Zusammenhang mit der flächenhaften Ausbreitung der Augensteine in den Nördlichen Kalkalpen. Im Chatt erreichen die Schüttungen in die Molasse ihren Höhepunkt, mit dem Einsetzen der savischen Phase werden die Lieferungen aus den Zentralalpen beendet (s. Tab. 1). Daraus ergibt sich ganz zwangsläufig der Zeitraum vom obersten Unteroligozän bis zum Aquitan (TOLLMANN 1968) zur Ausbildung der Augensteinlandschaft.

Nachgosauische Bewegungen der pyrenäischen Phase an der Wende Eozän/Oligozän waren dafür die Voraussetzung. Sie hatten nach TOLLMANN (1968) zweierlei zur Folge: erstens das Trockenlegen der Kalkalpen, des Flyschs und des Helvetikums und zweitens das verstärkte Herausheben der Zentral-

alpen, wodurch eine nach Norden gerichtete Oberflächenentwässerung ermöglicht wurde.

Auch das Alter der Raxlandschaft, hier synonym verwandt zum Hochkönigniveau, läßt sich nicht genau definieren. Neuere Arbeiten aus dem Wiener Becken (zit. in TOLLMANN 1968) geben Anhaltspunkte für ein höheres Alter der Raxlandschaft, als noch von WINKLER-HERMADEN (1957), DEL-NEGRO (1950) oder SEEFELDNER (1961) angenommen.

Die stratigraphische Untergrenze der Raxlandschaft ist durch die Zerstörung der Augensteinlandschaft im Aquitan gegeben. Als stratigraphische Obergrenze kann mit Sicherheit nur vor Altpannon angegeben werden (TOLLMANN 1968). Es gibt jedoch in Arbeiten verschiedener Autoren Hinweise dafür, daß die weitgespannten Verbiegungen, die zu Dislokationen der Raxlandschaft führten (s. SEEFELDNER 1952), mit Auswirkungen der steirischen Phase an der Wende Helvet/Torton in Verbindung gebracht werden können.

Diese Bewegungen können als Untergrenze für die Zeitspanne angenommen werden, in der das Tennenniveau und das Gotzenniveau zur Ausbildung kam. Als Obergrenze gibt TOLLMANN (1968) vor Altpannon an, dennoch wäre es auch denkbar, in Zusammenhang mit dem Geröllspektrum des Hausruck-Kobernauberwaldschotter (FUCHS 1980, MACKENBACH & BRUNNACKER 1983), diese Obergrenze i. S. WINKLER-HERMADENs (1957) im Pannon bzw. Unterpliozän anzusetzen.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, daß für die Augensteinlandschaft oberstes Unteroligozän bis unteres Miozän als Entwicklungszeitraum in Frage kommt, während im Mittel- und Obermiozän und in das Pliozän hinreichend das Hochkönigniveau, Tennenniveau und Gotzenniveau ausgebildet wurde.

Neue Gliederung (aus: LEMCKE 1984)
Mio. Jahre
Alte Gliederung

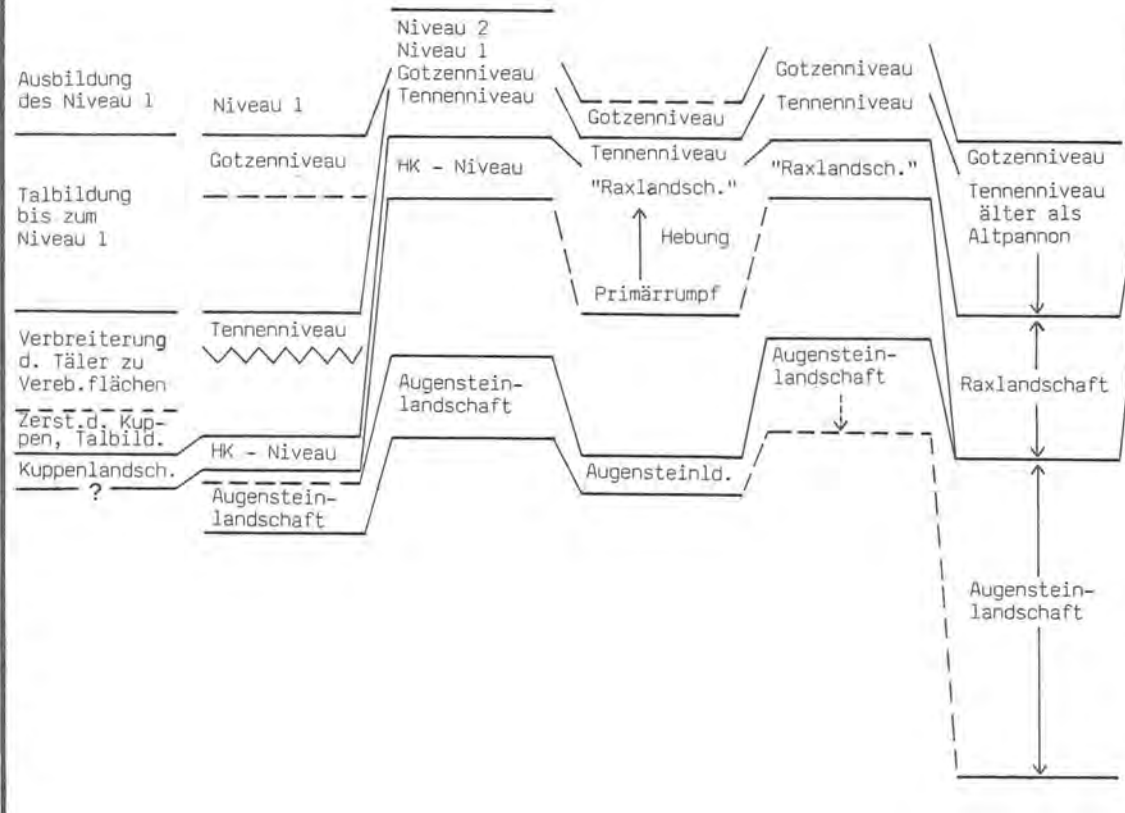
ALTLANDSCHAFTSGLIEDERUNG u. STRATIGRAPHIE nach :

SEEFELDNER 1926 SEEFELDNER 1933 (vereinfacht) SEEFELDNER 1961 DEL-NEGRO 1950 WINKLER-HERMADEN 1957 TOLLMANN 1968 GRAF 1978

Unterinntal-tertiär (TOLLMANN 1976) und Gebirgs-bildungsphasen
Stratigraphie d. Molasse (LEMCKE 1984)

PLIOZAN
Daz
Pont
N
Pannon
Z
Sarmat
Baden
Karp
Ottang
MIOZAN
Eggenburg
Ob. Eger
OLIGOZAN
Unt. Eger
Rupel
Lattorf
Priabon
EOZAN

PLIOZAN
Pont
Sarmat
ober.
Torton
Helvet
mittl.
Burdigal
Aquit
unter.
OLIGOZAN
Chatt
Rupel
Lattorf
unter.
EOZAN



Eiszeitl. Plattenlandsch. bzw. analoge Formen im massigen Kalk
Kuppen mit Altlandsch.-resten
Attische Phase
Steir. Phase
Savische Phase
Angerberg - Schichten
Häinger Schichten
Oberaudorfer Schichten

Unterinntal - Tertiär

Fernschotter in d. Molasse TOLLMANN 1976, LEMCKE 1984

SBM Süßbrackwassermolasse
HK - Niveau Hochkönigniveau

Tabelle 1

2 Der Aufbau einer aktiven Landschaft - die karsthydrographischen Zonen

Eine umfassende Darstellung zu diesem Themenbereich wurde von BÖGLI (1978) gegeben, die Karsthydrogeologie und deren Probleme wurden von ZÖTL (1974) ausführlich beschrieben. Darin finden sich eingehende Diskussionen älterer Veröffentlichungen, desgleichen Hinweise zur weiterführenden Literatur. Es wird daher im folgenden hauptsächlich auf die o. a. Arbeiten Bezug genommen.

Nach BÖGLI (1978) kann der verkarstete Raum, ausgehend von der Karstoberfläche, in eine vadose inaktive Zone, eine vadose aktive und eine phreatische Zone unterteilt werden. Dies wird graphisch in Abbildung 1 dargestellt.

Die vadose Zone ist gekennzeichnet durch die dauernde oder temporäre Anwesenheit von Luft. Abhängig vom CO_2 -Gehalt der Luft wird Kalk gelöst oder ausgeschieden.

In der inaktiven vadosen Zone erfolgt weder durch Erosion noch durch Korrosion Hohlraumerweiterung. Lediglich an Austrittsstellen von kalkarmen Wasser kommt es zur Bildung von Korrosionskolken. Es kann jedoch auf mechanischem Weg zur Raumveränderung kommen, wie etwa durch Inkasion.

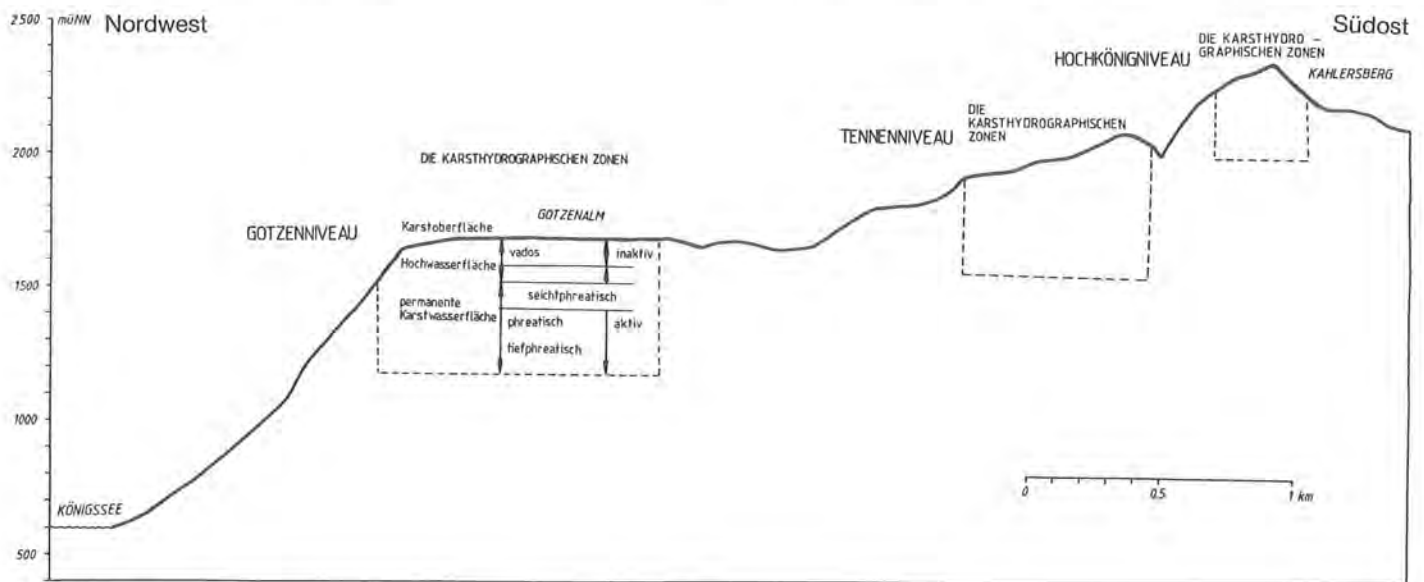


Abbildung 1: Die karsthydrographischen Zonen nach BÖGLI (1978), idealisiert in ein Profil durch den Hagengebirgswestrand eingezeichnet.

Diese Zone wird von aktiven Streifen gequert, den »Zubringern«. Wasser fließt in ihnen vorwiegend vertikal dem Karstwasserkörper zu, es kann bei Hochwasser zu erosiver Raumerweiterung kommen, ansonsten zu je nach den äußeren vorherrschenden Bedingungen ausgerichteten korrosiven oder erosiven Wirkungen.

Die Hochwasserzone verbindet die vadose mit der phreatischen Zone. Durch die temporär wechselnde Anwesenheit von Luft entstehen alternierend vadose und seichtphreatische Bedingungen. Die intensivsten hohlraumbildenden Vorgänge finden in der Hochwasserzone und der nachfolgenden stabilen seichtphreatischen Zone statt (vgl. 2.1 ff.).

In der phreatischen Zone wird ein seichtphreatischer und ein tiefphreatischer Anteil unterschieden. Ersterer ist gekennzeichnet durch das Fließen des Wassers gegen den Vorfluter. Die Mischungskorrosion ist, begünstigt durch die Nähe der Zubringer, der dominierende hohlraumbildende Prozeß. Die Mächtigkeit dieser oberen phreatischen Zone wird mit bis zu 50 m angegeben.

Im tiefphreatischen Anteil herrscht stagnierende Wasserbewegung vor, doch kann es hier ebenfalls, wenn auch in weit geringerem Ausmaß, zur aktiven Hohlraumbildung durch Mischungskorrosion kommen.

In der Natur sind diese Verhältnisse weitaus komplizierter, es können Überlagerungen auftreten und verschiedene physikalische Phänomene, wie etwa die Ausbildung von Piezometerflächen oder Druckfließen. Auf die Größe des Untersuchungsgebietes und die Problemstellung bezogen kann jedoch von der Betrachtung solcher Einzelfragen abgesehen werden.

2.1 Speläogenese - Hohlraumbildung

2.1.1 Die Auflösung der Karbonatgesteine

Ausführlich wird von BÖGLI (1978) auf dieses Problem eingegangen, so daß an dieser Stelle nur eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Prozesse gegeben wird.

Die Karbonatlösung erfolgt in einem Stoffsystem vom Typ:

$\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CaCO}_3$ (Kalklösung) oder
 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (Dolomittlösung).

Zunächst wird das CO_2 der Luft im Niederschlagswasser chemisch gelöst und als starke Säure chemisch dissoziiert:

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
 (Bildung der Säure). Organisch produziertes CO_2 steht in relativ großen Mengen in der Bodenluft zur Verfügung, so daß Sickerwässer sehr hohe H^+ bzw. HCO_3^- -Konzentrationen aufweisen können, was dann im bedeckten Karst zu einer vergleichsweise starken Kalklösung führt.

Nach der Dissoziation erfolgt die Kalklösung:
 $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$.

Ähnlich erfolgt die Dolomittlösung:
 $2\text{H}^+ + 2\text{HCO}_3^- + \text{MgCa}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$.

Dies ist kein statischer Vorgang, sondern ein dynamisches System, da durch die Assoziation H^+ und CO_3^{2-} die Reaktionsschritte erneut aktiviert werden, um sich auf ein neues Gleichgewicht einzustellen.

Weitergehende Fragen zum Löslichkeitsprodukt, zur Reaktionsgeschwindigkeit, zur Temperatur- und Druckabhängigkeit von CO_2 -Konzentrationen, zum Verhalten von CO_2 an der Grenzfläche Luft/Lösung werden eingehend von BÖGLI (1978) erörtert.

2.1.2 Die Mischungskorrosion

Das Phänomen der Mischungskorrosion ist seit langem bekannt. Doch erst BÖGLI (1961) erkannte dessen Bedeutung für den Karst und die Speläologie.

Die Mischungskorrosion entfaltet ihre Wirkung in der phreatischen Zone unter Abwesenheit von Luft.

Da die Gleichgewichtskurve von CO_2 zu CaCO_3 in wässriger Lösung nicht linear ist, verläuft jede Gerade zwischen zwei Punkten dieser Kurve durch den konkaven kalkaggressiven Bereich (Abb. 2). Das bedeutet, daß bei der Mischung zweier gesättigter Wässer beliebiger Konzentration, unabhängig vom Mischungsverhältnis, ein CO_2 -Überschuß entsteht. Ein Teil dieses Überschusses wird zur Einstellung des $\text{CO}_{2\text{eq}}$ benötigt, der andere Teil wirkt kalkaggressiv.

Unter der Berücksichtigung, daß 1 mol CaCO_3 zur Lösung 1 mol CO_2 verbraucht, d. h., 44 ppm CO_2 zu 100 ppm CaCO_3 verhalten sich wie 1:1, ist der Winkel α graphisch konstruierbar. Damit läßt sich leicht der kalkaggressive CO_2 -Anteil bestimmen, der bei der Mischung zweier sich im Gleichgewicht befindlicher Wässer frei wird (vgl. Abb. 2).

Die Mischungskorrosion

Die Mischungskorrosion ist die bedeutendste Form der Kalklösung im phreatischen Milieu.

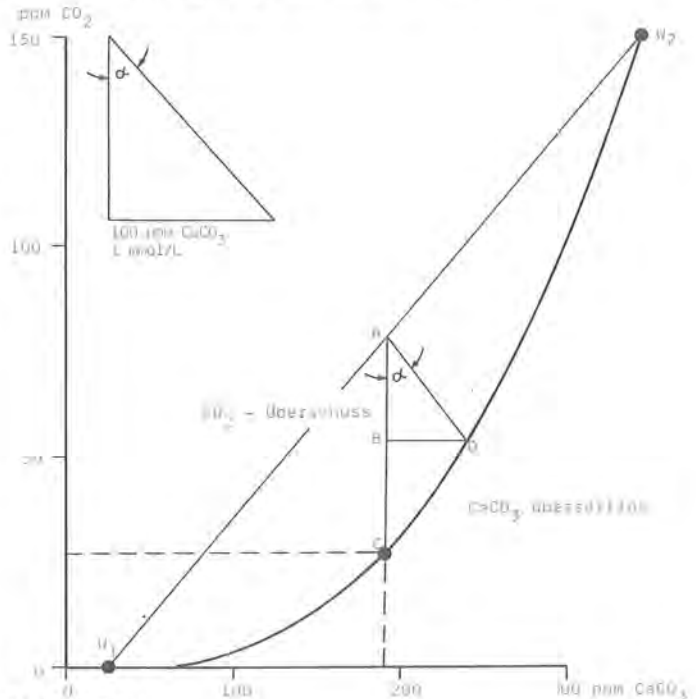


Abbildung 2

Wasser₁ wird vermischt mit Wasser₂ im Verhältnis 1:1. Dafür werden 26 ppm CO_2 benötigt (C). AC = CO_2 -Überschuß, davon BC zur Zunahme des $\text{CO}_{2\text{eq}}$, AB zur Lösung des zusätzlichen CaCO_3 . (nach A. BÖGLI, 1978 vereinfacht)

2.1.3 Die Bedeutung von Normalkorrosion und Mischungskorrosion für die Hohlrumbaftung

Neben den zwei erwähnten Typen der Korrosion kann noch Kalklösung durch CO_2 erfolgen, das freigesetzt wird als Oxidationsprodukt organischer Substanzen im Untergrund (vgl. 2.1.1) oder durch Abkühlungskorrosion und thermische Mischungskorrosion, durch Druckkorrosion und durch CO_2 , das vulkanischen Ursprungs ist oder aus Erdöl- und Erdgaslagerstätten freigesetzt wird (BÖGLI, 1978).

Im kalkalpinen Bereich sind jedoch Normalkorrosion und Mischungskorrosion vorherrschend, wenn auch lokal organisch produziertes CO_2 heute eine wichtige Rolle spielt. Dessen Wirkungen, verbunden mit den dadurch entstehenden Phänomenen der Mischungskorrosion in der phreatischen Zone, dürften vor allem im Tertiär von größerer Bedeutung gewesen sein, als noch eine tropische bis subtropische Flora mit der damit einhergehenden Bodenbildung sich über die Nördlichen Kalkalpen ausbreitete.

Die Normalkorrosion ist abhängig vom CO_2 der Atmosphäre und vom CO_2 der Bodenluft. Das bedeutet, sie ist begrenzt oder verhindert durch die Abwesenheit von Luft in der phreatischen Zone und in engen Primärfugen, die in der Initialphase der Hohlrumbaftung die nahezu einzigen Wasserwege sind und durch das Erreichen des $\text{CO}_2/\text{CaCO}_3$ -Gleichgewichtes (BÖGLI, 1978).

Mischungskorrosion tritt überall in der phreatischen Zone auf. Sie kann auch in kapillaren Fugen ansetzen, was in der Initialphase der Speläogenese von größter Wichtigkeit ist. Vollständig mit Wasser erfüllte Zonen und Bereiche können unter der Oberfläche des Karstwasserkörpers korrosiv erweitert werden, mit Schwerpunkt in der seichtphreatischen Zone. Es entstehen dabei charakteristische Raumformen, die mit den Mitteln der Speläomorphologie analysierbar sind.

2.1.4 Unterirdische Verkarstung – Entwicklung eines Hohlraumes

Das Vorhandensein wasserwegsamere Spalten und Fugen ist Voraussetzung für eine unterirdische Verkarstung. Optimal ist eine Kombination von Schicht- und Kluffugen, da hierdurch nicht nur günstige Abflußbedingungen entstehen, sondern auch die Mischungskorrosion gefördert wird (BÖGLI, 1978), die unter phreatischen Bedingungen während der Initialphase hohlraumbildend wirkt. Unter idealen Voraussetzungen, d. h. über längere Zeit stabil bleibendes Vorflutniveau, kann es zur Ausbildung von Höhlenniveaus kommen. Im günstigsten Fall sind sie entlang einer Schichtfuge angelegt und Raumerweiterung findet bis zur Bruchgrenze des Gesteins statt.

Die Merkmale phreatischer Entstehung eines Hohlraumes sind (BÖGLI, 1978):

- Netzförmige Höhlensysteme
- Schichtfugengänge
- symmetrisch elliptische Raumquerschnitte
- Mischungskorrosionskolke
- Gefälle und Gegengefälle abwechselnd
- hydrisch geformte Gangdecken

Im Gegensatz dazu steht die primäre vadosen Höhlenbildung. Normalkorrosion und Erosion sind die wichtigsten hohlraumbildenden Faktoren. Als Merkmale primär vadosen Höhlen werden von BÖGLI (1978) angegeben:

- die Höhlensysteme sind entweder einfach oder ästig, Zwischenverbindungen sind selten oder rein zufällig
- die Gänge folgen Spalten
- die Gangform ist hoch und schmal, spalten- und canyonförmig
- das Gefälle ist gleichsinnig und ohne Gegensteigungen im Anstehenden

Bei der sekundär vadosen Hohlraumbildung kommt es zu Überlagerungen der zwei Hauptbildungsbedingungen. Unter phreatischem Einfluß entstandene Hohlräume (Ellipsenprofil) werden sekundär vados eingetieft (Schlüssellochprofil). Die phreatisch vorgezeichneten Gänge fallen entweder trocken oder werden im Sinne von »Zubringern« genutzt.

Von BÖGLI (1978) werden die Phasen der Hohlraumentwicklung folgendermaßen gegliedert:

»Die schematische Gliederung der Entwicklungspha-

sen sollte zweckmäßig in eine speläogenetische und eine karsthydrographische aufgeteilt werden. Die speläogenetische für eine zweiphasige Höhle ergibt:

- a) Vorphase: Das Gestein verharrt im gegebenen Zustande; seine Hohlräume sind wassererfüllt, und es verändert sich nichts.
- b) Initialphase: Der Vorfluter hat eine solche Lage erreicht, daß in den Fugen ein Druckgefälle entsteht. Das Wasser bewegt sich, womit die Erweiterung der Fugen einsetzt. Überwiegend Mischungskorrosion, phreatische Zone.
- c) Jugendphase: Das Wasser fließt schneller, zur Korrosion gesellt sich die Erosion. Die unterirdischen Hohlräume entwickeln sich zur Höhlengröße im Sinne der Höhlendefinition. Spannungsablösungen (Bergschlag) kommen vor, doch fehlen andere Inkasionserscheinungen.
- d) Reife: Die Querschnitte nehmen weiter zu bis zu den ersten Anzeichen der Inkasion mit vereinzelt Deckenbrüchen, Korrosion und Erosion in wechselnden Verhältnissen. Phreatisch und/oder vados (Hochwasserzone, Zubringer, evtl. inaktiv).
- e) Altersstadium: Inkasion, vor allem Deckenbrüche, tritt allgemein auf, Überdeckung und Zerstörung der Reifeformen. Klüfte treten physiognomisch in den Vordergrund (fiktive Kluffgänge). Gewöhnlich vados und meist inaktiv, selten phreatisch.
- f) Greisenalter: Die Höhle zerfällt.

Zur Hohlraumentwicklung geht die karsthydrographische parallel. Beide sind eng miteinander verbunden.

- a) Vorphase: Alle Fugen und Spalten sind mit Wasser erfüllt. Kein Druckgefälle, also auch kein Fliesen.
- b) Initialphase: Es stellt sich ein Druckgefälle ein, weil der Vorfluter tiefer gelegt worden war. Das Wasser bewegt sich vorerst unter den Bedingungen der hydrographischen Wegsamkeit mit zunehmender Fließgeschwindigkeit. Die Karstwasserfläche bildet sich. Tiefphreatisch.
- c) Verkarstungsphase: Mit dem Erreichen der karsthydrographischen Wirksamkeit beginnt diese Phase. Die permanente Karstwasserfläche sinkt bis nahe ans Niveau des Vorfluters. Die karsthydrographische Wirksamkeit dringt in die tiefphreatische Zone vor.
- d) Haltephase der Tieferlegung der Karstwasserfläche: Die unterirdische Verkarstung erreicht ihr Maximum, die karsthydrographische Entwicklung ihren Höhepunkt.

Eine erneute Tieferlegung des Vorfluters führt zu einer Neubelebung der Vorgänge der Verkarstungsphase.«

Schema der Gangentwicklung


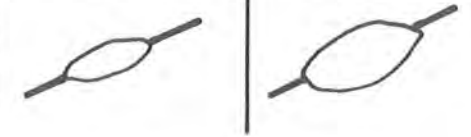


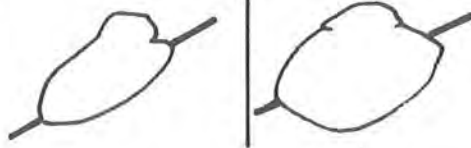


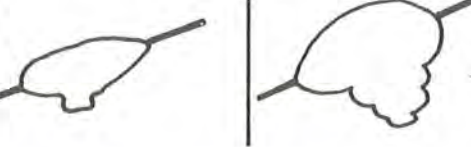
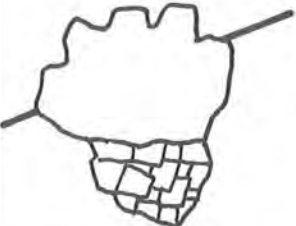

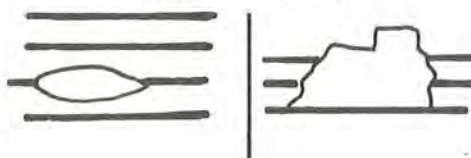
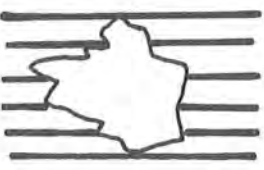

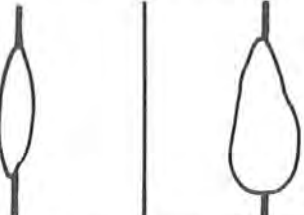

Initialstadium	Jugendstadium	Reifestadium	Altersstadium (Deckenbrüche)	
Schichtfuge 	E l l i p s e n g ä n g e  phreatisch			E i n s t u r z / H o h l r a u m z e r s t ö r u n g
	Wirbelkanalgänge  phreatisch			
	Schluchtgänge  phreatisch + vados			
	Rechteckgänge  phreatisch + vados			
Kluftfuge Steilfuge 	Kluftgänge 			

Abbildung 3:
Aus: A. BÖGLI, Karsthydrographie und physische Speläologie,
1978

2.2 Speläomorphologie

Durch die verschiedenartigsten physikalischen und chemischen Untersuchungen der letzten Jahre wurde ein immer besseres Verständnis der unterirdischen Formenwelt erzielt. So konnten die unterschiedlichen Groß- und Kleinformen gemäß ihrer Genese eingeordnet werden.

In der linken Spalte von Tabelle 2 sind die vorherrschend auftretenden Großformen zusammengestellt. Oft schon läßt sich ihre Genese aus der Interpretation von Gangquerschnitten aus Höhlenplänen ableiten.

Die häufig auftretenden Ellipsenquerschnitte sind demnach eindeutig in der phreatischen Zone entstanden. Schlüssellochprofile dokumentieren einen

SPELÄOMORPHOLOGIE

	GROSSFORMEN						KLEINFORMEN					
	phreatisch	vados	Normal- korrosion	Mischungs- korrosion	Erosion	Inkasion	phreatisch	vados	Normal- korrosion	Mischungs- korrosion	Erosion	Inkasion
Doppelgang Labyrinth	●			XXX	X	X	Anastomososen	●			XXX	
Girlandengang	●			XXX		X	Hängezapfen	●			XXX	
Sackgang	●			XXX		X	Höhlenschwamm	●			XXX	
QUERSCHNITTE :												
Ellipse	●			XX		(X)	Höhlenrillen		●	XXX		
Assym. Ellipse	●	(●)		XX		XX	Höhlenrinnen		●	XXX		
Rechteck	●	/ ●	X	XX		XX	Deckengrübchen		●	XXX		
Schlüssellochprofil	●	+ ●	X	X	X		Mischungs- korrosionskolke	●			XXX	
Schluchtgang Canyon	●	+ ●	X	X	XX	X	Deckenkolke Wandkolke	●		XXX		
Kluftgang	●	/ ●	X	X	X	X	Vadose Deckenkolke		●	XXX		
Isolierte Hohlräume	●			XXX		X	Bodenkolke	●	/ ●	(X)	(X)	XXX
Wirbelkanalgang	●		X	X	X		Fließfacetten	●	/ ●	XX	XX	XX
Halle	●	/ ●	XX	XX	(X)	XX	Deckenfacetten	●			XXX	
Dom	●	+ ●	X	X	(X)	XXX	Wirbelkanal	●		XX		X
Glockenhöhle Inkasionstyp		●	X	X		XXX	Exponierte Fugenflächen	●	/ ●			XXX
Tosbeckentyp		●	(X)	(X)	XXX	X						
Schacht	●	/ ●	XX	XX	X	X						
Kamin	●	/ ●	XX	XX	(X)	X						

Zusammengestellt nach A. BÖGLI, Karsthydrographie und physische Speläologie, 1978

XXX vorherrschend oder ausschließlich
 XX überwiegend
 X untergeordnet
 (X) ausnahmsweise

Wechsel von phreatischen zu vadose Bedingungen, während bei Hallen und Domen oft die Jugendphase nicht mehr sicher zu erkennen ist, da Inkasion im Reifestadium/Greisenstadium überprägend wirkt. Schächte und Kamine können sowohl in der vadosen als auch in der phreatischen Zone entstehen.

Die Analyse von Kleinformen (rechter Teil Tab. 2) kann jedoch des öfteren in Hallen und Domen noch Aussagen zu phreatischen und/oder vadosen Entstehungsverhältnissen ermöglichen. Nicht selten sind an

von der Inkasion verschont gebliebenen Wand- und Deckenpartien Mischungskorrosionskolke erhalten, wie sie nur unter phreatischen Bedingungen entstehen. Höhlenrillen und Höhlenrinnen sind dagegen Indikatoren für vadose Verhältnisse.

Eine genaue speläologische Aufnahme der unterirdischen Karstformen trägt somit zu Aussagen über deren Entstehungsbedingungen bei und kann Hinweise zur ehemaligen Lage eines Paläokarstwasserkörpers liefern.

Tabelle 2:
Zusammenstellung der wichtigsten Groß- und Kleinformen.



Ausschnitt aus dem Arbeitsgebiet. Am Hagengebirgswestrand sind die in verschiedenen Höhenlagen erhaltenen Verebnungen zu erkennen (vgl. Abb. 4). Im Anschluß an den Königssee erhebt sich das Steinerne Meer, auch dort sind Altlandschaftsreste aufzufinden.

3 Der Zusammenhang zwischen Landschaftsentwicklung, Höhlenbildung und Höhlensedimenten und dessen Analysierbarkeit in Bezug auf die Problemstellung

Zwei konträr gegenüberstehende Theorien zur Landschaftsentwicklung wurden als Interpretation der in unterschiedlichen Höhenlagen gelegenen Verebnungsflächen der Nördlichen Kalkalpen aufgestellt. So wurden diese Flächen zum einen als Relikte **einer** tektonisch zerteilten Altlandschaft aufgefaßt, zum anderen als Reste **mehrfacher** Einschneidungsphasen gedeutet (vgl. Kap. 1.2).

Für die Entwicklung einer der Landschaften stand in der Regel ein Mindestzeitraum von einer Million Jahre zur Verfügung (Tab. 1, Kap. 1..4), was ausreichend gewesen sein dürfte, einen stabilen Karstwasserkörper auszubilden (Kap. 2). In dessen aktiver Zone fand Hohlraumbildung statt (Abb. 1, Kap. 2; Kap 2.1.1 ff), Höhlensedimente konnten darin abgelagert werden.

Sind die in den Nördlichen Kalkalpen festzustellenden Verebnungsflächen, dargestellt in Abbildung 4 am Beispiel des Untersuchungsgebietes Steinernes Meer und Hagengebirge, tektonisch aus einer Altfläche entstanden, müssen diese tektonischen Verstärkungen auch die in einem Paläokarstwasserkörper entstandenen Höhlen betroffen haben. Damit ist anzunehmen, daß die heute in Höhlen verschiedener Höhenlage anzutreffenden Höhlensedimente keine grundsätzlichen petrographischen Unterschiede aufweisen, was etwa das Komponenteninventar oder Schwermineralvergesellschaftungen betrifft.

Erscheinen jedoch in Abhängigkeit von der Höhenlage der Altlandschaften petrographisch eindeutig differenzierbare Höhlensedimente, ist davon auszugehen, daß mehrere stabile Paläokarstwasserkörper entwickelt wurden und jeweils charakteristische Sedimente abgelagert wurden, was nur mit einer mehrphasigen Landschaftsentwicklung in Zusammenhang gebracht werden kann.

Ein tiefer Karst ist vorhanden. Somit ist die Voraussetzung für diesen Ansatz gegeben: die verkarstungsfähigen Gesteine reichen bis unter das Vorflutniveau.

In Abbildung 5 ist die Problemstellung schematisch in Kurzform dargestellt, in Abbildung 6 die Zusammenhänge und ihre Analysierbarkeit.

Während bisher zur Beurteilung der Morphogenese nur die Absenkung des Vorfluters, die Tektonik, Rumpflächen und Oberflächensedimente untersucht wurden, werden in der vorliegenden Arbeit nunmehr auch die kausal mit der Landschaftsent-

wicklung verbundene Höhlenbildung und die in den Höhlen abgelagerten Sedimente zur Klärung dieser Fragen herangezogen.

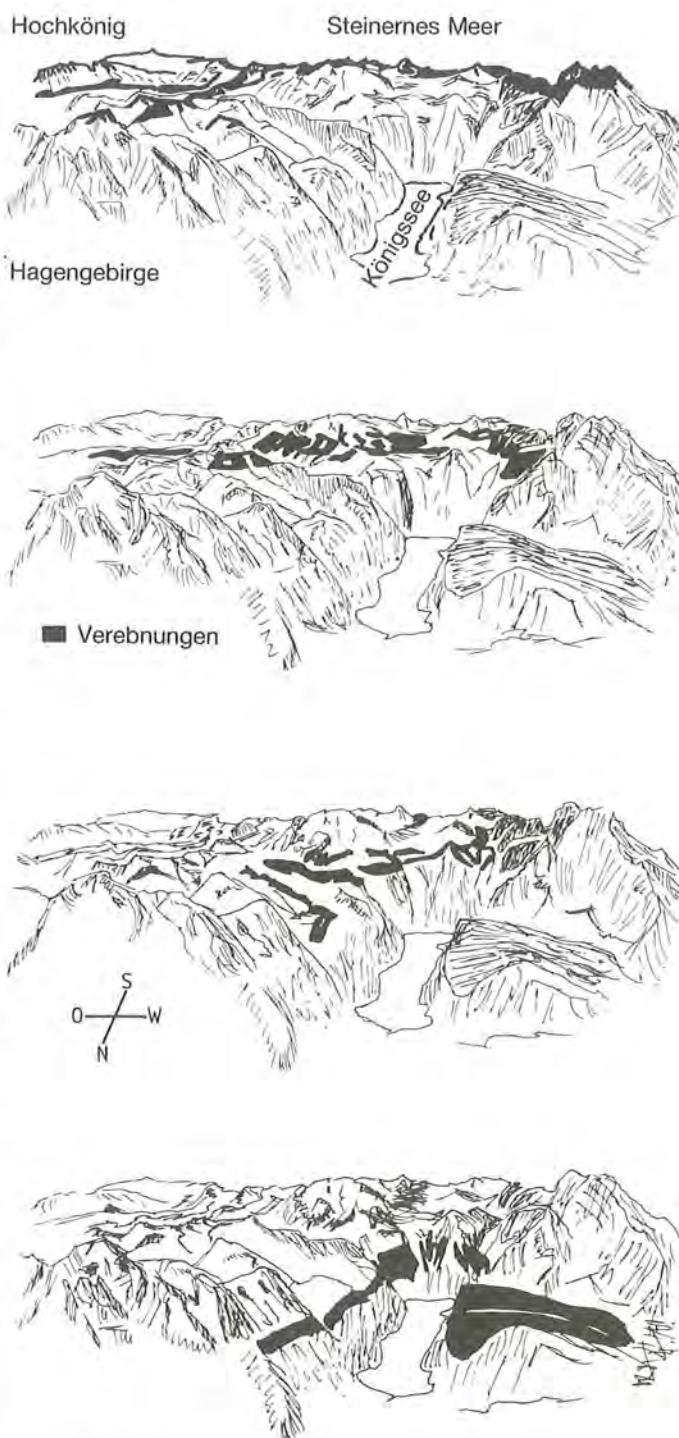
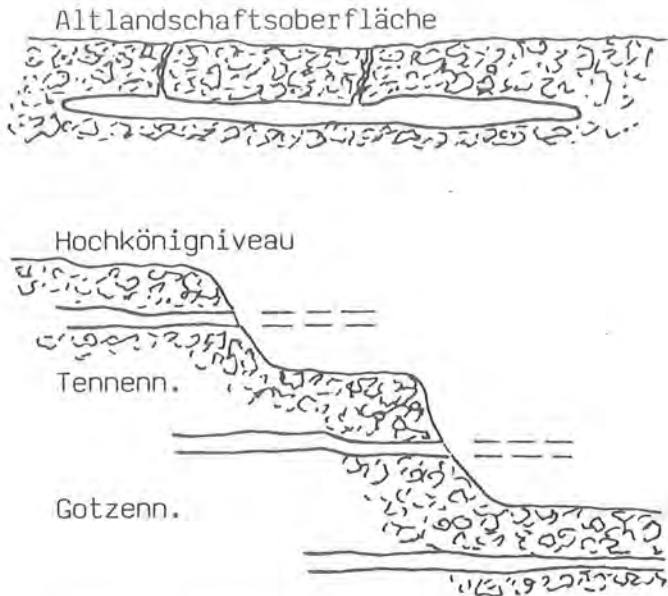


Abbildung 4: Lageskizze der Verebnungsflächen im Steinernen Meer und Hagengebirge. Neben dem Gipfelniveau (oben, Hochkönigniveau 2200-2600 m) sind in verschiedenen Höhenlagen (Tennenniveau 2000-2300 m, Gotzenniveau 1700-1900 m, Niveau 1 1400-1600 m) Verebnungsflächen ausgebildet.

Problemstellung

Ist das heutige Landschaftsbild ein Zeugnis **verschiedener** Altlandschaften oder durch die tektonische **Zerschneidung einer** Altlandschaft entstanden?

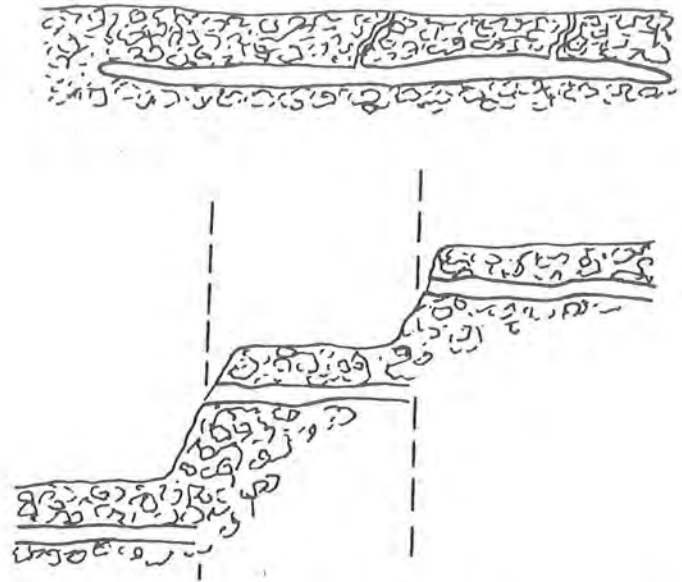
Mehrphasige Landschaftsentwicklung



In die Altfläche wird durch mehrmaliges Absinken des Vorfluters eine Landschaftstreppe eingeschnitten. Analog zur Höhenlage des jeweiligen Karstwasserkörpers findet Höhlenbildung statt. In den verschiedenen Höhenlagen sind unterschiedliche Höhlensedimente zu erwarten.

Abbildung 5

Einphasige Landschaftsentwicklung



Bei der einphasigen Landschaftsentwicklung wird eine Altlandschaft tektonisch zerteilt und in die heutige Höhenlage gebracht. Dieser Prozeß betrifft auch die Höhlen und ihren Sedimentinhalt.

Eine Klärung dieser Frage wird durch die morphologische Untersuchung der Höhlen sowie durch die sedimentpetrographische Bearbeitung der Höhlensedimente und ihrer stratigraphischen Einstufung erwartet.

Landschaftsentwicklung und Höhlenbildung – Zusammenhänge und ihre Analysierbarkeit

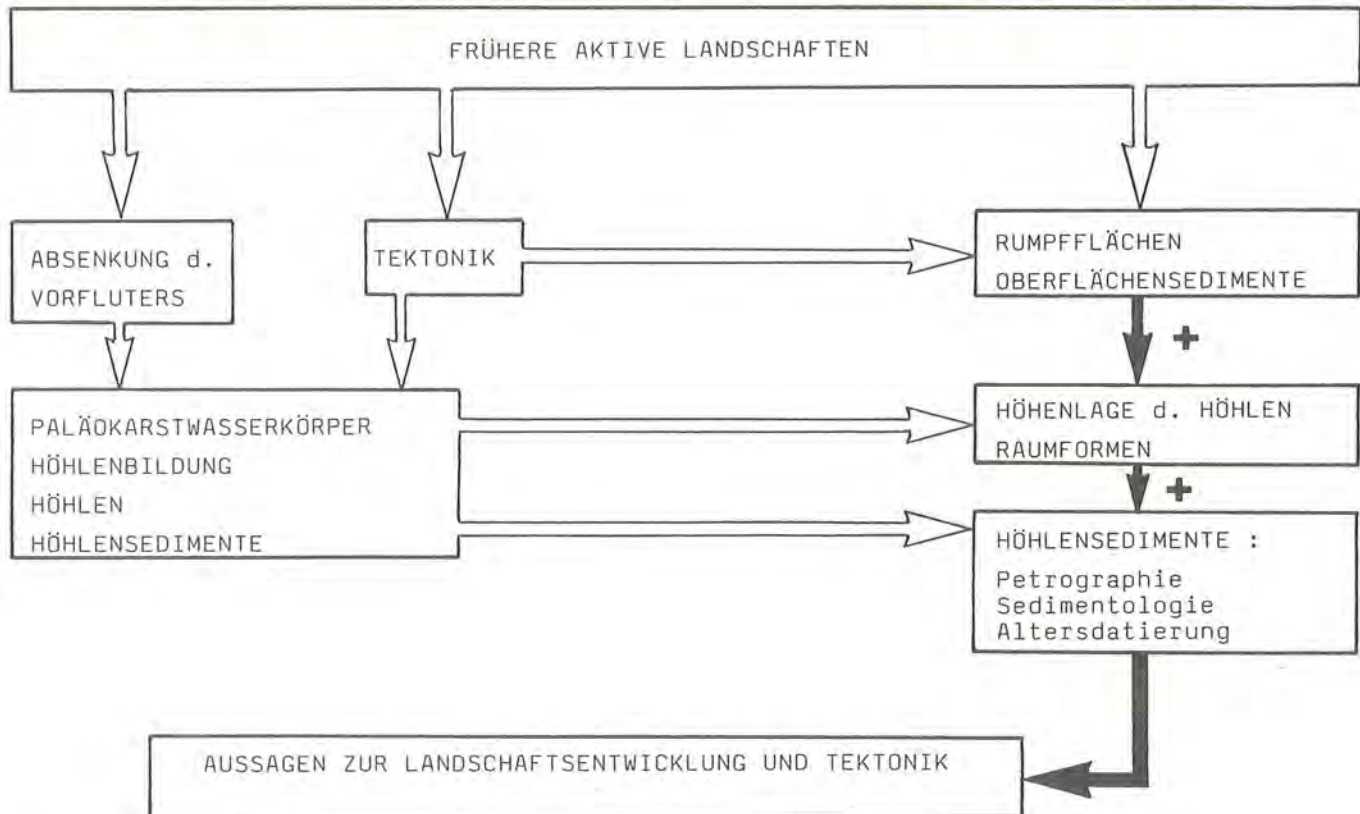


Abbildung 6

4 Das Untersuchungsgebiet – Allgemeines

Das Untersuchungsgebiet gliedert sich in zwei Hauptbereiche. Es sind dies das Hagengebirge und das Steinernes Meer, zwei zentrale Gebirgsstöcke der Salzburger Kalkalpen.

Die folgenden Angaben wurden dem »Salzburger Höhlenbuch«, Band 2 und 3 entnommen.

Steinernes Meer:

Höchste Erhebung: Selbhorn 2655 m.

Talniveau: Saalfelden 744 m, Weißbach 666 m, Wim-bachgrieshütte 1326 m, Königssee 602 m, Eckbert-hütte 1144 m, Hintertal 1016 m.

Fläche des Hochmassivs: 183,4 km².
davon Hochfläche: 24,8 km².

Hagengebirge:

Höchste Erhebung: Großes Teufelshorn 2363 m.

Talniveau: Golling 483 m, Tenneck 510 m, Eckbert-hütte 1144 m, Königssee 602 m, Blun-tautal-Bären-hütte 507 m.

Fläche des abflußlosen Gebietes 113 km².
Größe des Hauptplateaus: 52 km².

Wie aus den Umgrenzungen zu ersehen ist, stoßen etwa entlang der Linie Obersee -Röthbach - Blühnbachtörl die beiden Gebirgsstöcke Hagengebirge und Steinernes Meer aneinander. Da keine scharfe morphologische oder geologische Grenze vorhanden ist, dürften die beiden Gebirgsstöcke auch in karsthydrologischer Hinsicht miteinander in Verbindung stehen (vgl. Abb. 7).



Abbildung 7:

— Umgrenzung des Arbeitsgebietes
- - - Grenze Steinernes Meer/Hagengebirge

Tafel 1: Hagengebirge



1 Blick vom Watzmann über den Königssee in östlicher Richtung über das Hagengebirge. In der Bildmitte im Vordergrund ist die Fläche der Gotzenalm zu erkennen. Die darüberliegenden, teilweise noch begrünten Verebnungsflächen sind dem Tennenniveau zuzurechnen, die erste Berggipfelkette schließlich dem Hochkönigniveau (Bildmitte: Kahlersberg). Im Hintergrund schließt sich daran die zentrale Hochfläche an, die gegen Osten durch eine weitere Bergkette begrenzt wird.



2 Blick vom Kahlersberg über den südlichen Teil des Hagengebirges gegen den vergletscherten Hochkönig. Die gesamte Fläche ist dem Hochkönigniveau zuzurechnen.



3 Blick in südöstlicher Richtung über das Zentralplateau des Hagengebirges (weitestgehend Tennenniveau). Die im Hintergrund aufragenden Berge sind als Reste des Hochkönigniveaus anzusprechen.



4 Der Landtalgraben trennt das Zentralplateau vom Hagengebirgswestrand ab, der treppenartig gegen den Königssee hin abbricht (vgl. 1).



5 Fagsteinwestflanke, die sehr deutlich den vielfältigen Karstformenschatz und die völlige Verkarstung des ganzen Hagengebirges zeigt.

Tafel 2: Steinernes Meer und Watzmann



1 Ähnlich einem Zeugenberg überragt das Rotwandl die Hochfläche des Steinernen Meeres, so daß zahlreiche Höhlen erhalten geblieben sind, deren Entstehung mit der Ausbildung des Hochkönigniveaus in Verbindung gebracht wird.



2 Blick in südlicher Richtung über den Funtensee (Uvala) zur Hochfläche des Steinernen Meeres.



3 Verschiedene Höhlenportale in der Nordflanke des Schneibers.



4 Die Watzmann-Ostwand. Der tiefere Teil der Wand wird von Ramsaudolomit aufgebaut, darüber liegt der Dachsteinkalk, dessen Bänke im oberen Wandabschnitt deutlich zu erkennen sind. Die Höhe der Wand beträgt 1900 Meter, diese mächtige Karbonatentwicklung ist eine wichtige Voraussetzung für die mehrmalige Ausbildung eines tiefen Karstes.



5 Fjordartig eingeschnitten liegt der Königssee zwischen Hagengebirge, Watzmann und dem Steinernen Meer und bildet somit das heutige Vorflutniveau. Seine tektonische Anlage läßt sich bis in den Jura zurückverfolgen, glaziale Prozesse übertieften diese und schufen das heutige Landschaftsbild. Der Schuttfächer von St. Bartholomä besteht im wesentlichen aus dem Verwitterungsschutt des Ramsaudolomites, der den tieferen Teil der Watzmann-Ostwand aufbaut.

Tafel 2: Steinernes Meer und Watzmann



6 Blick vom Kahlersberg (Hagengebirge) über das Steinernes Meer. Im Vordergrund ist der bewaldete Simetsberg (Gotzen-niveau) zu erkennen, in der Bildmitte die zentrale Hochfläche (Tennenniveau) mit dem Rotwandl (Hochkönigniveau) und im Hintergrund die Bergkette (Hochkönigniveau), die das Steinernes Meer gegen Süden begrenzt.

4.1 Geologische Übersicht

4.1.1 Großtektonischer Überblick

Die vorwiegend mesozoischen Sedimentgesteine der Nördlichen Kalkalpen wurden zusammen mit ihrer paläozoischen Unterlage aus einem Ablagerungsgebiet südlich der heutigen Tauern in Form von Decken nach Norden transportiert. Sie wurden dabei von ihrem kristallinen Untergrund abgeschert.

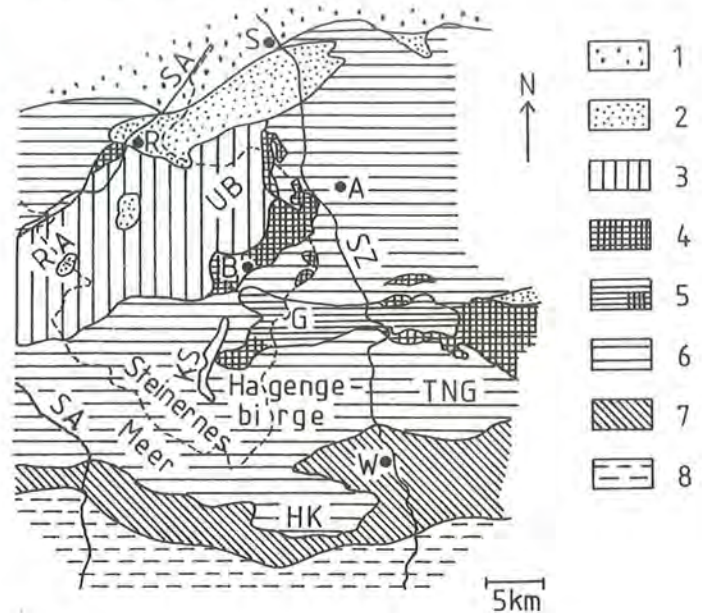
Die in der Trias weiträumig abgelagerten, mehrere 1000 m mächtigen Karbonatsedimente (Wettersteinkalk, Ramsaudolomit, Dachsteinkalk, Hauptdolomit) zerbrachen im Jura, was mit der Entstehung des penninischen Ozeans und der Öffnung des Atlantiks in Zusammenhang steht.

Die während der Kreide einsetzende Subduktion im penninischen Trog war dafür verantwortlich, daß dessen südlichster Rand, das heutige Ostalpin aufgestapelt und nach Norden transportiert wurde.

Wie aus Untersuchungen der oberkretazischen Gosauschichten hervorgeht, die eine Meeresüberflutung der kalkalpinen Decken in der Zeit Oberkreide bis Alttertiär dokumentieren, setzt der nach Norden gerichtete Transport der Kalkalpen über die Tauern in der Kreidezeit ein. Durch Erosion und Hebung sind heute diese überfahrenen Bereiche des Penninikums im Tauernfenster zu erkennen.

Im Jungtertiär schließlich überfahren die Nördlichen Kalkalpen zusammen mit dem Flysch und dem Helvetikum einen Teil der nordalpinen Molasse.

Tektonische Übersichtsskizze



1 Flysch	S	Salzburg
2 Gosauablagernungen (Senon-Eozän)	R	Bad Reichenhall
3 Berchtesgadener Decke (Hochjuvavikum)	A	Adnet
4 Hallstätter Zonen (Tiefjuvavikum)	B	Berchtesgaden
5 Lammermasse, teilw. mit Hallstätter Fazies (Tiefjuvavikum)	W	Werfen
6 Staufen - Höllengebirgsdecke (Tirolikum)	RA	Reiteralm
7 Werfener Schuppenzone (Tirolikum)	UB	Untersberg
8 Grauwackenzone	G	Hoher Göll
	TNG	Tennengebirge
	HK	Hochkönig
	SZ	Salzach
	SA	Saalach
	KS	Königssee

(vereinfacht und umgezeichnet nach PLÖCHINGER, 1983)

Abbildung 8

Die kalkalpinen Decken werden im Berchtesgadener/Salzbürger Raum in Bajuvarikum, Tirolikum und Juvavikum gegliedert. Das Juvavikum wird nochmals in ein Tief- und Hochjuvavikum unterteilt. Eine tektonische Übersichtsskizze für einen Teil der Salzburger Kalkalpen (Abbildung 8) gibt die Lagerungsverhältnisse wieder.

In einer vom Tirolikum gebildeten Großmulde liegen schüsselförmig die Hallstätter Zonen des Tiefjuvavikums und das Hochjuvavikum mit der Reiteralm, Latteengebirge und dem Untersberg.

Das Steinernes Meer und das Hagengebirge gehören vollständig der Tirolischen Decke an, die durch die mächtigen karbonatischen Gesteinsserien der Trias gekennzeichnet ist.

4.1.2 Die Schichtenfolge im Untersuchungsgebiet

4.1.2.1 Perm/Trias

Das oberpermische bis untertriadische Haselgebirge ist das älteste Schichtglied im Untersuchungsgebiet.

Es besteht aus einer Wechselfolge von bunten Salzionen, Anhydrit und Gips.

4.1.2.2 Trias

Im Skyth wurden die Werfener Schichten abgelagert, die aus einer Wechselfolge von Sandsteinen, Schiefern, Quarziten und Kalken bestehen. Am Südrand des Hagengebirges und des Steinernen Meeres sind sie in mehreren 100 m Mächtigkeit aufgeschlossen.

Weit geringer mächtige Reichenhaller Schichten setzen im Anis ein. Sie sind zum Teil als Rauhwacke ausgebildet, zum Teil als dunkle, dolomitische, sandig mergelige Kalke.

Darüber folgen, ebenfalls noch im Anis, die Gutensteiner Schichten. Es sind dunkle, bituminöse Kalke mit einzelnen Tonschieferlagen, die sich seitlich mit den Gutensteiner Dolomiten verzahnen können.

Am Südrand des Steinernen Meeres liegt darüber als schmales Band der Steinalmkalk, ein massiges, weißes, aus Algen aufgebautes Gestein.

Mehrere Zehnermeter mächtige Reiflinger Kalke folgen im Hangenden. Sie sind hornsteinführend mit eingeschalteten Mergellagen. In ihnen wird Iadisches Alter nachgewiesen.

Als nächstes Schichtglied erscheint im Profil am Südrand des Steinernen Meeres der Ramsaudolomit. Am Hagengebirgssüdrand lagert er direkt Gutensteiner Kalken auf. Der Ramsaudolomit ist sehr rein, zuckerförmig und von weißer Farbe. Charakteristisch ist seine kleinbrüchige Verwitterung. Seine Mächtigkeit erreicht in der Berchtesgadener Entwicklung 600 bis 800 m.

Diese Faziesausbildung wird am Hagengebirgssüdrand von dem lückenhaften dünnen Band der Raibler Schichten durchbrochen. Sie sind als glimmerschieferige und pflanzenhäckselführende Sandsteine ausgebildet.

Das typische Aussehen der Plateauberge im östlichen Bereich der Nördlichen Kalkalpen wird vom Dachsteinkalk geprägt. In lagunärer Faziesausbildung verleiht er dem Hagengebirge und dem Steinernen Meer seinen Charakter. In mehr dolomitischer Ausbildung wird er als Dachsteindolomit bezeichnet, wie er etwa südlich des westlichen Hauptkamms des Steinernen Meeres auftritt. Die Dachsteinkalklagunenfazies ist gekennzeichnet durch den Wechsel von massigen, oftmals mikritischen bis mikrosparitischen, dichten Kalkbänken mit dünnlagigen Dolomit-Kalk-Rhythmiten, die auch als Loferite bezeichnet werden. Dadurch sowie in Verbindung mit tektonisch entstandenen Klüften und Spalten ist im Dachsteinkalk eine gute Wasserwegsamkeit gesichert, was vor allem in der Initialphase der Hohlraumbildung von Bedeutung ist (vgl. Kap. 2.1.4 und Bildtafeln Kap. 6). Die bis zu mehreren Metern mächtigen Kalkbänke treten deutlich an der Watzmann-Ostwand zutage, ihre

Ausbisse, gefrorenen Wellen vergleichbar, waren im Steinernen Meer namensgebend. Fossilien sind sehr gut erhalten, eine reiche Mikro- und Makrofauna (Muscheln, Schnecken, Korallen und Foraminiferen) ist verbreitet. Im Norden und Süden des Hagengebirges ist der Dachsteinkalk als Riffkalk ausgebildet. Gerüstbildende Organismen, Korallen, Schwämme und Algen sind in Lebensstellung erhalten. Große Areale werden auch von lithifiziertem Riffschutt eingenommen, der aus aufgearbeiteten biogenen Komponenten besteht. Die Dachsteinkalkfazies erreicht eine Gesamtmächtigkeit von über 1000 m. Eine stetige Absenkung des Untergrundes wurde durch die sehr rege Karbonatproduktion durch Organismen kompensiert, so daß während des ganzen Nor und Rhät flachmarine Sedimentationsbedingungen herrschten.

Durch seine Feinkörnigkeit und Reinheit sind im Dachsteinkalk die Voraussetzungen dafür gegeben, daß sich sowohl oberirdische wie auch unterirdische Karsterscheinungen ausbilden können. Die große Gesamtmächtigkeit ermöglicht das potentielle Ausbilden verschiedener, in Stockwerken angeordneter Karstwasserkörper.

Begünstigend wirkt weiterhin das zum Vorfluter nach Norden gerichtete allgemeine Einfallen der verschiedenen Schichtglieder.

Einzelne tiefere Meeresarme durchzogen diese Karbonatplattform, sie werden heute als Hallstätter Faziesbereiche angesprochen. Im Untersuchungsgebiet sind Hallstätter Kalke und deren mergelige Äquivalente, die Zlambach Schichten, nur in der Torrener-Joch-Zone in vergleichsweise geringer Mächtigkeit aufgeschlossen. Typisch ist eine pelagische Fauna, Cephalopoden treten häufig auf.

Damit war die Sedimentation in der Trias beendet, die Entwicklung der über 1000 m mächtigen Karbonatplattformen abgeschlossen. Mit Beginn des Jura veränderten sich die Sedimentationsbedingungen rapide, kleinräumige Becken- und Schwellenbereiche wechselten einander ab.

4.1.2.3 Jura

Durch das Zerbrechen der großen triadischen Karbonatplattformen zu Beginn des Jura, einhergehend mit differenzierter Absenkung der einzelnen Blöcke, wurden sehr unterschiedliche Sedimentationsräume geschaffen. Spalten rissen im Dachsteinkalk auf, die mit jurassischen Sedimenten gefüllt wurden, was häufig im Hagengebirge (Schneibstein) und im Steinernen Meer (Rotwandl) beobachtet werden kann. Diese Spalten waren oft von beachtlicher Länge und Tiefe, so sind sie noch zum Beispiel in der Salzgrabenhöhle unter mehreren 100 m Dachsteinkalküberdeckung nachzuweisen.

Im Lias treten nebeneinander verschiedene Faziesausbildungen auf. Crinoidenkalke wechseln mit roten Knollenkalken ab, Subsolutionserscheinungen sind häufig.

Weitere Absenkungen des Untergrundes führen im Lias/Dogger zur Bildung der Fleckenmergel, im Dogger/Malm schließlich erreichten sie ihren Kulminationspunkt mit der Radiolaritsedimentation.

4.1.2.4 Tertiär und Quartär

Tertiäre Sedimente liegen im Untersuchungsgebiet in Form der schon mehrmals erwähnten Augensteine vor.

Sedimente des Quartärs sind unter anderen als Moränen, Talschotter, Bergstürze vor allem im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes flächenhaft aufgeschlossen.

4.1.3 Zur Tektonik des Hagengebirges und des Steinernen Meeres

Das tektonische Bild des Hagengebirges wird von zwei regionalen Störungssystemen geprägt. Es ist dies das Störungssystem parallel dem Königssee, NE/NE-SW/SSW streichend und senkrecht dazu stehend das Störungssystem parallel dem Obersee mit der Streichrichtung WNW/NW-ESE/SE.

Die zwei Systeme sind von großer regionaler Bedeutung, die Haupttäler des Berchtesgadener Landes sind entlang von ihnen angelegt.

Westlich des Landtalgrabenbruchsystems, das parallel dem Königssee verläuft, herrscht Bruchtektonik am Hagengebirgswestrand vor. Das Hochplateau bricht treppenartig gegen den Königssee ab; in vielen Bruchstufen ist das gesamte Juraprofil erhalten. Ähnliches gilt für die im Nordosten des Hagengebirges gelegene Almtreppe Kratzalm - Angeralm - Fillingalm.

Das zentrale Plateau des Hagengebirges wird von schwach NE konvergierenden Störungsscharen durchzogen, die sich der Königsseerichtung zuordnen lassen, wie etwa im Gebiet Lengtalschneid-Schlum oder nahe des Hochwieskopfes.

Die Oberseerichtung erscheint genauso ausgeprägt, die Laubseeleingasse, Gebiete SE des Kahlersberges, oder der Bereich um die Schlum, Fillingschneid und der Abwärtsgraben sind augenfällig.

Vor allem im südöstlichen Bereich des Hagengebirges werden diese zwei Systeme von parallel dem Salzachtal (E-W) verlaufenden Störungen überlagert, was in den östlichen Randgipfeln stark in Erscheinung tritt.

Diesen vorherrschenden Richtungen folgen in der Regel Karstgassen und Karstspalten, höhlenkundlich interessante Objekte, vorwiegend Schächte, sind entlang von ihnen angelegt.

Die tektonischen Verhältnisse im Steinernen Meer sind ähnlich gelagert. Der Nordrand wird von einem großen Bruch gebildet, der vom Königssee gegen den Hundstod zieht. Die Salzachtalquerstörung begrenzt das Steinerne Meer gegen Süden. Im Hoch-

plateau sind wieder die o. a. regional dominanten Richtungen in vielen kleinen Störungen festzustellen, die oft von Karstphänomenen nachgezeichnet werden. Vergleichbar dem Hagengebirgswestrand ist im nördlichen Teil des Steinernen Meeres Bruchtektonik beherrschend.

In Kapitel 8 ff. werden die Altersbeziehungen der Störungssysteme zueinander und ihre Genese am Beispiel des Simetsberges und Salzgrabenhöhle ausführlich diskutiert.

4.2 Zur Morphologie des Hagengebirges und des Steinernen Meeres

Beiden Gebirgsstöcken gemeinsam ist der ausgeprägte Plateaucharakter mit steilen Süd- und Osträndern. Mit annähernd 2000 m Höhenunterschied fällt das Steinerne Meer gegen Süden zum Salzachtal ab, am Hagengebirgsostrand sind die Höhenunterschiede geringer, betragen aber immer noch 1300 bis 1500 Höhenmeter.

Am Südrand des Steinernen Meeres begrenzt eine Bergkette das Plateau gegen die Südabstürze. Die aufgesetzten Berge überragen die eigentliche Plateaufläche um etwa 200 bis 300 m. Vom Hundstod im Westen zieht sie über das Hollermaißhorn, Achselhorn, Breithorn, die Schönfeldspitze bis zum Selbhorn und Brandhorn im Osten, wo sich die Kette gabelt und ein Ausläufer zum Hochkönig, der andere gegen Norden zum Hagengebirge führt. Das daran nördlich anschließende Plateau ist flach gegen Norden geneigt, bis es dann an mehreren Störungen versetzt gegen den Königssee abbricht. Einige wenige flache, kuppenartige Berge sind aufgesetzt, wie etwa das Rotwandl oder der Brandenberg.

Das Hagengebirge gliedert sich in zwei morphologisch völlig verschiedene Bereiche. Im Gebiet zwischen Königssee und Landtal herrscht treppenartiges Abbrechen des Zentralplateaus gegen Westen vor, während östlich anschließend das eigentliche Plateau folgt, das im Westen, Süden und Osten ebenfalls durch Bergketten begrenzt ist. Der Westrand zieht sich vom Schneibstein über den Reinersberg und Kahlersberg bis in das Gebiet Jägerbrunntrug/Teufelshorn und biegt dann nach Osten um. Tantalkopf, Hochgschirr und Riffkopf überragen das Plateau im Süden, ein Kamm vom Riffkopf zum Tristkopf bildet die östliche Einfassung des Plateaus, das gegen Norden über das Gebiet der Schlum und die Seealmen offen ist.

Zahlreiche Karstgroßformen sind in die Plateaus eingesenkt, deren polygenetischer Ursprung wahrscheinlich ist, aber noch nicht näher bearbeitet wurde. So tragen sicher glaziale Übertiefung, Verkarstungsprozesse und fluviatile Primärformen zum heutigen Erscheinungsbild bei. Eine genaue Zuordnung der auftretenden Hohlformen zu definierten Klassifikationen wie Uvala, Polje oder Karstwanne/Karstmulde ist daher an dieser Stelle nicht möglich und bedarf eingehender weiterer Untersuchungen.

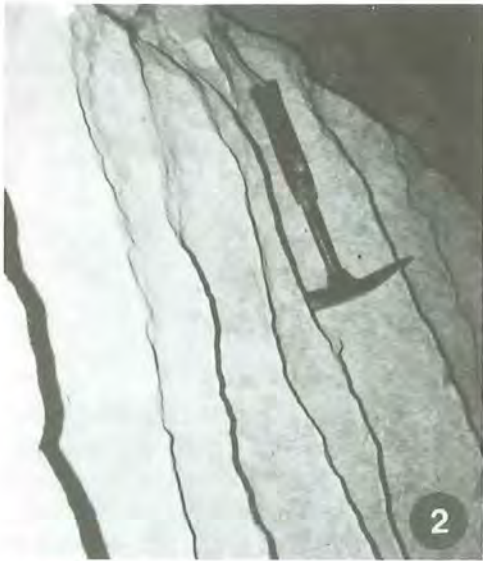
Tafel 3: Karsterscheinungen



1 Voll verkarstete Hochfläche des zentralen Hagengebirges mit vielfältigem Karstformenschatz. Nähe Lengtalschneid, Hagengebirge.



4 Karsttisch, der durch seine Höhe den postglazialen Kalkabtrag dokumentiert. SE Rotwandl, Steinernes Meer.



2 Höhlenkarren, unter vadosen Bedingungen entstanden. Seilbahnschacht, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



5 Höhlenruine, nur noch an Höhlensedimenten und Sintervorkommen erkenntlich. Höhlenruine ese Kahlersberg, Hagengebirge.



3 Trittkarren. SE Rotwandl, Steinernes Meer.



6 Portale in der Höhlenruinenzone, die nach wenigen Metern Ganglänge enden. W Lengtalschneid, zentrales Hagengebirge.

Entlang von Störungen zerschneiden zahlreiche Karstgassen die Plateaus, oft sind an ihnen auch perlschnurartig Dolinen aneinandergereiht.

Darauf aufgesetzt erscheint ein umfangreicher Kleinkarstformenschatz, Rundkarren, Hohlkarren, Rinnenkarren, Kluftkarren, Nischenkarren, Firstkarren und Karrentische sind vertreten. Von HASERODT (1965) wurden die Karstformen des Hagengebirges ausführlich bearbeitet und auch ihrer Genese entsprechend gegliedert.

Für das Steinernes Meer steht eine solche Bearbeitung noch aus, es ist jedoch zu vermuten, daß dort die gleichen Karstformen vorkommen.

Die in ihrer Genese letztendlich nicht geklärten Karsthohlformen im Steinernen Meer und im Hagengebirge sowie das Auftreten von Karstsacktälern wurden von SEEFELDNER (1934, 1961) im Sinne einer mehrphasigen Landschaftsentwicklung gedeutet, die Hohlformen auf eine fluviale Entstehung zurückgeführt (ausführlich in Kap. 1.2). In tabellarischer Form werden hier seine Flächenzuordnungen wiedergegeben, basierend auf den o. a. Arbeiten:

	Hochkönigniveau	Tennenniveau	Gotzenniveau	Nord
Untersberg	2000	1800	1600 m	
Hagengebirge	2200	2000	17-1800 m	
Stein. Meer	2600	2300	1900 m	
Tauern	3000	2500	2200 m	Süd

Gotzenniveau:
Fillingalm, Flächen um die Schlumalmen in 1900 m Höhe, Roßfeld, Gotzenalm.

Darunter werden weitere sechs Niveaus unterschieden, die aber im Rahmen der Zusammenhänge Landschaftsentwicklung - Karsthydrographie - Höhlenbildung - Höhlensedimente sicher nicht mehr zu unterscheiden sind. Sie werden daher im weiteren unter dem Oberbegriff »Tiefe Höhlen« zusammengefaßt. Der Vollständigkeit wegen sollen auch sie in tabellarischer Form dargestellt werden:

Alter	Höhenlage Kalkhochalpen
Niveau 1 mittl. Pannon	1500 - 1700 m
Niveau 2 oberes Pannon	1300 - 1500 m
Niveau 3 Daz	1050 - 1300 m
Niveau 4 Daz/Levantin	850 - 1100 m
Niveau 5 Levantin	750 - 1000 m
Niveau 6 Altpleistozän	650 - 900 m

Im Untersuchungsgebiet sind sie am deutlichsten im Bereich des Salzachlängstales ausgeprägt, bzw. auf die Nordränder des Steinernen Meeres/Watzmanns (Kührintalm) und des Hagengebirges (Büchsenkopf) beschränkt und erreichen flächenmäßig keine bedeutende Ausbreitung.

Steinernes Meer (602 - 2655 m):

Hochkönigniveau:

Kuppen mit flachen Gipfelhauben: Gjaidkopf, Hundstod, Schneiber, Stuhljoch, Hochscheibe, Rotwandl, Funtenseetauern, Flächen am Brandhorn, Gipfel des Südrandes, aus Zerschneidung flacher Kuppen hervorgegangen wie Schönfeldspitze, Breithorn, Selbhorn u. ä.

Tennenniveau:

Flächen in 2200 m Höhe mit Nordgipfeln Viehkogel, Schottmalhorn, Hundstodgrube, Flächen zwischen Selbhorngrat und Langeck.

Gotzenniveau:

Flächen um 1800 - 1900 m: N Funtensee am Simetsberg, um den Glunkerer, Ausläufer bei der Schönbichlalm, Flächen W Viehkogel, Baumgartl.

Hagengebirge (483 - 2363 m):

Hochkönigniveau:

Plateauränder: Schneibstein - Reinersberg, Kahlersberg, Wildalmriedel, Rauchek, Tantalköpfe, Hochwies, Pitzkogel, Riffkopf, Hochgschirr, Jägerbrunntrög.

Tennenniveau:

Flächen um Schlumalmen bei 2000 m, Umgang, Fillingalschneid, Flächen zwischen Lengtalschneid und Wildalmriedel.

Betrachtet man die Höhenlage des Hochkönigniveaus, des Tennenniveaus und des Gotzenniveaus vom Alpennordrand bis in die Hohen Tauern, so ist ein sanftes Ansteigen der Altlandschaften zu bemerken, in das sich das Hagengebirge und das Steinernes Meer entsprechend der geographischen Lage zwanglos einordnen lassen.

Sie nehmen also keine Sonderstellung im Bereich der Nördlichen Kalkalpen ein, die auftretenden Verebnungsflächen fügen sich in das großmorphologische Gesamtbild im Sinne SEEFELDNERs.

4.3 Karsthydrologie des Untersuchungsgebietes

Die folgenden Ausführungen basieren im wesentlichen auf Darstellungen im SALZBURGER HÖHLENBUCH, Bd. 2 (1977, Steinernes Meer) und Band 3 (1979, Hagengebirge) und auf Arbeiten von BRANDECKER, MAURIN und ZÖTL (1965), die anlässlich des Baus des Dießbach-Speichers im westlichen Steinernen Meer vorgenommen wurden, und auf ZÖTL (1974). »Die Hydrogeologie und Karstgenese des Tennengebirges« wurde von TOUSSAINT (1971) untersucht, was gewisse Rückschlüsse auf das Hagengebirge zuläßt, da in beiden die geologischen und geomorphologischen Verhältnisse weitgehend vergleichbar sind.

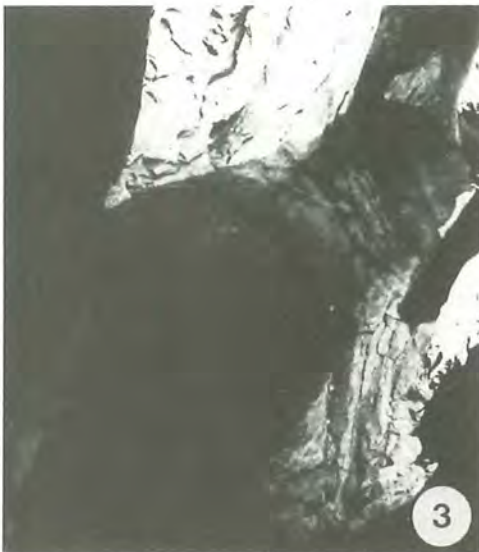
Tafel 4: Die Wasserführung der Salzgrabenhöhle



1 Niedrigwasser im Achental, aufgenommen während des Hochwinters.



2 Dieselbe Lokalität, photographiert nach einem Tag Tauwetter. Der im Bild 1 dargestellte Gang ist bis auf einen kleinen Teil vollständig mit sehr schnell fließendem Wasser erfüllt, so daß diese hinteren Höhlenbereiche der Salzgrabenhöhle zumindest im Sinne von Zubringern aktiv sind. Es wird vermutet, daß durch dieses Gerinne ein Großteil des nördlichen Steinernen Meeres entwässert wird und daß dieses Wasser auf Königsseeneiveau wieder zutage tritt (Grünseebrunnen, Schradlloch).



3 Grünsee/Salzgrabenhöhle. Der See ist als Siphon anzusprechen, da er keinerlei Wasserspiegelschwankungen unterworfen ist. Zu- oder Abflüsse sind nicht bekannt, so daß er vermutlich als Rest eines sehr starken vadosen Einflusses anzusehen ist.



4 Höhleneiskaskaden zwischen Eingang und Gaudischluf. Das Höhleneis ist dort lediglich temporär während des Winters zu beobachten, entstanden durch wechselnde Klimaeinflüsse während der beginnenden Frostperiode.



5 Sinterringe, entstanden durch abtropfendes Wasser, dessen CO_2 infolge des Aufpralls freigesetzt wird, was zu einer annähernd kreisförmigen Sinterbildung rund um die Aufschlagstelle führt.



6 Märchenwiese, Salzgrabenhöhle. Flächig ausgebildete Sinterknöllchen (Blumenkohl- oder Karfiolsinter), so daß keine näheren Angaben möglich sind.

Die gesamte Hochfläche des Steinernen Meeres ist voll verkarstet und wird unterirdisch entwässert. Nur im Süden und an den Grenzen zum Hagengebirge, Hochkalter und Watzmann ist oberirdische Entwässerung festzustellen. In diesen Bereichen sind der Seichenbach, Röthbach, Wimbach und Weißbach die wichtigsten Quellen. Der Schrainbach, an der Grenze des Steinernen Meeres zum Watzmann gelegen, könnte über die Gerinne der Salzgrabenhöhle mit dem Funtensee in Verbindung stehen, was allerdings noch nicht nachgewiesen ist. Eine Verbindung der Höhlenwässer mit den auf Königsseeniveau entspringenden Quellen der Grünseebrunnen und des Schradl-Lochs ist ebenso wahrscheinlich.

Eine Besonderheit des Steinernen Meeres sind die in den südlichen Randabstürzen gelegenen Quellen in ungefähr 1700-1800 m Höhe. Sie werden als eine unterirdische Entwässerung gedeutet, die noch auf das Vorflutniveau eines jungtertiären Talbodens ausgerichtet ist. Im Gebiet des Dießbach-Stausees wurden diese Verhältnisse von BRANDECKER et al. (1965) näher untersucht (s. a. ZÖTL, 1974), und festgestellt, daß das dort gelegene alte Hochtal noch immer die Funktion einer Vorflut auf den Karstwasserkörper ausübt. Dieses alte Niveau wird von einem auf das heutige Niveau ausgerichteten Karstwasserkörper unterlagert, wie die Quellen am Rand des Salzachtals beweisen. Beim Röthbach und Schrainbach sind ähnliche Verhältnisse zu vermuten.

Ein Zusammenhang zwischen dem Dießbachsee und dem Wimbach, der in erster Linie wohl Watzmann und Hochkalter entwässert, konnte durch Triftversuche nachgewiesen werden.

Detaillierte hydrologische Untersuchungen für das gesamte Steinerne Meer stehen jedoch noch aus, so daß keine näheren Angaben möglich sind.

Das Hagengebirge gliedert sich in zwei hydrologisch unterschiedliche Bereiche. Der Hagengebirgswestrand wird durch den Königsbach, Kesselbach und den Bach im Abwärtsgraben zum Teil oberirdisch entwässert, während das Zentralplateau keinerlei oberirdischen Abfluß aufweist. Es sind zwar zahlreiche Quellen vorhanden, die jedoch oft nach nur wenigen Metern Lauf im Karst wieder versickern.

Die Hauptentwässerung des Plateaus erfolgt wohl nach Norden, wo die Karstriesenquelle der Schwarzen Torren im Bluntautal entspringt. Weitere Quellen in diesem Gebiet sind die des Hellbaches und des Bluntaufalls. Im Salzachtal, Blühnbachtal und am Königssee treten mehrere Quellen im Talbereich auf, die allerdings nicht die Schüttung der Schwarzen Torren erreichen.

1976 und 1978 wurden von österreichischer Seite aus Markierungsversuche im Hagengebirge durchgeführt. Dabei erwies sich die von TOLLMANN (1977) bezeichnete »Torscharten-Störung«, die der Linie Roßfeld - Hochwiessattel - Grünalm - Angeralm folgt, als hydrographisch von Bedeutung. Die markierten Schwinden westlich dieser Störung entwässerten in

der Hauptsache zur Schwarzen Torren, die östlich gelegenen jedoch zu den Quellen im Salzachtal. Entlang der Störung wurden hydrologische Verbindungen von der Bärwies und der Grünalm zur Jodquelle am Ofenauerberg nachgewiesen. Die Entfernung der Quelle von der Schwinde Bärwies beträgt über 10 km.

Damit ist eine recht gute übersichtsmäßige Erfassung der karsthydrologischen Verhältnisse des Hagengebirges gelungen, doch fehlen vor allem für den Westteil genauere Untersuchungen.

4.4 Die Höhlenverteilung im Steinernen Meer und im Hagengebirge

Die Frage der Niveaugebundenheit von Karsthöhlen war Gegenstand heftig geführter Diskussionen, die von KRIEG (1955) wieder aufgegriffen wurde. Er brachte Höhlenniveaus mit Landschaftsentwicklungsniveaus in Verbindung. TRIMMEL (1955) und ARNBERGER (1955) antworteten mit verschiedenen Gegenbeispielen und lehnten solche Höhlenentwicklungsniveaus ab. KRIEG (1955) nahm dazu wieder Stellung und verteidigte seine Ansichten, die im selben Jahr durch die Arbeit von SCHAUBERGER (1955) an anderer Stelle statistisch untermauert wurden. Seitdem gilt die Ansicht vom Auftreten von Höhlenniveaus in verschiedenen Höhenlagen der Gebirgsstöcke der Nördlichen Kalkalpen als gesichert (ZÖTL 1974, BÖGLI 1978, für die Westalpen BÖGLI 1970). TRIMMEL (1968) warnt jedoch vor einer zu schematisch statistischen Vorgehensweise, die eventuell auftretende petrologische oder tektonische Faktoren nicht berücksichtigt. Auf die Größe und Höhlenzahl einer der nordalpinen Gebirgsstöcke bezogenen Zusammenstellung dürften sich solche Faktoren jedoch nicht übermäßig auswirken, wie schon SCHAUBERGER (1955) gezeigt hat.

In Abbildung 9 ist die Höhenlage der bekannten horizontalen Gangstrecken des Steinernen Meeres dargestellt. Die auftretenden Maxima lassen sich sehr gut mit den verschiedenen Altflächen korrelieren (vgl. Kap. 4.2), jedoch treten unterhalb des Niveaus 1 (N 1) keine deutlichen Maxima mehr auf, was vielerlei Ursachen haben kann. So ist es denkbar, daß in der zur Ausbildung eines der tieferen Niveaus zur Verfügung stehenden Zeit sich kein stabiler Karstwasserkörper mit einhergehender Höhlenbildung entwickeln konnte, aber auch, daß der Zugang zu einer dieser Etagen, sofern sie vorhanden sind, aus morphologischen Gründen nicht möglich ist.

Auffällig tritt in dieser Abbildung die Salzgrabenhöhle in Erscheinung, sowohl in Bezug auf die Ganglänge wie auf die Höhenlage. In Kapitel 8 ff. wird ausführlich darauf eingegangen und eine auf tektonischen Untersuchungen fußende Erklärung dieser Sonderstellung gegeben werden.

Die Verteilung der horizontalen Gangstrecken des Hagengebirges zeigt Abbildung 10. Auch hier lassen sich die Gangstreckenmaxima zwanglos mit der Höhenlage der Altlandschaften nach SEEFELDNER parallelisieren. Das Maximum im Bereich zwischen

500 und 800 müNN bildet die Gangstrecken der im Salzachtal an der Schichtgrenze Dachsteinkalk zu Ramsaudolomit ausgebauten Höhlen ab.

Dies stellt noch keinen Beweis für die Theorie der mehrphasigen Landschaftsentwicklung nach SEEFELDNER dar, denn es ist auch denkbar, daß alle Gangstrecken vorwiegend in einem Karstwasserkörper entstanden sind und anschließend durch tektonische Vorgänge zusammen mit der Altlandschaftsfläche in die heute festzustellende Höhenlage gebracht worden sind (vgl. Kap. 3, einphasige Landschaftsentwicklung im Sinne von LICHTENECKER), jedoch bleibt festzuhalten, daß im Hagengebirge und im Steinernen Meer in verschiedenen Höhenlagen Gangstreckenmaxima auftreten und die Höhlen nicht beliebig in ihrer Höhenlage verteilt sind.

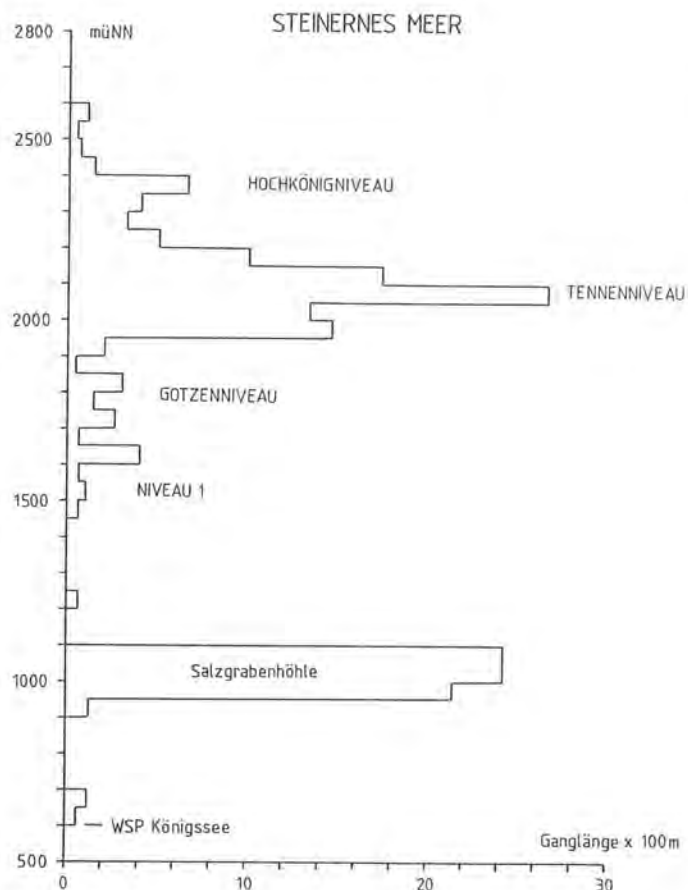


Abbildung 9: Die Höhenlage der **bekannt** horizontalen Gangstrecken des Steinernen Meeres. Umgezeichnet nach dem SALZBURGER HÖHLENBUCH, Bd. 2 (1977)

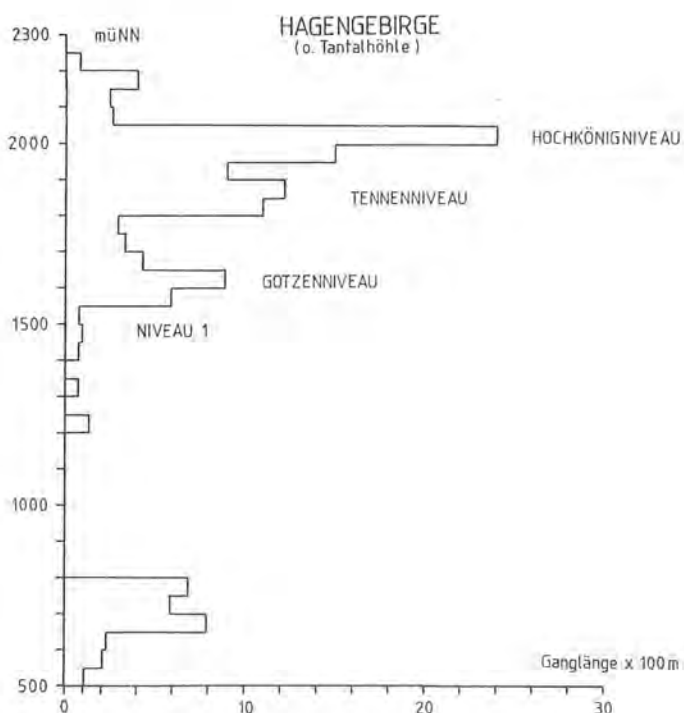


Abbildung 10: Die Höhenlage der **bekannt** horizontalen Gangstrecken des Hagengebirges. Umgezeichnet nach dem SALZBURGER HÖHLENBUCH, Bd. 3 (1979)

5 Die Lokalitäten

In Tabelle 3 sind die beprobten Höhlen in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet nach Eingangshöhe, Lage: Steinernes Meer oder Hagengebirge und Rechts- und Hochwert.

Eine ausführliche Darstellung gibt Tabelle 4, in der zusätzlich die Basisdaten, genaue Lage und Zustieg angeführt werden.

Die Auswahl erfolgte nach Hinweisen auf Höhlensedimente im SALZBURGER HÖHLENBUCH, Bd. 2 und 3, daneben wurden ca. 20 weitere Objekte untersucht, jedoch keine Sedimente aufgefunden.

	Eingangshöhe/m	Hagengebirge	Steinernes Meer	Rechtswert	Hochwert
Achselhornhöhle	2250		x	⁴⁵ 67950	⁵² 59900
Allesda-Loch P4	2010	x		81000	63150
Bärenhöhle	810	x		83750	69850
Brunnloch	685	x		87200	67250
Canyonhöhle im Gjaidgraben	2212		x	69025	64050
Diebsloch	2210		x	68700	58200
Eggstättenhöhle	2150		x	67250	61800
Fagsteinlöcher	1780	x		77275	67075
Fallgrube	1965		x	75575	60510
Gjaidgrabenhöhle	2203		x	68850	64150
Gruber-Kalzitloch	1200	x		83050	68200
Grünschartenhöhle	2100		x	67220	61450
Halbhöhle bei der Sagereckalm	1380		x	72370	64050
Halbhöhle im oberen Stiergraben	1720	x		77100	67225
Hocheggerhöhle	1945		x	75550	60560
Höhle am Moosensteig	1330		x	7200	65300
Höhle am Selbhorn 1	2450		x	72800	57450
Höhle am Selbhorn 2	2435		x	72825	57550
Höhle am Selbhorn 3	2400		x	72725	57625
Höhle in der Schreck 1	1970	x		77850	63150
Höhle in der Schreck 2	1970	x		77950	63400
Höhlenruine ESE Hochseeleinscharte	1920	x		78475	66725
Höhlenruine ESE Kahlersberg	2030	x		79225	65850
Höhlenruine W Bergwachthütte	1810	x		77375	67330
Hundsfott-Wandhöhle	2100		x	66200	63250
Hundstod-Wandhöhle	2080		x	66150	63250
Klufthöhle im Regenbergl	1470	x		75025	65850
Laafeld 1 (Murmelloch)	1810	x		76725	66950
Laafeld 2	1900	x		76750	66450
Laafeld 3	1870	x		76700	66525
Laafeld 4 (Laafeldwandhöhle)	1820	x		76525	65900
Labyrinth-Höhle	1540	x		85950	69800
Lindwurmhöhle	1755	x		77100	67150
Loch bei der Krautkaseralm	1495	x		77650	72550
Plymouth Cave	2080	x		80300	62350
Reinersberghöhle	1900	x		79000	69000
Rotwandlhöhle	2170		x	69700	60250
Salzgrabenhöhle	960		x	72350	65300
Schachthöhle w Lengtalscharte	2050	x		79650	65850
Scheukofen	740	x		87225	66000
Schreck laß nach	2000	x		77920	63300
Seealmlöcher	1200	x		82975	68200
Sinterdeckenhöhle	2102		x	70170	60100
Spindelhöhle	1440		x	72100	65050

Tabelle 3

Dem SALZBURGER HÖHLENBUCH Bd. 2 (Steinernes Meer) und Bd. 3 (Hagengebirge) sind sämtliche Angaben zu Höhlen mit Katasternummer entnommen

(Ausnahme: Schreck laß nach, in: DER SCHLAZ 42 und 44, München 1984).

Höhlen ohne Katasternummer wurden vom Autor aufgenommen, bzw. z. T. in Zusammenarbeit mit Forschern des Vereins für Höhlenkunde in München e. V. entdeckt.

Abkürzungen:

- Eh. Eingangshöhe in müNN
Gl. Gesamtlänge aller bekannten, vermessenen Höhlengänge
Hd. Horizontaldistanz
(Maximale Horizontalerstreckung einer Höhle)
Gh. Gesamthöhenunterschied (+: über, -: unter dem Eingangsniveau).

Weitere Informationen, insbesondere Raumbeschreibungen, sind dem jeweiligen SALZBURGER HÖHLENBUCH zu entnehmen.

Größenordnung der Höhlen:

Gesamt-	5 bis 50 m	Kleinhöhle	Schacht
länge:	50 bis 500 m	Mittelhöhle	Großsch.
	500 bis 5000 m	Großhöhle	Riesensch.
	über 5000 m	Riesenhöhle	

Tabelle 4:

Die beprobten Lokalitäten

In der folgenden Tabelle sind die beprobten Höhlen in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet.

Die Zahl hinter dem Höhlennamen gibt die Nummer an, unter der die Höhle im österreichischen Höhlenkataster geführt wird.

Achselhornhöhle 1331/79

Basisdaten:

Eh. ca. 2300 m/Gl. 50-60m/Dachsteinkalk

Lage:

Achselhorn

Zustieg:

Vom Eichstätter Weg aus ist in halber Wandhöhe das große Portal gut sichtbar.

Allesda-Loch P4 1335/91

Basisdaten:

Eh. 2010 m/Gl. 20 m/Hd. 15 m/Gh. -5 m/Dachsteinkalk

Lage:

Westlich Roßfeld-Verbundhütte in einer markanten Karstgasse.

Bärenhöhle 1335/1

Basisdaten:

Eh. 810 m/Gl. v. 820 m (e. 1000 m)/Gh. 235 m (+ 10, - 225)/Hd. 482 m/Dachsteinkalk

Lage:

Über dem Torrener Wasserfall

Zustieg:

Von der Karstriesenquelle der Schwarzen Torren folgt man dem markierten Steig zur Seealm bis in etwa 850 m Seehöhe. Hier erreicht der Weg einen breiten felsigen Graben, der bergwärts von einer überhängenden hohen Felswand abgeschlossen wird. Etwa 20 m unter der Wand öffnet sich direkt im Graben der schwer einsehbare Höhleneingang, zu dem auch ein kleiner Steig hinunterführt.

Brunnloch 1335/3

Basisdaten:

Eh. 685 m/Gl. 896 m/Hd. 389 m (+ 74, - 17)/gebankter Dachsteinkalk-Dolomit

Lage:

Oberhalb des Steinwendgutes bei Stegenwald

Zustieg:

Der Aufstieg erfolgt durch einen wenige 100 m südlich des Steinwendgutes gelegenen Graben über die Straße oder einen kleinen, abkürzenden Jagdsteig. Das Höhlenportal selbst liegt in einer leicht überhängenden Wandstufe und kann über ein mit Stiften versichertes Felsband erreicht werden.

Canyonhöhle im Gjaidgraben 1331/130

Basisdaten:

Eh. 2212 m/Gl. 50 m/Dachsteinkalk

Lage:

Gjaidgraben

Zustieg:

Die Höhle liegt im Osthang des Kl. Schneibers, etwas unterhalb der Eishöhle, und wird durch einen markanten rötlichen Felsüberhang gekennzeichnet.

Diebsloch 1331/1

Basisdaten:

Eh. 2210 m/Gl. 72 m/Hd. 50 m/Gh. 10 m/Dachsteinkalk

Lage:

Breithorn

Zustieg:

Man steigt vom Riemann-Haus in die südwestlich gelegene Felsmulde ab und quert auf Felsbändern zum Breithorn hinüber. Etwa 30 m höher als die Schutzhütte liegt die Höhle.

Eggstättenhöhle 1331/8

Basisdaten:

Eh. 2150 m/Gl. 105 m/Hd. 65 m/Gh. 35 m (- 10, + 25 m)/Dachsteinkalk

Lage:

Großer Eggstättenkopf

Zustieg:

Der Höhleneingang soll vom Eichstätter Weg aus sichtbar sein. Stimmt (d. Autor), siehe Lageplan im Anhang.

Fagsteinlöcher 1335/19

Basisdaten:

Eh. 1780 m/Gl. 30 m/Dachsteinkalk

Lage:

Stiergraben Ostseite

Zustieg:

Über den Stiergraben und ein kleines Felsband direkt unterhalb der Höhle

Fallgrube 1331/161

Basisdaten:

Eh. 2100 M/Gl. 60 m/Gh. - 24 m/Hd. 28 m/Dachsteinkalk

Lage:

Leiterkopf

Zustieg:

Östlich des Leiterkopfes befindet sich an dessen Fuß ein tiefer Trichter. Der Einstieg ist an seinem Ostsattel zu suchen.

Gjaidgrabenhöhle 1331/34

Basisdaten:

Eh. 2203 m/Gl. 150 m/Hd. 70 m/Gh. - 42 /Dachsteinkalk

Lage:

Oberer Gjaidgraben

Zustieg:

Der Höhleneingang wird durch die dem Schneiber westlich vorgelagerte Scharte über Schrofen abklettern erreicht.

Gruber-Kalzitloch 1335/9

siehe Seealmlöcher

Grünschartenhöhle 1331/20

Basisdaten:

Eh. 2100 m/Gl. 105 m/Hd. 65 m/Gh. - 25 m/Dachsteinkalk

Zustieg:

Über den Eichstätter Weg erreicht man die »Schindelkopf-Gruberach« (AV-Karte). Die Höhle liegt in dem vom Grünkopf zum Kar abfallenden breiten Rücken.

Halbhöhle bei der Sagerackalm

Lage und Zustieg:

20 m östlich der ersten Treppe, die von der Sagerackalm in Richtung Grünsee führt. Eh. 1380 m/Dachsteinkalk.

Halbhöhle im oberen Stiergraben

Basisdaten:

Eh. 1720 m/Gl. 4 m/Dachsteinkalk

Lage:

Stiergraben

Zustieg:

Über den Weg von der Priesbergalm zum Seeleinsee. 20 m südlich des Weges.

Hoheggerhöhle 1331/162

Basisdaten:

Eh. 1945 m/Gl. 140 m/hd. 60 m/Gh. -50 m/Dachsteinkalk

Lage:

Hohegger

Zustieg:

Die Hoheggerhöhle liegt knapp unterhalb der Fallgrube.

Höhle am Moosensteig

Basisdaten:

Eh. 1330 m/Gl. 20 m (geschätzt)/Dachsteinkalk

Lage:

Simetsberg-Neiger

Zustieg:

Über den verfallenen Moosensteig an der Simetsberg-Nordseite.

Höhle am Selbhorn 1, 2, 3

Basisdaten:

Eh. 2450 m, 2435 m, 2400 m/Dachsteinkalk

Lage:

Westlich des Kammes zwischen Selbhorn und Silbhorn., Möglicherweise identisch mit Maci Laci Bar-

lang 1331/95, Traumhöhle 1331/96 und Szükluk 1331/97.

Zustieg:

Selbhorn-Westflanke über Hochbrunnsulzen oder Luegscharte.

Höhle in der Schreck 1

Basisdaten:

Eh. 1970 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

In einer der Karstgassen im östlichen Teil der Schreck.

Höhle in der Schreck 2

Identisch mit Objekt Nr. 18, DER SCHLAZ 42 (1984)

Basisdaten:

Eh. 1970 m/Gl. 11 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

In einem Kessel am Südhang der Hochfeldköpfe

Höhlenruine ESE Hochseeleinscharte

Lage:

Im Plateaubereich ese der Hochseeleinscharte

Zustieg:

Über Seeleinsee und Hochseeleinscharte auf die Ostausläufer des Kahlersberges zugehend. Eh. 1920 m/Dachsteinkalk

Höhlenruine ESE Kahlersberg

Lage und Zustieg:

Im Bärensunk, dem Eisenpfad folgend. Eh. 2030 m/Dachsteinkalk.

Höhlenruine W Bergwachthütte

Lage und Zustieg:

Wenige Meter westlich der Bergwachthütte am Seeleinsee. Eh. 1810 m/Dachsteinkalk.

Hundsfott-Wandhöhle 1331/115

Basisdaten:

Eh. 2100 m/Gl. 55 m/Gh. + 33 m/Dachsteinkalk

Lage:

Kleiner Hundstod

Zustieg:

Das auffallende, im Hintergrund eines Kessels gelegene Kluftportal befindet sich rund 100 m südlich der Hundstod-Wandhöhle.

Hundstod-Wandhöhle 1331/4

Basisdaten:

Eh. 2080 m/Gl. 35 m/Hd. 30 m/Gh. -10 m/Dachsteinkalk

Lage:

Kleiner Hundstod

Zustieg:

Am Weg von Weißbach zum Ingolstädter Haus sieht man in der Südwand des Kleinen Hundstods die großen Öffnungen der Wandhöhle. Über einen Schutthang erreicht man den Eingang.

Klufthöhle im Regenbergl

Basisdaten:

Eh. 1470 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

Wenige Meter südlich des Kaunersteigs oberhalb ei-

ner größeren anmoorigen Fläche, knapp über den Königsseewänden.

Laafeld 1

Möglicherweise identisch mit Murreloch 1335/176

Basisdaten:

Eh. 1810 m/Gl. 6-8 m/Dachsteinkalk - Liasrotkalk

Lage:

Laafeldwand

Zustieg:

Über die Regenalm der Wasserleitung zu den Laafeldwänden folgend. Portal am Wandfuß.

Laafeld 2

Basisdaten:

Eh. 1900/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

s. Laafeld 1

Laafeld 3

Basisdaten:

Eh. 1870 m/Dachsteinkalk - Liasrotkalk

Lage und Zustieg:

s. Laafeld 1

Laafeld 4 (Laafeldwandhöhle)

Fundbericht Laafeldwandhöhle 1982 (LANGENSCHIEDT u. SOMMER) dem Salzburger Höhlenverein zugesandt.

Basisdaten:

Eh. A 1820 m, B. 1823 m/Gl. ca. 78 m/Hd. ca. 25 m/Gh. ca. 30 m (+ 10 m/- 20 m)/Dachsteinkalk - Liasrotkalk

Lage:

In den Laafeldwänden, ca. 20 m oberhalb eines kleinen Kars, in dem sich die Quelfassung der zur Regenalm führenden Wasserleitung befindet.

Zustieg:

Vom Weg Regenalm - Mitterhüttenalm folgt man bei 1680 m Höhe einem unscheinbaren Weg nach Norden, bis man das zweite, höhergelegene Kar erreicht. Vom Weg aus sind schon mehrere andere Portale zu erkennen (Laafeld 2, 3).

Labyrinth-Höhle 1335/27

Basisdaten:

Eh. 1540 m/Gl. 473 m/Hd. 50 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

Nahe des Weges auf der Höllriegelalm.

Lindwurmhöhle 1335/31

Basisdaten:

Eh. A 1755 m, C 1750 m, D 1805 m/Gl. 1110 m/Hd. 250 m/Gh. 230 m (- 152 m/+ 78 m)/Dachsteinkalk

Lage:

Gotzentauern - Stiergraben

Zustieg:

Vom Weg Priesbergalm - Hochgschirr aus sieht man, bereits im oberen Teil des Stiergrabens, rechts in einer kleinen Felswand den auffälligen unteren Eingang der Höhle. 7 Meter tiefer, am linken Fuß der Wand, öffnet sich der Loch-Ness-Einstieg (1335/74). Der obere Eingang liegt 50 m weiter oben im Grashang, rechts oberhalb befindet sich in kleines Karrenplateau, wo die beiden Tagöffnungen liegen.

Loch bei der Krautkaseralm

Basisdaten:

Eh. 1495 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

Über die Krautkaseralm ENE aufsteigend bis zum Wandfuß.

Plymouth Cave 1335/105

Basisdaten:

Eh. 208 m/Gl. 500 m/Hd. 120 m/Gh. 900 m (- 80 m/+ 10 m)/Dachsteinkalk

Lage:

Südosthang der Sulzenkarlhöhe, knapp neben dem Masten 157 der Hochspannungsleitung.

Zustieg:

Über den Verbundleitungsweg.

Reinersberghöhle 1335/22

Basisdaten:

Eh. 1900 m/Gl. 298 m/Hd. 95 m/Gh. 47 m (+ 19/- 28 m)/Liaskalk-Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

Westhang des Reinersberges, in der Nähe Reinersbergbrückl.

Rotwandlhöhle 1331/60

Basisdaten:

Eh. 2170 m/Gl. 1700 m/Hd. 350 m/Gh. - 100 m/Dachsteinkalk - Liaskalk

Lage:

Rotwandl

Zustieg:

Beim Salzburger Kreuz zwischen Riemannhaus und Funtensee quert man gegen Nordwest zu einem markanten Felsblock am Westfuß des Rotwandls. Einige hundert Meter nördlich liegt an der Schichtgrenze Dachsteinkalk - rosa Liaskalk der Eingang.

Salzgrabenhöhle 1331/29

Basisdaten:

Eh. 960 m/Gl. 6550 m/Hd. 870 m/Gh. 270 m (- 90 m/+ 180 m)/Dachsteinkalk

Lage:

Simetsberg

Zustieg:

Der Touristensteig von St. Bartholomä zum Funtenseehaus führt kurz vor der Schrainbach-Holzstube durch eine tief eingeschnittene Klamm. Am unteren Ende der Klamm zweigt man in Richtung Simetsberg ab und folgt den Steigspuren bis zum Salzgraben.

Schachthöhle W Lengtalscharte 1335/17

Basisdaten:

Eh. 2050 m/Gl. 510 m/Hd. 245 m/Gh. - 35 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

350 m westlich Lengtalschartl im zentralen Bereich des Hagengebirges.

Scheukofen 1335/4

Basisdaten:

Eh. 740 m/Gl. 1400 m/Gh. 120 m (+ 40 m/- 80 m)/Hd. 500 m/Dachsteinkalk - Dolomit

Lage:

Sulzau, auf der Steinwend-Voralpe

Zustieg:

Von Sulzau durch das Schotterwerk zur Quelle der Siphonhöhle. Von hier über die Straße oder einen kleinen, abkürzenden Jagdsteig bis zur Verebnung der Steinwend-Voralpe. Auf einem kleinen Steig wird von hier durch einen meist trockenen Graben der große Höhleneingang erreicht.

Schreck laß nach 1335/205

(Bei Drucklegung des SALZBURGER HÖHLENBUCHES, Bd. 3 noch nicht bekannt)

Basisdaten:

Eh. 2000 m/Gl. 571 m/Gh. - 184 m/Dachsteinkalk

Lage:

In der Schreck

Zustieg:

Über den Luchspfad zum Hanauer Laub und weiter in die Schreck. Der Einstieg befindet sich westlich unterhalb der Erhebung 2009 im Latschenfeld südostwärts der Hochfeldköpfe.

Höhlenplan:

HEINRICHS (1984) in: DER SCHLAZ 44, München 1984

Seealmlöcher 1335/9**Basisdaten:**

Eh. 1200 m/Gl. H1: 20 m, H 2:7, H 3:30 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

Wenige Meter südöstlich der Seealm.

Gruber-Kalzitloch

Gehört zur Gruppe der Seealmlöcher. Gl. über 130 m.

Sinterdeckenhöhle 1331/105**Basisdaten:**

Eh. 2102 m/Gl. ca. 50 m/Dachsteinkalk

Lage:

Rotwandl

Zustieg:

Vom Weg zum Riemannhaus sieht man etwa auf Höhe der kleinen Lacke in der Rotwandl-Ostflanke drei rote Ausbrüche. Der rechte führt in die Höhle.

Spindelhöhle**Basisdaten:**

Eh. 1440 m/Dachsteinkalk

Lage und Zustieg:

Knapp oberhalb des Moosensteiges in Nähe der Sagareckalm, Simetsberg.

5.1 Geländearbeiten - Probennahme

Da dreiviertel der beprobten Höhlen allein befahren wurden, konnten nicht sämtliche angeführten Höhlen vollständig auf ihren Sedimentgehalt untersucht werden.

Zwischenauswertungen ergaben, daß in Bezug auf die zu bearbeitende Fragestellung eine solche Vorgehensweise, die ohnehin schon beträchtliche Schwierigkeiten beinhaltet, gerechtfertigt ist.

In der Salzgrabenhöhle wurden sämtliche Sedimentvorkommen beprobt (23 Fundpunkte, s. Anlage), dennoch konnten keine für die Fragestellung relevanten, voneinander abweichenden Parameter nachgewiesen werden. Es werden in den verschiedenen Sedimenten lediglich auf diese Höhle bezogene unterschiedliche Sedimentationsverhältnisse dokumentiert, die sich etwa in verschiedener Korngröße der Komponenten ausdrücken, jedoch nicht in einer Änderung des Komponenteninventars. Gleiches gilt für die Sedimente der vollständig beprobten Rotwandlhöhle, Reinersberghöhle oder Laafeld 1.

Damit ist hinreichend nachgewiesen, daß das o. a. Vorgehen zur Bearbeitung der Fragestellung völlig ausreichend ist, da von kleinräumig auftretenden sedimentologischen Phänomenen in entsprechendem Maße abstrahiert werden kann, wie in Kapitel 7 ff. ausführlich dargestellt wird.

6 Speläomorphologische Untersuchungen

Gemäß der in Kapitel 2.1.4 und 2.2 vorgestellten Kriterien wurden die Raumformen der befahrenen Höhlen aufgenommen und bestimmten Entstehungsbedingungen zugeordnet.

An einigen ausgewählten Beispielen werden die Ergebnisse der speläomorphologischen Untersuchungen im folgenden stichwortartig dargestellt:

Achselhornhöhle, 2250 m:

Annäherung der Raumform an das Kastenprofil, vergleichbar mit der Rotwandhöhle und dem Hagenloch. Greisenstadium.

Gjaidgrabenhöhle, 2203 m:

Häufig an Klüften ausgebildete Ellipsen, Versturz wirkt stellenweise überprägend. Phreatische Entstehung, Altersstadium.

Rotwandhöhle, 2170 m:

Vorherrschend Schluchtgänge, selten Ellipsen mit Wirbelkanal, Kastenprofile. Phreatische Entstehung mit anschließender vadoser Phase, Altersstadium.

Sinterdeckenhöhle, 2102 m:

Phreatische Ellipsenformen, an Bankfugen ausgebildet.

Grünschartenhöhle, 2100 m:

Phreatische Anlage stellenweise noch zu erkennen, noch nicht so überprägt wie die Achselhornhöhle.

Schachthöhle W Lengtalscharte, 2050 m:

Einstieg durch Schächte auf ein horizontales Niveau mit phreatischen Gangformen, relativ gut erhaltener Kleinformenschatz.

Allesda-Loch P4, 2010 m:

Ellipsen- bis Rundprofile am Aufeinandertreffen von Bankfugen und senkrecht dazu stehenden Klüften entwickelt. Phreatische Bedingungen.

Schreck laß nach, 2000 m:

Schachtartiger Einstieg auf ein ziemlich horizontales Niveau, das Ellipsenprofile, Schlüssellochprofile und ausgeprägte Canyons zeigt. Phreatische Entstehungsbedingungen mit anschließender vadoser Überprägung.

Fallgrube, 1965 m:

Mehrphasige phreatische Anlage von elliptischen Raumformen entlang Bankfugen, was möglicherweise als Indiz für Hohlraumbildung in der Hochwasserzone unter phreatischen Bedingungen gewertet werden kann.

Hocheggerhöhle, 1945 m:

Höhle im Reife- bis Altersstadium, starke Inkasion, vermittelt den Eindruck einer klufftgebundenen Raumentwicklung (?).

Reinersberghöhle, 1900 m:

Canyons bestimmen den Raumcharakter, phreatische Deckenkolke. Ausgeprägte vadose Phase.

Laafeld 2, 1900 m:

Schichtgebundene Raumentwicklung mit angedeutetem Wirbelkanal, phreatisch.

Laafeld 3, 1900 m:

Flachelliptisches, schichtgebundenes Portal, endet nach wenigen Metern absteigend verschlammmt. Phreatische Raumform.

Laafeld 4, 1820 m:

Phreatische Formen wie Rundprofile und Ellipsen, vadose Formen: Canyons. Zweiphasige Hohlraumentwicklung.

Laafeld 1, 1810 m:

Schlüssellochprofil, im Jugendstadium entlang einer Schichtfuge angelegt, später sekundär vados eingetieft.

Labyrinth-Höhle, 1540 m:

An Schichtfugen angelegte Doppelgänge, netzförmiges Gangsystem, teilweise gotische Raumprofile. Phreatisch, vados.

Seealmlöcher, Gruber-Kalzitloch, 1200 m:

Schichtfugegebundene Ellipsen und Rundprofile am Schnittpunkt Bankfuge/Kluft, phreatisch.

Salzgrabenhöhle, 960 m:

Ellipsengänge, Doppelgänge, Wirbelkanalgänge, Gefälle und Gegengefälle abwechselnd, teilweise vernetztes Gangsystem, dazu Hallen und Dome. Deckenkolke, Wandkolke, Höhlenrinnen und Höhlenrillen, Hacheln, lokal ausgeprägte Inkasionserscheinungen. Deutlich ausgebildetes phreatisches Jugend- und Reifestadium mit vadoser Überprägung und Verstürzen.

Bärenhöhle, 810 m:

Schicht- und klufftugegebundene Raumentwicklung, keine sichere Zuordnung möglich, Hinweise deuten auf phreatische Entstehung.

Scheukofen, 740 m:

S. Bärenhöhle.

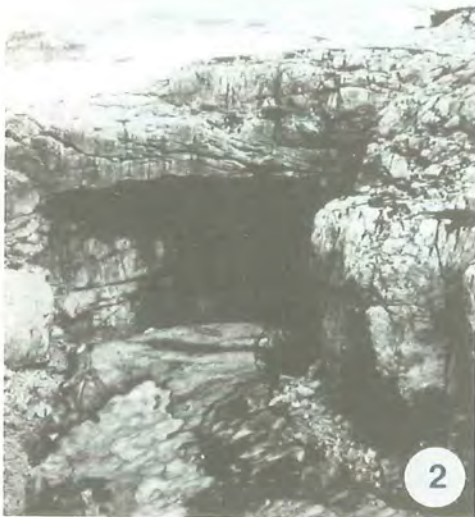
Brunnloch, 685 m:

An Schichtfugen gebundene elliptische Raumformen. Phreatische Entstehung.

An Hand dieser ausgewählten Beispiele kann für das Hagengebirge und das Steinerne Meer nachgewiesen werden, daß in jeder Höhenlage phreatische Bildungsbedingungen zumindest im Jugendstadium der Höhlengenese herrschten. Nicht selten kann durch Schächte ein Höhlenniveau erreicht werden, das phreatischen Ursprungs ist. Vadose Bedingungen wirken in der Regel überprägend, woraus ein Tieferlegen der phreatischen Zone abgeleitet werden kann, so daß erosive Kräfte raumbildend und raumverändernd wirkten.



1 Typisches Schluchtgangprofil mit extrem ausgeprägter vadoser Eintiefung. Rotwandlhöhle, Steinernes Meer.



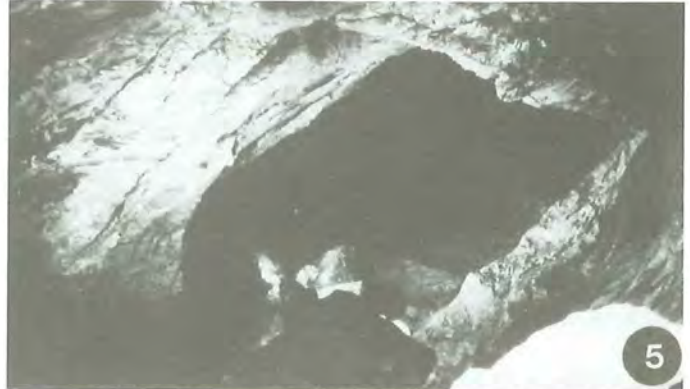
2 Durch Inkationsvorgänge geschaffenes Rechteckprofil, Alters- bis Greisenstadium. Eggstättenhöhle, Steinernes Meer.



3 Rechteckprofil, Altersstadium. Grünsehöhle, Steinernes Meer.



4 Leitform für phreatische Entstehungsbedingungen: Doppelläuge mit Ellipsenprofil. Brillengang, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



5 Leitform für phreatische Entstehungsbedingungen: Wirbelkanalgang. Antreibergang, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



6 Rund- und Ellipsenprofile, entlang Schichtfugen und/oder Klüften angelegt. Seealmlöcher, Hagengebirge.



7 Großform: Halle. Verzweigungshalle, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



1 Kluftgebundene Raumentwicklung. Nähe Kristallsee, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



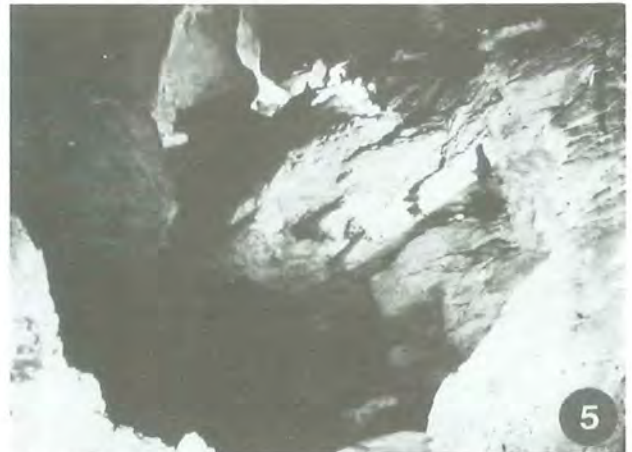
2 Sich überlagernde elliptische Raumformen, gebunden an zwei Bankfugen im Dachsteinkalk. Gruber-Kalzitloch, Hagengebirge.



3 Rund- bis Ellipsenprofil. In Höhe des Rucksacks ist an der gegenüberliegenden Felswand ein Höhleneingang zu erkennen, so daß angenommen werden muß, daß tektonische Vorgänge ein zusammenhängendes Gangsystem durchtrennt haben. Fagsteinlöcher, Stiergraben, Hagengebirge.



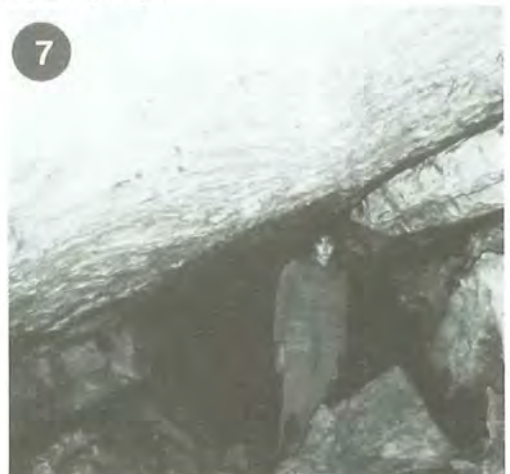
4 Korrosionskolke mit nachträglich eingefülltem und teilweise wieder erodiertem Höhlensediment. Mühlengang, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



5 An tektonische Anlage gebundene Raumentwicklung, die von Inkasionsvorgängen überprägt ist. Seilbahnschacht, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



6 Mischungskorrosionskolk, am Aufeinandertreffen von Bankfuge und Kluft entstanden, die nach der Korrosion erneut aktiviert wurde, was zu einem Versatz der Kolkhälften führte. Reinersberghöhle, Hagengebirge.



7 Raumverfall, der an der hangenden, nicht erosiv angegriffenen Dachsteinkalkbank haltmacht. Rotwandlhöhle, Steinernes Meer.

Damit ist in Bezug auf die Fragestellung nach der Landschaftsentwicklung eine wichtige Prämisse geklärt: die Höhlen in verschiedenen Höhenlagen entstanden unter vergleichbaren Bildungsbedingungen, was in kausalem Zusammenhang mit der Entwicklung karsthydrographischer Zonen steht (vgl. Kap. 2 ff. 3).

Nach dem Konzept der einphasigen Landschaftsentwicklung müßten die Höhlen der verschiedenen

Stockwerke ähnliche Genesestadien aufweisen, wogegen das bevorzugte Auftreten von Höhlen im Altersstadium und Greisenstadium (Höhlenruinenzone des Hagengebirges) im obersten Höhlenstockwerk spricht (s. Kap. 3.3). Dies kann als ein Indiz für eine mehrphasige Landschaftsentwicklung gewertet werden, da die Höhlen der tieferen Etagen vorwiegend Formen des Jugend- und Reifestadiums zeigen und somit in der Raumentwicklung nicht so weit fortgeschritten sind.



Chemische Höhlensedimente, Sinter. Das Bild zeigt in natürlicher Größe einen Ausschnitt aus der »Märchenwiese« der Salzgrabenhöhle. Diese Sinterformen werden als Karfiol- oder Blumenkohlsinter bezeichnet.

7 Höhlensedimente

Höhlensedimente werden in vier Gruppen untergliedert. Man unterscheidet zwischen klastischen, organischen und chemischen Sedimenten und Höhleneis.

Die aufgefundenen Sedimente sind in ihrer Mehrzahl der Gruppe der klastischen Sedimente zuzuordnen, chemische Sedimente, d. h. Mineralneubildungen und vor allem Sinter, sind auf die Höhlenruinenzone und einige tiefere Höhlen, wie den Scheukofen, beschränkt. Da von ihrer Untersuchung in Bezug auf die Fragestellung keine eindeutigen Aussagen erwartet werden konnten, wurden Sinterproben nur dann entnommen, wenn eindeutige Beziehungen zu klastischen Sedimenten gegeben waren.

Absolute Altersdatierungen (z. Bsp.: Th-230/U-234, HENNIG, GRÜN, BRUNNACKER u. PECSI, 1983) wären zwar sehr wünschenswert, würden aber den Umfang dieses Projektes sprengen.

Organische Höhlensedimente konnten in keiner der aufgesuchten Lokalitäten gefunden werden.

Höhleneis war nur temporär im Winter festzustellen (Salzgrabenhöhle).

Klastische Höhlensedimente gliedern sich in die Gruppe der verfestigten Sedimente und der grobklastischen und feinklastischen Lockersedimente (Höhlenlehme), die Gegenstand der klassischen Untersuchungen von LAIS (1941) waren. Höhlenlehme wurden nicht in die Bearbeitung mit einbezogen.

So wird der Schwerpunkt dieser Arbeit auf die ausführliche Untersuchung grobklastischer Lockersedimente und der verfestigten Höhlensedimente gelegt, die im wesentlichen als Konglomerate ausgebildet sind. Im folgenden werden die durchgeführten Untersuchungen und die erzielten Ergebnisse ausführlich dargestellt.

In Tabelle 5 sind die beprobten Lokalitäten und die Probennummern aufgelistet, im weiteren wird darauf Bezug genommen.

Probenverzeichnis:

Hagengebirge

Loch bei der Krautkaseralm	1
Bärenhöhle	2/1 - 2/5
Labyrinth-Höhle	3
Reinersberghöhle	4/1 - 4/5
Gruber-Kalzitloch	5
Seealmlöcher	6
Brunnloch	7/1 - 7/3
Scheukofen	8/1 - 8/4
Höhlenruine w Bergwachthütte	9/1 - 9/2
Halbhöhle im oberen Stiergraben	10
Lindwurmhöhle	11
Fagsteinlöcher	12
Klufthöhle im Regenbergl	13

Laafeld 1 (Murmelloch)	14/1 - 14/6
Laafeld 3	15
Laafeld 2	16
Laafeld 4 (Laafeldwandhöhle)	17
Höhlenruine ese Hochseeleinscharte	18
Höhlenruine ese Kahlersberg	19/1 - 19/2
Schachthöhle w Lengtalscharte	20/1 - 20/2
Höhle in der Schreck 2	21
Höhle in der Schreck 1	22
Schreck laß nach	23
Allesda-Loch P4	24
Plymouth Cave	25

Steinernes Meer

Höhle am Moosensteig	26
Salzgrabenhöhle	27/1 - 27/23
Spindelhöhle	28
Gjaidgrabenhöhle	29
Canyonhöhle im Gjaidgraben	30
Halbhöhle bei der Sagereckalm	31
Hundsfott-Wandhöhle	32
Hundstod-Wandhöhle	33
Eggstättenhöhle	34/1 - 34/2
Grünschartenhöhle	35
Achselhornhöhle	36
Rotwandhöhle	37/1 - 37/5
Sinterdeckenhöhle	39
Hoheggerhöhle	39
Fallgrube	40
Diebsloch	41
Höhle am Selbhorn 3	42
Höhle am Selbhorn 2	43
Höhle am Selbhorn 1	44

Tabelle 5

7.1 Chemische Höhlensedimente - Sinter

Verbreitet treten Sinter in der Höhlenruinenzone des Hagengebirges auf, wo sie als bis zu mehreren Dezimeter mächtige Krusten ausgebildet sind, die völlig umkristallisiert und oft glasklar erscheinen.

Auch im Scheukofen sind mächtige Sintervorkommen aufgeschlossen, die heute inaktiv und weitgehend von Menschen zerstört worden sind.

Lediglich in einer Höhle, auf deren Namensangabe aus Gründen des Naturschutzes verzichtet wird, wurden größere aktive Sinterbildungen angetroffen. So sind Sinterdecken, Sintervorhänge, Sinterfahnen und Tropfsteine ausgebildet, daneben treten Knöpfchensinter und Höhlenperlen auf (s. Taf. 7). Ebenfalls aktive Makkaronistalaktiten wurden in einer anderen Lokalität vorgefunden.

Bis zu 10 cm mächtige Bergmilchvorkommen wurden in der Klufthöhle im Regenbergl festgestellt, die ansonsten keine Sinterbildungen aufweist.

Die Genese der Sinter wird hauptsächlich mit einer Änderung des pCO₂ erklärt, was häufig der Fall ist, wenn Wasser, die einen hohen CO₂-Gehalt durch Aufnahme von CO₂ aus der Bodenluft aufweisen, in einen Hohlraum mit den relativ niedrigen CO₂-Werten der Luft eindringen und sich dann auf ein neues

Tafel 7: Sinterformen



1 Großflächig übersinterter Raum, jedoch sind keine freiwachsenden Tropfsteine im engeren Sinn vorzufinden.



2 Medusensinter.



4 Aktive Sinterfahnen mit Zentralrohr.



3 Medusensinter und Tropfsteine, ausgebildet an einer schwach überhängenden Wandpartie.



5 Höhlenperlen.



6 Sinterröhrchen (Makkaronisinter).

Gleichgewicht einstellen, was zur Freisetzung von Karbonat in Form von Sinter führt. Auch Temperaturgefälle spielen bei der Sinterbildung eine Rolle, wenn auch nicht im selben Umfang wie pCO_2 -Änderungen.

Die kleinräumigen morphologischen Verhältnisse in einer Höhle beeinflussen die Erscheinungsform der Sintervorkommen. Tropfsteine entstehen, wenn Wasser frei von der Austrittsstelle an der Höhlendecke auf den Boden abtropfen kann, Sintervorhänge und Sinterfahnen werden gebildet, wenn das kalkreiche Wasser noch eine gewisse Fließstrecke an einer schrägen Wand zurücklegt und dabei Karbonat ausgeschieden wird. Höhlenperlen entwickeln sich in wassererfüllten Becken unter ständiger Bewegung, da sie sonst am Boden festbacken würden (BÖGLI, 1978).

Eine ausführliche Beschreibung von Sinterformen und deren Entstehungsbedingungen wird von TRIMMEL (1968) als auch von BÖGLI (1978) gegeben, ebenso Hinweise auf weiterführende Literatur.

7.2 Klastische Höhlensedimente

7.2.1 Lockersedimente

In der Reinersberghöhle, Laafeld 2, Salzgrabenhöhle, Rotwandhöhle, Hoheggerhöhle, Fallgrube und im Diebsloch wurden nicht verfestigte Kiese und Sande aufgefunden und Probenmengen zwischen 500 g und 1,5 kg entnommen.

Vier Augensteinvorkommen, eines in der weiteren Umgebung der Achselhornhöhle (48), die anderen (51, 52, 53) zwischen der Grünschartenhöhle und dem Ingolstädter Haus im Steinernen Meer gelegen, wurden in ähnlicher Weise beprobt, um quantitative und qualitative Vergleiche mit den Höhlensedimenten zu ermöglichen.

Im Labor wurden die Sedimente getrocknet und anschließend mit einem in PHI-Schritten aufgebauten Siebsatz trocken gesiebt. Die Ergebnisse der Siebung sind in Form von Summenkurven und Korngrößenhistogrammen in Abbildung 11/1 bis 11/13 dargestellt. Darüber hinaus sind die aus den Verteilungen errechneten Werte der »Momentstatistik« angegeben, die Parameter nach TRASK sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Die Klassen $\geq + 0,5\phi$ bis $\geq - 4\phi$ wurden qualitativ/quantitativ ausgewertet, in der Regel wurden 300 Körner ausgezählt, bzw. die ganze Klasse erfaßt. Im Säulendiagramm der Klassenzusammensetzung sind die dabei festgestellten Verteilungen angegeben, die innerhalb einer Klasse auf 100 % umgerechnet wurden. Die Unterscheidung erfolgt dabei nach Quarzgeröllen, Dachsteinkalk, Sandsteinen und sonstigen Komponenten.

Die Dachsteinkalkgerölle sind vorherrschend von grauer Farbe und von subangularer bis gut gerundeter Kornform. In Abhängigkeit von der Kornform er-

scheint die Oberfläche der gut gerundeten Komponenten oft glatt bis glänzend poliert, während kantige Gerölle eine matte, raue Oberfläche aufweisen. Verheilte Kleinklüfte und rekristallisierte Biogene treten verbreitet in den Kiesen auf.

Quarzgerölle zeigen matte oder glänzende Oberflächen und sind in den Fraktionen $> - 1\phi$ gerundet bis gut gerundet. In kleineren Fraktionen können auch Geröllbruchstücke auftreten, deren Entstehung auf mechanische Beanspruchung größerer Gerölle zurückgeführt wird. Milchig weiße Farbe dominiert, selten sind gräuliche oder gelbliche Quarzkomponenten anzutreffen.

Die Sandsteine sind von hell- bis dunkelgrauer, oft auch bräunlicher Farbe und weisen eine raue Oberfläche auf, die die einzelnen Quarze gut erkennen läßt.

Daneben werden unter dem Begriff Sandsteine sämtliche Aggregatkörner subsumiert, die aus mehr als zwei Komponenten bestehen, so daß auch höhleninterne Resedimente in dieser Gruppe erscheinen, wie etwa in Probe 27/12, Salzgrabenhöhle.

Sämtliche anderen Komponenten werden unter »Sonstige« zusammengefaßt. Dies beinhaltet kalkalpine Gesteine wie dunkle und helle Dolomite, Rotkalk, Radiolarite und einzelne Kalzitkristalle wie auch Bohnerze sowie Tonsteinbruchstücke und Gesteine kristalliner Herkunft, wie Glimmerschiefer oder Gneise.

Eine detaillierte sedimentologische Interpretation der Korngrößenverteilung ist bei Höhlensedimenten sehr schwierig. Kleinräumige morphologische Unterschiede innerhalb einer Höhle wirken auf das Strömungsregime und die mitgeführten Sedimentfracht ein. Änderungen des Gangquerschnittes, die häufig zu beobachten sind, bedeuten wechselnde Fließgeschwindigkeiten des Wassers unter phreatischen Bedingungen oder in der Hochwasserzone, während unter vadosen Bedingungen dies nicht immer der Fall sein muß. Gefälle und Gegengefälle von Gängen tragen zur Frachtsonderung bei, was in der Salzgrabenhöhle sehr deutlich zu beobachten ist: in absteigender Gangstrecke beim Gaudischluf nimmt die Korngröße von über 200 mm auf wenige Millimeter und darunter ab. In Piezometerröhren sind wieder andere Sedimentationsverhältnisse gegeben, die zur Ablagerung von sehr feinklastischem Material führen, wie im Scheißlettenkamin der Salzgrabenhöhle deutlich zu bemerken ist.

In der Hochwasserzone abgelagerte Sedimente spiegeln also die lokalen Fließgeschwindigkeiten wider. Verschiedene Hochwasserstände erzeugen unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten, so daß oft Sedimente geringer Korngröße in Zwischenräumen vorher abgelagerter Grobklastika eingefüllt werden. Ein ähnliches Bild kann auch von einem langsam abfließenden Gewässer erzeugt werden, das während des Höchststandes Gefälle und Gegengefälle egalisierte und damit Druckfließen vorherrschen ließ. Ähn-

lich weit verbreitet sind in Höhlen Auswaschungsercheinungen.

Die Korngrößenzusammensetzung eines an einer Lagerstätte einer bestimmten Höhle angetroffenen Lockersediments ist daher meist sehr komplexer Natur, was sich in den Summenkurven und Korngrößenhistogrammen abbildet. Auffallend ist, daß in der Regel ein sehr grobes Sediment dominiert, in das wahrscheinlich nachträglich, feinerkörnige Sedimente eingefüllt wurden. Ebenso wäre der umgekehrte Fall denkbar: nämlich daß auf ein feines Sediment grobes abgelagert und dabei die Wassergeschwindigkeit erreicht wurde, die benötigt wird, um das vorher abgelagerte Material zu erodieren, was abtransportiert oder aber mit nachlassender Fließgeschwindigkeit wieder sedimentiert wird.

Um diese hier aufgeworfenen Fragen zu klären, wären speziell darauf ausgerichtet Gelände-, Labor- und Auswertungsmethoden erforderlich, deren Ergebnisse aber nicht in Zusammenhang mit dem zu bearbeitendem Problem der Landschaftsentwicklung stehen, sondern rein lokal beschränkte, sedimentologische Aussagen erbringen.

Von großer Wichtigkeit ist dagegen die Frage nach dem Komponenteninventar der verschiedenen Sedimente. Eine entscheidende Bedeutung wird dabei den Quarzgeröllen beigemessen, da sie im Vergleich zu den anderen Komponenten weitestgehend der mechanischen Beanspruchung gewachsen sind, die beim Sedimenttransport in Höhlen sehr groß ist.

Parameter nach TRASK, abgeleitet aus der Summenkurve

Quartile: Q 1 bei 25 %
 Q 2 bei 50 %
 Q 3 bei 75 %
 Median Md = Q 2
 Sortierung $So = \sqrt{Q3/Q1}$
 Schiefe $Sk = Q1 Q3/Q2^2$

Probennummer	Q 1	Q 2	Q 3	Md	So	Sk
4/5	-3,5	-3,6	-3,7	-3,6	1,02	0,99
16	-2,5	-3,5	-3,6	-3,5	1,18	0,73
27/3	+2,97	+2,2	+1,92	+2,2	0,80	1,17
27/5	+2,8	+2,2	+1,7	+2,2	0,77	0,98
27/12	-1,35	-3,25	-3,65	-3,25	1,64	0,466
39	-0,02	-1,55	-2,6	-1,55	3,60	0,21
40	-3,4	-3,55	-3,9	-3,55	1,07	1,05
41	-1,05	-1,75	-2,25	-1,75	1,46	0,77
37/1	-3,1	-3,65	-3,70	-3,65	1,09	0,86
48	-2,9	-3,2	-3,5	-3,2	1,09	0,99
51	-2,9	-3,37	-3,64	-3,37	1,12	0,92
52	-2,8	-3,06	-3,4	-3,06	1,10	1,01
53	-1,9	-2,63	-2,95	-2,63	1,24	0,81

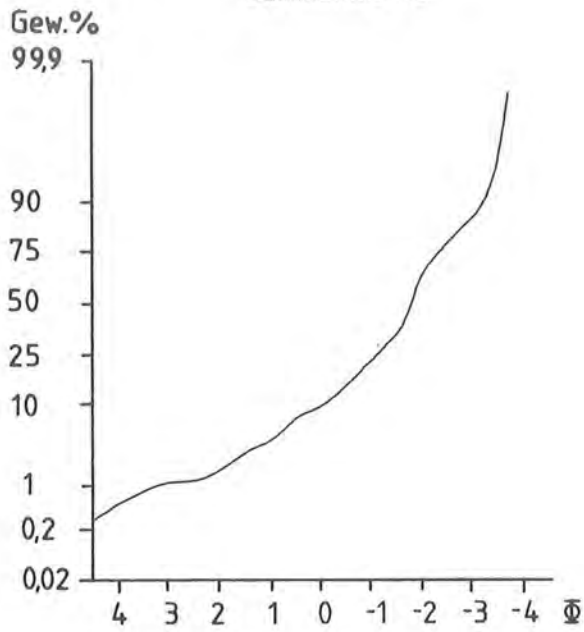
Alle Angaben erfolgen in ϕ , $\phi = -\log_2 d$
 (d = Durchmesser)

Millimeter

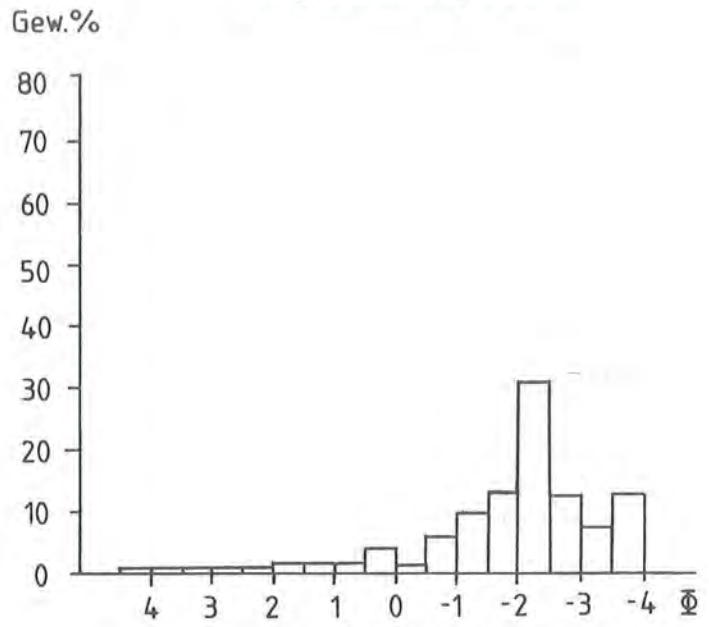
16	11,2	8,0	5,66	4,0	2,8
-4	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5
2,0	1,4	1,0	0,71	0,5	0,355
-1	-0,5	0	0,5	1	1,5
0,25	0,18	0,125	0,09	0,063	
2,0	2,5	3,0	3,5	4,	0

ϕ - Schritte

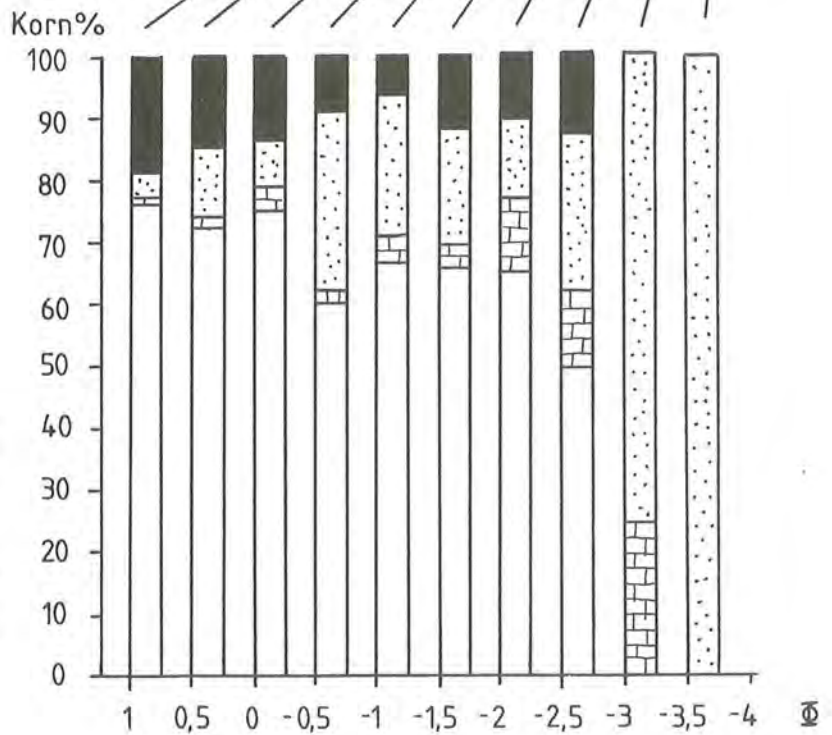
Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -2,0447
 Standardabweichung 1,2573
 Varianz 1,5807
 Schiefe 1,3562

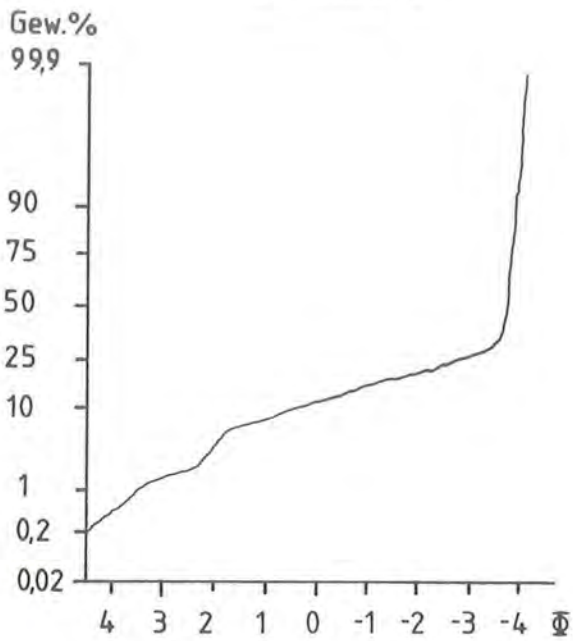


Sonstige ■
 Sandsteine ▤
 Dachsteinkalk ▨
 Quarze □

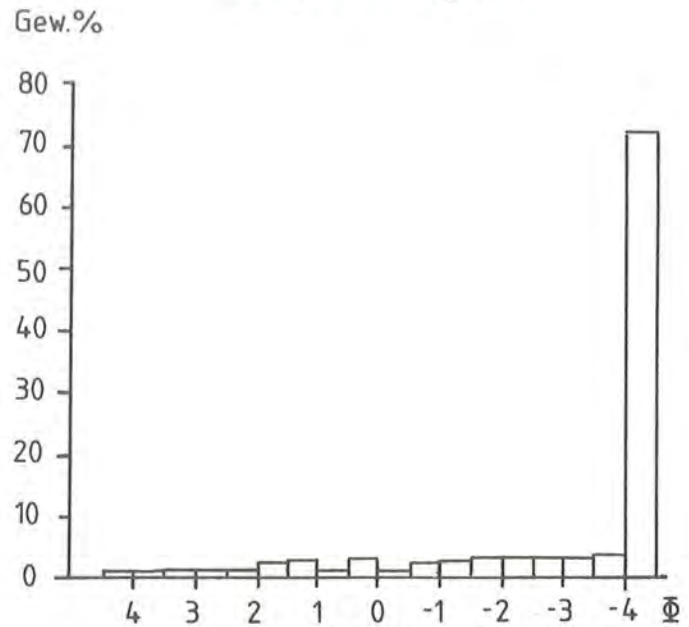
Abbildung 11/1:
 41 Diebsloch

Klassenzusammensetzung

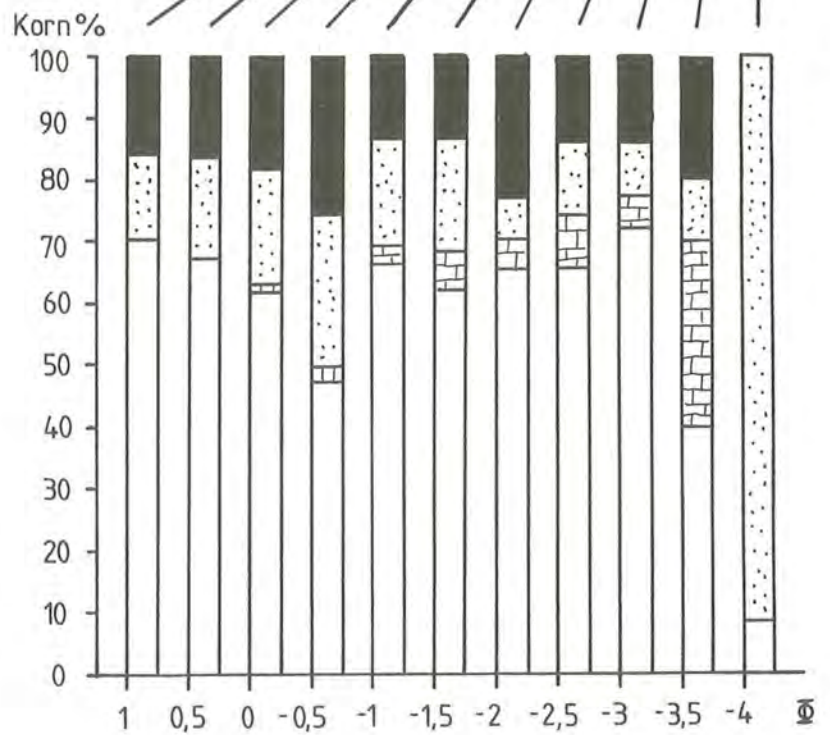
Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -3,3556
 Standardabweichung 1,7834
 Varianz 3,1805
 Schiefe 2,0261

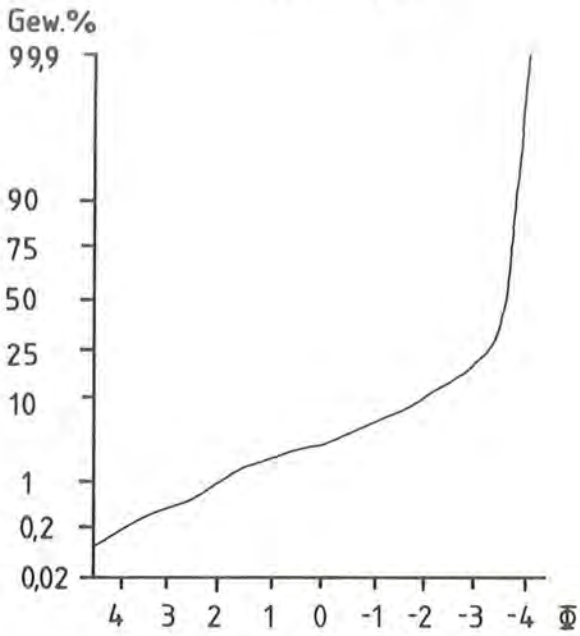


Sonstige ■
 Sandsteine ■
 Dachsteinkalk ■
 Quarze □

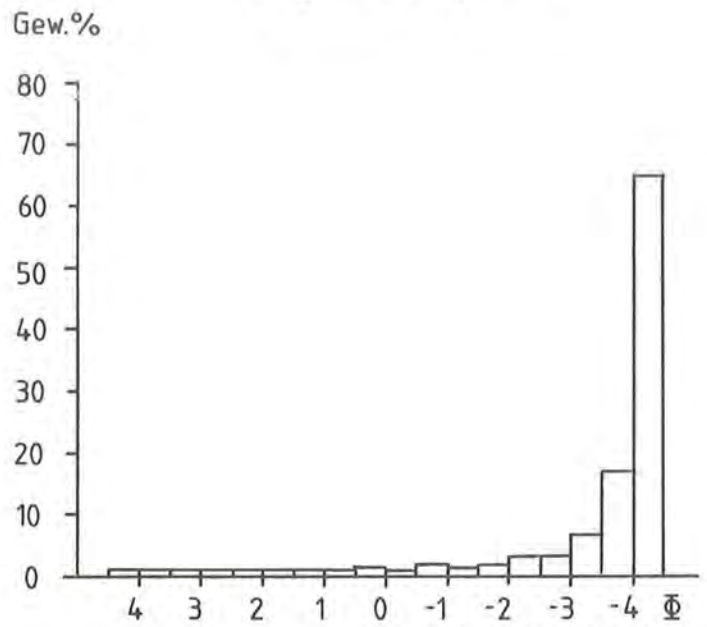
Abbildung 11/2:
 37/1 Rotwandhöhle

Klassenzusammensetzung

Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -3,6967
 Standardabweichung 1,1611
 Varianz 1,3480
 Schiefe 3,1413

Sonstige ■
 Sandsteine □
 Dachsteinkalk ▨
 Quarze □

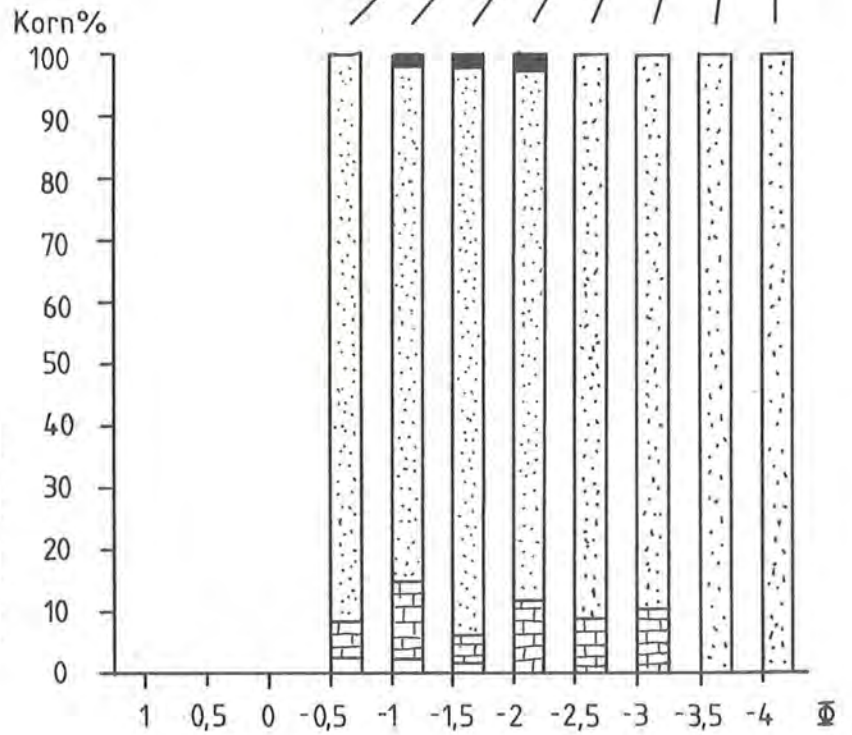
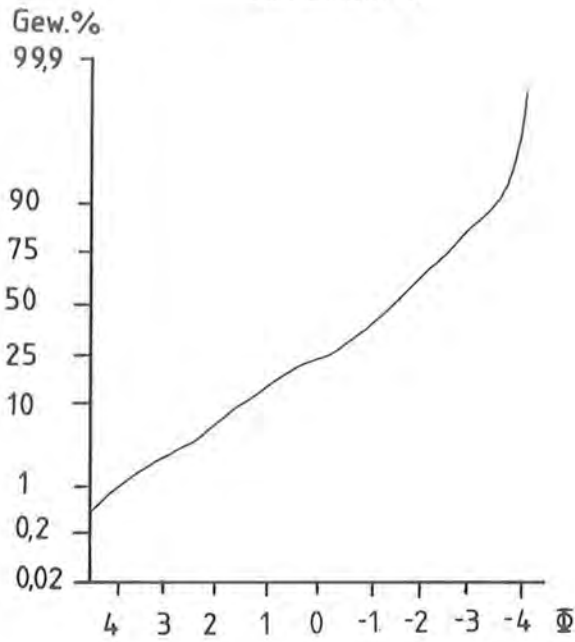


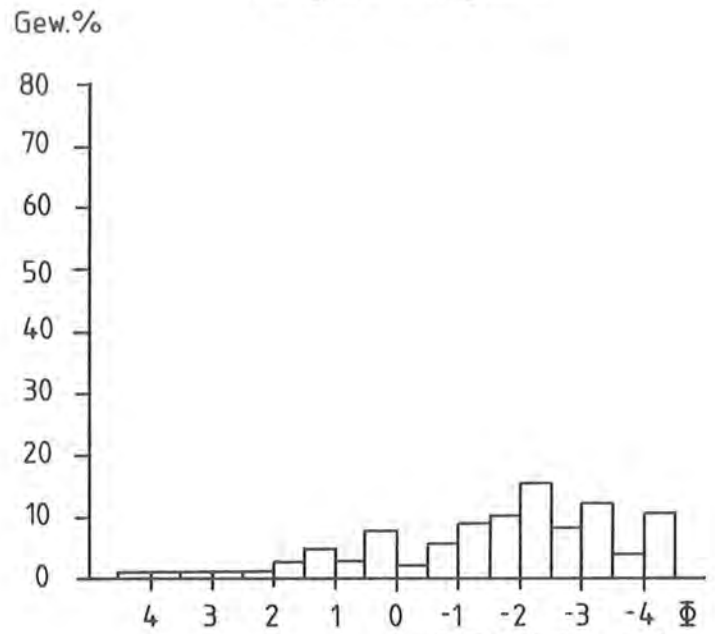
Abbildung 11/3:
 40 Fallgrube

Klassenzusammensetzung

Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -1,6665
 Standardabweichung 1,8392
 Varianz 3,3827
 Schiefe 0,6932

Sonstige ■
 Sandsteine ▤
 Dachsteinkalk ▨
 Quarze □

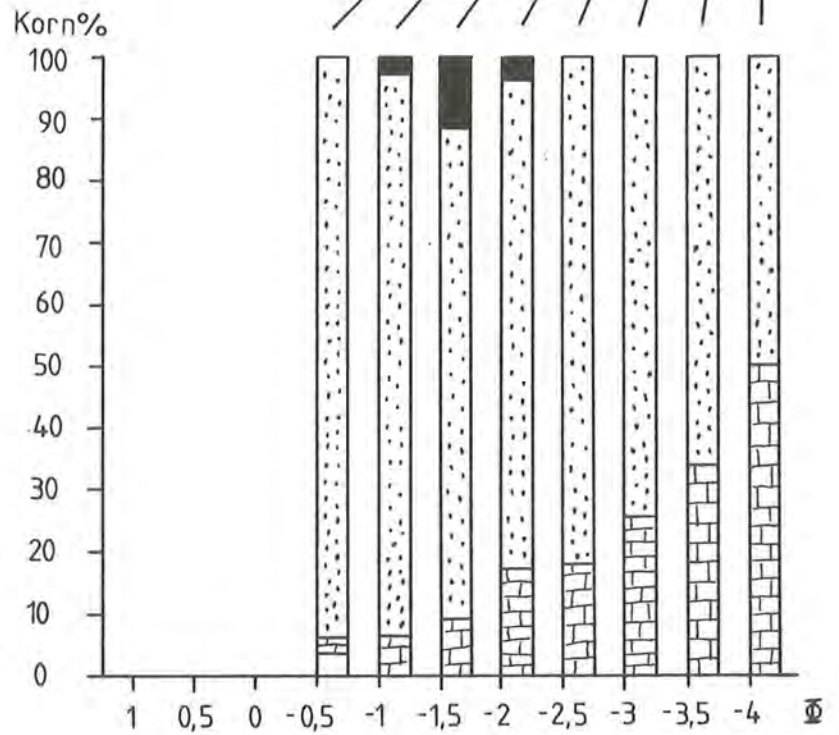
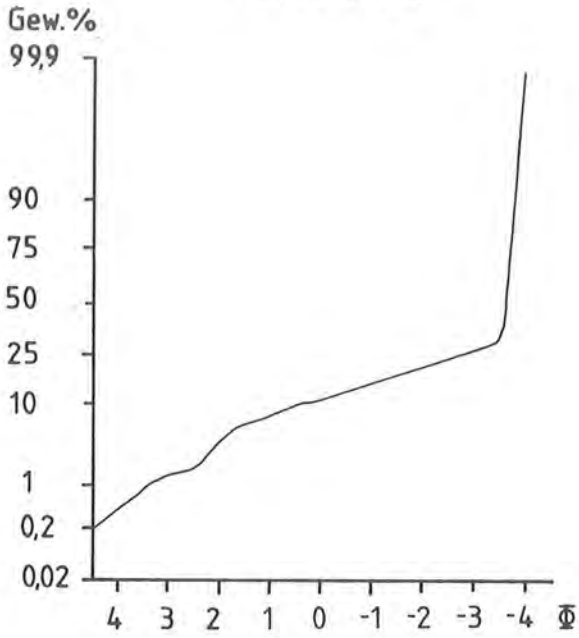


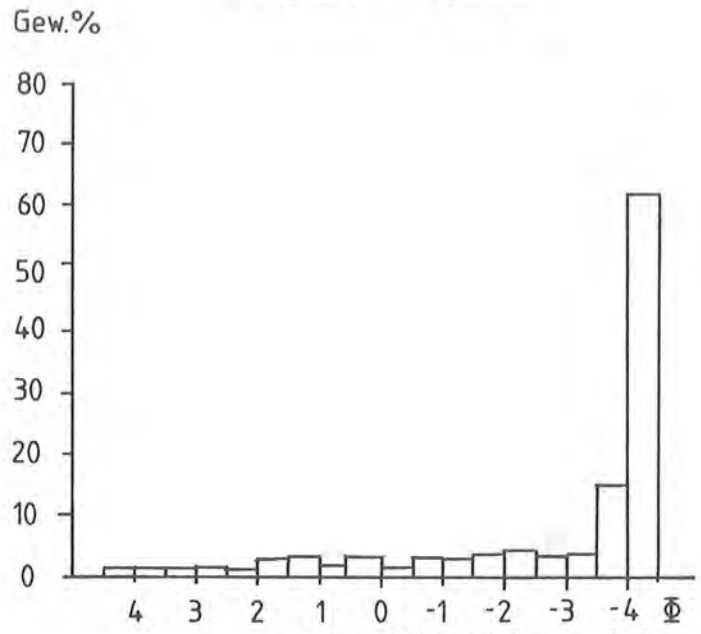
Abbildung 11/4:
 39 Hoheggerhöhle

Klassenzusammensetzung

Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -3,2083
 Standardabweichung 1,8347
 Varianz 3,3662
 Schiefe 1,852

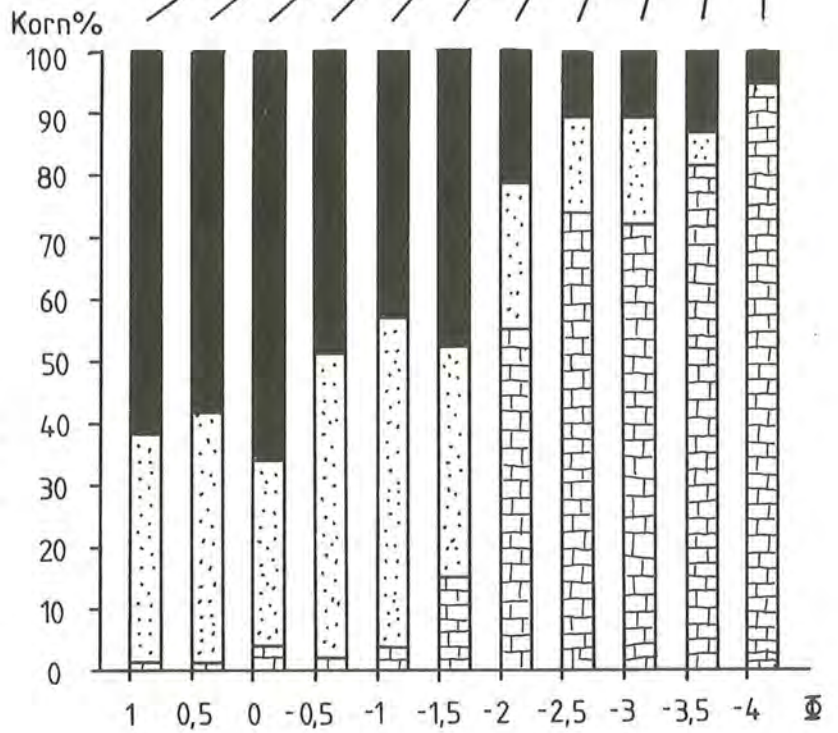
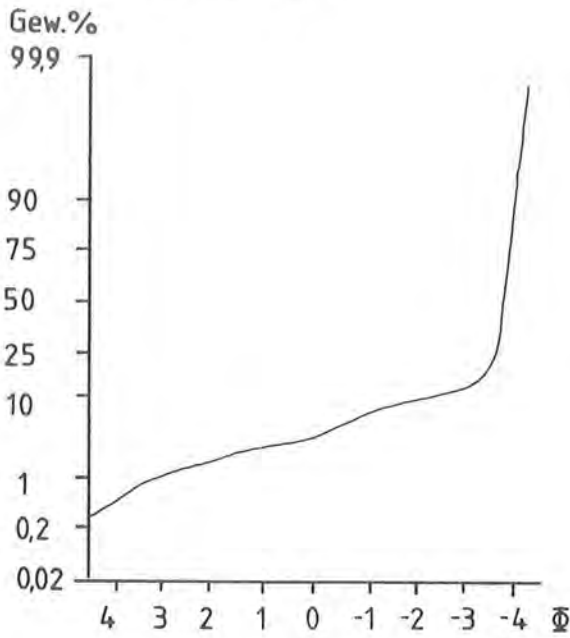


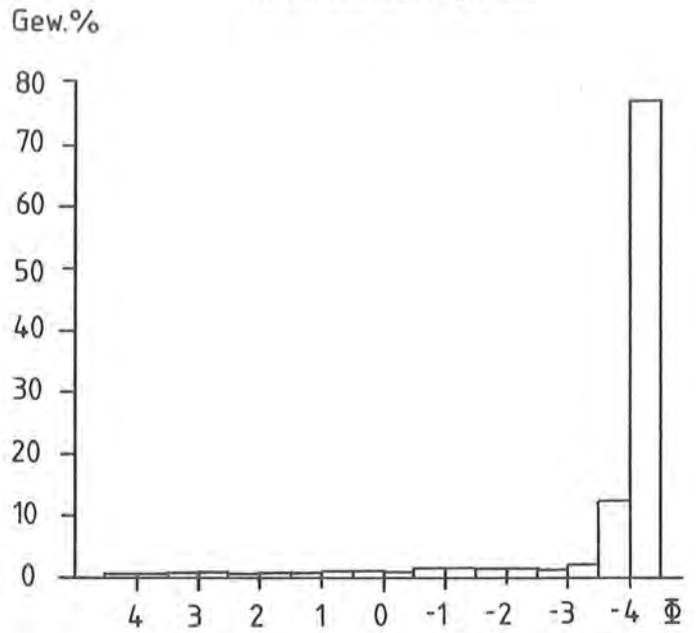
Abbildung 11/5:
 16 Laefeld 2

Klassenzusammensetzung

Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -3,7306
 Standardabweichung 1,3865
 Varianz 1,9223
 Schiefe 3,3491

Sonstige ■
 Sandsteine ▤
 Dachsteinkalk ▣
 Quarze □

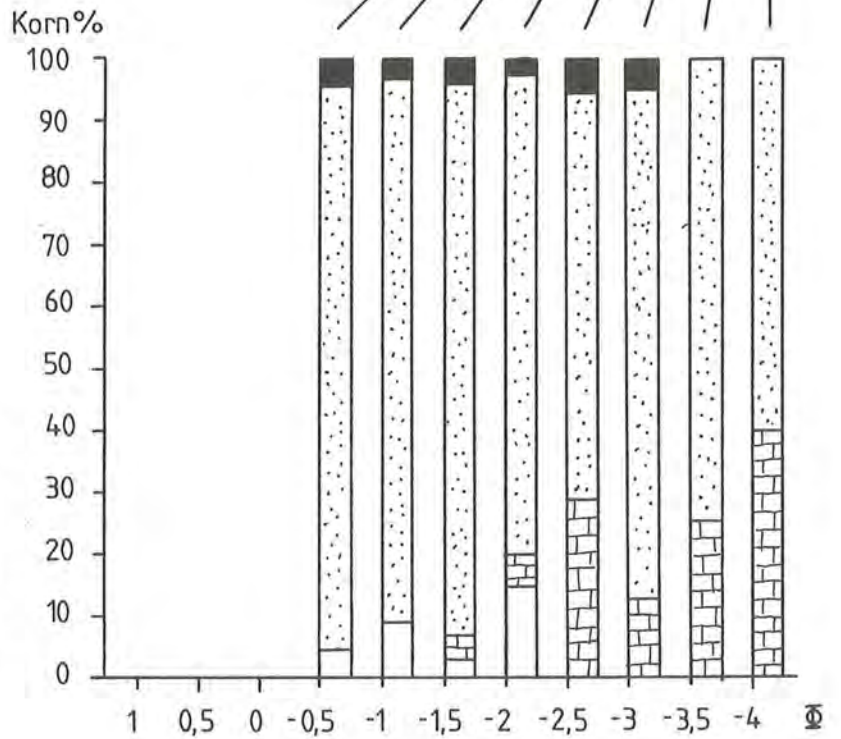
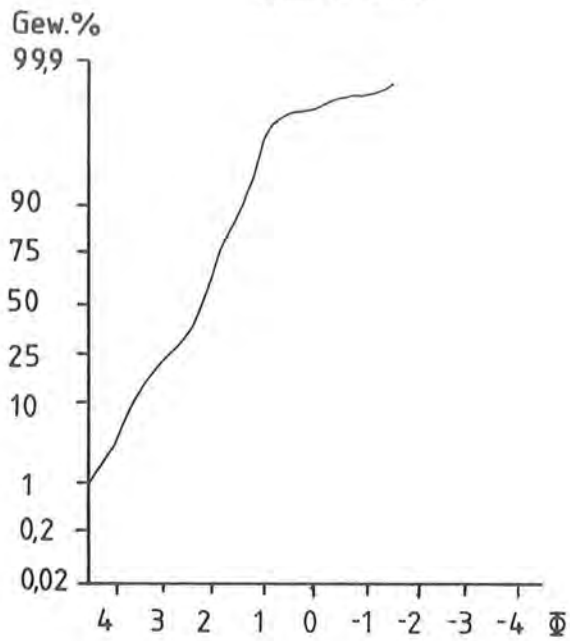


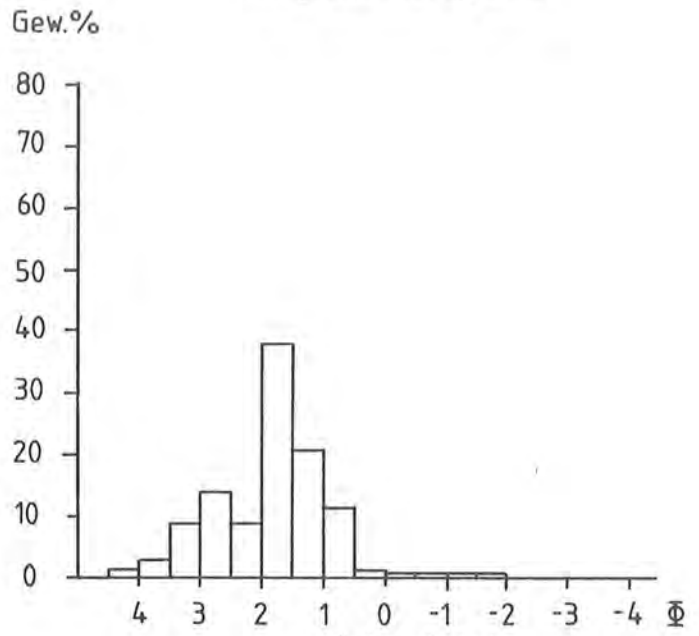
Abbildung 11/6:
 4/5 Reinersberghöhle

Klassenzusammensetzung

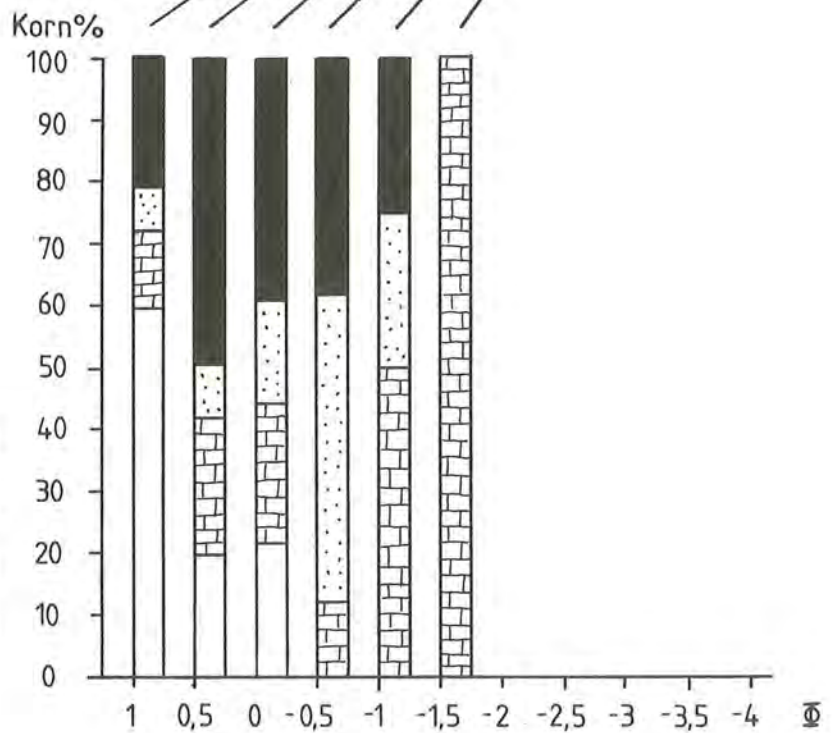
Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert 1,8519
 Standardabweichung 0,8317
 Varianz 0,6917
 Schiefe 0,3954

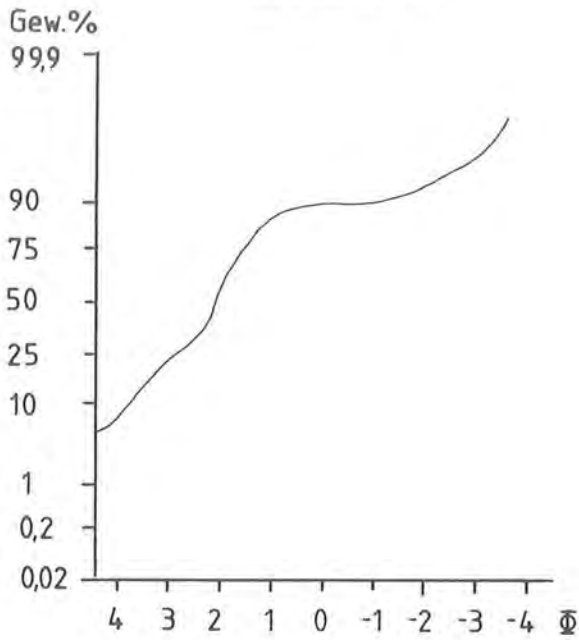


Sonstige
 Sandsteine
 Dachsteinkalk
 Quarze

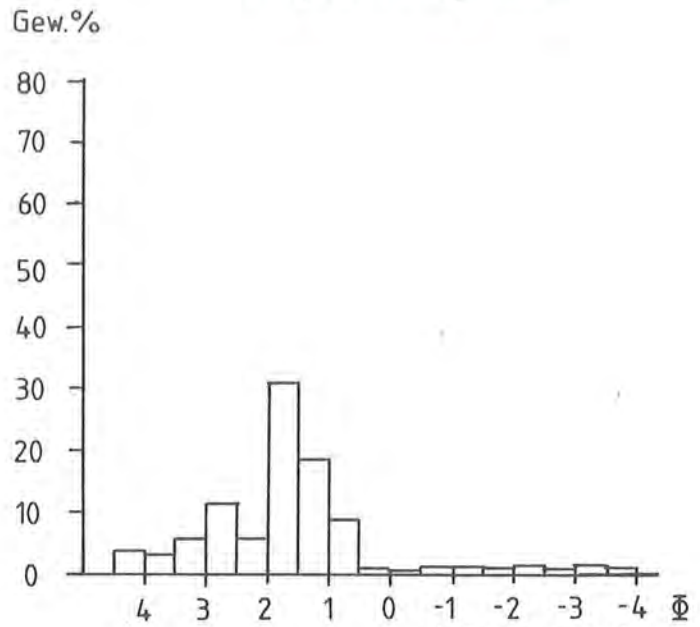
Abbildung 11/7:
 27/3 Salzgrabenhöhle

Klassenzusammensetzung

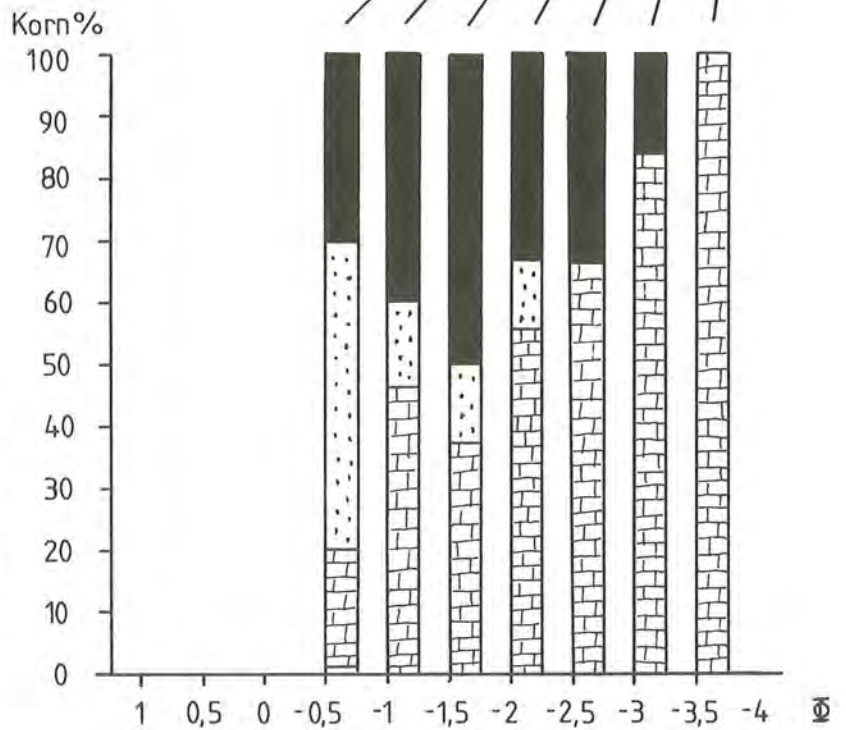
Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert 1,4864
 Standardabweichung 1,6927
 Varianz 2,8654
 Schiefe -1,2854







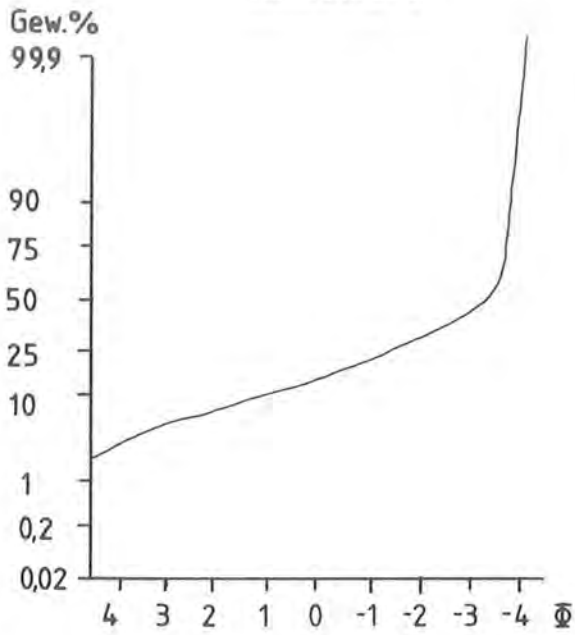
Sonstige 
 Sandsteine 
 Dachsteinkalk 
 Quarze 

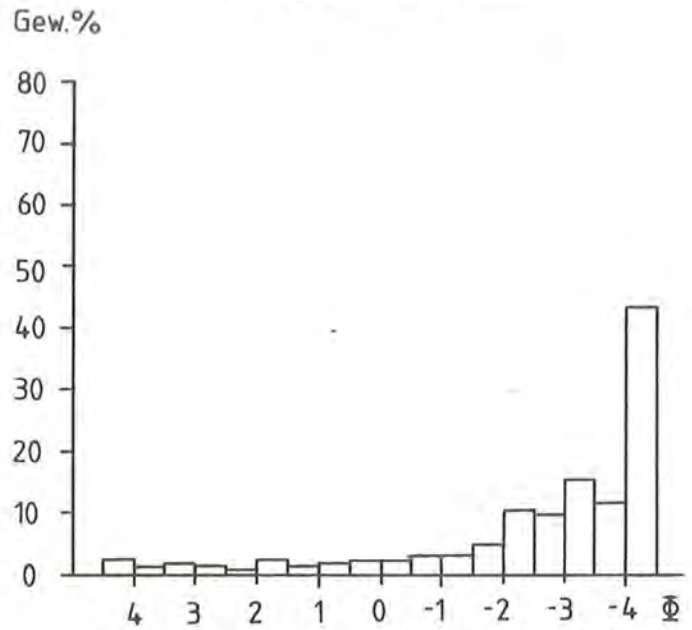
Abbildung 11/8:
 27/5 Salzgrabenhöhle

Klassenzusammensetzung

Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -2,6395
 Standardabweichung 2,2772
 Varianz 5,1855
 Schiefe 1,5673

- Sonstige
- Sandsteine
- Dachsteinkalk
- Quarze

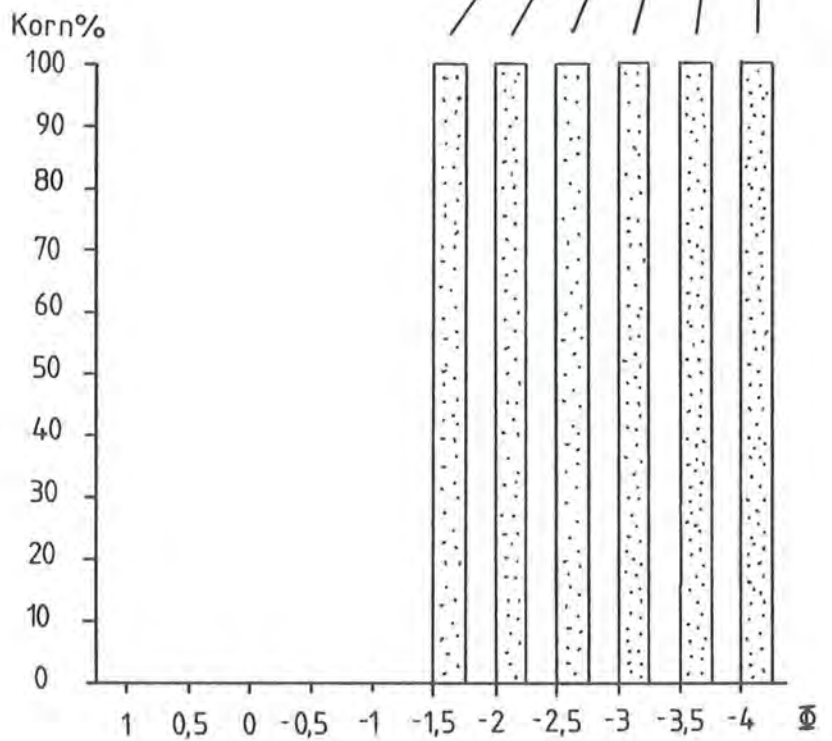
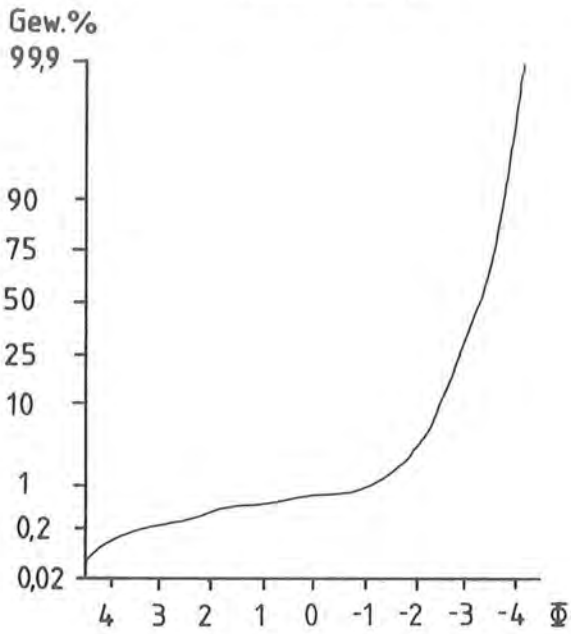


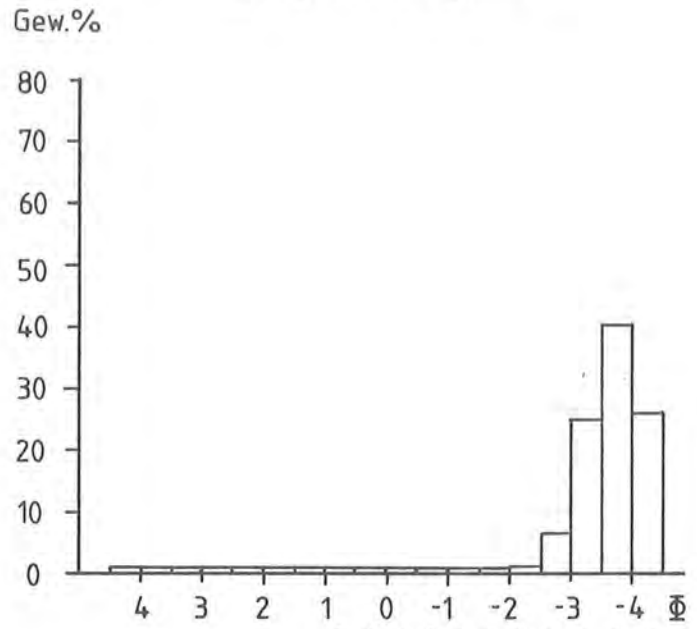
Abbildung 11/9:
 27/12 Salzgrabenhöhle

Klassenzusammensetzung

Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -3,6186
 Standardabweichung 0,6569
 Varianz 0,4315
 Schiefe 4,0538

Sonstige ■
 Sandsteine ▤
 Dachsteinkalk ▨
 Quarze □

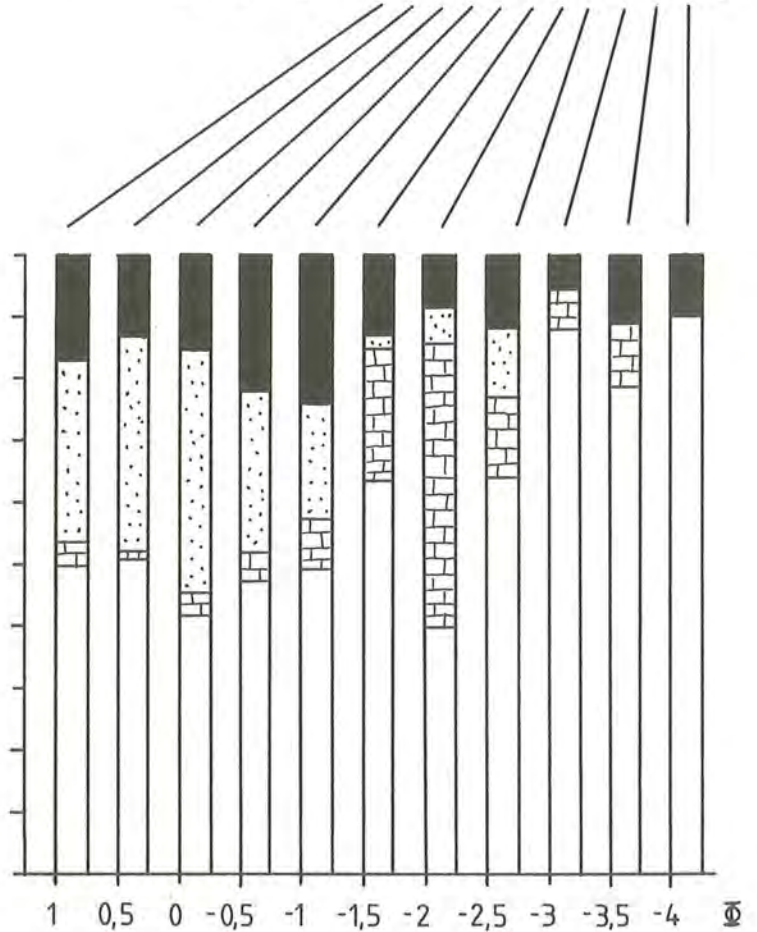
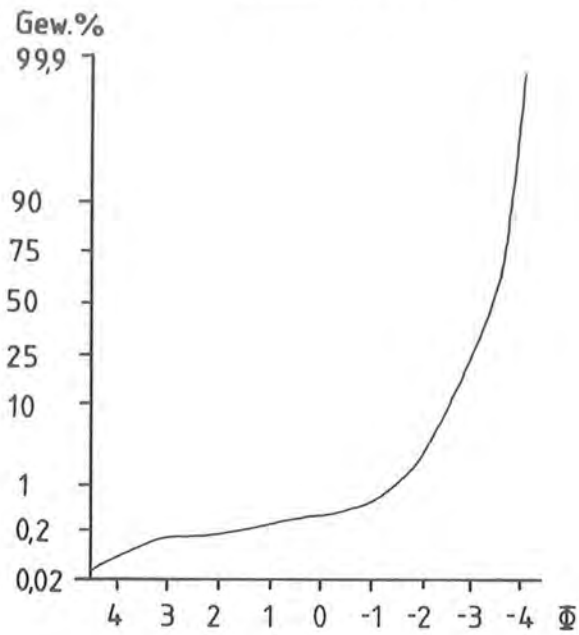


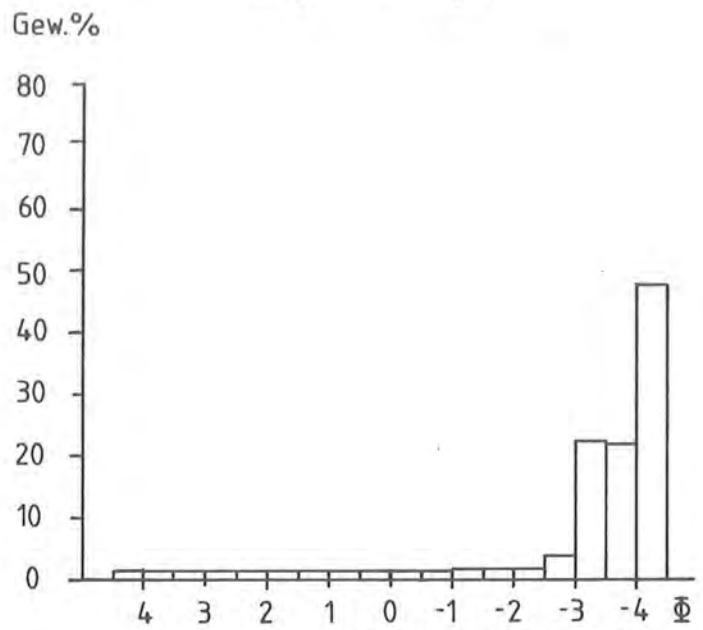
Abbildung 11/10:
 48 Augensteine

Klassenzusammensetzung

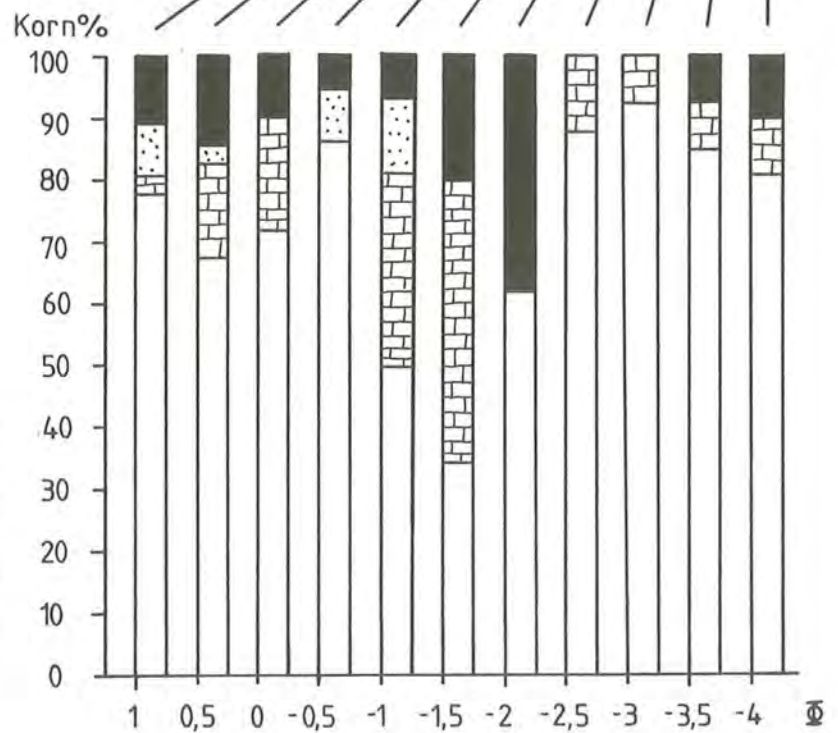
Summenkurve







Korngrößenhistogramm



Mittelwert -3,7447
 Standardabweichung 0,6501
 Varianz 0,4226
 Schiefe 3,1412

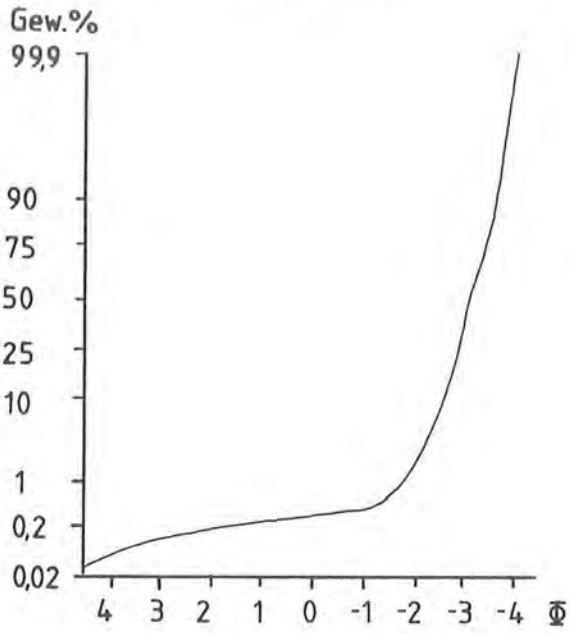


Sonstige 
 Sandsteine 
 Dachsteinkalk 
 Quarze 

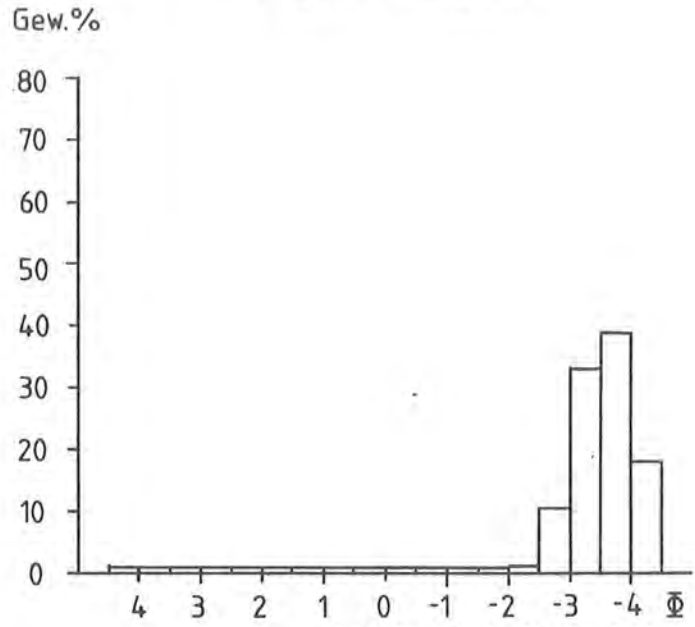
Klassenzusammensetzung

Abbildung 11/11:
 51 Augensteine

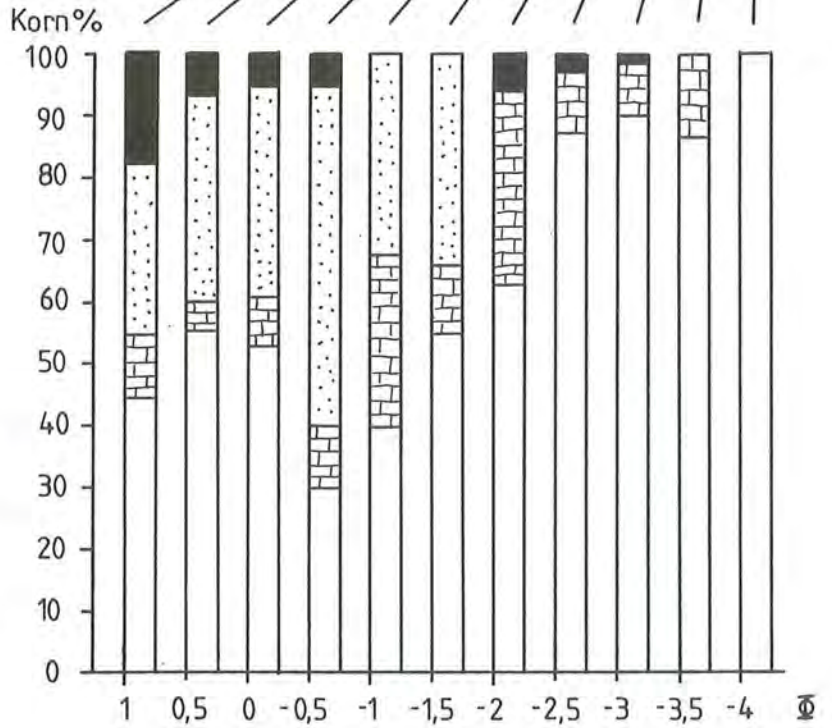
Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -3,564
 Standardabweichung 0,5326
 Varianz 0,2836
 Schiefe 3,8145

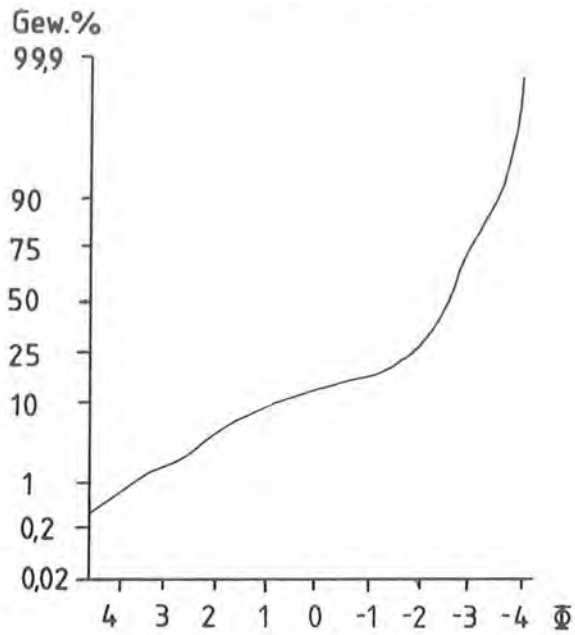


Sonstige 
 Sandsteine 
 Dachsteinkalk 
 Quarze 

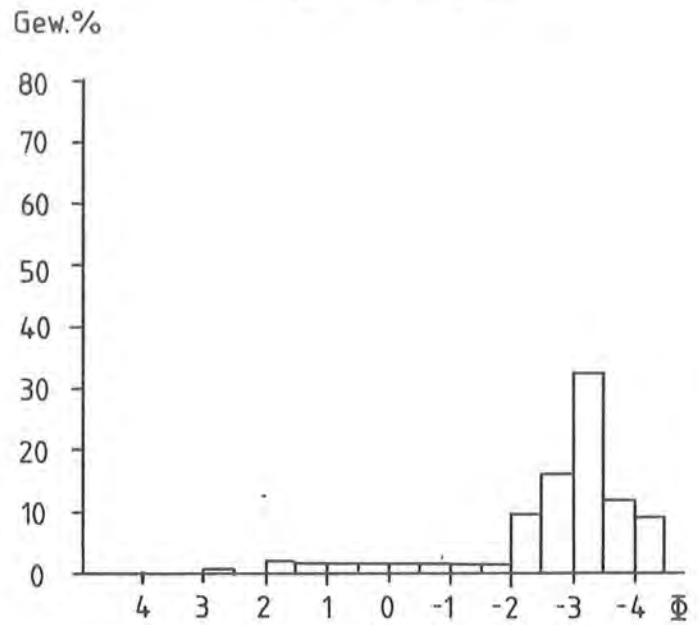
Abbildung 11/12:
 52 Augensteine

Klassenzusammensetzung

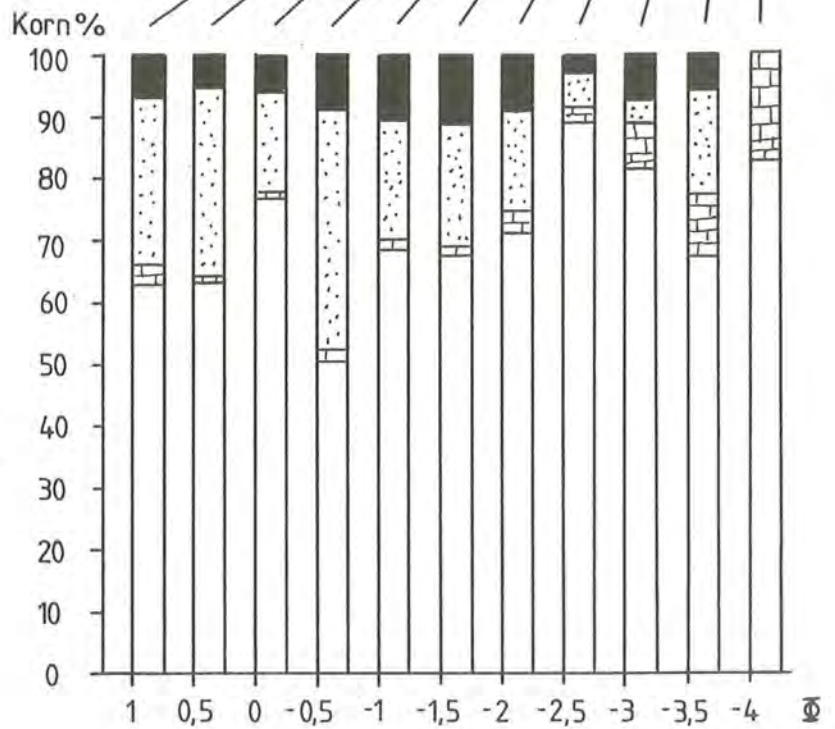
Summenkurve



Korngrößenhistogramm



Mittelwert -2,5417
 Standardabweichung 1,6464
 Varianz 2,7105
 Schiefe 1,782



Sonstige ■
 Sandsteine ■
 Dachsteinkalk ■
 Quarze □

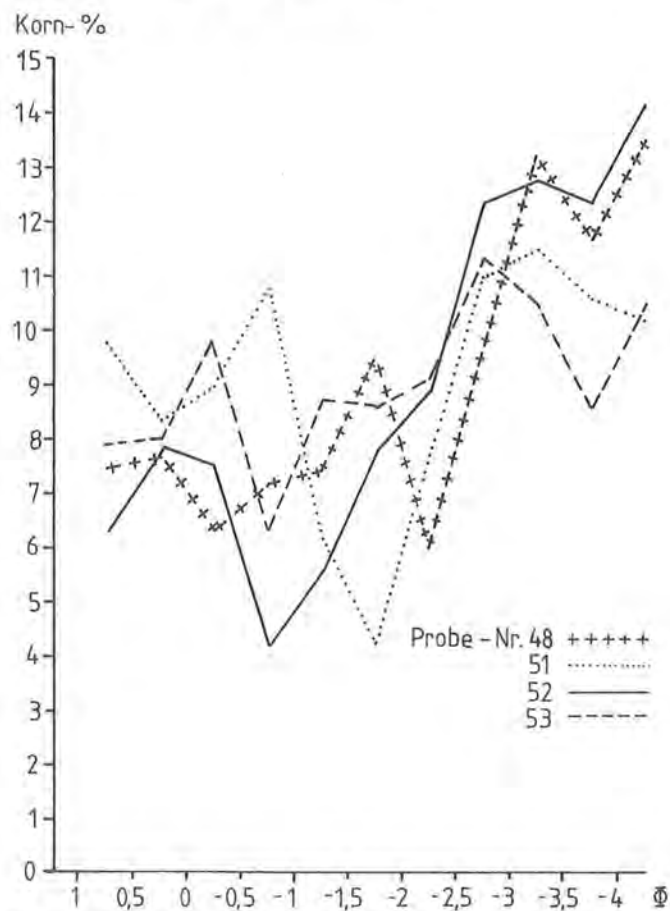
Abbildung 11/13:
 53 Augensteine

Klassenzusammensetzung

Wie aus Abbildung 11/1 bis 11/13 zu ersehen ist, werden die Grobfractionen der Höhlensedimente von Dachsteinkalk oder Sandsteinen dominiert, während in den Augensteinproben eindeutig Quarze vorherrschen. Allochthone Sandsteine (allochthon im Sinne von außerhalb der Höhle stammend, s. BÖGLI, 1978) sind dabei nicht sehr häufig, Resedimente bestimmen den Sandsteinanteil, was besonders in Probe 40, Fallgrube und Probe 27/12, Salzgrabenhöhle auffällt. Der Prozentanteil der Dachsteinkalkgerölle nimmt in sämtlichen Höhlenproben einhergehend mit der Korngröße ab, was sicherlich in Zusammenhang mit lokalen Erosions- und Inkursionserscheinungen zu bringen ist, da der Dachsteinkalk das Höhlenmuttergestein bildet. Als Hinweis darauf wird auch die in größeren Fractionen häufig auftretende subangulare bis schlecht gerundete Kornform der Dachsteinkalkgerölle gewertet, gerundete oder sehr gut gerundete Dachsteinkalkkomponenten sind relativ seltener. Ausnahmen bilden lediglich die nicht beprobten Gerölle des Gaudischlufs und aus dem Schützengrabengang der Salzgrabenhöhle, wo bis zu 40-50 cm große gerundete Dachsteinkalke auftreten.

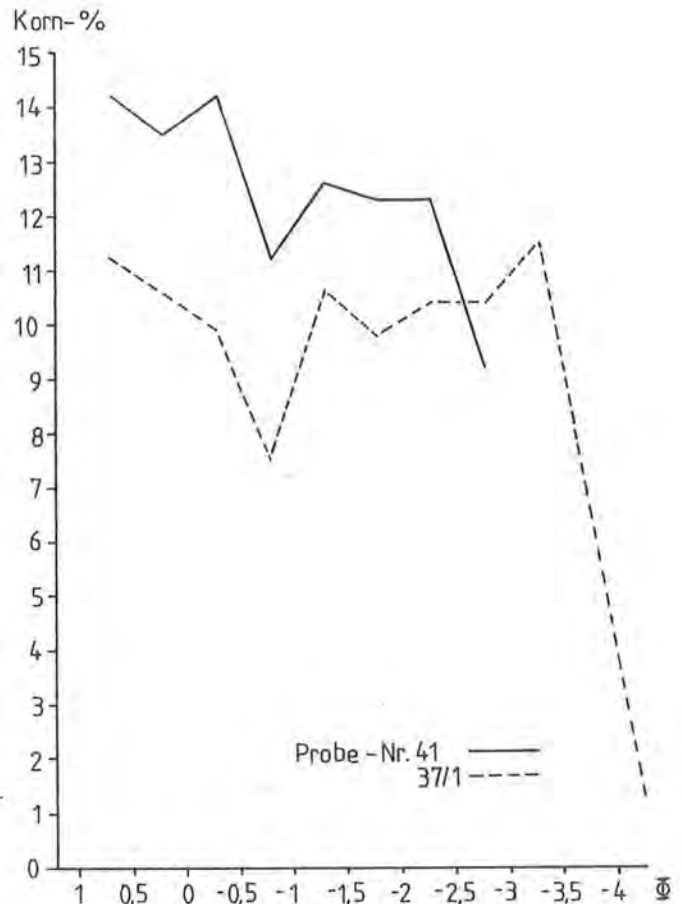
Der Gehalt an »sonstigen« Komponenten läßt keine nähere Interpretation zu, er schwankt unabhängig von der Korngröße und läßt sich zum Teil auf Resedimentationserscheinungen lokaler Art zurückführen.

Bei der Betrachtung der Quarzgehalte der einzelnen Fractionen der Höhlenproben fällt auf, daß sie mit abnehmender Korngröße zunehmen, was im Gegensatz zu den Augensteinproben steht, wo die Quarzgehalte mit der Korngröße abnehmen.

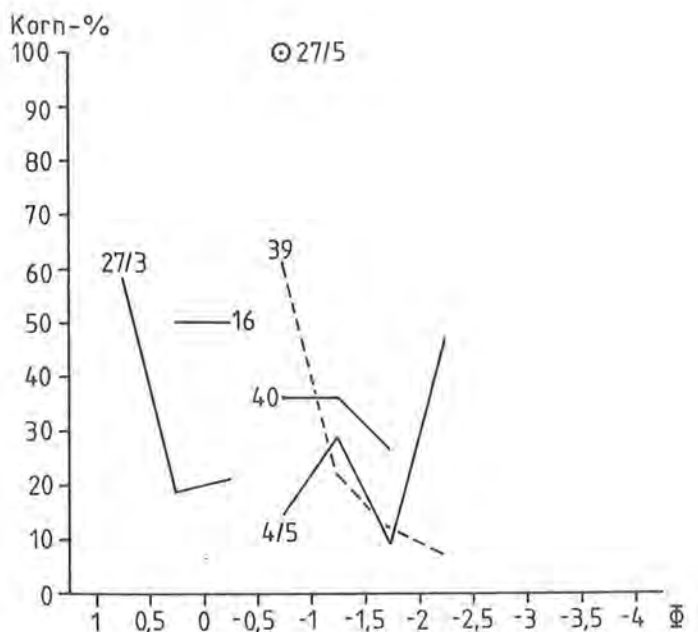


12/1: Quarzverteilungen in den Augensteinproben

In Abbildung 12 werden die Schwankungen des Quarzgehalts der untersuchten Proben dargestellt. Abbildung 12/1 zeigt die Quarzgehalte der einzelnen Siebfractionen der Augensteinproben, aufgetragen sind Kornprozent gegen Φ -Werte. In Abbildung 12/2 und 12/3 sind die Quarzverteilungen der Lockersedimente wiedergegeben.



12/2: Quarzverteilungen in den Lockersedimenten der Rotwandhöhle und des Diebsloch



12/3: Quarzverteilungen in den Lockersedimenten der übrigen Lokalitäten

Dabei wird deutlich, daß die Quarzverteilungen der Höhlensedimente nicht denen der Augensteinproben entsprechen. Während die Augensteinproben ein eindeutiges Abnehmen der Quarzgehalte mit abnehmender Korngröße bis in den Bereich zwischen $-2,5\phi$ und -1ϕ zeigen, und danach wieder ein leichtes Ansteigen der Quarzgehalte zu verzeichnen ist, ist bei den Lockersedimentproben der Höhlen ein generelles Ansteigen der Quarzgehalte mit abnehmender Korngröße zu bemerken, wobei oft Quarze $\geq -2,5\phi$ völlig fehlen, wie aus Abbildung 12/3 zu entnehmen ist. Auffällig ist außerdem, daß in der Salzgrabenhöhle, die im Vergleich zu anderen Lokalitäten relativ tief gelegen ist, Quarze erst in einer Korngröße um $-0,5\phi$ einsetzen.

Wie im weiteren aus Abbildung 11/10 bis 11/13 hervorgeht, sind im Durchschnitt 96 Gewichtsprozent der Augensteine $\geq -1\phi$, wovon die Quarzkomponenten den Hauptanteil stellen. Davon ausgehend, wurden die Quarzgehalte in Kornprozent der Klassen $\geq -1\phi$ bis $\geq -4\phi$ gleich 100 gesetzt und die Quarzverteilungen neu berechnet. In graphischer Form sind diese Ergebnisse in Abbildung 13 dargestellt. In gleicher Weise wurde mit den Quarzgehalten der Lockersedimente verfahren, was ebenfalls in Abbildung 13 dargestellt wird.

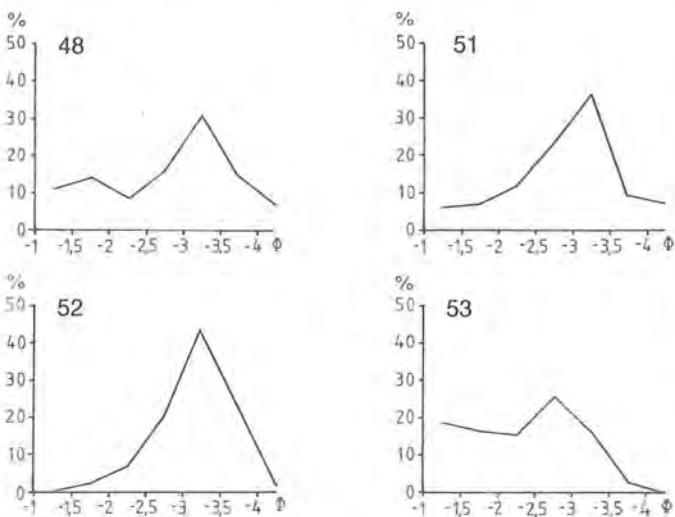


Abbildung 13/1: Augensteine

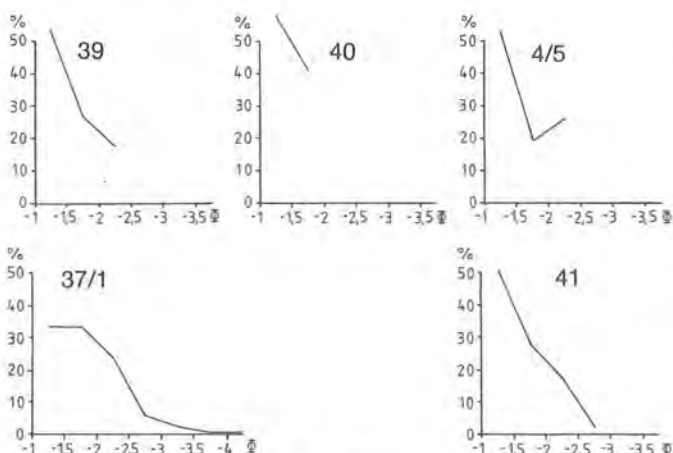


Abbildung 13/2: Lockersedimente

Abbildung 13: Verteilung der Quarzgehalte $\geq -1\phi$ der Augensteinproben und der untersuchten Lockersedimente.

Die Augensteinproben 48, 51 und 52 erreichen ihr Maximum an Quarzanteil in der Klasse zwischen -3 bis $-3,5\phi$. Bei Probe 53 ist das Maximum in die Klasse $-2,5$ bis -3ϕ verschoben.

Desweiteren ist bei dieser Probe festzustellen, daß das Maximum nicht so deutlich ausgeprägt erscheint und gleichzeitig die Quarzgehalte in den Klassen -1 bis -2ϕ vergleichsweise hoch sind. Sie erreichen Werte nahe 20 Prozent mit ansteigender Tendenz, dagegen sind die Werte der anderen Proben in diesen Klassen unter 10 Prozent oder gehen im Extremfall sogar auf 0 zurück.

Bei den Lockersedimentproben aus den Höhlen ist zu beobachten, daß in den Klassen -1 bis -2ϕ Anteile von teilweise über 50 Prozent erreicht werden. Bemerkenswert ist weiterhin, daß nur in einer Probe (37/1) Gerölle $\geq -4\phi$ auftreten.

Dieses Verteilungsverhalten kann zum einen darauf zurückgeführt werden, daß es bei der Umlagerung von Quarzen aus den Augensteinlagern in die Höhlen zu einer Frachtsonderung kam, die zu einer Anreicherung der Feinkomponente führte, zum anderen ist es denkbar, daß beim Transport von der Landschaftsoberfläche in die Höhlen starke mechanische Beanspruchung auftrat und die Grobanteile auf diese Weise zerkleinert wurden. Allerdings sind sie in der Regel gut bis sehr gut gerundet, was bedeutet, daß nach der Zerkleinerung wieder eine Zurundung der Komponenten stattgefunden haben muß. Wie von TRIMMEL (1968) und BÖGLI (1978) beschrieben, reduzieren sich die Transportwege, die zu der Zurundung eines Gerölls notwendig sind, unter den extremen Strömungs- und Sedimentationsbedingungen in Höhlen sehr stark, teilweise bei Kalkgeröllen sogar auf Transportstrecken unter 50 Meter.

Daneben ist noch eine davon grundsätzlich verschiedene Interpretation der Quarzgehalte denkbar, wenn man davon ausgeht, daß die zu der aktiven Zeit der Höhlengenerese aus den Zentralalpen herangeführte Sedimentfracht nicht mehr die Korngröße erreicht hat, die noch von Sedimenten erzielt wurde, die zur Zeit der aktiven Augensteinlandschaft fluviatil transportiert wurden. Es wären somit zwar die gleichen Liefergebiete der Sedimente anzunehmen, nicht aber gleiche Transport- und Sedimentationsbedingungen.

Interpretiert man jedoch die Verteilungskurve der Probe 53 als ein Transportstadium, das zwischen den Extremen der Proben 52 und 41 mit Übergängen in Probe 48 und 37/1 liegt, so ist es sehr wahrscheinlich anzunehmen, daß die Verschiebungen in den Quarzgehalten vom Groben zum Feinen auf mechanische Beanspruchung bei Umlagerungsprozessen zurückzuführen sind.

Von grundsätzlicher Bedeutung ist auch, daß nur in Lockersedimenten von Höhlen vergleichsweise großer Höhenlage Quarze $\geq -1\phi$ festgestellt werden konnten. Um dieses Phänomen weiter zu untersuchen, das für die Klärung des Problems der Landschaftsentwicklung von großer Bedeutung ist, wer-

den im folgenden die Lockersedimente mit verfestigten Höhlensedimenten in Bezug auf ihren Quarzgehalt miteinander verglichen.

7.2.2 Vergleich Quarzkomponentengehalt von Lockergesteinen und Augensteinen mit Quarzgehalten verfestigter Höhlensedimente

Im Labor wurden alle aufgefundenen, verfestigten Höhlensedimente in verdünnter Essigsäure vorsichtig aufgelöst. Die aufgelöste Probenmenge betrug jeweils zwischen 500 und 1000 Gramm. Der nichtlösliche Rückstand wurde analog den Lockersedimenten mit einem in PHI-Schritten aufgebauten Siebsatz gesiebt, die einzelnen Fraktionen ausgelesen und die Quarzite gewogen. Aus den durchschnittlichen Gewichten 10 verschiedener Körner einer Fraktion wurde auf die Kornzahl innerhalb dieser Fraktion hochgerechnet. Auf 100 umgerechnet sind diese Kornprozent in Abbildung 14 dargestellt, was sie mit den in Abbildung 13 vorgestellten Ergebnissen vergleichbar macht.

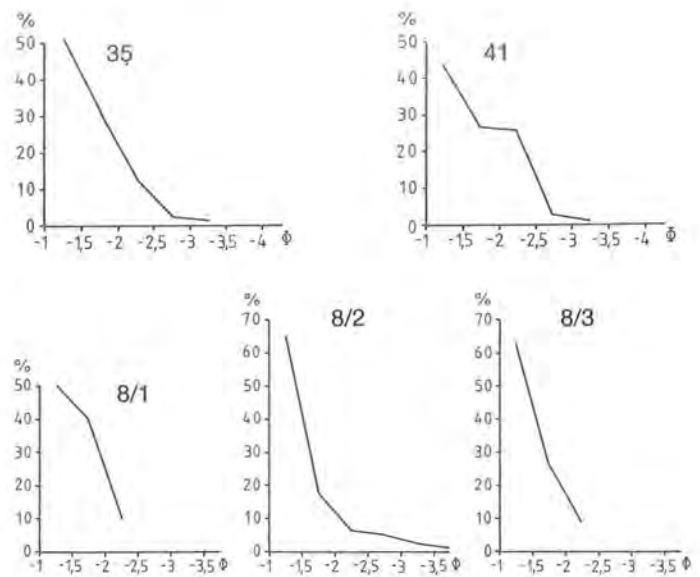
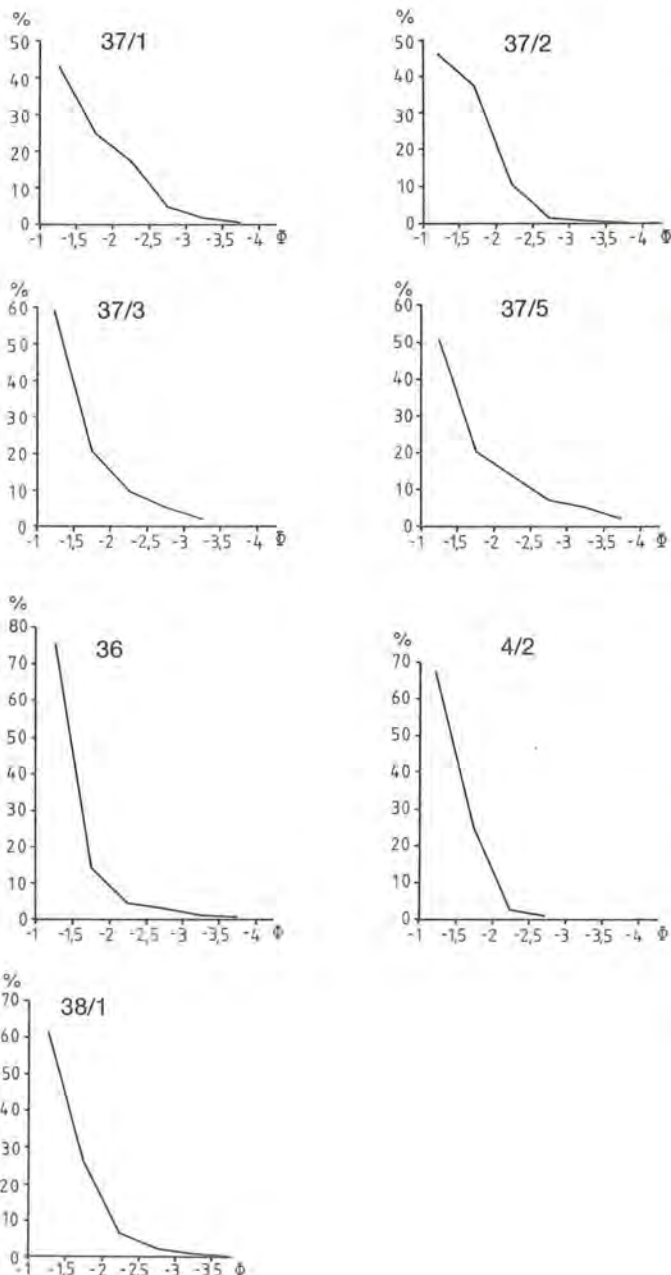


Abbildung 14: Verteilung der Quarzkomponenten in verfestigten Höhlensedimenten



Von den über 90 aufgelösten Proben waren nur in 12 Quarze $\geq -1\phi$ festzustellen. Vier davon entfallen auf die Rotwandhöhle, drei auf den Scheukofen und jeweils eine auf die Achselhornhöhle, Reinersberghöhle, Sinterdeckenhöhle, Grünschartenhöhle und das Diebsloch.

Ähnlich den Lockersedimenten ist auch bei den verfestigten Höhlensedimenten eine Zunahme des Quarzgehaltes mit abnehmender Korngröße festzustellen. Im Gegensatz zu den Augensteinen (Abb. 13/1) sind im Bereich -3 bis $-3,5\phi$ keine Maxima ausgeprägt, teilweise treten in dieser Klasse noch überhaupt keine Quarze auf.

Die Quarzkorngrößenverteilungen von Lockersedimenten und verfestigten Höhlensedimenten verhalten sich sehr ähnlich, was auf vergleichbare Sedimentations- und Transportbedingungen zurückgeführt wird, wie sie in Kapitel 7.2.1 vorgestellt wurden.

7.2.2.1 Interpretation der erzielten Ergebnisse in Bezug auf die Problemstellung

Für die Frage nach der Entstehungsgeschichte des heutigen Landschaftsbildes ist es von großer Wichtigkeit, daß, mit Ausnahme des Scheukofens, ausschließlich in Höhlen großer Höhenlage Quarze $\geq -1\phi$ nachgewiesen werden konnten. Setzt man die Höhenlage und geographische Position dieser Höhlen mit den von SEEFELDNER aufgestellten Niveaus (vgl. Kap. 4.2) in Verbindung, so ergibt sich zwangsläufig unter den in Kapitel 2 und 3 vorgestellten Aspekten, daß sämtliche Lokalitäten, die Quarze in den festgestellten Verteilungen in den in ihnen enthaltenen Sedimenten führen, genetisch mit dem Hochkönigniveau zu verknüpfen sind. Dafür spricht auch die Tatsache, daß in Höhlen, die in Zusammenhang mit dem Tennenniveau und Gotzenniveau zu sehen sind, keine Quarze $\geq -1\phi$ aufgefunden werden konnten.

Die im Scheukofen enthaltenen Quarze werden mit lokalen Umlagerungserscheinungen erklärt, die wie in Kapitel 7.2.3.1 und 7.2.3.2 näher ausgeführt wird, in Sedimenten dieser Höhle extrem stark ausgeprägt sind. In keiner anderen Lokalität können Umlagerungen dieses Umfangs belegt werden, so daß davon ausgegangen werden muß, daß die festgestellten Quarzverteilungen nicht ursprünglicher Natur sind.

Bezogen auf das Konzept der einphasigen Landschaftsentwicklung nach LICHTENECKER wäre es zu erwarten gewesen, daß zumindest in der Mehrzahl der Höhlen, verteilt auf unterschiedliche Höhenlagen, ähnliche Quarzverteilungen in den Sedimenten erscheinen müßten (vgl. Kap. 3). Dies ist aber nicht der Fall. Vielmehr können Unterschiede im Komponenteninventar nachgewiesen werden, die in Einklang mit dem Konzept der mehrphasigen Landschaftsentwicklung nach SEEFELDNER stehen.

Es wird daher bei den weiteren sedimentpetrographischen Auswertungen der Höhlensedimente von dem durch die oben dargestellten Untersuchungen verifizierten Konzept der mehrphasigen Landschaftsentwicklung nach SEEFELDNER ausgegangen.

7.2.3 Verfestigte Höhlensedimente – Untersuchungsmethoden

Verfestigte Höhlensedimente wurden mittels Dünnschliffen, Anschliffen und der Schwermineralanalyse qualitativ und quantitativ untersucht. Auf Grund des relativ hohen Alters (Oligozän, Miozän - Pliozän (?)) der vorliegenden Sedimente und der Lagerungsverhältnisse konnten die von LAIS (1941) entwickelten Methoden der Höhlensedimentuntersuchung (s. a. VERTES 1959, HELLER 1967, BRUNNACKER u. STREIT 1967, BRUNNACKER 1979) nicht angewendet werden.

Die Verteilung der Quarzkomponenten verfestigter Höhlensedimente wurde schon in Kapitel 7.2.2 vorgestellt und die erzielten Ergebnisse diskutiert, so daß im folgenden das Konzept der mehrphasigen Landschaftsentwicklung nach SEEFELDNER als Auswertungsgrundlage dient, das durch weitere quantitative Untersuchungen verifiziert werden soll.

Wie schon mehrmals erwähnt, sind die verfestigten Höhlensedimente als Konglomerate anzusprechen, deren Komponenteninventar aus kalkalpinen und nicht-kalkalpinen Geröllen zusammengesetzt ist, die in einer karbonatischen Matrix verbacken sind. Unterschiedliche Größe der Komponenten ist auf lokale Sedimentationsbedingungen zurückzuführen, im Hinblick auf die Problemstellung sind Unterschiede im Geröllspektrum von entscheidender Bedeutung.

7.2.3.1 Lagerungsverhältnisse

In den im vorhergehenden angeführten Lokalitäten wurden höhleninterne Sedimente angetroffen. Verschiedentlich war zu beobachten, daß ehemals mächtige Sedimentvorkommen nur noch reliktsch

erhalten sind. So sind zum Beispiel in der Salzgrabenhöhle an mehreren Stellen Sedimentreste in Zwickeln m^3 - großer Versturzböcke erhalten, und im großen Dom haften 10 bis 15 Meter über der heutigen Gangsohle Sedimentbalkone an den Höhlenwänden, was auf eine nach der Sedimentablagerung einsetzende Ausräumung schließen läßt, die wahrscheinlich unter vadosen Bedingungen stattfand. Ähnliche Erscheinungen sind weit verbreitet, so auch in der Bärenhöhle, wo an den Wänden mächtige Sedimentreste erhalten sind, die durch ihre Lagerungsgefüge abwechselnde Sedimentations- und Erosionszyklen dokumentieren. Sieht man von der Größe der einzelnen Komponenten ab, waren keine petrographischen Unterschiede innerhalb eines solchen Sedimentprofils zu bemerken.

In Abbildung 15 ist ein Sedimentprofil dargestellt, aufgenommen bei »Schnauze voll« in der Salzgrabenhöhle. Charakteristisch sind die vielen Erosionsflächen und das mehrmalige Auftreten von Rinnenfüllungen. Zwischen Profilmeter 3 und 5,5 ist eine solche Rinne zu bemerken, die nachträglich wieder durch mehrere Schüttungsgenerationen aufgefüllt wurde. Es ist anzunehmen, daß diese Rinne unter vadosen Bedingungen eingeschnitten wurde und unter eben solchen Bedingungen verfüllt wurde. Die im Profil darüberliegenden Versturzböcke erreichen Größen von über einem Meter Durchmesser und sind nicht zugerundet. Sehr häufig sind Blockkontakte zu beobachten, so daß angenommen werden muß, daß das zwischen den Blöcken liegende feinere Material nachträglich eingefüllt wurde. Es folgen anschließend mehrere Konglomeratlagen, die sowohl nach oben feiner werdende als auch nach oben gröber werdende Gradierung zeigen. Im Bereich zwischen Profilmeter 18,85 und 19,2 ist eine weitere Rinnenfüllung aufgeschlossen, die im Ausschnitt vergrößert abgebildet ist. Sie besteht aus einer Wechsellagerung von Feinsand bis Mittelkieslagen, zwischen die Tonlagen eingeschaltet sind, was sehr ruhige Sedimentationsbedingungen dokumentiert.

In diesem Profil ist also eine Folge von Sedimentationszyklen aufgeschlossen, die sehr gut die wechselnde Sedimentationsbedingungen abbildet, wie sie unter vadosen Verhältnissen in Höhlen herrschen.

Interpretiert man diese Sedimentfolge nach LAIS (1941), so ist durch das Auftreten von Inkansionsblöcken und der Schuttlage, deren Entstehung auf Frostsprengung zurückgeführt wird, als Entstehungszeitraum Riß/Würm - Interglazial bis Post-Würm anzunehmen. Für diese relativ junge Entstehung spricht auch die im Vergleich zu anderen Höhlensedimenten noch nicht vollständig erfolgte Lithifizierung sowie die Tatsache, daß das Komponenteninventar ausschließlich aus autochthonem Material besteht, was, wie in Kapitel 7.2.3.4 dargestellt, kennzeichnend ist für Sedimente jüngsten Alters.

Wie oben schon angeführt, ist in der Bärenhöhle ein vergleichbares Sedimentprofil in weit geringerer Mächtigkeit aufgeschlossen, das ähnliche Sedimentationsprozesse zeigt.

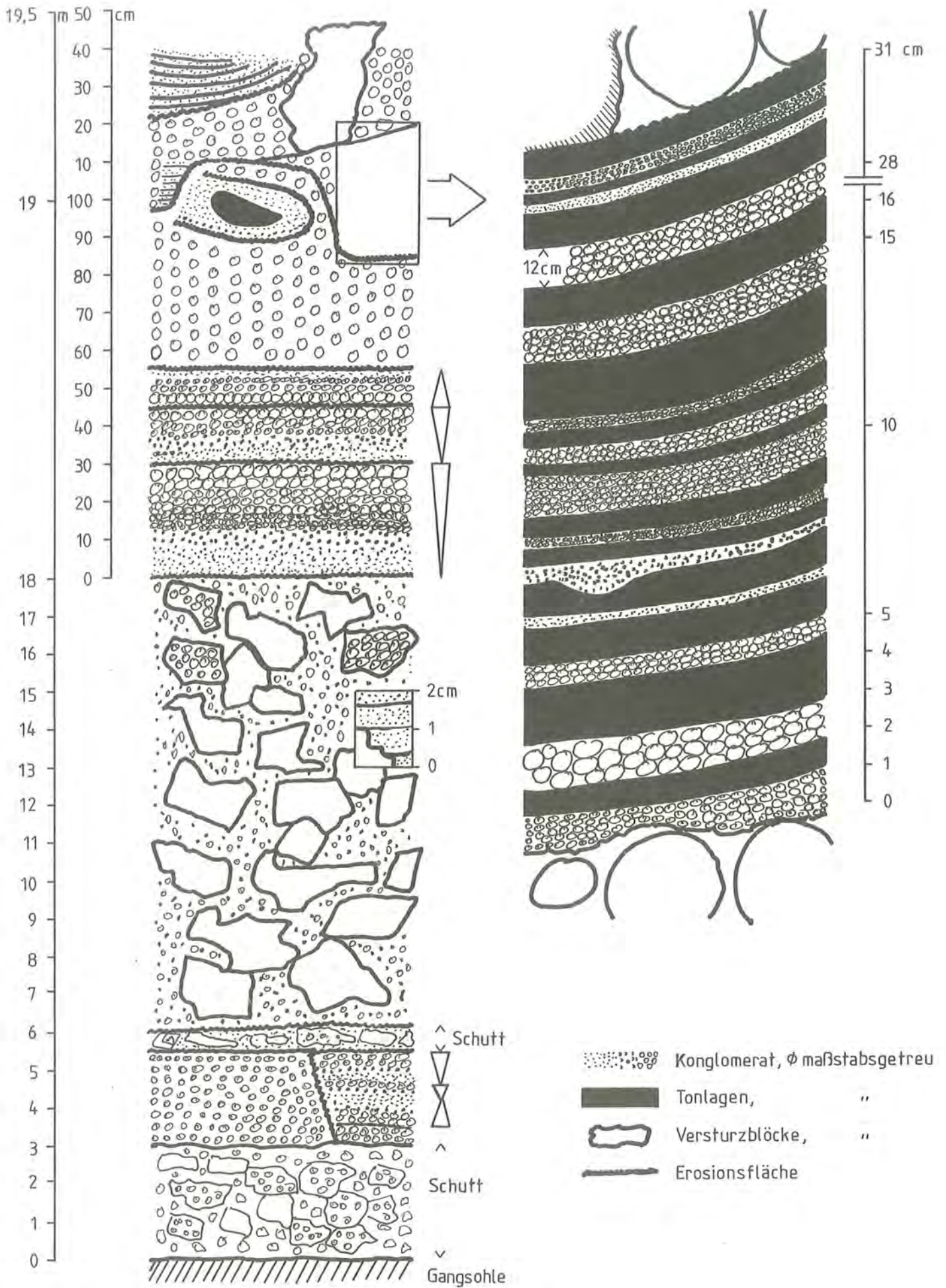
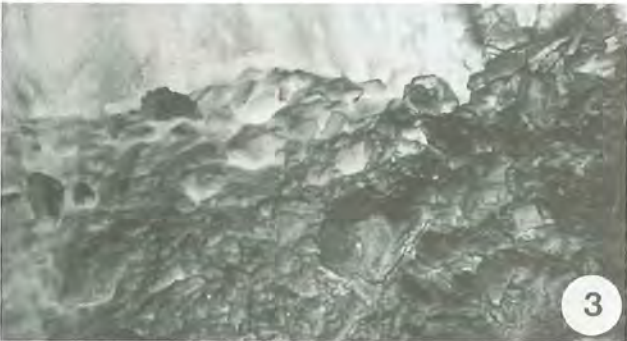


Abbildung 15:
Höhlensedimentprofil bei »Schnauze voll«, Salzgrabenhöhle

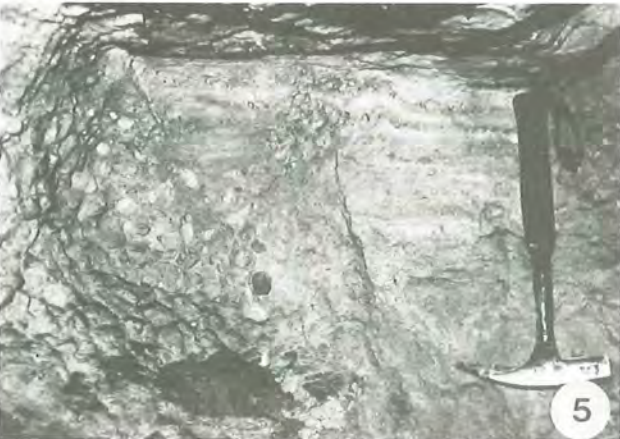
Tafel 8: Schichtungsgefüge anstehender Höhlensedimente aus der Bärenhöhle und der Salzgrabenhöhle.



1 Anlagerungsgefüge. Durch wechselnde Korngrößen werden innerhalb des Sedimentprofils verschiedene Erosions- und Sedimentationsphasen deutlich. Es treten vorwiegend parallel und schräg geschichtete Mittelsand- bis Grobkieskörper auf, stellenweise ist eine nach oben feiner werdende Gradierung zu bemerken.



3 Rezent übersinterte, kantige Dachsteinkalkbruchstücke, die als Frostbruchschutt interpretiert werden.



5 Rinnenfüllung im Sedimentprofil bei »Schnauze voll«, Salzgrabenhöhle. Nach erfolgter Erosion kommt eine Sand-Tonabfolge zur Ablagerung, die intern im Zentimeterbereich parallel geschichtet ist.



6 Zwickelfüllung zwischen cm^3 -großen Versturzböcken. Seilbahnschacht, Salzgrabenhöhle.



2 Detailausschnitt. Ruhige Sedimentationsverhältnisse werden durch Ablagerungen von Tonlagen dokumentiert.



4 Detailaufnahme, die die ganze Vielfalt der Sedimentations- und Erosionsprozesse widerspiegelt.



7 Das Hangende der in 5. vorgestellten Rinnenfüllung. Die Korngröße ist gleich der des Sediments, in das die Rinne eingetieft wurde, davon abgegrenzt durch eine Erosionsfläche. Maßstab vgl. 5.

In den anderen beprobten Lokalitäten waren nur noch an von Erosion geschützten Stellen Sedimente aufzufinden, so daß sehr starke Ausräumungsvorgänge stattgefunden haben müssen, die eventuell mit dem Abschmelzen der quartären Vergletscherungen in Verbindung zu bringen sind, was zu einem erhöhten Wasserdurchsatz in den Höhlen beigetragen haben könnte. In einigen Fällen (Laafeld 2, Laafeld 4, Brunloch) waren nur noch einzelne oder mehrere Sedimentblöcke anzutreffen, die nicht mehr in ihrem ursprünglichen Lagerungsverband erhalten sind. Waren makroskopisch im Komponenteninventar solcher Blöcke Unterschiede festzustellen, wurden sämtliche beprobt, um ein komplettes Bild des Geröllspektrums zu erhalten.

Durch gezielte Probennahme konnte ausgeschlossen werden, daß »falsche Höhlenschotter«, wie sie von SCHAUBERGER (1961) beschrieben werden, beprobt wurden.

7.2.3.2 Kornform, Rundungsgrade und Größen der Komponenten

Die Gerölle sind im allgemeinen gut bis sehr gut gerundet, selten sind zerbrochene Komponenten festzustellen, die eine gut gerundete Fläche und eine Bruchfläche aufweisen. Angerundete bis gerundete Dachsteinkalkgerölle treten öfter auf, was darauf zurückzuführen ist, daß der Dachsteinkalk das Höhlenmuttergestein bildet und so extrem kurze Transportwege möglich sind.

Die Kornform der Komponenten schwankt zwischen länglich-oval bis nahezu kugelförmig. Quarze zeigen oft Kugelform, die verschiedenen Sandsteine sind mehrheitlich abgeplattet, während Dachsteinkalke und Rotkalke in Abhängigkeit von der Transportdauer und der Länge des Transportweges verschiedene Kornformen aufweisen können.

Die Größe der Gerölle in verfestigten Höhlensedimenten ist abhängig von der Ausgangsgröße des zur Verfügung stehenden Materials und von den lokalen Sedimentationsbedingungen, wie in Kapitel 7.2.1 ff. dargestellt. Die festgestellte Maximalgröße in den untersuchten verfestigten Sedimenten beträgt 5-7 Zentimeter bei Dachsteinkalken und Sandsteinen, Quarze erreichen Größen um 2 Zentimeter. In der Mehrheit der untersuchten Proben werden diese Werte nicht erzielt, Komponentendurchmesser zwischen 0,5 - 2 Zentimeter sind die Regel.

7.2.3.3 Qualitative Untersuchungen

Das auftretende Geröllspektrum wurde mittels Dünnschliffen und Anschliffen untersucht. Im folgenden werden die Komponenten, gegliedert nach ihrer Herkunft, im allgemeinen beschrieben.

7.2.3.3.1 Kalkalpine Gerölle

Dachsteinkalkgerölle (Nor - Rhät):

Hell- bis dunkelgraue Dachsteinkalke treten verbreitet in den Höhlensedimenten auf. Meist lassen sie

sich in die von HOHENEGGER u. PILLER (1975) erarbeitete Faziesgliederung einordnen, die eine Oolith - Fazies, Oolithische Fazies, Pellet - Schlick - Fazies und Schlick - Fazies unterscheidet. Die dafür typischen Foraminiferenvergesellschaftungen sind feststellbar, darüberhinaus Bivalven, Gastropoden, Echiniden, Crinoiden, Dasycladaceen und seltener Ostracoden. In den Geröllen lassen sich sämtliche Faziesmerkmale des lagunären Dachsteinkalkes wiedererkennen, wie sie von HOHENEGGER u. PILLER (1975), TOLLMANN (1976) und ZANKL (1969 u. 1971) beschrieben werden, es sei daher an dieser Stelle auf die o. a. Arbeiten verwiesen.

Gerölle der liassischen Rotkalkgruppe (su. FABRICIUS, 1966):

In den Höhlensedimenten fallen diese Gerölle durch ihre Rotfärbung auf, die auf eine Pigmentierung durch Hämatit und Goethit bis Limonit zurückzuführen ist (FABRICIUS, 1966). Foraminiferenreiche Mikritkalke erscheinen häufig, wohingegen Crinoidenkalke nicht nachgewiesen werden konnten. Die Zuordnung der Gerölle wurde mittels Faziesmerkmalen vorgenommen, wie sie von FABRICIUS (1966), JURGAN (1969), SCHÖLL u. WENDT (1971) und SEYFRIED (1980) dargestellt werden. Eine direkte stratigraphische Einordnung durch Ammoniten war nicht möglich (Größe!), so daß im wesentlichen durch Foraminiferen eine Einstufung erfolgte. Die Gattungen *Involutina* (*Aulotortus*), *Vaginulina*, *Fronicularia*, *Lenticulina* und *Nodosaria* sowie Echiniden, Crinoiden und *Spiculae* bilden die vorwiegenden Bestandteile der Biogenführung. Selten sind Filamente eingestreut, ebenso bilden Radiolarien die Ausnahmen.

Filamentkalke (Lias - Dogger):

Graue bis rotbraune Filamentkalke treten vereinzelt in Höhlen des Steinernen Meeres auf. Sie sind als Filament - Wackestone anzusprechen, die Filamente erscheinen gerade bis leicht gebogen und von einer Größe bis zu 3 mm. Weitere Biogene sind Radiolarien und seltener Ostracoden. Durch neomorphe Prozesse wird das Gefüge überprägt, verstreut sind in der karbonatischen Matrix authigene Quarze zu bemerken. Eine stratigraphische Einstufung der Filamentkalke wurde von DIERSCHKE (1980) vorgenommen, der ihnen als Entstehungszeitraum Lias bis Dogger zuwies.

Fleckenkalke (Lias - Dogger):

Radiolarien, Filamente, Ostracoden, Schwammnadeln und Foraminiferen treten als biogene Komponenten in den Fleckenkalken auf. An einigen wenigen Geröllen konnten auch die »Flecken« nachgewiesen werden, die nach JAKOBSHAGEN (1965) als Freßspuren und / oder Wohnbauten mariner Organismen anzusprechen sind. Die mikritische Matrix der Kalke ist stellenweise diffus verkieselt, detritische Quarze sind eingestreut. Von DIERSCHKE (1980) werden die Fleckenkalke in die Zeit Pliensbachium bis Wende Dogger / Malm eingestuft.

Radiolarit (Dogger - Malm):

Spumellaria und *Nassellaria* beherrschen die Fossilführung, selten treten *Spiculae* oder Schalenreste

auf, die ein Wackestone bis Packestone-Gefüge bilden. Die Matrix ist kieselig - karbonatisch, diagenetische Prozesse führen zu einer vorwiegend kalzitischen Ausbildung der biogenen Komponenten. Das Einsetzen der Radiolaritsedimentation wird mit der Wende Dogger/Malm angenommen, die Obergrenze der Radiolaritbildung wird in das Kimmeridge gestellt (DIERSCHKE, 1980).

Bohnerze und Bauxite (Kreide – Tertiär)

Als Bohnerze werden im Dünnschliff opak bis tief dunkelrot erscheinende Gerölle bezeichnet, an denen in einigen Fällen konzentrischer Lagenbau im kryptokristallinen Gefüge nachzuweisen ist. Im Anschliff sind sie von schwarzer Farbe und zeigen metallischen Glanz. Sie erreichen eine Größe von bis zu 2 Zentimetern und sind in der Regel gut gerundet, kleinere Bruchstücke haben oft subangulare bis angerundete Kornform. Des öfteren ist zu beobachten, daß in ihnen detritische Quarze eingeschlossen sind. Röntgenographisch ließ sich Goethit und Hämatit nachweisen, seltener Kaolinit und Illit. Die Bohnerze könnten als Verwitterungsprodukte aus der Kreide oder dem Tertiär angesehen werden.

Bauxitgerölle erscheinen verbreitet in hochgelegenen Höhlen des Steinernen Meeres und des Hagengebirges. Sie sind sehr feinkörnig, von gelber bis hellbrauner Farbe und bestehen im wesentlichen aus Gibbsit und Boehmit (SEEMANN 1979). An einigen Geröllen ist eine schwach ausgeprägte Lamination festzustellen (Alter: Kreide - Tertiär).

7.2.3.3.2 Gerölle nicht-kalkalpiner Herkunft

Als Gerölle nicht-kalkalpiner Herkunft werden diejenigen bezeichnet, die im anstehenden Schichtenverband der Gebirgsstöcke Steinernes Meer und Hagengebirge nicht anzutreffen sind. Es handelt sich dabei im wesentlichen um metamorphe und metamorph überprägte Gesteine, die in der Grauwackenzone und in den südlich daran anschließenden Zentralalpen aufgeschlossen sind.

Gangquarze und metamorphe Quarzaggregate:

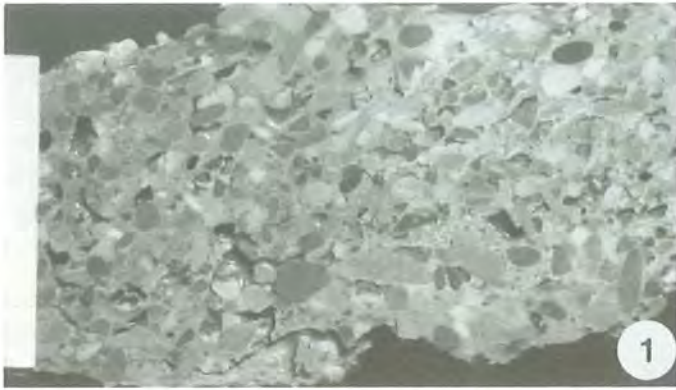
Unter polykristallinen Quarzaggregaten werden metamorph beeinflusste, zum überwiegenden Teil aus Quarz bestehende Gerölle verstanden, die keine Matrix aufweisen (vgl. PETTIJOHN, POTTER u. SIEVER, 1972). In der Mehrzahl der Gerölle weisen die einzelnen Quarzkörner suturierte Korngrenzen auf, seltener ist ein polygonales Mosaikgefüge festzustellen.

Im Handstück sind die Gerölle von bräunlicher bis milchig weißer Farbe und erreichen Größen von bis zu mehreren Zentimetern, es sind dies die »Augensteine« im engeren Sinn (vgl. Kap. 1.3).

In den bearbeiteten Höhlensedimenten konnten fünf verschiedene Quarzaggregattypen unterschieden werden, die sich durch wechselnde Korngröße, Korngrenzen und Auslöschungen der einzelnen Quarzkristalle sowie durch das Auftreten von anderen Mineralen gegeneinander abgrenzen lassen:

(Die Charakteristika dieser Gesteine werden im folgenden tabellarisch in Kurzform dargestellt. Die Angaben »viel«, »sehr viel« usw. entsprechen den Quantifizierungen von FÜCHTBAUER (1967), die nach unten um »sehr wenig« ergänzt wurden, was ein vereinzelt Auftreten beschreiben soll. Die Anzahl der Quarzkörner sowie die Durchschnittsgröße bezieht sich auf einzelne Kristallindividuen).

Tafel 9: Höhlensedimente - Anschliffe



1 Verfestigtes Konglomerat, das aus gut gerundeten Dachsteinkalk- und Roten Liaskalkkomponenten besteht, die ein korngestütztes Gefüge aufbauen. Sandsteine, Quarze, Bohnerze u. ä. sind nicht vertreten.
Lokalität: 27/14, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



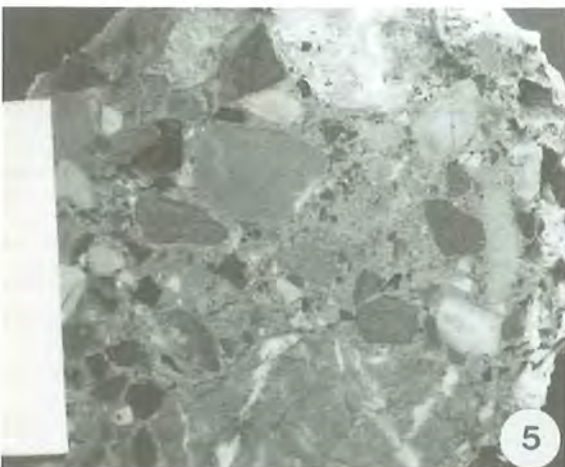
2 Glimmerführender Fein- bis Mittelsandstein, in den subangulare Dachsteinkalke eingestreut sind.
Lokalität: 26, Höhle am Moosensteig, Steinernes Meer.



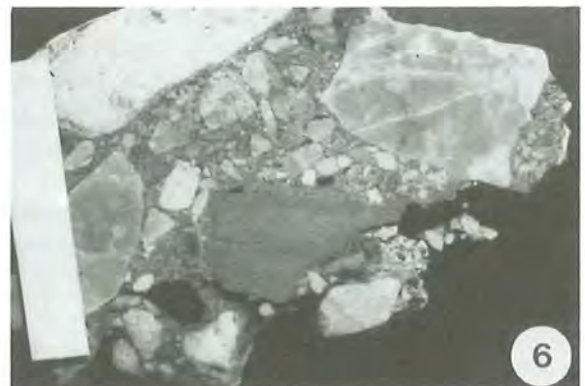
3 In karbonatischer Matrix eingelagerte Dachsteinkalkkomponenten. Am oberen und unteren Bildrand sind Anlagerungsgefüge tonig - schluffigen Materials zu erkennen. Komponentenkontakte sind selten zu beobachten, die Dachsteinkalke erscheinen regellos in die Matrix eingestreut.
Lokalität: 27/11, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



4 Übersintertes, psephitisches Dachsteinkalkkonglomerat. Während der Sinterbildung wurden einzelne Gerölle eingelagert (linke Bildhälfte).
Lokalität: 8/1, Scheukofen, Hagengebirge.



5 Verschiedene Sandsteine (Bildmitte), Tonsteine (Bildmitte rechte) und Dachsteinkalkgerölle (unten) sind die Hauptkomponenten in diesem Höhlensediment, selten erscheinen mm-große Radiolarite.
Lokalität: 3, Labyrinth - Höhle, Hagengebirge.

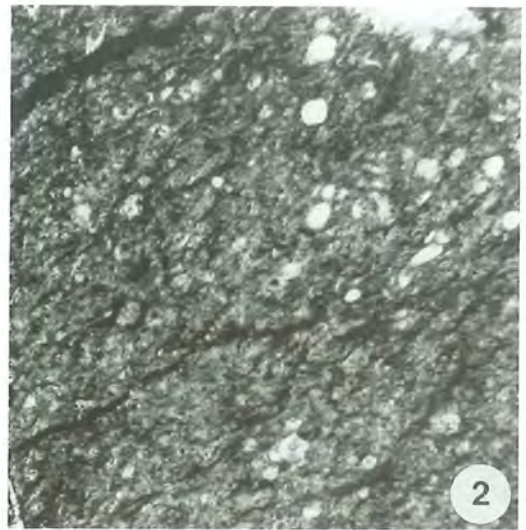


6 In der Bildmitte ist ein größeres Tonsteingeröll zu erkennen, weitere Komponenten sind Dachsteinkalke und ein aufgearbeitetes Sinterbruchstück (oben links). Die Komponenten zeigen im wesentlichen subangulare bis angerundete Kornform, was auf einen relativ kurzen Transportweg schließen läßt.
Lokalität: 7/1, Brunnloch, Hagengebirge.

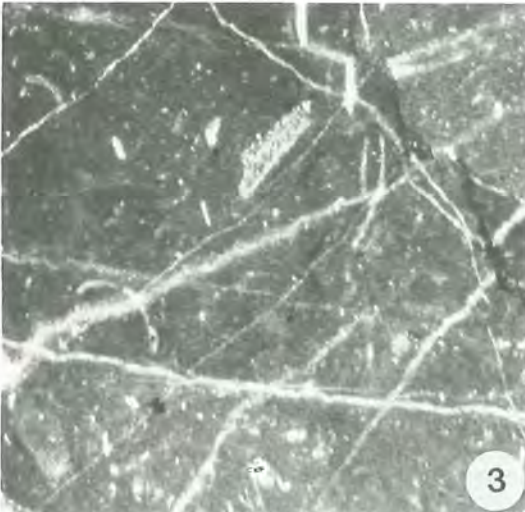
Tafel 10: Verfestigte Höhlensedimente – Komponenten



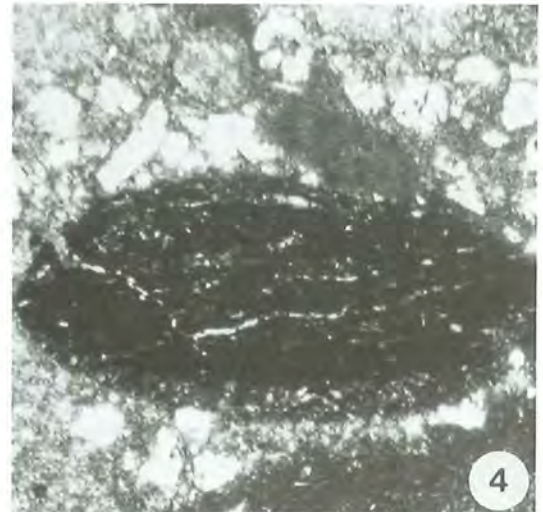
1 Subangulare bis gerundete Dachsteinkalkkomponenten in verschiedenen Faziesausbildungen.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel
Lokalität: 27/21, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.



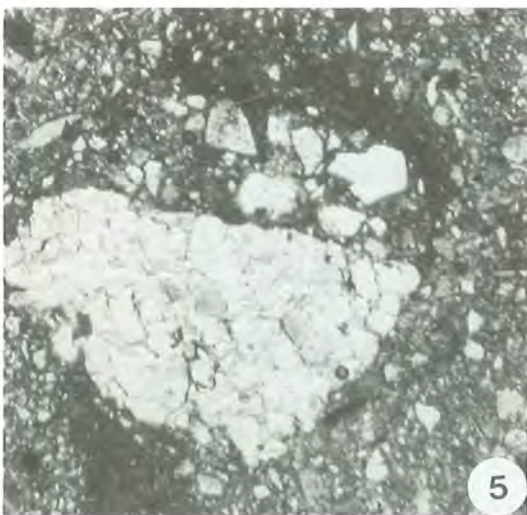
2 Radiolaritkomponente, die vorwiegend Radiolarien der Unterordnung Spumellina führt, seltener Radiolarien der Unterordnung Nassellina.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel.
Lokalität: 3, Labyrinth-Höhle, Hagengebirge.



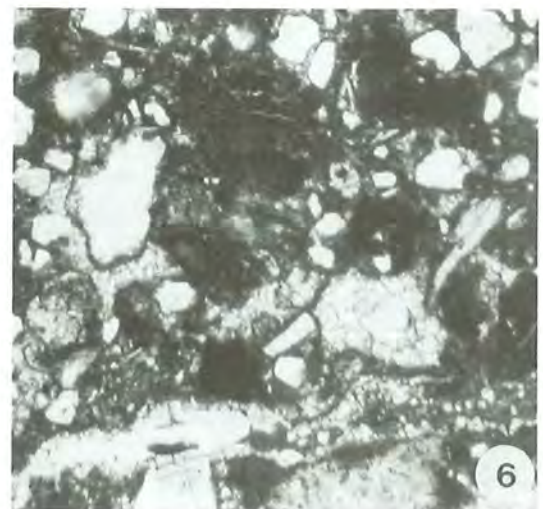
3 Ausschnitt aus einem Filamentkalkgeröll, andere Biogene (Foraminiferen, Echiniden usw.) treten nur untergeordnet auf.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel
Lokalität: 14/3, Laafeld 1, Hagengebirge.



4 Gut gerundetes Bohnerzgeröll mit schwach ausgeprägter Lamination. Einzelne detritische Quarze sind eingestreut.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel
Lokalität: 14/4, Laafeld 1, Hagengebirge.



5 Höhleninternes Resediment, das sich durch seine Farbe und die Quarzführung gegen die umgebende Matrix abgrenzt. Deutlich ist ein »alter« Matrixsaum um die sillikatisch zementierte Sandsteinkomponente zu erkennen.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel
Lokalität: 8/3, Scheukofen, Hagengebirge.



6 In die stark verunreinigte, mikritisch - karbonatische Matrix erscheinen detritische Quarze und Glimmer eingestreut, daneben treten Gesteinsbruchstücke und Kalziteinkristalle auf. An den Komponenten in der Bildmitte ist ein Dripstonezement zu bemerken, in der unteren Bildhälfte sind Anlagerungsgefüge zu erkennen.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel
Lokalität: 37/3, Rotwandhöhle, Steinernes Meer

Quarzaggregat, Typ 1:

Anmerkung: Auffallend ist die extreme Grobkörnigkeit der Einzelkörner, in andern Geröllen des gleichen Typs konnten auch Schwerminerale festgestellt werden (Zirkon).

Größe 10mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x	Größe ø 8mm	
Auslöschung	flächenhaft xxxxx	undulös xxxxx	nicht undulös xxxxx		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	xxxxx				
Feldspäte	Amphibole		Pyroxene		
Tonminerale					
Glimmer					
Quarzverdrängung	durch Karbonat x Tonminerale	x entlang d. Korngrenzen direkt am Korn	x randlich aus d. Mitte		
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradliert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 7

Quarzaggregat, Typ 2:

Anmerkung: Feinkörniger im Vergleich zu Typ 1.

Größe 1,2mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x	Größe ø 0,24mm	
Auslöschung	flächenhaft xxxxx	undulös xxxxx	nicht undulös xxxxx		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	xxxxx				
Feldspäte	Amphibole		Pyroxene		
Tonminerale					
Glimmer					
Quarzverdrängung	durch Karbonat x Tonminerale	x entlang d. Korngrenzen direkt am Korn	x randlich aus d. Mitte		
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradliert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 8

Quarzaggregat, Typ 3:

Anmerkung: Bei den angeführten Glimmern handelt es sich in der Mehrheit um Muscovit. Die Quarzkristalle sind in einer Richtung ausgelängt, wodurch eine angedeutete Lamination entsteht. In einem weiteren Geröll dieses Typs (Lokalität: Reinersberghöhle) erscheinen die Quarzkristalle in zwei Richtungen ausgelängt, die senkrecht zueinander stehen.

Größe 6mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x	Größe ø 0,3mm	
Auslöschung	flächenhaft xxxxx	undulös xx	nicht undulös xxxxx		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	xxxxx				
Feldspäte	Amphibole		Pyroxene		
Tonminerale					
Glimmer	x				
Quarzverdrängung	durch Karbonat x Tonminerale	x entlang d. Korngrenzen direkt am Korn	x randlich aus d. Mitte		
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradliert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 9

Quarzaggregat, Typ 4:

Anmerkung: Schwach schwermineralführend, wobei die Schwerminerale in Quarzkörner eingeschlossen sind (mehrheitlich Zirkone, seltener Turmalin). Die Korngrenzen der einzelnen Quarzkörner sind nicht stark suturiert, es entsteht das Bild eines schwach verzahnten Mosaikgefüges.

Größe 7mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x	Größe ø 0,3mm	
Auslöschung	flächenhaft x	undulös xxxxx	nicht undulös xxxxx		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	xxxxx				
Feldspäte	Amphibole		Pyroxene		
Tonminerale					
Glimmer	x				
Quarzverdrängung	durch Karbonat x Tonminerale	x entlang d. Korngrenzen direkt am Korn	x randlich aus d. Mitte		
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradliert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 10

Quarzaggregat, Typ 5:

Anmerkung: Schwach feldspat- und glimmerführend, es treten verbreitet polygonale Quarze auf.

Größe 3mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x	Größe ø 0,2mm	
Auslöschung	flächenhaft xxxxx	undulös xxxxx	nicht undulös xxxxx		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte	Amphibole		Pyroxene		
Tonminerale					
Glimmer	x				
Quarzverdrängung	durch Karbonat x Tonminerale	x entlang d. Korngrenzen direkt am Korn	x randlich aus d. Mitte		
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradliert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 11

Gerölle metamorphen Ursprungs:

Quarzreicher Glimmerschiefer:

Anmerkung: Die Glimmerführung besteht im wesentlichen aus Muscovit, seltener Biotit und/oder Chlorit. Hornblenden treten vereinzelt auf.

Größe 1,2mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x	Größe ø 0,06mm	
Auslöschung	flächenhaft xxxxx	undulös xxxxx	nicht undulös xxxxx		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	xxxxx				
Feldspäte	Amphibole		Pyroxene		
Tonminerale					
Glimmer	xxxxx				
Quarzverdrängung	durch Karbonat x Tonminerale	x entlang d. Korngrenzen direkt am Korn	x randlich aus d. Mitte		
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradliert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 12

Intern verfallener Quarz-Glimmerschiefer:
Anmerkung: Intern symmetrisch parallel verfalltet.

Größe 0,6mm
angular subangular subrounded rounded well rounded
Rundungsgrad x
Anzahl der Quarzkörner <3 >3 x Größe ϕ 0,016mm
Flächenhaft undulös nicht undulös
Auslöschung xxxxx
Idiomorph hypidiomorph xenomorph chert
Kornform xxxxx xxxxx
suturiert konkav-konvex Lang-Kontakt Punkt-Kontakt schwimmend
Kornkontakt xx xxxxx
Schwerminerale Amphibole Pyroxene
Feldspäte Tonminerale Glimmer xxxxx
Quarzverdrängung durch Karbonat x x entlang d.Korngrenzen *randlich Tonminerale x x direkt am Korn aus d. Mitte
massiv laminiert gradiert
Internstrukturen x
keine silikatisch karbonatisch tonig
Matrix
X SEHR WENIG
XX WENIG
XXX VERBREITET
XXXX VIEL
XXXXX SEHR VIEL

Tabelle 13

Zwei-Glimmerschiefer und Chlorit-Glimmerschiefer:
Anmerkung: Die Glimmerführung besteht zu gleichen Teilen aus Biotit und Muscovit, bzw. Chlorit und Muscovit.

Größe 3mm
angular subangular subrounded rounded well rounded
Rundungsgrad x
Anzahl der Quarzkörner <3 >3 x Größe ϕ 0,04mm
Flächenhaft undulös nicht undulös
Auslöschung xxxxx
Idiomorph hypidiomorph xenomorph chert
Kornform xxxxx xx
suturiert konkav-konvex Lang-Kontakt Punkt-Kontakt schwimmend
Kornkontakt xxx xxx xxx
Schwerminerale Amphibole Pyroxene
Feldspäte x Tonminerale Glimmer xxxxx
Quarzverdrängung durch Karbonat x x entlang d.Korngrenzen x randlich Tonminerale x direkt am Korn x aus d. Mitte
massiv laminiert gradiert
Internstrukturen x
keine silikatisch karbonatisch tonig
Matrix x
X SEHR WENIG
XX WENIG
XXX VERBREITET
XXXX VIEL
XXXXX SEHR VIEL

Tabelle 14

Sehr schwach hornblendeführender Glimmergneis:
Anmerkung: Das Gestein zeigt eine sehr deutlich ausgeprägte Paralleltexur.

Größe 1,8mm
angular subangular subrounded rounded well rounded
Rundungsgrad x
Anzahl der Quarzkörner <3 >3 x Größe ϕ 0,15mm
Flächenhaft undulös nicht undulös
Auslöschung xxxxx xxxxx
Idiomorph hypidiomorph xenomorph chert
Kornform xxxxx xxxxx
suturiert konkav-konvex Lang-Kontakt Punkt-Kontakt schwimmend
Kornkontakt xxx xxxxx
Schwerminerale Amphibole x Pyroxene
Feldspäte Tonminerale Glimmer xxx
Quarzverdrängung durch Karbonat x x entlang d.Korngrenzen *randlich Tonminerale x direkt am Korn aus d. Mitte
massiv laminiert gradiert
Internstrukturen x
keine silikatisch karbonatisch tonig
Matrix x
X SEHR WENIG
XX WENIG
XXX VERBREITET
XXXX VIEL
XXXXX SEHR VIEL

Tabelle 15

Muscovit – Sillimanitfels:
Die Größe des Gerölls beträgt 1,3 mm, es ist von gerundeter Kornform und länglich gestreckt.

In keiner Richtung bevorzugt angeordnete Sillimanitkristalle von xenomorpher bis hypidiomorpher Kornform (Größe 0,01 mm) bilden ein massives Gefüge, in das Muscovitkristalle eingestreut sind. An den Rändern der Sillimanitkristalle erscheinen sehr kleine Kristalle (möglicherweise Cordierit) in faserförmiger Anordnung, ebenso ist eine schwach ausgeprägte Hämatit und/oder Goethitimpregnation festzustellen. Lokalität: Sinterdeckenhöhle.

Granit:
Anmerkung: Erscheinen im Geröllspektrum relativ selten.

Größe 2,5mm
angular subangular subrounded rounded well rounded
Rundungsgrad x - x
Anzahl der Quarzkörner <3 >3 x Größe ϕ 0,6mm
Flächenhaft undulös nicht undulös
Auslöschung xxxxx
Idiomorph hypidiomorph xenomorph chert
Kornform xxxxx
suturiert konkav-konvex Lang-Kontakt Punkt-Kontakt schwimmend
Kornkontakt xxxxx
Schwerminerale Amphibole Pyroxene
Feldspäte xxx Tonminerale Glimmer xxx
Quarzverdrängung durch Karbonat x x entlang d.Korngrenzen *randlich Tonminerale x direkt am Korn aus d. Mitte
massiv laminiert gradiert
Internstrukturen x
keine silikatisch karbonatisch tonig
Matrix *
X SEHR WENIG
XX WENIG
XXX VERBREITET
XXXX VIEL
XXXXX SEHR VIEL

Tabelle 16

7.2.3.3 Quarzeinkristalle – Kappenquarze

In Probe 4/1, Reinersberghöhle, wurde ein Kappenquarz von 1,3 mm Größe festgestellt, der, durch Schmutzsäume nachgezeichnet, verschiedene Wachstumsstadien aufweist.

In die Matrix verfestigter Höhlensedimente eingestreut erscheinen sehr häufig 0,1 bis 0,2 mm große Quarzeinkristalle von subangulärer bis gut gerundeter Kornform.

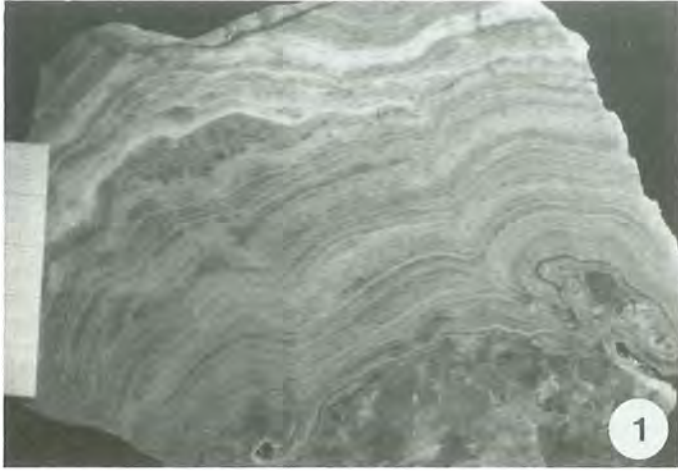
In Anbetracht der verbreitet auftretenden randlichen Anlösung der Sandsteine und der anderen Komponenten ist anzunehmen, daß ihre Herkunft daraus abzuleiten ist. Weitere Hinweise dazu sind in Dünnschliffen der Proben 18 (Höhlenruine ESE Hochseeleinscharte) und 9/1 (Höhlenruine W Bergwachthütte) zu finden, in denen extrem angelöste Sandsteine festgestellt wurden, die durch ihre Anlösungserscheinungen den Eindruck einer »eingefrorenen Sandsteinexplosion« vermitteln.

In weiteren Proben (Bsp.: 38/1, Sinterdeckenhöhle) wurden bis zu 15 mm große, sehr gut gerundete Quarzeinkristalle aufgefunden, die flächenhafte Auslöschung aufweisen.

An vielen der angeführten Einkristalltypen sind Hämatit- und/oder Goethitimpregnationen zu bemerken, die häufig die Quarzkristalle randlich umschließen.

Lokalität: Verbreitet in sämtlichen verfestigten Höhlensedimenten.

Tafel 11: Höhlensedimente – Anschnitte



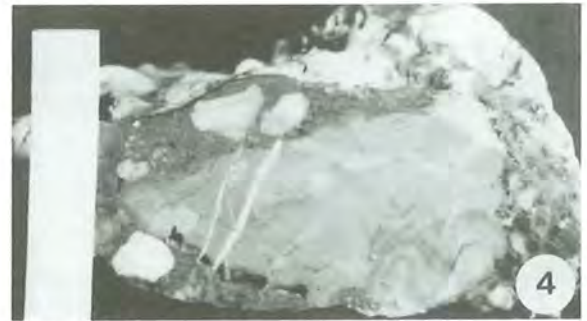
1 Massiv übersinterte kantige Dachsteinkalke, wie sie häufig in der Höhlenruinenzone des Hagengebirges anzutreffen sind. Lokalität: 24/1, Allesda-Loch P4, Hagengebirge



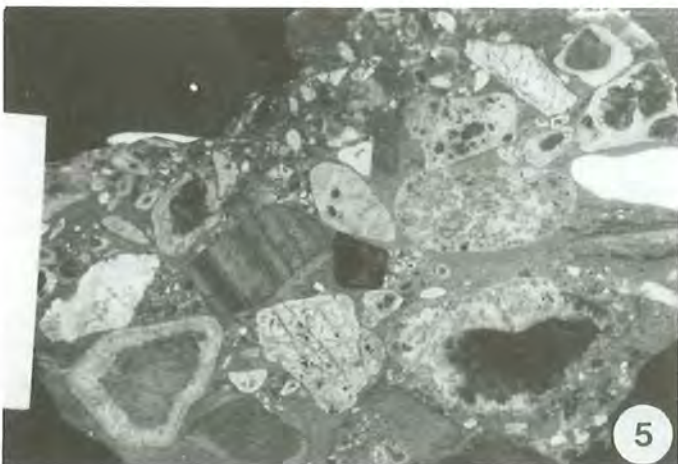
2 Angerundete bis gerundete Dachsteinkalke bestimmen das Bild. In der linken Bildhälfte ist eine Komponente, bestehend aus einer sedimentären Liaskalkbrekzie, zu erkennen, am oberen Bildrand ein Quarzgeröll. Lokalität: 35, Grünschartenhöhle, Steinernes Meer.



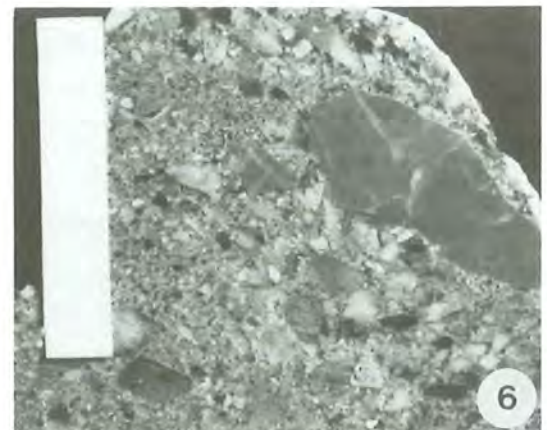
3 Feingeschichtetes, tonig-karbonatisches Sediment. An Komponenten sind lediglich aufgearbeitete Bohnerze und Quarze im mm-Bereich festzustellen. Lokalität: 24, Allesda-Loch P4, Hagengebirge.



4 Neben großen, subangularen Dachsteinkalken besteht das Komponenteninventar hauptsächlich aus Quarzgeröllen (linke Bildhälfte) und Bohnerzen (rechts). Daneben sind Sandsteine vertreten. Lokalität: 36, Achselhornhöhle



5 Sandsteine der verschiedenen beschriebenen Ausbildungen sind die am häufigsten auftretenden Komponenten. In der rechten oberen Bildhälfte sind cm-große Quarze zu erkennen, in der rechten unteren Bildhälfte erscheint ein 4 cm großes Dolomitgeröll, das von innen heraus angelöst ist. Weitere Komponenten sind Dachsteinkalke und Bohnerze sowie ein laminierter Tonstein (Bildmitte). Lokalität: 14/1, Laafeld 1, Hagengebirge.



6 Typisches Höhlenkonglomerat. Neben Quarzen erscheinen häufig Sandsteine, der Dachsteinkalk ist in Form der großen Komponente vertreten (rechte Bildhälfte), deren angerundete Kornform als Hinweis auf die lokale Herkunft gewertet wird, während die fernverfrachteten Komponenten gerundete bis gut gerundete Kornformen aufweisen. Lokalität: 38/1, Sinterdeckenhöhle, Steinernes Meer.

7.2.3.3.4 Gerölle unsicherer Zuordnung

Unter diesem Gliederungspunkt werden neben Sandsteinen vorwiegend monomineralische Gerölle beschrieben, die sich nicht sicher einer kalkalpinen oder nicht kalkalpinen Herkunft zuordnen lassen. Die mögliche Herkunft wird bei dem jeweiligen Gerölltyp angegeben.

Die Charakteristika dieser Gesteine werden wiederum tabellarisch in Kurzform vorgestellt, wobei die Nomenklatur der Sandsteine nach FÜCHTBAUER (1967) und PETTIJOHN, POTTER u. SIEVER (1972) erfolgt. Die Angaben »viel«, »sehr viel« usw. entsprechen den Quantifizierungen von FÜCHTBAUER (1967), die nach unten um »sehr wenig« ergänzt wurden, was ein vereinzelt Auftreten beschreiben soll. Die Korngrößenangaben erfolgen nach DIN 4022.

Sandsteine:

Wie aus den folgenden Tabellen zu ersehen ist, unterscheiden sich die Sandsteine zum einen in ihrer Matrix, zum anderen vor allem durch den Anteil beigefärbter Minerale, wie Feldspäte, Glimmer und Schwerminerale (im wesentlichen Zirkon und Turmalin, seltener Rutil und Granat). Sie sind von braungrüner bis roter Farbe und im Handstück sind keine Schichtungs- bzw. Anlagerungsgefüge zu erkennen.

Als mögliche Herkunft dieser Sandsteine kommen sowohl Werfener- wie auch Gosau-Schichten in Frage, jedoch legt ihre gesamte Ausbildung die Vermutung nahe, daß sie als Verwitterungsprodukte anzusprechen sind, die während der tertiären Landschaftsentwicklung gebildet wurden.

Graubrauner Fein- bis Mittelsandstein:

Anmerkung: Die Zementation erfolgt durch sekundäres Wachstum detritischer gerundeter bis gut gerundeter Quarzkörner.

Größe 5mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					x
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ϕ 0,08 - 0,24mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	Idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte	x	Amphibole		Pyroxene	
Tonminerale					
Glimmer	x				
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	entlang d.Korngrößen	x	randlich aus d. Mitte
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
x	SEHR WENIG				
xx	WENIG				
xxx	VERBREITET				
xxxx	VIEL				
xxxxx	SEHR VIEL				

Tabelle 17

Schwach feldspatführender Feinsandstein:

Anmerkung: Als weitere Komponenten treten Tonminerale, Glimmer und Amphibole auf, wie auch quarzische Gesteinsbruchstücke. Eine leichte Gradierung ist feststellbar.

Größe 6mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					x
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ϕ 0,12mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	Idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale					
Feldspäte	xx	Amphibole	x	Pyroxene	
Tonminerale	x				
Glimmer	x				
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	entlang d.Korngrößen	x	randlich aus d. Mitte
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
x	SEHR WENIG				
xx	WENIG				
xxx	VERBREITET				
xxxx	VIEL				
xxxxx	SEHR VIEL				

Tabelle 18

Roter glimmerführender Feinsandstein:

Anmerkung: Durch eingeregelt Glimmer erscheint der Feinsandstein laminiert.

Größe 11mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					x
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ϕ 0,08mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	Idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte	x	Amphibole		Pyroxene	
Tonminerale					
Glimmer	xxx				
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	entlang d.Korngrößen	x	randlich aus d. Mitte
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
x	SEHR WENIG				
xx	WENIG				
xxx	VERBREITET				
xxxx	VIEL				
xxxxx	SEHR VIEL				

Tabelle 19

Schwach glimmer- und feldspatführender Feinsandstein:

Anmerkung: Als weitere Komponenten treten quarzische Gesteinsbruchstücke auf.

Größe 4mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad					x
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ϕ 0,16 mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	Idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte	xx	Amphibole		Pyroxene	
Tonminerale					
Glimmer	xx				
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	entlang d.Korngrößen	x	randlich aus d. Mitte
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	keine	silikatisch	karbonatisch	tonig	
x	SEHR WENIG				
xx	WENIG				
xxx	VERBREITET				
xxxx	VIEL				
xxxxx	SEHR VIEL				

Tabelle 20

Glimmerführender Feinsandstein:

Anmerkung: Weitere Komponenten sind quarzische Gesteinsbruchstücke. Von dem in Tabelle 18 dargestellten Sandstein unterscheidet sich der hier vorgestellte im wesentlichen durch seinen höheren Glimmergehalt.

Größe 3mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad				x	
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ø 0,08mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte	x	Amphibole		Pyroxene	
Tonminerale	x				
Glimmer	xxx				
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	x entlang d.Korn Grenzen	x randlich	
		Tonminerale	x direkt am Korn	aus d. Mitte	
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	x	keine	silikatisch karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 21

Schwach glimmerführender, hämatitimpregnierter Feinsandstein:

Anmerkung: In einem anderen Geröll des gleichen Typs wurden darüberhinaus noch Schwerminerale und Amphibole sowie aufgearbeitete Sandsteinbruchstücke festgestellt.

Die Hämatitimpregnierung der einzelnen Quarzkörner legt die Vermutung nahe, daß dieser Sandstein terrestrisch/fluviatil gebildet wurde.

Größe 5mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad				x	
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ø 0,06mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte	x	Amphibole		Pyroxene	x
Tonminerale	x				
Glimmer	xx				
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	x entlang d.Korn Grenzen	x randlich	
		Tonminerale	x direkt am Korn	aus d. Mitte	
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	x	keine	silikatisch karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 22

Sonstige Gerölle:

Chalzedongerölle:

Anmerkungen: Die Quarzkristalle erscheinen faserig-länglich ausgebildet und weisen schwach suturierte Korngrenzen auf.

Mögliche Herkunft: Hornsteinknollenkalke des Jura.

Größe 2,1mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad				x	
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ø -
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	xxx				
Feldspäte		Amphibole		Pyroxene	
Tonminerale					
Glimmer					
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	x entlang d.Korn Grenzen	x randlich	
		Tonminerale	x direkt am Korn	aus d. Mitte	
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	x	keine	silikatisch karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 23

Laminiertes feinkörniges Hornsteingeröll:

Anmerkungen: Durch wechselnde Korngrößen erscheint eine schwach ausgeprägte Lamination.

Mögliche Herkunft: Fleckenmergelserie und Radiolaritgesteine des Jura, Grauwackenzone.

Größe 1,8mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad				x	
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ø 0,002mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte		Amphibole		Pyroxene	
Tonminerale					
Glimmer					
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	x entlang d.Korn Grenzen	x randlich	
		Tonminerale	x direkt am Korn	aus d. Mitte	
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	x	keine	silikatisch karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 24

Massiges Hornsteingeröll:

Anmerkungen: Sehr vereinzelt treten Schwerminerale auf, von dem o.a. Geröll unterscheidet es sich auch durch die flächenhafte Auslöschung.

Mögliche Herkunft:

S. laminiertes feinkörniges Hornsteingeröll.

Größe 7,5mm	angular	subangular	subrounded	rounded	well rounded
Rundungsgrad				x	
Anzahl der Quarzkörner	<3	>3	x		Größe ø 0,007mm
Auslöschung	flächenhaft	undulös	nicht undulös		
Kornform	idiomorph	hypidiomorph	xenomorph	chert	
Kornkontakt	suturiert	konkav-konvex	Lang-Kontakt	Punkt-Kontakt	schwimmend
Schwerminerale	x				
Feldspäte		Amphibole		Pyroxene	
Tonminerale					
Glimmer					
Quarzverdrängung	durch Karbonat	x	x entlang d.Korn Grenzen	x randlich	
		Tonminerale	x direkt am Korn	aus d. Mitte	
Internstrukturen	massiv	laminiert	gradiert		
Matrix	x	keine	silikatisch karbonatisch	tonig	
X	SEHR WENIG				
XX	WENIG				
XXX	VERBREITET				
XXXX	VIEL				
XXXXX	SEHR VIEL				

Tabelle 25

Fossilfreie Mikritkalke:

Gerölle dieses Typs erscheinen in Sedimenten verschiedener Höhen des Steinernen Meeres. Sie erreichen eine Größe von bis zu mehreren Zentimetern und sind von grauer bis brauner Farbe.

Im Dünnschliff bietet sich das Bild eines mikritischen bis mikrosparitischen Kalkes, der keinerlei Gefüge oder Biogene aufweist.

Mögliche Herkunft: ?

Rekristallisierte Kalkgerölle:

Verbreitet ist diese Komponente in Sedimenten nahezu sämtlicher Höhen anzutreffen. Sie erreicht eine Größe von bis zu mehreren Zentimetern und ist von angerundeter bis gut gerundeter Kornform.

Ein sehr stark neomorph überprägtes Sparitgefüge, das gelegentlich von mikritischen bis mikrospariti-

schen Bereichen durchsetzt ist, ist mikroskopisch zu erkennen. Biogene treten in Form von rekristallisierten Bivalvenschalen auf, die aber nicht bestimmbar sind. Weitere biogene Komponenten sind nicht feststellbar.

Mögliche Herkunft: Auf Grund der Verbreiterung dürften sie dem Dachsteinkalk entstammen.

Dolomitgerölle:

Größe, Form und Rundungsgrad ist ähnlich den schon vorgestellten Gerölltypen.

Die einzelnen Dolomitkristalle sind 0,06 bis 0,08 Millimeter groß, idiomorphe bis hypidiomorphe Kornform herrscht vor. Dieses Gefüge wird von kalzitisch verheilten Klüften durchzogen, biogene Komponenten sind nicht feststellbar.

Auffällig ist eine Goethit- und/oder Hämatitimpregnation, die sowohl das Geröll randlich umschließt, als auch entlang der Korngrenzen einzelner Kristalle von außen in das Geröll eindringt. Ebenso häufig ist eine völlige Auflösung der Geröllmitte zu beobachten, so daß die Komponenten im Handstück, wie auch im Dünnschliff, hohl erscheinen.

Mögliche Herkunft: Ramsaudolomit (?)

Lokalität: Laafeld 1

Tonsteingerölle:

Diese Gerölle sind von dunkelbrauner bis hellbrauner, seltener aber auch grüner Farbe, ihre Größe beträgt bis zu zwei Zentimetern und gerundete Kornform ist verbreitet anzutreffen.

Intern ist eine feine Lamination festzustellen, die im wesentlichen durch Schwankungen in der Farbe hervorgerufen wird. Weitere Gefügemerkmale sind nicht zu beobachten, ebenso fehlen Biogene völlig.

Mögliche Herkunft: ?

Lokalität: Reinersberghöhle

Kalziteinkristalle:

In der Matrix aller Höhlensedimente finden sich verbreitet gerundete, bis zu 3 mm große Kalziteinkristalle.

Möglicherweise ist ihre Herkunft aus Klüften des Dachsteinkalkes abzuleiten, wofür zwar die allgemeine Verbreitung solcher Gerölle spricht, was aber nicht sicher nachgewiesen werden kann.

7.2.3.3.5 Höhleninterne Resedimente

Darunter werden Konglomeratkomponenten verstanden, die zum einen aus zugerundeten, in der Regel feinkörnigen, wieder aufgearbeiteten Höhlensedimenten bestehen, zum anderen aus Sintergeröllen, wie sie zum Beispiel im Scheukofen vertreten sind.

Aufgearbeitete Höhlensedimente:

Vor allem in relativ tief gelegenen Höhlen wie dem Scheukofen, Brunnloch und in der Salzgrabenhöhle sind aufgearbeitete und wieder eingesedimentierte Höhlensedimente nachzuweisen. Sie sind meist gut gerundet und erreichen Größen von bis zu mehreren Zentimetern.

In der Regel lassen sie sich schon durch ihre etwas andere Farbe nachweisen, die oft heller oder dunkler als die der umgebenden Matrix erscheint. Weiterhin ist auffällig, daß in ihnen verschiedene Komponenten sehr viel kleinerer Korngröße festzustellen sind, während die Gesamtgröße des aufgearbeiteten Höhlensedimentgerölls der der umgebenden anderen Gerölle gleicht. Unterschiede in der Matrix spiegeln sich in der Größe eingestreuter Quarzkörner, ihrem Gehalt und zum Beispiel im Auftreten bzw. nicht Auftreten von Glimmern wider (vgl. Kap. 7.2.3.3.6).

Durch das Vorkommen aufgearbeiteter Höhlensedimente werden Erosions- und Sedimentationsprozesse dokumentiert, die rein lokalen Charakter besitzen können, wie an Sedimenten aus der Salzgrabenhöhle nachzuweisen ist. Sie lassen sich nur durch die o. a. Kriterien von der umgebenden Matrix unterscheiden. Umlagerungen größeren Umfangs konnten in Sedimenten aus dem Scheukofen festgestellt werden, wo typische Höhlensedimente, wie sie in hochgelegenen Höhlen anzutreffen sind, in Form kleiner Gerölle auftreten (vgl. 7.2.3.4.1). Das Komponenteninventar dieser aufgearbeiteten Sedimentgerölle unterscheidet sich wesentlich von dem der in »tiefen Höhlen« normalerweise auftretenden Sedimente, so daß Umlagerungen innerhalb der Höhlenstockwerke stattgefunden haben müssen.

Sintergerölle:

In verfestigten Sedimenten erreichen sie Größen von bis zu mehreren Zentimetern (Scheukofen), während im nicht verfestigten Schutt Größen von bis zu 30 Zentimetern festgestellt wurden (Laafeldwandhöhle).

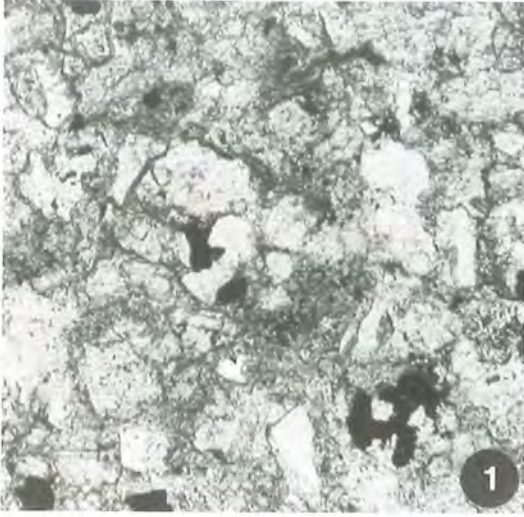
Charakteristisch ist eine radialstrahlige Anordnung verschieden großer, faserförmiger Kalzitkristalle, und oft sind Schmutzsäume in den Kristallen zu beobachten. Desgleichen erscheinen häufig Anwachsstreifen.

Durch diese Internstrukturen lassen sie sich leicht von Geröllen anderen Typs unterscheiden, ihr Vorkommen ist im wesentlichen auf die Sedimente des Scheukofens und des Brunnlochs beschränkt.

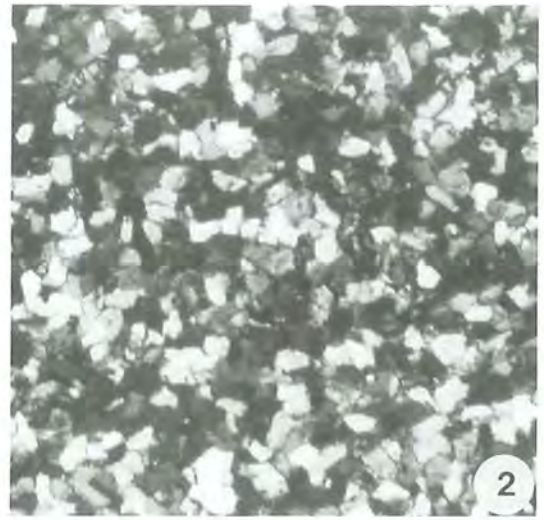
7.2.3.3.6 Matrix der verfestigten Höhlensedimente

In allen untersuchten Proben ist die hell- bis dunkelbraune, seltener graue Matrix der konglomeratischen Höhlensedimente ähnlich entwickelt. Wie Röntgenanalysen, Dünnschliffbetrachtungen und elektronenrastermikroskopische Untersuchungen ergaben, ist sie mikritisch - karbonatisch ausgebildet, mit fleckenhaftem Auftreten von mikrosparitischen Bereichen. Untergeordnet sind Sparitareale zu bemerken, die auf

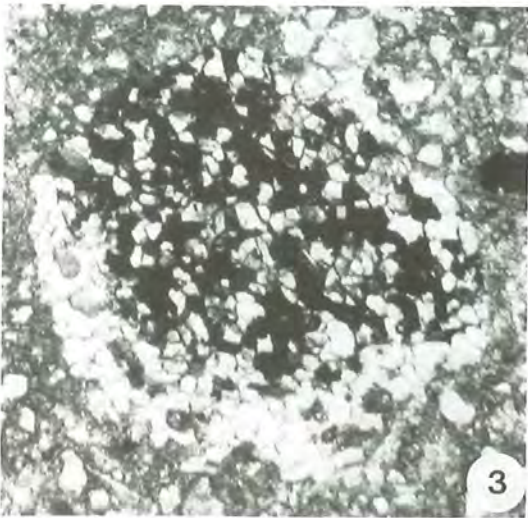
Tafel 12: Verfestigte Höhlensedimente – Komponenten



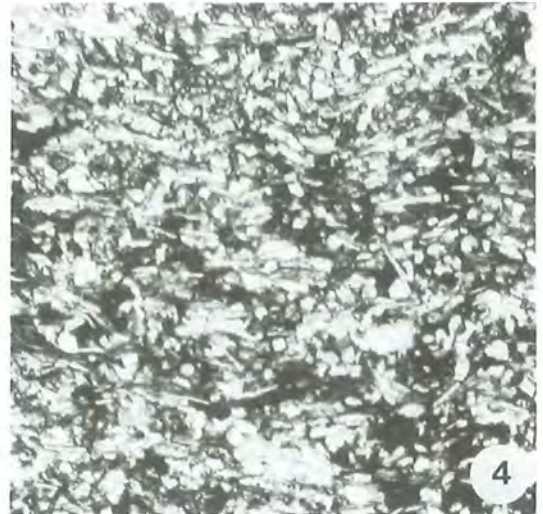
1 Karbonatisch zementierter Feinsandstein mit partieller Hämatit- und/oder Goethitimprägung.
Vergrößerung 160x, Nicols parallel
Lokalität: 26, Höhle am Moosensteig, Steinernes Meer.



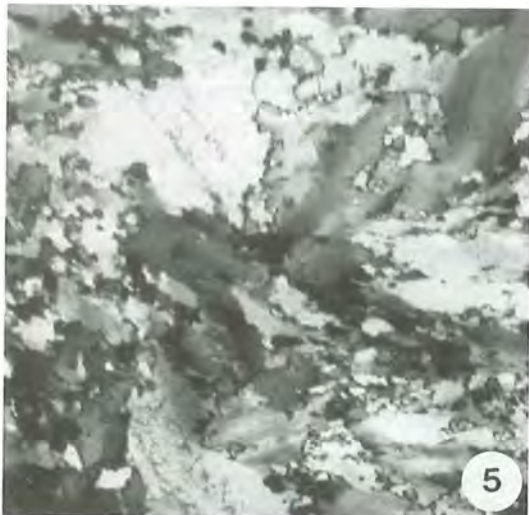
2 Sillikatisch zementierter, schwach glimmer- und feldspatführender Feinsandstein.
Vergrößerung 40x, Nicols gekreuzt.
Lokalität: 14/3, Laafeld 1, Hagengebirge.



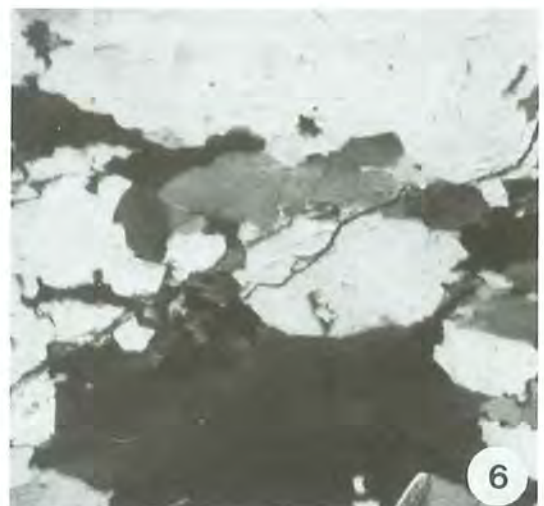
3 Schwach glimmerführender Feinsandstein, in dem die Quarze sehr deutlich von Hämatit und/oder Goethit verdrängt werden.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel
Lokalität: 14/4, Laafeld 1, Hagengebirge.



4 Teilweise karbonatisch zementierter, glimmerreicher Feinsandstein, in dem die Glimmer eingeregelt erscheinen, daneben treten Gesteinsbruchstücke auf.
Vergrößerung 40x, Nicols parallel
Lokalität: 14/4, Laafeld 1, Hagengebirge.



5 Stark suturiertes, polykristallines Quarzaggregat.
Vergrößerung 40x, Nicols gekreuzt
Lokalität: 38/1, Sinterdeckenhöhle, Steinernes Meer.



6 Schwach suturiertes, polykristallines Quarzaggregat.
Vergrößerung 40x, Nicols gekreuzt
Lokalität: 38/1, Sinterdeckenhöhle, Steinernes Meer.

eine schwach ausgeprägte Sammelkristallisation zurückzuführen sind.

Häufig erscheint die Matrix durch fein verteilte, tonige Partikel verunreinigt, eine flächenhaft auftretende intensive Braunfärbung wird auf Goethit zurückgeführt.

Für die in einigen Proben (Laafeld 1, Höhlenruine von Bergwachthütte) auffallende Glimmerführung werden ebenfalls Verdrängungserscheinungen verantwortlich gemacht, da sie immer mit extrem ausgeprägten Anlösungserscheinungen an glimmerführenden Sandsteinen verbunden sind. In Sedimenten, in denen keine Sandsteine im Komponenteninventar vertreten sind (Bsp.: Salzgrabenhöhle), erscheinen gleichfalls keine Glimmer in der Matrix.

Authigene Mineralneubildungen wurden lediglich in tonig-lehmigen Sedimenten einer Lokalität (Spindelhöhle) beobachtet, wo bis zu drei Zentimeter große Gipskristallneubildungen aufgefunden wurden.

7.2.3.3.7 Abschließende Betrachtungen zu den qualitativen Untersuchungen der verfestigten Höhlensedimente

Wie im vorhergehenden einzeln dargestellt, besteht das Komponenteninventar der verfestigten Höhlensedimente aus Geröllen verschiedenster Herkunft. Es treten Gerölle aus kalkalpinen Material neben tertiären Verwitterungsprodukten sowie Fernschottern auf, deren anstehende Ausgangsgesteine im zentral-alpinen Bereich zu suchen sind. Höhleninterne Resedimente runden das Geröllspektrum ab.

Die Gesteine, aus denen die kalkalpinen Gerölle bestehen, sind anstehend im Steinernen Meer oder im Hagengebirge zu finden, was ihre lokale Natur innerhalb des Komponentenspektrums beweist. Dachsteinkalkgerölle spielen dabei die beherrschende Rolle, was zu erwarten war, da der Dachsteinkalk in aller Regel auch das Höhlenmuttergestein bildet.

Gerölle, wie sie etwa von TRAUB (1948), HAGN (1971, 1972, 1983) und HAGN u. MOUSSAVIAN (1980) beschrieben werden - im wesentlichen handelt es sich dabei um Gosau-, Paläozän- und Eozän-gerölle mit entsprechender Fauna - konnten in den Höhlensedimenten nicht nachgewiesen werden; hieraus läßt sich möglicherweise schon eine sehr stark in Einzelbereiche zergliederte Entwicklung der Nördlichen Kalkalpen im Jungtertiär ableiten, was noch intensiverer Untersuchungen bedarf.

Dagegen sind die Befunde aus den Höhlensedimenten in Bezug auf die Augensteine (insbesondere die Quarzgerölle) sehr gut mit Untersuchungen aus der Molasse zu vergleichen (vgl. Kap. 1.3 ff.). Bemerkenswert erscheint das Auftreten verschiedener Sandsteine, die vergleichbar oder ähnlich ausgebildet erscheinen wie die von FÜCHTBAUER (1967) aus der Molasse beschriebenen Sandsteine.

Schwarze Dolomite (i. S. v. SCHIEMENZ 1960) konnten nicht aufgefunden werden.

Inneralpine Verwitterungsprodukte des Tertiärs und der Kreide (Bohnerze und Bauxite) können vor allem in Proben mehrerer hochgelegener Lokalitäten nachgewiesen werden, ihre flächenhafte Ausbreitung im Hagengebirge und im Steinernen Meer während des Tertiärs ist somit wahrscheinlich.

In einigen Lokalitäten konnten Sedimentumlagerungen nachgewiesen werden, sowohl höhleninterner Art wie auch von hochgelegenen in tiefergelegene Höhlen. Sie beschränken sich jedoch auf einzelne Lokalitäten, keinesfalls sind sie in größerem Umfang festzustellen.

Während der Durchführung der qualitativen Untersuchungen fiel auf, daß in Abhängigkeit von der Höhenlage verschiedene Komponenten das Geröllspektrum beherrschen. Quarze und Sandsteine erscheinen verbreitet in Höhlen großer Höhenlage, während Dachsteinkalkgerölle in den tiefer gelegenen Höhlen dominieren. Da diese Beobachtungen in Bezug auf die Klärung der Frage nach der Genese der Verebnungsflächen von großer Bedeutung sind (vgl. Kap. 3), wurde eine quantitative Auswertung des Geröllspektrums vorgenommen, was im folgenden dargestellt wird.

7.2.3.4 Quantitative Untersuchungen

Im Rahmen der quantitativen Untersuchungen sollen, basierend auf den durchgeführten und dargestellten qualitativen Untersuchungen, die in Kapitel 7.2.2.1 vorgestellten und diskutierten Ergebnisse weiter verifiziert werden. Dies soll zum einen, das Geröllspektrum betreffend, mit Hilfe der Point-counter-Methode geschehen, zum anderen wird die Matrix verfestigter Höhlensedimente auf ihren Schwermineralgehalt hin untersucht.

7.2.3.4.1 Untersuchung verfestigter Höhlensedimente mittels der Point-counter-Methode

Mit der Point-counter-Methode werden Dünnschliffe, die in einen beweglichen Schlitten eingelegt sind, in einem exakt definierten Raster unter dem Fadenkreuz eines Polarisationsmikroskops schrittweise hindurchgeführt. Dabei werden die im Fadenkreuz auftauchenden Komponenten oder die Matrix zwischen den Komponenten optisch bestimmt und in eine Liste eingetragen, die auf den Ergebnissen der qualitativen Untersuchung beruht.

Um den Zeitaufwand zu begrenzen, wurden für diese Untersuchungen Proben ausgewählt, die, unter Beachtung der in Kapitel 7.2.2.1 dargestellten Ergebnisse und den qualitativen Untersuchungen, als charakteristisch für die Sedimente eines Höhlenstockwerkes gelten können.

Stellvertretend für die Sedimente aus Höhlen, die in Verbindung mit dem Hochkönigniveau zu bringen sind, wurden Proben aus der Höhlenruine ESE Kahlersberg, der Achselhornhöhle, der Reinersberghöhle und der Sinterdeckenhöhle untersucht. Hö-

lensedimente, die in Zusammenhang mit der Ausbildung des Tennenniveaus stehen, wurden aus der Lindwurmhöhle, Höhle in der Schreck 2 und den Fagsteinlöchern ausgewertet. Für das Gotzenniveau wurden Proben aus der Halbhöhle im oberen Stiergraben, der Labyrinth-Höhle und der Klufthöhle im Regenbergl ausgewählt. Die tieferen Höhlen sind mit Proben aus dem Scheukofen, dem Brunnloch und der Salzgrabenhöhle vertreten.

Ausgezählt wurden 600 bis 900 Punkte pro Dünnschliff, woraus sich ein absoluter Fehler von 3 - 4 % bei 600 ausgezählten Punkten und 2 - 3 % bei 900 Punkten ableiten läßt.

In der Urliste wurde unterschieden zwischen Quarzeinkristallen, polykristallinen Quarzaggregaten (Mosaik, suturiert, verzahnt), Hornsteinen, Sandsteinen mit Feldspat, Sandsteinen ohne Feldspat, Tonsteinen, Dachsteinkalken, Roten Liaskalken, Dolomiten, rekristallisierten Kalkkomponenten, opaken Komponenten, Resedimenten, Chalzedonen, Glimmerschiefern, sauren Plutoniten, Exoten, Kalziteinkristallen, Feldspäten, Glimmern, Schwermineralen und der Matrix.

Infolge dieser differenzierten Auszählung ergaben sich des öfteren Prozentanteile der einzelnen Komponenten < 3 % und der Minerale < 1 %, so daß für die Auswertung aggregiert wurde zu Quarzeinkristallen, polykristallinen Quarzen, Opaken, Hornsteinen, Sandsteinen, Dachsteinkalken und rekristallisierten Komponenten, Resedimenten und der Matrix.

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Abbildung 16 dargestellt. Auf der Abszisse sind die Gehalte der einzelnen Komponenten in Kornprozent in logarithmischem Maßstab aufgetragen, um kleinere Prozentanteile besser sichtbar zu machen. Auf der Ordinate sind für jede Komponentengruppe jeweils Hochkönigsniveau, Tennenniveau, Gotzenniveau und tiefe Höhlen angegeben, womit die Altlandschaft gemeint ist, mit der sich die jeweiligen Lokalitäten in Verbindung bringen lassen.

Dabei fällt auf, daß die Quarzeinkristalle, polykristallinen Quarze, Opake, Hornsteine und Sandsteine von Anteilen um 20 % in Sedimenten des Hochkönigsniveaus auf Gehalte um 1 % in den tiefen Höhlen zurückgehen. Gleichzeitig steigt der Anteil der Dachsteinkalkkomponenten von Werten um 20 % auf Werte von 30 % bis 90 % in den tiefen Höhlen. Der Anteil der Resedimente liegt um 10 % mit Ausnahme des Scheukofens (40 %), während die Matrix mit Gehalten um 20 % bis 40 % schwankt.

Somit ist eindeutig nachgewiesen, daß in Höhlen verschiedener Höhenlagen, die mit den Verebnungsflächen in Verbindung zu bringen sind, unterschiedliche Höhlensedimente in Bezug auf das Komponenteninventar anzutreffen sind.

7.2.3.4.2 Schwermineralanalyse

Die Probenaufbereitung erfolgte so, daß mit Schwermineralvergesellschaftungen die Matrix der verfestigten Höhlensedimente charakterisiert werden kann, d. h. es wurden nur Matrixbruchstücke aufgelöst, in denen makroskopisch keine Geröllkomponenten festgestellt wurden. Die Auflösung wurde mittels zehnpromzentiger Essigsäure durchgeführt, um Apatit zu erhalten (vgl. dazu GASSER 1967 und BOENIGK 1983). Nach der Siebung wurde die Fraktion zwischen 0,063 mm und 0,2 mm getrocknet und eine Stunde in Bromoform (Dichte 2,89) unter mehrmaligem Umrühren gefällt. Von der schweren Fraktion wurde der ferromagnetische Anteil abgetrennt und der verbleibende Rest in Caedax eingebettet auf Objektträger aufgebracht. Auf diese Weise wurden Schwermineralpräparate von sämtlichen verfestigten Höhlensedimenten angefertigt.

Optisch bestimmt und ausgezählt wurden 300 Körner pro Präparat. Daraus resultierende Fehler sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen, die Fehlerberechnung erfolgte nach BOENIGK (1983).

$$V = Z \sqrt{\frac{p \cdot q}{u}} \quad V = \text{mögliche Abweichung des tatsächlichen Wertes vom Zählergebnis.}$$

Z = Faktor, der davon abhängig ist, wieviel % der untersuchten Proben innerhalb der angegebenen Abweichung V liegen (Wahrscheinlichkeit).

p = Prozentsatz eines Minerals X in einem Spektrum.

q = (100-p) = Prozentsatz des Spektrumanteils, der nicht Mineral X ist.

u = Anzahl der gezählten Körner.

Anzahl der gezählten Körner: 300.

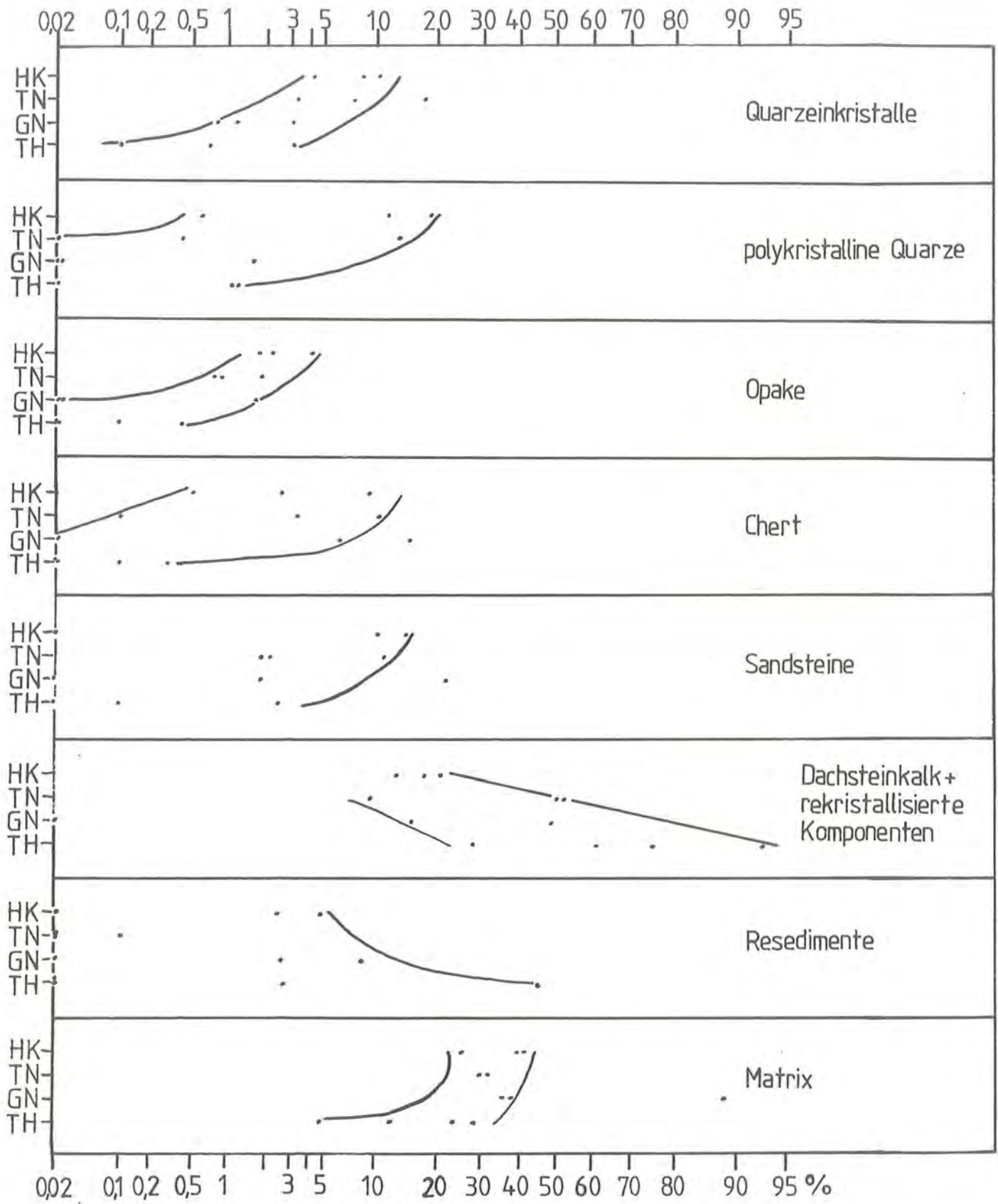
Relativer Anteil einer Mineralart in % im Korngemisch.

Relativer Anteil	Mögliche Abweichung in % bei Wahrscheinlichkeit:	
	95 %	90,1 %
5 %	2,5	2,1
10 %	3,5	2,9
20 %	4,6	3,8
30 %	5,3	4,4
40 %	5,7	4,7
50 %	5,8	4,8
60 %	5,7	4,7
80 %	4,6	3,8

Tabelle 26:

Möglicher Fehler in % bei einem gegebenen relativen Anteil einer Schwermineralart in % innerhalb des Schwermineralspektrums.

Das ausgewertete Schwermineralspektrum umfaßt die Minerale Opake, Staurolith, Epidot, Hornblende,



HK Hochkönigniveau
 TN Tennenniveau
 GN Gotzenniveau
 TH Tiefe Höhlen

Abbildung 16:
 Die Ergebnisse der Point-counter-Untersuchungen an verfestigten Höhlensedimenten.

Apatit, Granat und Glimmer sowie Zirkon, Rutil und Turmalin, die in Abbildung 17 unter »Stabile« zusammengefaßt werden. Dieses Spektrum deckt sich sehr gut mit den von FÜCHTBAUER (1967) in Sandsteinen der Molasse gemachten Beobachtungen, so daß angenommen werden muß, daß die Schwerminerale vorwiegend aus den in verfestigten Höhlensedimenten aufgefundenen und beschriebenen Sandsteinen entstammen, was durch die bemerkten Anlösungs- und Auflösungserscheinungen unterstützt wird.

Die mögliche Herkunft, Verwitterungs- und Transportresistenz der Schwerminerale ist der Tabelle 27 zu entnehmen (vgl. dazu auch WOLETZ 1967, FÜCHTBAUER 1964 u. 1967 sowie die Verwitterung betreffend, insbesondere bei Epidot und Hornblende, FRIIS 1974).

Dolomitmörner wurden im Schwermineralspektrum belassen und mit ausgezählt, da, wie Voruntersuchungen ergaben, der Dolomitgehalt direkt mit dem Gehalt an Dachsteinkalkgeröllen in den verfestigten Höhlensedimenten korrelierbar ist. Niedere Dolomitwerte entsprechen geringem Gehalt an Dachsteinkalkkomponenten in den Sedimenten, was bedeutet, daß das Höhlensediment nur wenig durch lokale Komponenten beeinflusst ist, während hohe Dolomitgehalte (70 % - 90 %) einem Konglomerat zugeordnet werden können, das nahezu ausschließlich aus lokalen Dachsteinkalkgeröllen besteht. Es läßt sich also aus dem Dolomitgehalt innerhalb des Schwermineralspektrums ein direktes Maß für die Beeinflussung des Höhlensediments durch lokale Komponenten ableiten, was sehr gut mit den in Kapitel 7.2.3.4.1 beschriebenen Ergebnissen zu parallelisieren ist, wo nachgewiesen werden konnte, daß der Anteil an Dachsteinkalkgeröllen mit abnehmender Höhenlage der Höhlen zunimmt.

Mögliche Herkunft, Verwitterungs- und Transportresistenz der bestimmten Schwerminerale (nach BOENIGK 1983 u. TRÖGER 1969):

Dolomit: Aus Karbonatgesteinen und authigen.
Verw.: durch saure CO₂-reiche Wässer leicht lösbar.
Transp.: nicht sehr widerstandsfähig.

Opake Minerale: Minerale die im Streupräparat unter Durchlicht schwarz erscheinen und deren optische Bestimmung dadurch nicht möglich ist.

Zirkon: Aus sauren und intermediären Magmatiten, älteren Sedimentgesteinen. Verw. u. Transp.: extrem stabil.

Rutil: Aus metamorphen Gesteinen. Verw. u. Transp.: sehr stabil.

Turmalin: Aus der pegmatitisch-pneumatolytischen Phase saurer Tiefen- und Ganggesteine und als Kontaktmineral, sekundär als Umlagerungsprodukt aus Sedimenten und Metamorphiten. Verw. u. Transp.: extrem stabil.

Staurolith: Aus Gesteinen der mesozonalen Regionalmetamorphose, umgelagert aus älteren Sedimenten. Verw. u. Transp.: stabil.

Epidot: Mittelthermal in Kontakt- und Regionalmetamorphose und durch Saussuritisierung entstanden. Verw. u. Transp.: stabil.

Hornblende: Grüne und braune Hbl.: Basische bis intermediäre Magmatite, Foyaite und ähnliche Ganggesteine, Meso- und Katazone der Regionalmetamorphose. Verw.: Sehr empfindlich, besonders im Bereich der Bodenbildung im Grundwasserschwankungsbereich.

Transp.: gute Rundung nur durch langen Transport.

Apatit: Aus fast allen magmatischen Gesteinen, auch pneumatolytisch bis hydrothermal und authigen in Sedimenten. Verw.: leicht verwitterbar.

Transp.: wird leicht gerundet.

Granat: Aus kristallinen Schiefen der Meso- und Katazone, daneben als Kontaktmineral in Karbonatgesteinen (Grossular, Andradit).

Verw.: leicht verwitterbar, die Auflösung geht über charakteristische Lösungsgruben bis hin zu Skelettformen und zur völligen Ausmerzung des Granat. Die Auflösung erfolgt im schwach sauren oxidierenden Milieu, so daß die Bodenbildung und der Bereich über dem Grundwasserspiegel bevorzugte Bereiche sind, in denen der Granat weggelöst wird.

Transp.: mechanisch sehr widerstandsfähig.

Glimmer: Blättchenartige Silikate: Paragonit, Muskovit, Phlogopit, Biotit, Lepidolith, Zinnwaldit. Aus Glimmerschiefern der Regionalmetamorphose, magmatisch. Verw.: mäßig stabil - stabil. Transp.: ausgeprägte Spaltbarkeit, wird trotzdem gut transportiert, da aufgrund der Form leicht schweben möglich ist.

Tabelle 27

Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Schwermineralanalyse wird in Abbildung 17 gegeben, wobei die Zuordnung der einzelnen Proben gemäß dem SEEFELDNERSchen Konzept der mehrphasigen Landschaftsentwicklung in Verbindung mit den festgestellten Höhlenstockwerken (vgl. Kap. 4.4) erfolgte.

Lediglich um die einzelnen Minimal- und Maximalwerte reduziert, die als Ausreißer interpretiert werden, ist die gesamte festgestellte Bandbreite eines Schwerminerals innerhalb der Sedimente wiedergegeben, die mit einem der Landschaftsentwicklungsniveaus in Verbindung zu bringen sind.

Dabei fällt auf, daß jedem Niveau eine charakteristische Schwermineralvergesellschaftung zugeordnet werden kann.

Höhlensedimente des Hochkönigniveaus sind gekennzeichnet durch hohe Gehalte an opaken Mineralen (nicht unter 30 %) und vergleichsweise hohe Gehalte an Apatit (bis zu 20 %) und an Granat. Dolomit ist nur in geringem Umfang vertreten.

In Sedimenten des Tennenniveaus erscheinen geringfügig höhere Dolomitgehalte, während gleichzeitig die Werte von Apatit und Granat zurückgehen.

Diese Tendenz ist in Sedimenten des Gotzenniveaus weiter zu beobachten, wo auch die sonstigen Minerale (Staurolith, Epidot, Hornblende und Glimmer) auf ihr Minimum absinken.

Neben einem dominierenden Anteil von Dolomit ist in den tiefen Höhlen zu beobachten, daß verbreitet ein schwaches Ansteigen der übrigen Minerale zu verzeichnen ist, was mit Umlagerungen im untersuchten Korngrößenbereich von hochgelegenen Höhlen in tiefere zu erklären ist.

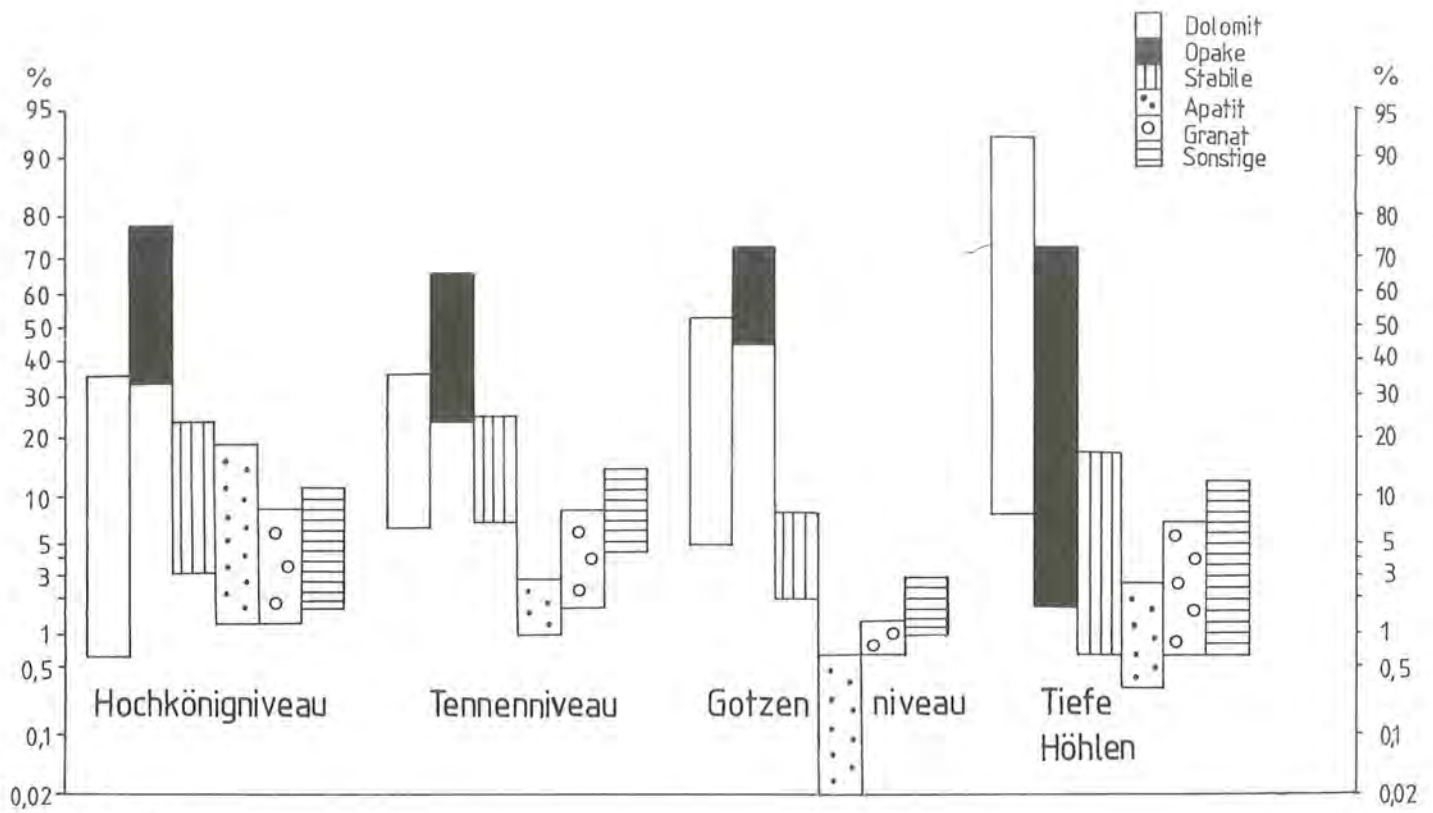
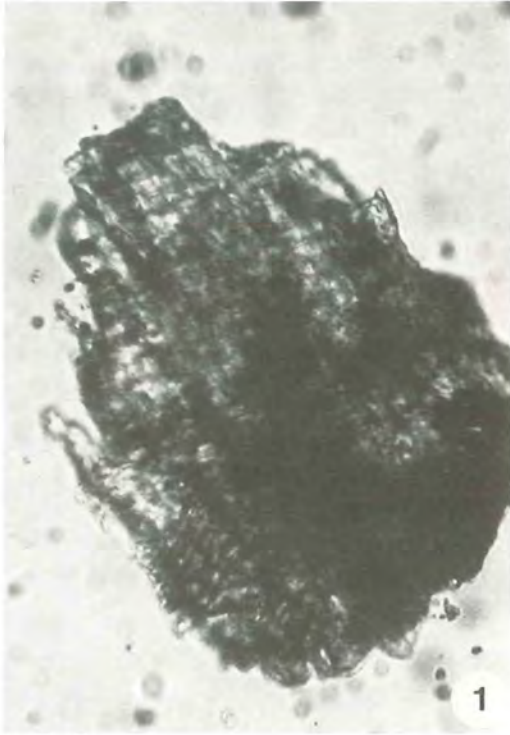


Abbildung 17:
Die Ergebnisse der Schwermineralanalyse

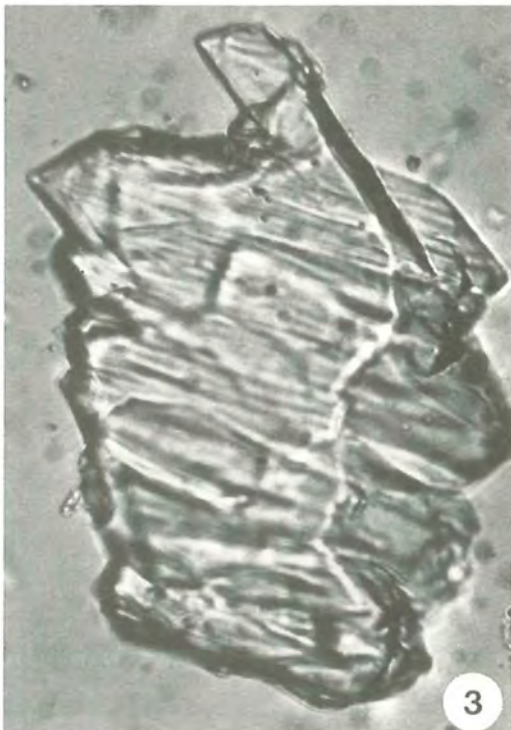
Abschließend bleibt festzustellen, daß die in der Matrix der verschiedenen Höhlensedimente auftretenden Schwermineralvergesellschaftungen in Abhängigkeit von den Landschaftsentwicklungsniveaus typische Unterschiede aufweisen, die nach dem Konzept der einphasigen Landschaftsentwicklung nicht hätten auftreten dürfen. Es ist in den Ergebnissen dieser Untersuchung somit eine weitere Bestätigung des Konzepts der mehrphasigen Landschaftsentwicklung im Sinne SEEFELDNERS zu sehen.



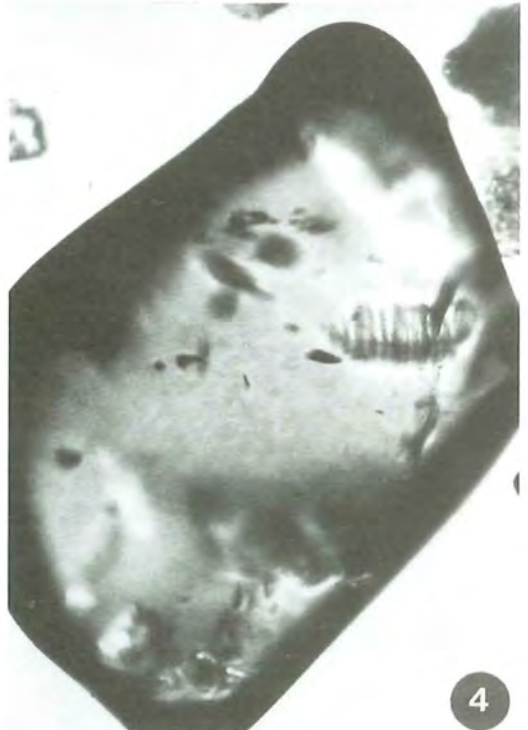
1 Apatit
Vergrößerung 470x.
Lokalität: 25, Plymouth Cave, Hagengebirge.



2 Turmalin
Vergrößerung 470x.
Lokalität: 37/5, Rotwandhöhle, Steinernes Meer.

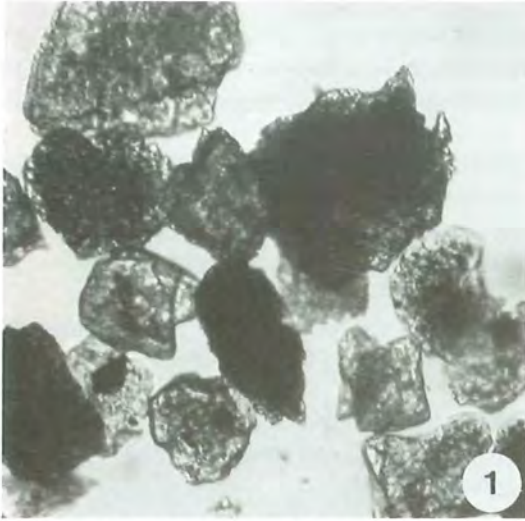


3 Epidot
Vergrößerung 470x.
Lokalität: 38/1, Sinterdeckenhöhle, Steinernes Meer.

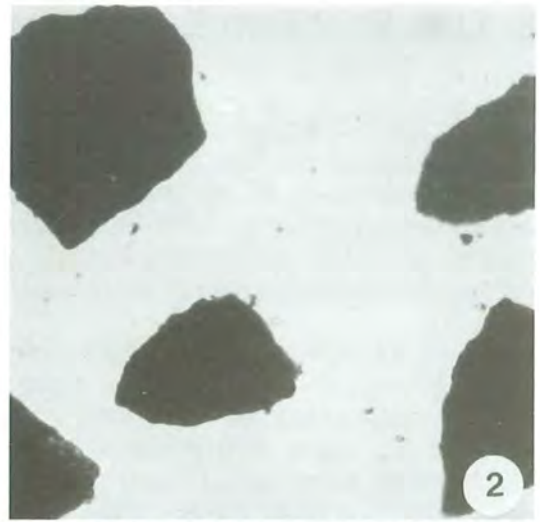


4 Granat mit charakteristischen Ätzfiguren.
Vergrößerungen 180x.
Lokalität: 27/17, Salzgrabenhöhle, Steinernes Meer.

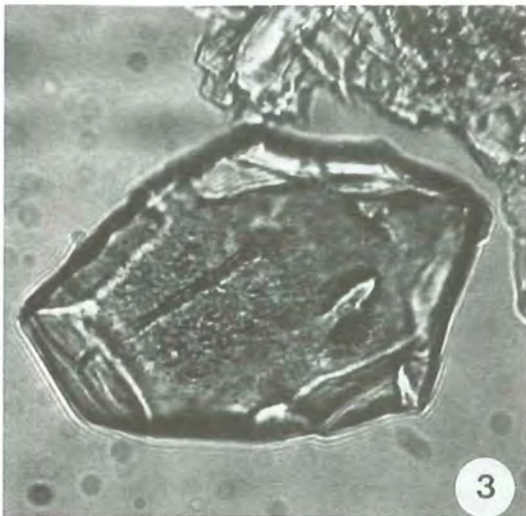
Tafel 14: Schwerminerale



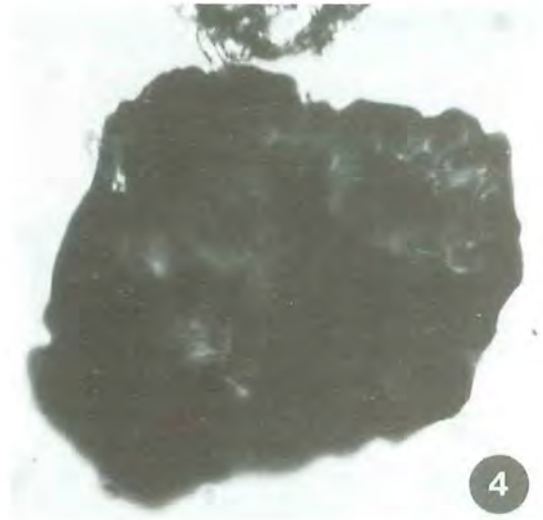
1 Dolomit, teilweise mit Hämatit (?) imprägniert.
Vergrößerung 180x.
Lokalität: 3, Labyrinth - Höhle, Hagengebirge.



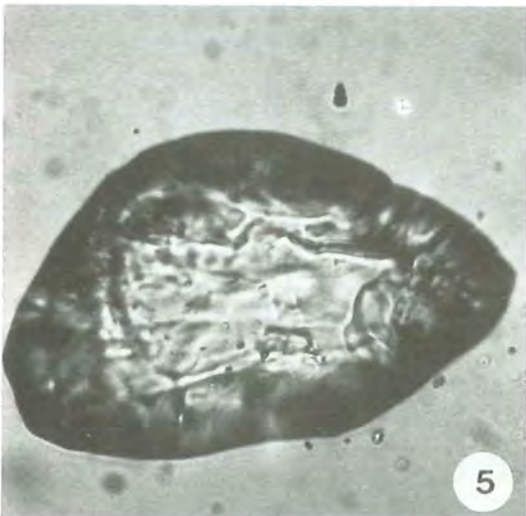
2 Opake Minerale, vorwiegend Hämatit und Goethit, seltener Magnetit.
Vergrößerung 180x.
Lokalität: 3, Labyrinth - Höhle, Hagengebirge.



3 Rutil
Vergrößerung 470x.
Lokalität: 2/3, Bärenhöhle, Hagengebirge.



4 Hornblende
Vergrößerung 470x.
Lokalität: 38/1, Sinterdeckenhöhle, Steinernes Meer.



5 Zirkon
Vergrößerung 470x.
Lokalität: 38/1, Sinterdeckenhöhle, Steinernes Meer.



6 Glimmer (Muscovit)
Vergrößerung 180x, Nicols gekreuzt.
Lokalität: 38/1, Sinterdeckenhöhle, Steinernes Meer.

8 Das Problem Salzgrabenhöhle

Das Problem Salzgrabenhöhle kann mit wenigen Worten umrissen werden: Wie aus Abbildung 8, Kapitel 4.4, hervorgeht, ist die Salzgrabenhöhle nicht in den vorherrschenden örtlichen Rahmen in Bezug auf Höhenlage und Ganglänge einzupassen. Sie läßt sich keinem der festgestellten Höhlenniveaus zuordnen.

Somit wäre für die Salzgrabenhöhle eine Einbindung in eine tektonisch vorgezeichnete Anlage zu vermuten. Um dies zu überprüfen, wurde eine Luftbildauswertung für einen Teilbereich des Simetsberges durchgeführt sowie eine Lineamentauswertung des Höhlenplans vorgenommen. Kluftrmessungen von der Oberfläche des Simetsberges liefern weitere tektonische Daten, die mittels einer Faktorenanalyse detailliert ausgewertet wurden.

In Abbildung 18 ist die vereinfachte Topographie des Simetsberges dargestellt wie auch der Eingang der Salzgrabenhöhle und weitere geographische Bezugspunkte vermerkt sind.

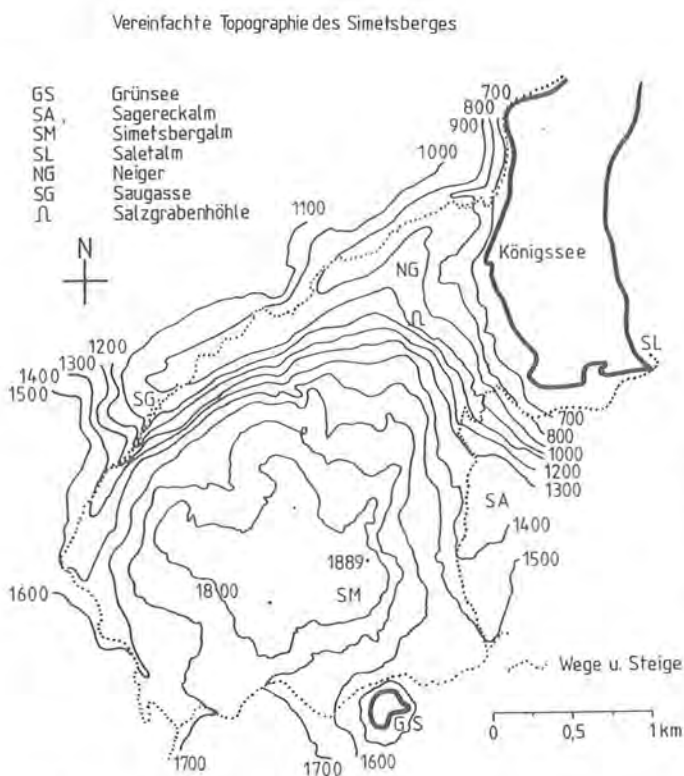


Abbildung 18:
Vereinfachte Topographie des Simetsberges

8.1 Vergleich: Luftbildauswertung – Höhlenplanlineationen – Kluftrmessungen

8.1.1. Die Hauptlineationsrichtungen

Aufgrund der regionalen tektonischen Verhältnisse können vier Hauptrichtungen unterschieden werden, die auf tektonische Anlagen zurückzuführen sind.

Es sind dies die:

»Königssee-Richtung«	21 - 40°
»Obersee-Richtung«	111 - 130°
»Schrainbach-Richtung«	51 - 70°
»Kleine Saugassen-Richtung«	141 - 160°

Von BODECHTEL et al. (1984) wurde das Gebiet westlich des Königssees einer eingehenden tektonischen Analyse unterzogen, deren Ergebnisse im folgenden stichwortartig zusammengefaßt sind:

- Ältestes Ereignis: Dehnung in 110°, frühe Anlage der Königssee parallelen Strukturen.
- Liassische Beckenachsen, die etwa 130° streichen, erzeugen eine Beanspruchung in 40°, früh jungkimmerisch.
- Einengung in 150°, Anlage der Eisgrabenstruktur und parallel streichender Störungen im Gesamtgebiet, jungkimmerisch, vorgosauisch.
- Nachgosauisch: 1) Ost-West - Einengung
2) Kompression in 20°, erzeugt Linneamente in 110°.
- Durch Rotation des Streßfeldes im Anschluß an den Deckentransport entsteht Einengung in 140°, die nachgosauischen Spuren der Ost-West - Einengung werden als sinistrale Blattverschiebungen reaktiviert.
- Hebung des Alpenkörpers, zwei Phasen:
älter: Dehnung in 110°: Reaktivierung der altkimmerischen Strukturen, somit u. a. Ausbildung des Königssee - Grabens.
jünger: Dehnung in 20°: Abschiebungen und Gräben der Nordabdachung des Steinernen Meeres, Ausbildung von Obersee- und Funtenseegraben.

Damit sind die lokal auftretenden tektonischen Phänomene in ihrer Entstehung und den Altersbeziehungen zueinander eindeutig beschrieben.

In der Reinersberghöhle, die in ihrer Anlage tektonischen Vorzeichnungen der »Königssee-Richtung« folgt und die genetisch mit dem Hochkönigniveau in Verbindung zu bringen ist, ist zu beobachten, daß die zwei Hälften eines phreatischen Deckenkolkes versetzt worden sind (vgl. Abb. 5, Taf. 6, Kap. 6). Damit ist nachgewiesen, daß nach der Ausbildung des Hochkönigniveaus tektonische Verstellungen stattgefunden haben.

8.1.2 Luftbildauswertung

Ausgewertet wurden alle erkennbaren Lineationen, unabhängig davon, ob sie auf Klüfte, Störungen oder Karstlineationen zurückzuführen sind.

Abbildung 19 zeigt den Bereich der Luftbildauswertung, die Erstreckung der Salzgrabenhöhle sowie die lokalen Hauptlineationsrichtungen.

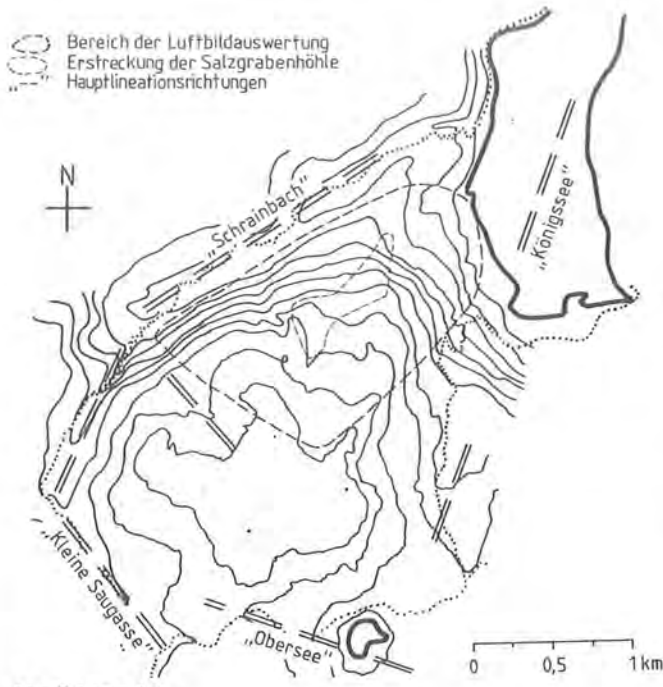


Abbildung 19

In Abbildung 20 sind die ausgewerteten Lineationen gemäß ihrer Länge und Richtung aufgetragen. Dabei fällt auf, daß eine Nord-Süd - Richtung dominiert. Die »Königssee-Richtung« erscheint daran angehängt, ohne eine eigenes Maximum auszubilden. Die »Schrainbach-Richtung« bildet ein erkennbares Maximum, während die »Obersee-Richtung« überhaupt nicht in Erscheinung tritt. Die »Kleine Saugassen - Richtung« hängt wieder der Nord-Süd - Richtung an, ist aber in sich deutlich ausgeprägt.

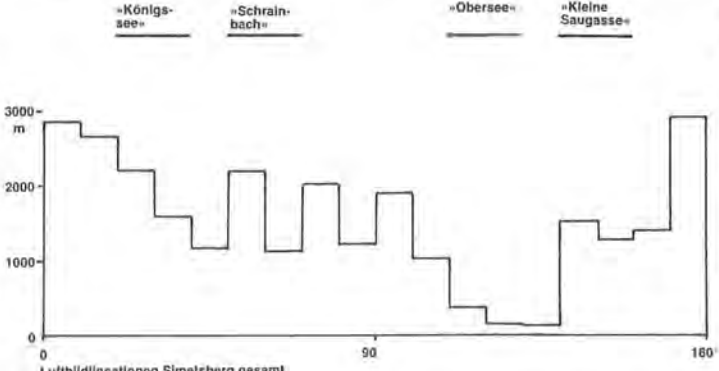


Abbildung 20: Histogramm der Luftbildlineationen (162 Werte)

Es ist also festzustellen, daß in der Luftbildauswertung eine Nord-Süd - Richtung dominiert und daß mit Ausnahme der »Obersee-Richtung« alle anderen erkennbare Maxima bilden.

8.1.3 Höhlenplanlineationen

Die Grundlage für diese Auswertung war ein Höhlenplan des Maßstabes 1:1000 von W. LINDTNER und F. DIETERICH. In verkleinerter Form ist er im SALZBURGER HÖHLENBUCH, Bd. 2, dargestellt.

Die Auswertung erfolgte dabei nach Lineationen analog zur Luftbildauswertung. Dabei wurden durch sämtliche Gangstrecken Geraden gelegt und diese dann nach Richtung und Länge ausgezählt. Das Er-

gebnis ist in Form eines Histogramms in Abbildung 21 dargestellt.

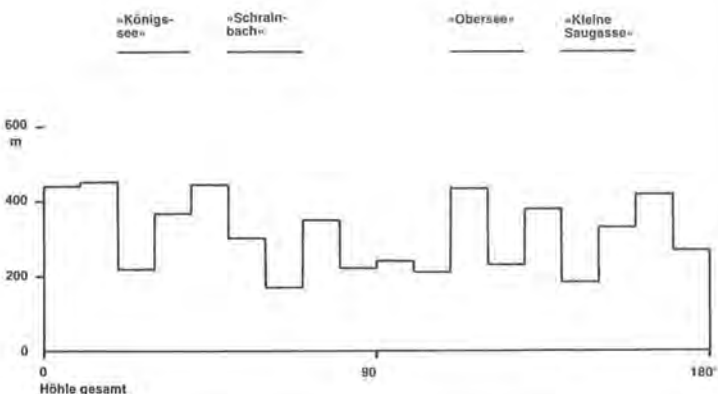


Abbildung 21: Lineamentauswertung des Höhlenplans der Salzgrabenhöhle (376 Werte)

Wie auch in der Luftbildauswertung dominiert in diesem Histogramm eine Nord-Süd - Richtung. »Königssee- und kleine Saugassen-Richtung« sind daran angehängt, bilden aber deutlichere Maxima aus. Im Gegensatz zur Luftbildauswertung tritt die »Schrainbach-Richtung« nicht so stark hervor, dagegen erscheint die »Obersee-Richtung« ausgeprägter.

In Abbildung 22 sind die ausgewerteten Höhlenplanlineationen nach Länge, Richtung und Häufigkeit aufgeschlüsselt. Daraus ergibt sich, daß die lokal vorherrschenden tektonischen Richtung auch die längsten gemessenen Lineationen im Höhlenplan stellen. Die Nord-Süd - Richtung dagegen, die in der Gesamtauswertung dominiert, tritt mit zunehmender Länge der Lineationen immer mehr in den Hintergrund, was auch mit an der Landschaftsoberfläche zu beobachtenden Verhältnisse übereinstimmt.

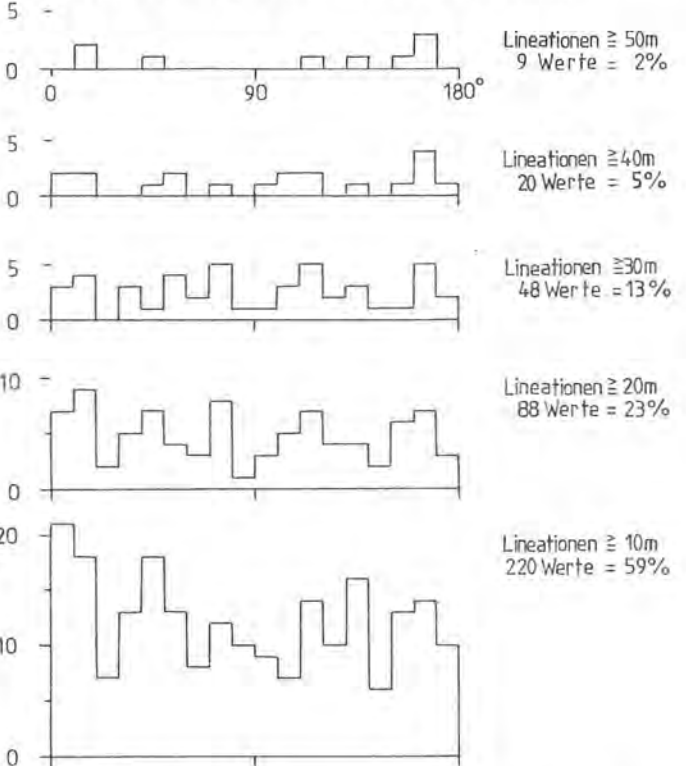


Abbildung 22: Höhlenplanlineationen, aufgeschlüsselt nach Häufigkeit, Länge und Richtung.

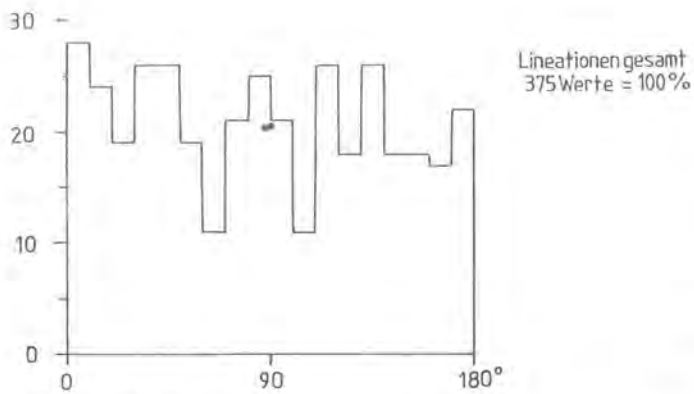


Abbildung 22:
Höhlenplanlineationen, aufgeschlüsselt nach Häufigkeit, Länge und Richtung.

8.1.4 Kluftrmessungen

An der Oberfläche des Simetsberges wurden an verschiedenen Punkten Kluftrmessungen durchgeführt. Pro Meßpunkt wurden dabei im Durchschnitt 50 Klüfte erfaßt. Die Lage der einzelnen Meßpunkte ist der Abbildung 23 zu entnehmen.

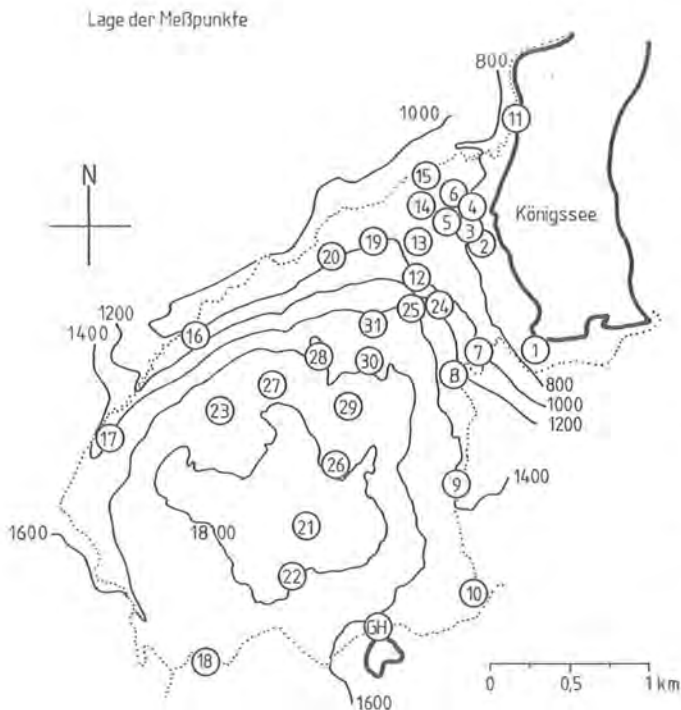


Abbildung 23:
Lage der Meßpunkte

Die Ergebnisse der Kluftrmessungen sind in Form von Kluftrrosen in Abbildung 24 dargestellt.

In den Kluftrrosen dominieren überwiegend die vier Hauptlineationsrichtungen. Die bei der Luftbildauswertung und bei der Auswertung des Höhlenplans aufgetretene Nord-Süd - Richtung erscheint nur in den Meßpunkten 1, 2 und 17 beherrschend. Sie ist in den übrigen Kluftrrosen zwar oft vertreten, spielt aber nur eine untergeordnete Rolle.

8.1.5 Diskussion der bisher erzielten Ergebnisse

In Arbeiten mehrerer Autoren (ARNBERGER 1953, TRIMMEL 1957) wird der Zusammenhang zwischen Tektonik und Höhlenbildung diskutiert bzw. nachgewiesen (EBHARDT u. MEIBURG 1979, VOLK 1982). Dabei konnten entweder durch den Vergleich von Kluftrrosen und Lineamenten oder aber durch eine sorgfältig durchgeführte Datenaufnahme in einer Höhle (VOLK 1982) diese Zusammenhänge erfaßt werden.

Wie aus Kapitel 2.1.4 ff. hervorgeht, kann die Datenaufnahme sich unter Umständen sehr problematisch gestalten, da durch Inkursionserscheinungen Klüfte morphologisch in den Vordergrund treten, die für die Genese des Hohlraumes nicht unbedingt von Bedeutung waren. Durch eine Lineamentauswertung des Höhlenplanes wird dieses Problem umgangen, gleichzeitig kann aber nicht mehr zwischen schichtfuge gebundenen und kluftr gebundenen Hohlräumen unterschieden werden, da oft die in Höhlenplänen aufgenommenen Gangquerschnitte nur sehr schwer oder gar nicht zu interpretieren sind.

Mit den bisher vorgestellten Ergebnissen ist es nicht möglich, einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Tektonik des Simetsberges und der Anlage der Salzgrabenhöhle herzustellen, wenn auch zwischen der Luftbildauswertung und der Lineamentauswertung des Höhlenplans der Salzgrabenhöhle Übereinstimmungen festgestellt werden konnten. In beiden spielt die Nord-Süd - Richtung eine dominierende Rolle, mit Kluftrmessungen von der Oberfläche des Simetsberges können diese Ergebnisse jedoch nicht weiter unterstützt werden. In ihnen dominieren die lokalen Hauptstörungsrichtungen, lediglich in Kluftrrosen dreier Meßpunkte konnte eine vorherrschende Nord-Süd - Richtung bestätigt werden.

Somit war es notwendig geworden, die vorhandenen Daten näher zu analysieren, was mit Hilfe der Faktorenanalyse erfolgte, wie im folgenden dargestellt wird.

8.2 Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse ist eine Methode, die in den letzten Jahren in der Geologie mehr und mehr an Bedeutung gewonnen hat (vgl. dazu FENNINGER 1970, PATRO u. SAHU 1974, MIRSAI u. ZANKL 1979). Mit der folgenden Auswertung soll nun auch versucht werden, diese zur Klärung tektonischer Verhältnisse heranzuziehen.

Das hauptsächliche Ziel der Verwendung der Faktorenanalyse besteht darin, eine kleinere Zahl von Basisvariablen, Dimensionen, Clusters oder Faktoren zu finden, auf die sich eine größere Anzahl von Items oder Variablen reduzieren lassen. Andererseits kann die Faktorenanalyse dabei helfen, den Grad zu bestimmen, in dem eine gegebene Variable oder verschiedene Variablen Teil eines gemeinsamen Faktors sind, der ihm zugrunde liegt (BEUTEL et al. 1976). Durch diese Aussage wird eine Bewertung darüber getroffen, welche Daten oder Gruppen von Daten

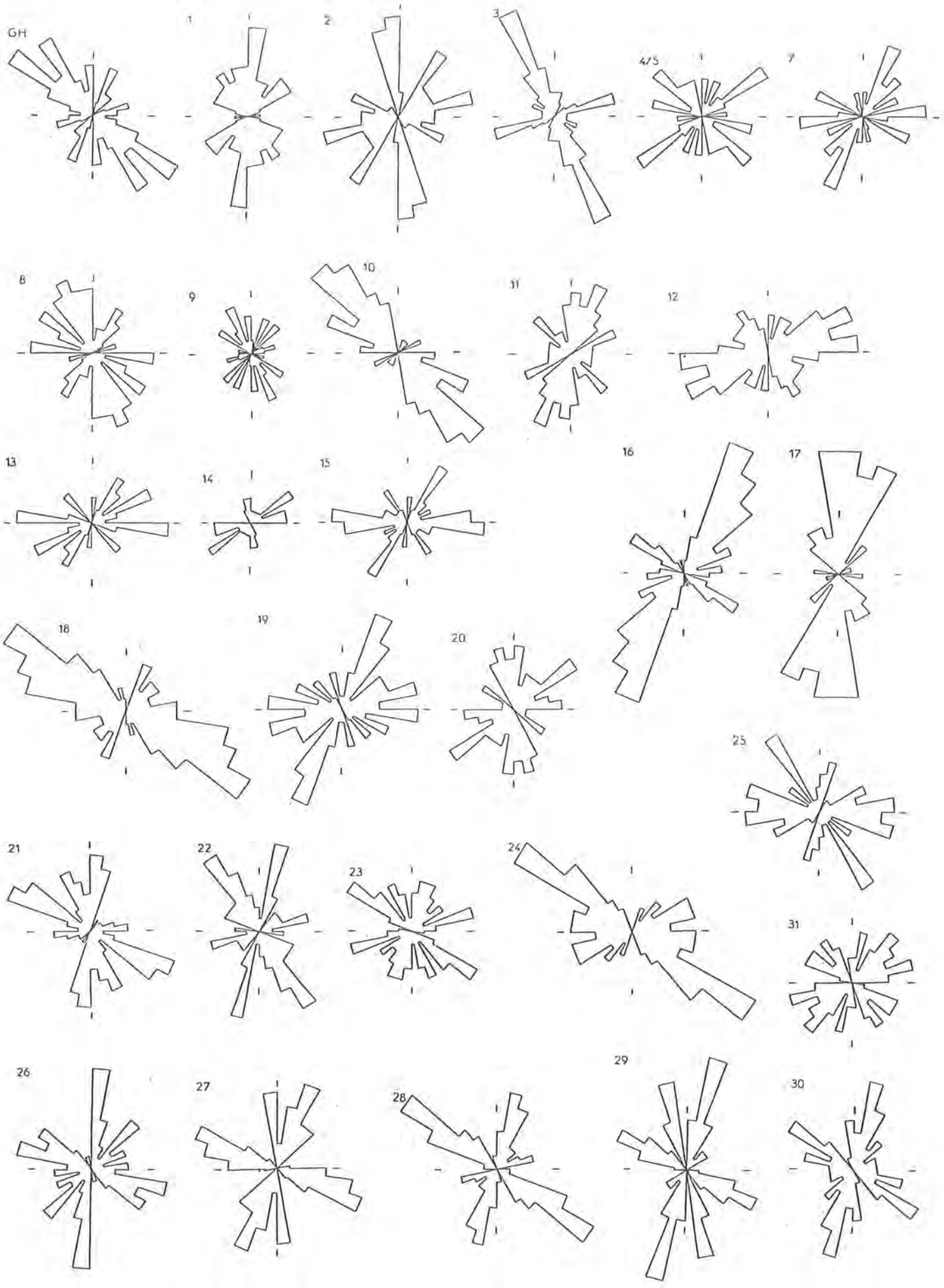


Abbildung 24:
 Die Nummern an den Kluffrosen bedeuten Meßpunkte in Abbildung 23.

statistisch signifikant sind und welche Daten mehr oder minder zufällig und somit keine interpretierende Aussage zulassen oder diese verfälschen. Man erhält durch die Faktorenanalyse also eine Konzentration auf wesentliche Parameter und gleichzeitig eine Eliminierung nicht aussagekräftiger oder zufallsbedingter Daten. Die Interpretation der errechneten Faktoren und somit ihr Zusammenhang zur Datenbasis muß jeweils der zu bearbeitenden Fragestellung und den eingegebenen Daten angepaßt werden.

Weitere Informationen zur Methode der Faktorenanalyse finden sich bei WEBER (1974) und JÖRESKOG et al. (1976).

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, mit Hilfe der Faktorenanalyse die einzelnen Meßpunkte zu charakterisieren, um die in den Klüftrosen auftretenden Maxima bewerten zu können.

Voraussetzung dafür ist, daß eine genügend breite Datenbasis vorhanden ist, was durch die Summe der Daten aus der Luftbildauswertung, der Interpretation des Höhlenplans der Salzgrabenhöhle und der Daten aus den Klüftmessungen gewährleistet werden kann (insgesamt ca. 2000 Werte), da sämtliche Daten zur Berechnung der einzelnen Faktoren herangezogen werden.

Ausgehend von der Datenmatrix, dargestellt in Tabelle 28, in der die Anzahl der Meßwerte je Klasse (Variable) für den jeweiligen Meßpunkt dargestellt ist, wurden vier Faktoren ermittelt, die insgesamt einen Meßpunkt kennzeichnen. In diesen vier Faktoren sind 82 % der Meßwerte je Meßpunkt erfaßt. Die Korrelation eines Faktors zu dem jeweiligen Meßpunkt ist wie folgt: 1 = maximale Korrelation, 0 = nicht korrelierbar, -1 = entgegengesetzt korreliert, d. h. je höher der absolute Faktorwert, desto besser ist die Korrelation.

Dieses Verhältnis, d. h. jeder der vier Faktoren auf jeweils einen Meßpunkt bezogen, ist in der Varimax Factor Matrix dargestellt (Tabelle 29). Nach den absoluten Werten der Faktoren werden die zwei höchsten als kennzeichnend für den jeweiligen Meßpunkt angesehen. So ist zum Beispiel der Meßpunkt GH durch Faktor 1 und 3 charakterisiert.

Damit kann aber noch keine Aussage über den Meßpunkt GH gemacht werden, da noch keine inhaltliche Interpretation der vier Faktoren erfolgt ist. Eine Aussage über die vier Faktoren ermöglicht die Varimax Factor Score Matrix, in der die Faktoren gegen die 18 Klassen oder Variablen aus der Datenmatrix aufgetragen sind. In Tabelle 30 ist die Varimax Factor Score Matrix wiedergegeben, in Abbildung 24 umgesetzt in eine Graphik.

Die Auswertung dieser Matrix nach den absoluten Zahlenwerten ergibt, in welchen Variablen die Faktoren ihre Maxima haben:

- Faktor 1: 1, 2, 6, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18
- Faktor 2: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
- Faktor 3: 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17
- Faktor 4: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 11, 12, 13, 18

Meßpunkt	Variable																	
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	131-140	141-150	151-160	161-170	171-180*
GH	0	1	4	2	2	0	1	3	2	1	2	4	8	4	7	3	2	4
1	7	3	3	2	4	4	1	0	1	0	1	3	3	3	4	3	4	4
2	2	0	0	6	3	3	3	6	3	3	2	4	1	1	1	0	7	8
3	2	2	1	0	0	1	2	5	1	1	1	2	1	2	4	9	4	2
4/5	3	1	3	1	2	6	2	0	2	0	4	1	1	5	3	3	3	0
7	2	1	6	3	4	1	3	0	5	2	0	4	0	0	0	1	2	0
8	1	2	2	4	3	1	0	2	0	5	1	3	5	1	5	6	5	5
9	1	0	2	0	3	0	1	2	1	0	1	0	3	1	2	5	1	3
10	0	0	1	1	1	0	2	0	0	3	2	6	4	9	8	5	4	0
11	5	4	6	4	4	0	4	2	2	2	2	2	1	4	2	2	1	4
12	3	1	3	3	2	5	7	5	7	4	2	3	3	3	4	3	1	0
13	2	0	1	4	3	1	5	2	1	6	2	0	0	3	0	0	0	0
14	1	1	1	1	1	4	1	3	3	0	0	0	0	0	0	1	2	2
15	2	0	1	5	2	1	2	1	5	6	2	2	1	1	3	2	0	0
16	1	3	11	9	7	3	4	1	3	2	0	2	5	3	1	0	1	0
17	10	8	9	1	3	0	1	1	0	2	0	0	0	3	4	4	3	11
18	0	0	3	2	3	3	2	2	4	4	8	9	11	6	4	1	2	1
19	1	3	8	6	1	4	4	6	3	6	2	4	1	3	1	0	3	1
20	5	2	3	3	3	6	2	3	4	1	1	1	3	0	0	4	5	4
21	6	5	0	1	0	1	1	2	3	1	2	7	6	1	2	5	4	3
22	1	7	3	0	2	2	2	4	1	2	0	3	3	3	7	5	3	2
23	3	4	4	3	2	3	1	5	2	1	0	2	6	4	1	4	3	1
24	0	0	2	1	3	2	5	5	3	5	5	4	11	7	3	1	0	0
25	3	4	0	1	1	1	4	3	6	5	6	1	3	1	7	1	1	2
26	8	4	2	1	5	2	3	1	3	2	6	4	5	2	0	1	1	0
27	2	5	7	4	4	0	0	0	1	4	6	7	3	1	0	0	0	6
28	3	6	5	2	2	1	2	3	0	1	1	6	9	4	3	0	1	1
29	4	9	4	1	2	2	0	0	0	1	4	6	4	2	0	4	7	0
30	3	7	5	2	3	1	2	2	2	2	4	2	6	3	0	1	1	4
31	2	4	1	3	5	4	3	5	3	0	1	4	4	2	4	3	0	2
SII	28	24	19	26	26	19	11	21	25	21	11	26	18	26	18	18	17	22
LL	15	16	14	9	8	12	10	7	10	9	5	3	1	1	8	6	6	22

Tabelle 28: Datenmatrix

Meßpunkt	Faktoren				Variable	Faktoren			
	1	2	3	4		1	2	3	4
GH	0.3344	0.2036	0.7789	-0.3270	1	0.259	0.032	-0.120	-0.340
1	0.8525	0.2014	0.3564	-0.5605	2	0.167	-0.161	-0.002	-0.501
2	0.5746	0.5319	0.1833	-0.2069	3	0.001	0.150	-0.087	-0.525
3	0.7721	0.0851	0.5273	-0.0303	4	0.002	0.435	-0.073	-0.116
4/5	0.3621	0.3793	0.4830	-0.3908	5	-0.039	0.222	0.014	-0.240
7	0.2410	0.6451	0.0886	-0.5106	6	0.289	0.236	-0.085	0.053
8	0.5670	0.2319	0.5683	-0.2940	7	0.026	0.400	0.047	0.058
9	0.6007	0.1361	0.4828	-0.2896	8	0.321	0.215	0.127	0.191
10	0.2169	0.1519	0.8540	-0.1059	9	0.149	0.423	-0.020	0.097
11	0.4110	0.4857	0.2575	-0.6424	10	-0.088	0.445	0.133	0.049
12	0.4085	0.7282	0.4454	-0.1360	11	-0.149	0.141	0.225	-0.153
13	0.0748	0.8484	0.2119	-0.1676	12	-0.089	0.024	0.329	-0.248
14	0.7427	0.5007	-0.0153	-0.1275	13	-0.128	-0.088	0.572	-0.221
15	0.2194	0.7881	0.3694	-0.1221	14	-0.082	0.079	0.389	-0.059
16	0.1171	0.6026	0.2069	-0.5957	15	0.212	-0.023	0.448	0.190
17	0.6143	0.0726	0.0590	-0.6601	16	0.502	-0.173	0.266	0.141
18	0.0294	0.3921	0.7861	-0.3460	17	0.383	-0.059	0.060	-0.024
19	0.2882	0.7132	0.2522	-0.4043	18	0.435	-0.068	-0.126	-0.197
20	0.7296	0.4274	0.1528	-0.3856					
21	0.5173	0.0838	0.5471	-0.4605					
22	0.5929	0.1356	0.5974	-0.3303					
23	0.5089	0.3116	0.5131	-0.4595					
24	0.0274	0.4776	0.7884	-0.2167					
25	0.3461	0.5108	0.5165	-0.1725					
26	0.2038	0.3996	0.3905	-0.6237					
27	0.1212	0.3462	0.2753	-0.7815					
28	0.1537	0.1900	0.6340	-0.6540					
29	0.3720	0.0297	0.4030	-0.6893					
30	0.2866	0.3051	0.3968	-0.7532					
31	0.5007	0.4297	0.5097	-0.3347					
SH	0.5197	0.5152	0.4375	-0.4849					
LL	0.6548	0.4515	0.0809	-0.5293					

Tabelle 30: Varimax Factor Score Matrix

Tabelle 29: Varimax Factor Matrix

Da in der Varimax Factor Matrix jeder Meßpunkt durch zwei Faktoren charakterisiert wird, werden die Variablen dieser zwei Faktoren aufaddiert. Diejenigen Variablen, die in beiden Faktoren enthalten sind, werden als Parameter für diese Faktorenkombination angesehen. Für sämtliche Faktorenkombinationen kann somit die folgende Tabelle erstellt werden (vgl. Abbildung 24):

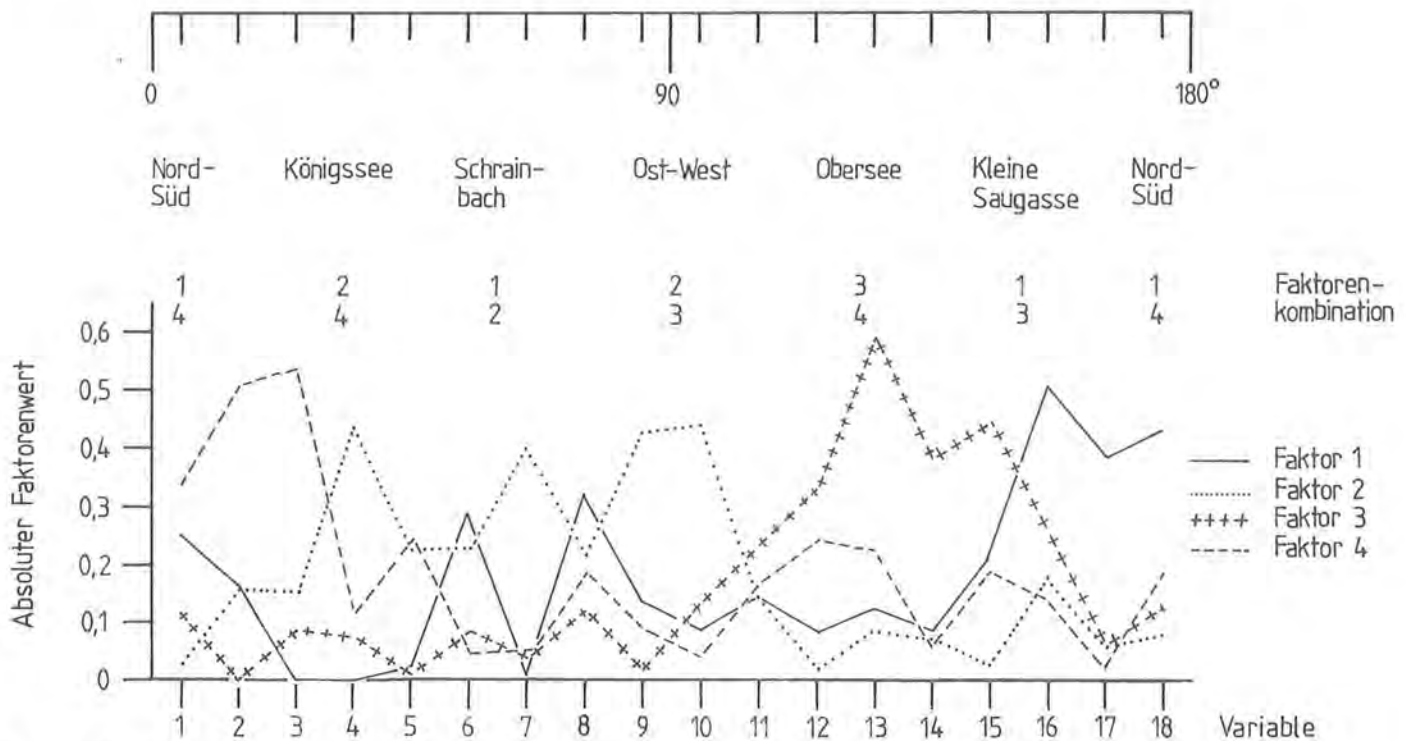


Abbildung 24: Graphische Darstellung der Varimax Factor Score Matrix sowie der Faktorenkombinationen und der regionalen tektonischen Lineamente.

Faktorenkombination	in beiden Faktoren auftretende Variable
1 - 2	6, 8, 9
1 - 3	14, 15, 16, 17
1 - 4	1, 2, 18
2 - 3	10
2 - 4	3, 4, 5, 7
3 - 4	11, 12, 13

Das ergibt für den Meßpunkt GH, der durch die Faktorenkombination 1 - 3 in der Varimax Factor Matrix ausgewiesen wird, die kennzeichnenden Variablen 14, 15, 16 und 17, die in der Datenmatrix für die Richtung »Kleine Saugasse« stehen (vgl. dazu auch Abbildung 24).

Kennzeichnend für den Meßpunkt GH ist also die »Kleine Saugassen-Richtung« und nicht, wie in der Klufrose ausgewiesen, die »Obersee-Richtung«.

Für alle Faktorenkombinationen können somit Aussagen über ihre entsprechenden Richtungen gemacht werden:

Faktorenkombination	Richtung
1 - 2	»Schrainbach«
1 - 3	»Kleine Saugasse«
1 - 4	»Nord-Süd«
2 - 3	»Ost-West«
2 - 4	»Königssee«
3 - 4	»Obersee«

Damit läßt sich jeder Meßpunkt einer bestimmten Richtung zuordnen:

Meßpunkt	Richtung
GH	»Kleine Saugasse«
1	»Nord-Süd«
2	»Schrainbach«
3	»Kleine Saugasse«
4/5	»Obersee«
7	»Königssee«
8	»Kleine Saugasse«
9	»Kleine Saugasse«
10	»Kleine Saugasse«
11	»Königssee«
12	»Ost-West«
13	»Ost-West«
14	»Schrainbach«
15	»Ost-West«
16	»Königssee«
17	»Nord-Süd«
18	»Ost-West«
19	»Königssee«
20	»Kleine Saugasse«
21	»Kleine Saugasse«
22	»Kleine Saugasse«
23	»Kleine Saugasse«
24	»Ost-West«
25	»Ost-West«
26	»Königssee«
27	»Königssee«
28	»Obersee«
29	»Obersee«

30	»Obersee«
31	»Kleine Saugasse«
Lineationen Salzgrabenhöhle	»Schrainbach«
Luftbildlineationen	»Nord-Süd«

Diese errechneten Richtungen wurden in Abbildung 25 an die Stelle der jeweiligen Meßpunkte eingetragen. Damit wird eine deutliche Zonierung des Simetsberges erkennbar. Die »Schrainbach-Richtung« tritt dominant ausschließlich am Neiger auf, bis in etwa 1000 m Höhe. Ebenso ist die »Ost-West - Richtung« auf den nördlichen Simetsberg beschränkt (Ausnahme: Meßpunkt 18). »Königssee- und Obersee-Richtung« herrschen im zentralen Bereich des Simetsberges vor. Die »Kleine Saugassen-Richtung« umschließt diesen zentralen Bereich von Osten und Süden. Die »Nord-Süd - Richtung« schließlich dominiert nur zweimal, einmal beim Oberlahner und zum anderen am Südenende des Königssees. Da diese beiden Meßpunkte weit voneinander entfernt liegen, lassen sie keine weiteren Aussagen zu.

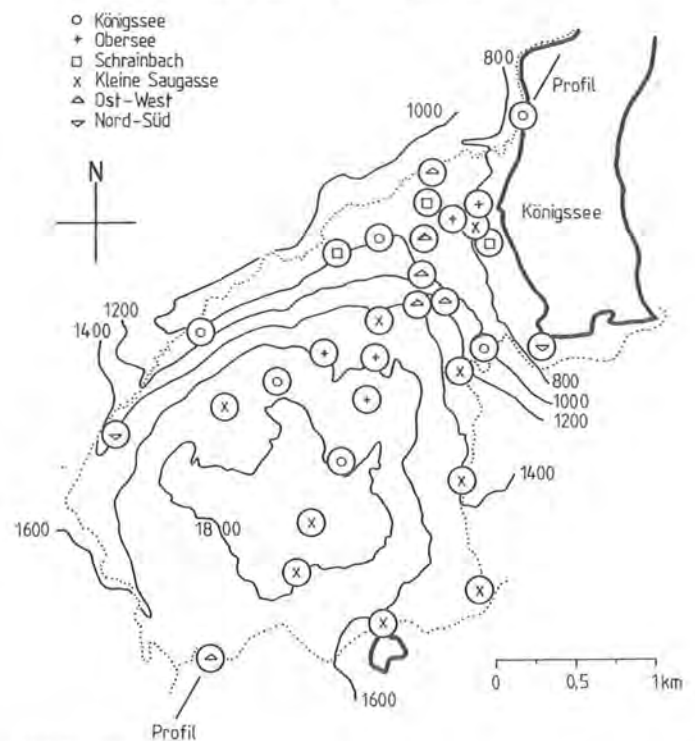


Abbildung 25: Die Meßpunkte am Simetsberg mit den aus der Faktorenanalyse ermittelten Richtungen.

In der Luftbildauswertung fällt das absolute Wertemaximum mit dem von der Faktorenanalyse ermittelten Wert zusammen, die »Nord-Süd - Richtung« dominiert.

Für die Salzgrabenhöhle wurde als kennzeichnende Richtung »Schrainbach« errechnet. Betrachtet man das Histogramm der Höhlenlineamente, so fällt auf, daß die »Schrainbach-Richtung« kein ausgeprägtes Maximum ausbildet. Die anderen Richtungen treten dagegen viel stärker in Erscheinung.

Um zu überprüfen, ob diese mangelnde Übereinstimmung der Luftbildlineamente mit den Lineamenten aus dem Höhlenplan grundsätzlicher Art ist, ist eine differenzierte Auswertung der Faktorenanalyse not-

wendig. Dabei werden jeweils zwei Faktoren der Vari-
max Factor Matrix gemäß ihren absoluten Werten
miteinander kombiniert. Dies geschieht wie folgt: der
größte Faktor wird mit dem zweitgrößten, der größte
wird wiederum mit dem drittgrößten kombiniert usw.

Für die Salzgrabenhöhle ergibt dieses Verfahren fol-
gende Kombinationsreihe:

1 - 2, 1 - 4, 1 - 3, 2 - 4, 2 - 3, 3 - 4.

Bei den Luftbildlineamenten kommt diese Reihe zu-
stande:

1 - 4, 1 - 2, 1 - 3, 2 - 4, 3 - 4, 2 - 3.

Vergleicht man diese Reihen miteinander, erkennt
man, daß die Präferenzen 1 und 2 vertauscht, 3 und 4
übereinstimmen und 5 und 6 wieder vertauscht sind.

Es kann also festgestellt werden, daß die Luftbildli-
neationen und die Lineationen aus dem Höhlenplan
nicht grundsätzlich verschieden sind. Es ist lediglich
eine Vertauschung der Präferenzen 1 und 2 sowie 5
und 6 festzustellen. Somit kann eine sehr große Übe-
ereinstimmung der Luftbildlineamente mit den Linea-
menten aus dem Höhlenplan nachgewiesen werden.

8.2.1 Ergebnisse aus der Faktorenanalyse

Im vorigen Kapitel konnte eine sehr große Überein-
stimmung der Luftbildlineamente mit den Lineamen-
ten aus dem Höhlenplan nachgewiesen werden.

Wie festgestellt wurde, ist in der Salzgrabenhöhle die
»Schrainbach-Richtung« dominant. Diese Richtung
ist an der Oberfläche des Simetsberges auf seinen

nördlichen Teil und den Neiger beschränkt und tritt
nur in einer Höhenlage von bis zu 1000 m auf. In den
übrigen Meßpunkten tritt die »Schrainbach-Rich-
tung« nicht in der zweiten Präferenz auf, sondern sie
ist nur gering ausgeprägt und tritt hinter den anderen
Richtung oft gänzlich zurück.

In Abbildung 26 sind sämtliche Meßpunkte auf ein
NE-SW - Profil durch den Simetsberg projiziert, zu-
dem ist die Salzgrabenhöhle schematisch einge-
zeichnet.

Daraus geht hervor, daß der Simetsberg vertikal sehr
stark in Bereiche vorherrschender tektonischer Rich-
tungen gegliedert ist.

Die Salzgrabenhöhle mit der errechneten Richtung
»Schrainbach« liegt genau in der Höhenlage, wo an
Oberflächenmeßpunkten ebenfalls die »Schrainbach-
Richtung« nachgewiesen werden konnte. Zu-
dem ist dies ein Bereich ausgeprägter tektonischer
Beanspruchung, wie durch andere in dieser Höhenlage
auftretenden Richtungen ebenfalls belegt wird.

Wie die quantitative Auswertung der Höhlensedi-
mente ergab (vgl. 7.2.3.4 ff.), sind in der Salzgraben-
höhle typische Sedimente für »Tiefe Höhlen« nachzu-
weisen. Dies läßt den Schluß zu, daß es erst zur Bil-
dung der Salzgrabenhöhle kam, als das Vorflutniveau
soweit abgesenkt war, daß die nachgewiesene Zer-
rüttungszone in den Bereich der optimalen Hohl-
raumbildung gelangen konnte. Dieser Prozeß war nur
in der Zeit nach der Ausbildung des Gotzenniveaus
möglich.

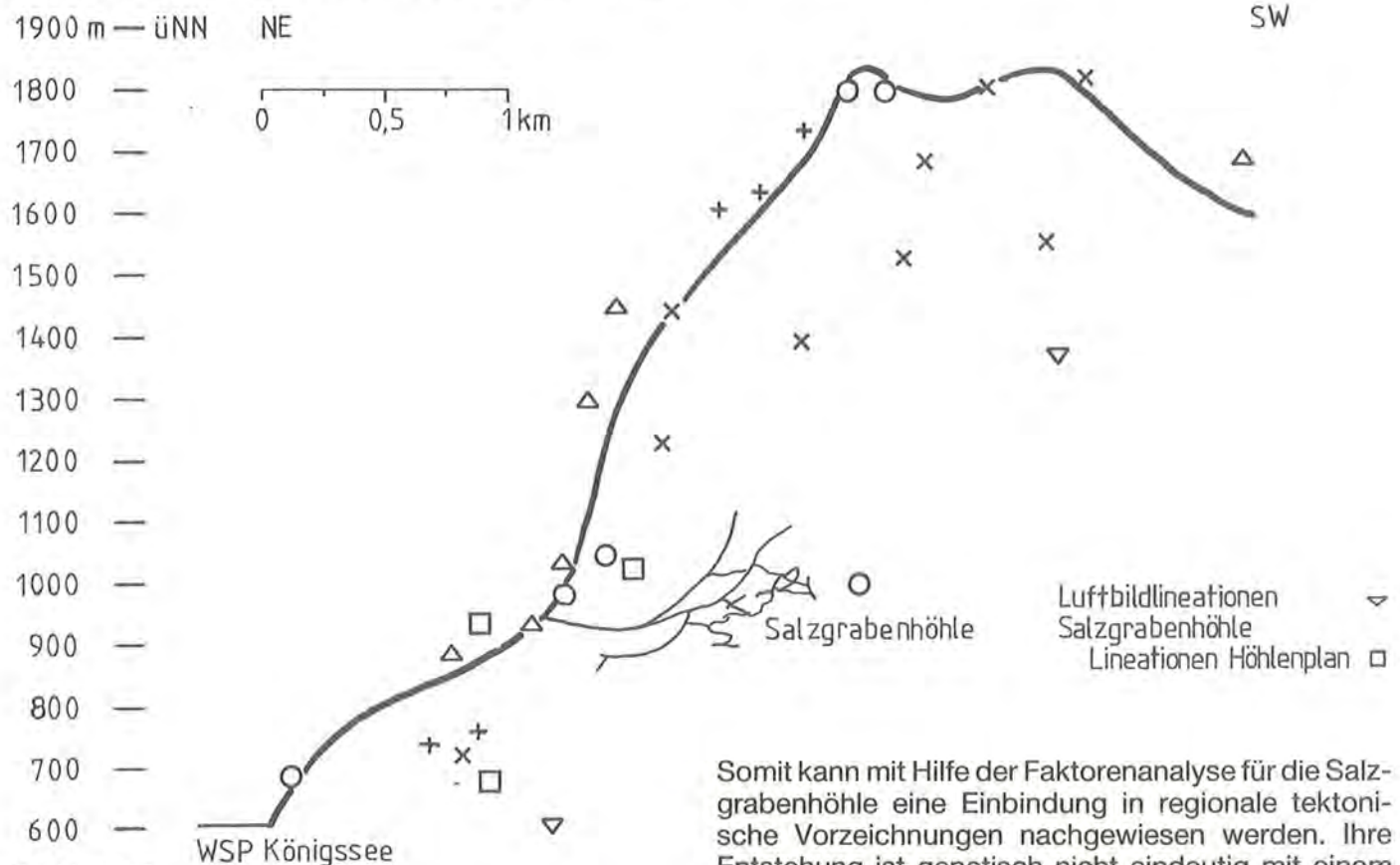


Abbildung 26: Profil durch den Simetsberg, eingetragen sind die Ergebnisse der Faktorenanalyse.

Somit kann mit Hilfe der Faktorenanalyse für die Salz-
grabenhöhle eine Einbindung in regionale tektoni-
sche Vorzeichnungen nachgewiesen werden. Ihre
Entstehung ist genetisch nicht eindeutig mit einem
der beschriebenen Landschaftsentwicklungsniveaus
in Verbindung zu bringen.

9 Zusammenfassung

Die in den Nördlichen Kalkalpen in den verschiedenen Höhenlagen auftretenden Verebnungsflächen wurden in der bisherigen Diskussion bezüglich ihrer Genese widersprüchlich interpretiert. Zum einen wurden sie als Reste einer Altlandschaft (»Raxlandschaft«) angesehen, die durch tektonische Verstellungen zerstört wurde, andererseits wurden diese Flächen als Landschaftsentwicklungsniveaus im Sinne einer mehrphasigen Landschaftsentwicklung (»Hochkönigniveau, Tennenniveau, Gotzenniveau, Niveau 1 u. a.«) gedeutet. Mit geologischen Untersuchungsmethoden war bisher weder dem einen noch dem anderen Konzept ein Vorzug zu geben.

Basierend auf einem Ansatz, der geomorphologische Phänomene mit karsthydrographischen Entwicklungen unter Einbindung speläologischer und speläomorphologischer Gesichtspunkte miteinander verknüpft, war es möglich, diese Fragestellung so zu fassen, daß sie mit sedimentpetrographischen Methoden an Höhlensedimenten untersucht werden konnte.

Dabei wurde von folgenden Fakten ausgegangen: In Anbetracht der regionalen geologischen Gegebenheiten - über 1000 m mächtige verkarstungsfähige Gesteine - ist es zu erwarten, daß sich in Zusammenhang mit der Ausbildung einer Landschaft und eines aktiven Erosionsniveaus ein stabiler Karstwasserkörper entwickelt, in dessen aktiver phreatischer Zone Hohlraumbildung stattfindet. In den so geschaffenen Höhlen können Sedimente abgelagert werden.

Bezogen auf das Modell der einphasigen Landschaftsentwicklung würde dies bedeuten, daß die angenommenen tektonischen Verstellungen auch die entstandenen Höhlen und die darin abgelagerten Sedimente betroffen haben müßten.

Im Rahmen einer mehrphasigen Landschaftsentwicklung käme es dagegen zur Ausbildung mehrerer Karstwasserkörper, was aktive Hohlraumbildung in verschiedenen Höhenlagen zur Folge hätte. Dementsprechend wären verschiedene, höhenlagenabhängige Höhlensedimente zu erwarten. Daraus ergeben sich die folgenden Fragen:

Sind in den Höhlen verschiedener Höhenlage Höhlensedimente anzutreffen, die unterschiedliche sedimentpetrographische Charakteristika aufweisen, so ist von einer mehrphasigen Landschaftsentwicklung auszugehen, erscheinen jedoch verbreitet ähnliche Sedimente, ist hingegen eine einphasige Landschaftsentwicklung anzunehmen.

Die Höhenlage der bekannten horizontalen Gangstrecken der Höhlen des Steinernen Meeres und des Hagengebirges läßt keine zufällige Verteilung erkennen. Es erscheinen deutlich ausgeprägt Maxima, die sich in ihrer Höhenlage mit Verebnungsflächen korre-

lieren lassen, was mit den beiden vorherrschenden Theorien zur Landschaftsentwicklung zu vereinbaren ist.

Speläomorphologische Aufnahmen in den befahrenen Höhlen ergaben, daß in nahezu allen ein phreatisches Jugendstadium und/oder Reifestadium nachgewiesen werden kann. Dies wird vorwiegend in elliptischen und runden Gangprofilen dokumentiert. Eine anschließende vadose Phase, die nur mit einer Tieferlegung des Vorflutniveaus in Verbindung zu bringen ist, führt zu einer sekundären Eintiefung der Gangsohle (Schlüssellochprofil, Canyons). Des weiteren wurden in Abhängigkeit von der Höhenlage der Höhlen unterschiedliche Altersstadien der Raumformen festgestellt. Sehr hoch gelegene Höhlen zeigen Formen des Alters- und Greisenstadiums, während in tief gelegenen Höhlen Formen des Jugend- und Reifestadiums vorherrschen. Dies wurde als ein erster Hinweis auf eine mehrphasige Landschaftsentwicklung gewertet.

Qualitative und quantitative Analysen von grobklastischen Lockersedimenten lieferten den ersten Beweis für eine mehrphasige Landschaftsentwicklung. Quarze > 2 mm treten häufig in Sedimenten von Höhlen in Erscheinung, die mit der Ausbildung des höchstgelegenen Niveaus, des Hochkönigniveaus, in Verbindung zu bringen sind, während in Höhlen, die in ihrer Höhenlage mit den tiefergelegenen Niveaus in Zusammenhang stehen, diese nicht vertreten sind.

Quarze, die durch Herauslösen aus verfestigten, konglomeratischen Höhlensedimenten gewonnen werden konnten, sind in gleicher Weise verteilt.

Eine detailliert durchgeführte Beschreibung der einzelnen, in den verfestigten konglomeratischen Höhlensedimenten auftretenden Komponenten, bildete die Basis für eine quantitative Point-counter - Analyse. Dabei wurde festgestellt, daß im wesentlichen Quarze und Sandsteine in Höhlensedimenten dominieren, die dem höchstgelegenen Niveau zuzurechnen sind, während der lokale Dachsteinkalk das Komponenteninventar tiefer gelegener Höhlen beherrscht. Umlagerungserscheinungen innerhalb der verschiedenen Höhlenstockwerke wurden dabei zwar festgestellt, aber nur in so geringem Maße, daß sie die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse nicht schmälern. Dies läßt den Schluß zu, daß das in den Höhlensedimenten auftretende Komponenteninventar in seiner Zusammensetzung die Sedimentfracht widerspiegelt, die in Flüssen aus dem Gebiet der heutigen Zentralalpen über die Nördlichen Kalkalpen hinweg transportiert wurde. Deutlich wird dies besonders an Sedimenten tiefergelegener Höhlen, in denen ausschließlich der lokal anstehende Dachsteinkalk dominiert und Sedimenten hochgelegener Höhlen, in denen Quarze und Sandsteine auftreten, die nur vor der Ausbildung der Alpenquertäler südlich der Nördlichen Kalkalpen in diesen Bereich verfrachtet werden konnten. Damit ist ein weiterer Beweis für eine mehrphasige Landschaftsentwicklung erbracht.

Die Untersuchung von Schwermineralvergesellschaftungen aus der Matrix verfestigter Höhlensedimente beweist ebenfalls das Modell der mehrphasigen Landschaftsentwicklung, denn es konnten für die einzelnen Niveaus, Hochkönigniveau, Tennenniveau, Gotzenniveau und das der tiefen Höhlen charakteristische Schwermineralassoziationen festgestellt werden. Dabei wurde der Dolomit im Schwermineralspektrum belassen, da sein Gehalt direkt mit der Beeinflussung des Komponenteninventars durch den lokal anstehenden Dachsteinkalk in Verbindung zu bringen ist. Höhlensedimente des Hochkönigniveaus sind gekennzeichnet durch hohe Gehalte an Granat, Apatit und opaken Mineralen, daneben erscheinen Staurolith, Epidot, Hornblende und Glimmer sowie Zirkon, Rutil und Turmalin. In Sedimenten des Tennenniveaus gehen die Gehalte an Apatit und Granat am stärksten, die der übrigen Schwerminerale in geringerem Umfang zurück zugunsten eines steigenden Dolomitanteils. Eine Fortsetzung dieser Tendenz ist in Sedimenten des Gotzenniveaus zu beobachten, in Sedimenten der tiefen Höhlen schließlich beherrscht der Dolomit das Schwermineralspektrum.

Mittels der Faktorenanalyse konnte für die Salzgrabenhöhle, die in Bezug auf Höhenlage und Ganglänge nicht in die regional vorherrschenden Höhlenentwicklungsniveaus einzupassen ist, eine Bindung an eine tektonisch angelegte Zerrüttungszone nachgewiesen werden, womit für diese Höhle keine Niveaugebundenheit an eines der Landschaftsentwicklungsniveaus anzunehmen ist, vielmehr ist sie in ein tektonisch vorgezeichnetes tieferes Niveau eingebunden und in ihrem Entstehungszeitraum jünger als die hochgelegenen Höhlensysteme anzusehen.

Mit diesen Ergebnissen kann die eingangs formulierte Fragestellung eindeutig beantwortet werden: Die in den Nördlichen Kalkalpen festzustellenden Verebnungsflächen sind, wie am Beispiel Hagengebirge und Steinernes Meer gezeigt wird, als Reste einer mehrphasigen Landschaftsentwicklung anzusprechen, die über die Ausbildung der Augensteinlandschaft (Unteroligozän - Aquitan), des Hochkönigniveaus (Aquitan - Vorpannon), Tennenniveaus (Helvet/Torton - Vorpannon) sowie weiterer pliozäner und pleistozäner Flächen zu dem heutigen Landschaftsbild führte.

Eng damit ist die Entstehung der verschiedenen Höhlenentwicklungsniveaus verbunden. Die Geschichte einer Höhle beginnt mit der Tieferlegung des Vorfluters, damit wird ein Druckgefälle erzeugt, die Initialphase der Hohlraumbildung durch Mischungskorrosion beginnt. Mit der anschließenden Verkarstungsphase und Haltephase der Tieferlegung der Karstwasserfläche erreicht die karsthydrographische Entwicklung ihr Maximum, Sedimente können in die Hohlräume eingefüllt werden. Ein weiteres Tieferlegen des Vorflutniveaus bedeutet für den geschaffenen Hohlraum einen Wechsel von phreatischen zu vadosen Bedingungen, Sedimente können erodiert und wieder abgelagert werden und Inkationsvorgänge gewinnen die Oberhand, die letztendlich zu einem Höhlenverfall und somit zu einer Hohlraumzer-

störung führen. Das Tieferlegen des Vorflutniveaus bedeutet das Ende der aktiven phreatischen Phase einer relativ hochgelegenen Höhle, gleichzeitig wird damit in einem tieferen Niveau die Hohlraumbildung eingeleitet. Analog zur Landschaftsentwicklung findet somit Höhlenbildung statt.

Unter Vernachlässigung der lokal formbildenden quartären glazialen Prozesse sind die verschiedenen tertiären Phasen der Landschaftsentwicklung und damit das Einschneiden der Erosionsbasis, hervorgerufen durch die Hebung des Alpenkörpers, abschließend in Abbildung 27 dargestellt.

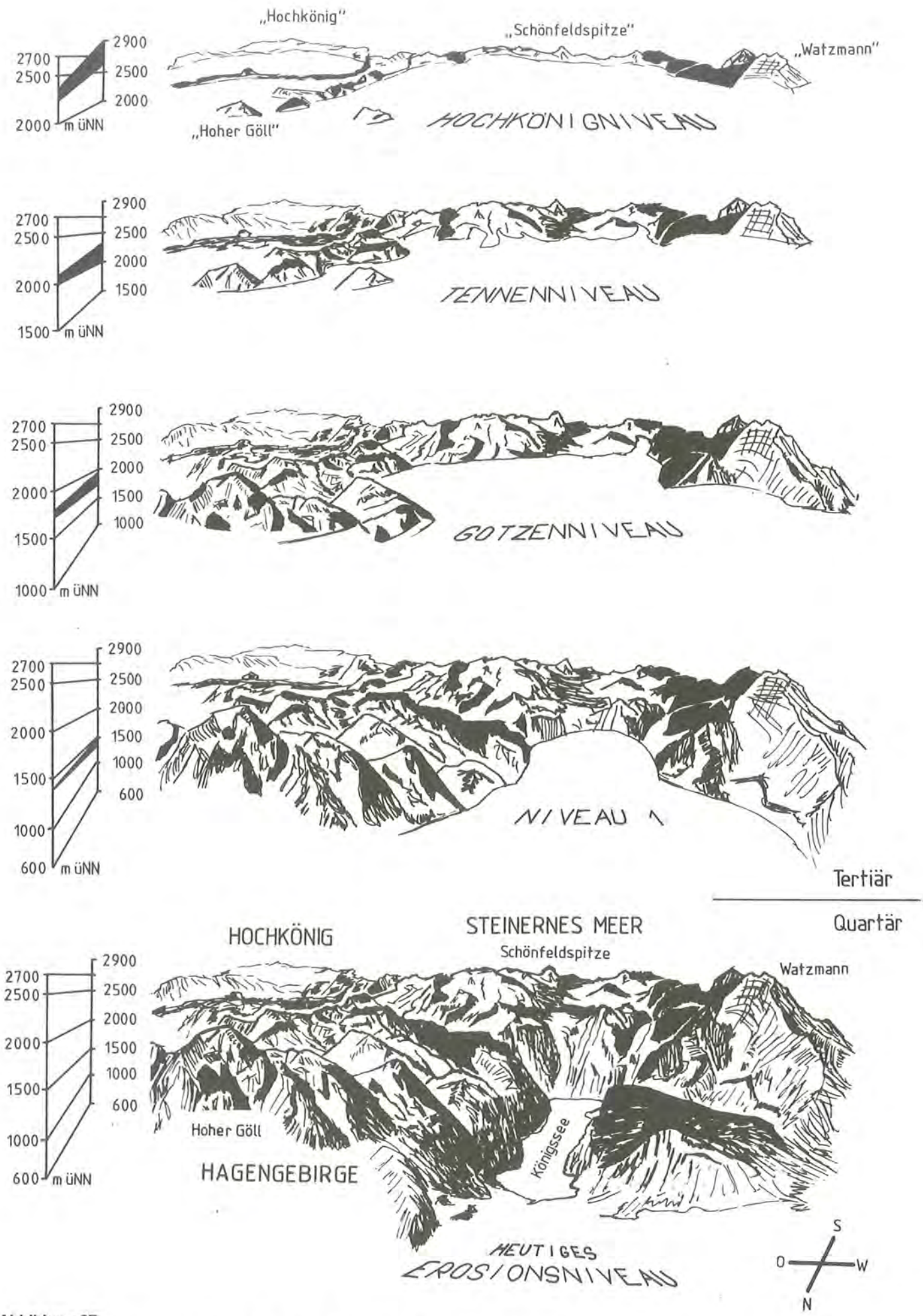


Abbildung 27: Die tertiäre Landschaftsentwicklung und die Tieferlegung der Erosionsbasis im Hagengebirge und Steinernen Meer unter Vernachlässigung glazialer, formbildender Prozesse.

10 Literaturverzeichnis

- ARNBERGER, E. (1953): Neue Ergebnisse morphotektonischer Untersuchungen in der Dachstein-Mammuthöhle. - Mitt. d. Höhlenkommission beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 1, S. 68 - 79, Wien.
- ARNBERGER, E. (1955): Höhlen und Niveaus. - Die Höhle, 6/1, S. 1 - 4, Wien.
- BEUTEL, P., KÜFFNER, H., RÖCK, E. & SCHBÖ, W. (1976): Statistik - Programmsystem für die Sozialwissenschaften. Eine Kurzbeschreibung zur Programmversion 6. - 213 S., Stuttgart (Gustav Fischer Verlag).
- BODECHTEL, J., JASKOLLA, F., KOHLHAMMER, G., TOMSCHI, H. P. & VOLK, P. (1984): Zur Tektonik des Gebietes westlich des Königssees/Berchtesgadener Alpen. - Geol. Rdsch., 73, 1, S. 337, 8 Abb., Stuttgart.
- BÖGLI, A. (1961): Kalklösung und Karrenbildung. - Z. Geomorph., Suppl. 2, S. 4 - 21.
- BÖGLI, A. (1969): Neue Anschauungen über die Rolle von Schichtfugen und Klüften in der karsthydrographischen Entwicklung. - Geol. Rdsch., 58, 2, S. 395 - 407, Stuttgart.
- BÖGLI, A. (1970): Le Hölloch et son karst. - Ed. la Baconnière. Neuchâtel. Franz. und deutsche Fassung.
- BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. 292 S., zahlr. Abb. und Tab., 12 Taf., Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. - 158 S., 77 Abb., 4 Taf., 8 Tab., Stuttgart (Enke).
- BRANDECKER, H., MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1965): Hydrogeologische Untersuchungen und baueologische Erfahrungen beim Bau des Dießbach-Speichers (Steinernes Meer). - Steir. Beitr. z. Hydrogeol., 1, S. 67 - 111, Graz.
- BRUNNACKER, K. (1979): Die Sedimente im Hohlen Stein bei Schambach (Südliche Frankenalb). - Geol. Bl. NO-Bayern, 29, S. 89 - 111, Erlangen.
- BRUNNACKER, K. & STREIT, R. (1967): Neuere Gesichtspunkte zur Untersuchung von Höhlensedimenten. - Jh. Karst- und Höhlenkunde, 7, S. 29 - 44, München.
- DEL - NEGRO, W. (1950): Geologie von Salzburg. - 348 S., Innsbruck (Tiroler Graphik).
- DIERSCHKE, V. (1980): Die Radiolarite des Oberjura im Mittelabschnitt der Nördlichen Kalkalpen. - Geotekton. Forschungen, 58, S. 1 - 217, 45 Abb., 1 Tab., 3 Taf., 7 Beil., Stuttgart.
- EBHARDT, G. & MEIBURG, P. (1979): Beziehungen zwischen Tektonik und Karst im Warsteiner Raum (Nordöstliches Rheinisches Schiefergebirge). - Aufschluss, Sbd. 29, S. 93 - 111, Heidelberg.
- FABRICIUS, F. (1966): Beckensedimentation und Riffbildung an der Wende Trias/Jura in den Bayrisch-Tiroler Kalkalpen. - 143 S., 24 Abb., 27 Taf., Leiden (E. J. Brill).
- FENNINGER, A. (1970): Faktorenanalyse nordalpiner Malmkalke. - Verh. Geol. B. -A., 4, S. 618 - 636, Wien.
- FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. - 454 S., 33 Taf., 68 Abb., 57 Tab., Berlin, Heidelberg (Springer).
- FLÜGEL, E. (1982): Mikrofacies Analysis of Limestones. - 633 S., zahlr. Taf., Abb. u. Tab., Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- FORD, D. (1970): Geologic Structure and Theories of Limestone Cavern Genesis. - British Speleological Association, Proceedings of the eighth Annual Conference 1970, S. 35 - 47, Settle.
- FOULLON, H. v. (1887): Die von Herrn Josef Haberfelner gemachten Funde von Bohnerz am Roßecksattel, am Dürrnstein und am Herrenalpboden südlich von Lunz. - Verh. d. k. u. k. Geol. Reichsanstalt, S. 219 - 220, Wien.
- FRIIS, H. (1974): Weathered Heavy - Mineral Associations from the young-tertiary Deposits of Jutland, Denmark. - Sedimentary Geology, 12, S. 199 - 213, Amsterdam.
- FUCHS, W. (1980): Die Molasse und ihr nichthelvetischer Vorlandanteil am Untergrund einschließlich der Sedimente auf der Böhmisches Masse. - In: Hrsg.: Geol. B.-A., Wien: Der geologische Aufbau Österreichs. S. 144 - 169, Wien (Springer).
- FÜCHTBAUER, H. (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. - Eclog. Geol. Helv., 57, 1, S. 157 - 298, Basel.
- FÜCHTBAUER, H. (1967): Die Sandsteine in der Molasse nördlich der Alpen. - Geol. Rdsch., 56, S. 266 - 300, Stuttgart.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): Sediment - Petrologie, T. II: Sedimente und Sedimentgesteine. - 3. Aufl., 784 S., 341 Abb., 70 Tab., Stuttgart (Schweizerbart).
- GANSS, O. (1939): Tektonik und alte Landoberflächen der Dachsteingruppe. - Jb. d. Zweigstelle Wien der Reichsstelle für Bodenforschung, 89, 3 u. 4, S. 357 - 377, Wien.
- GASSER, U. (1967): Erste Resultate über die Verteilung von Schwermineralen in den verschiedenen Flyschkomplexen der Schweiz. - Geol. Rdsch., 56, S. 300 - 308, Stuttgart.
- GÖTZINGER, G. (1913): Zur Frage des Alters der Oberflächenformen der östlichen Kalkalpen. - Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., 56, S. 39 - 57, Wien.
- GOLDBERGER, J. (1955): Die Altlandschaft auf dem Hochkönig. - Mitt. d. Geogr. Ges., 97, S. 183 - 191, Wien.
- GRAF, G. (1978): Gedanken zur Geomorphologie des Tauplitzer Seenplateaus. - Die Höhle, 2, 29. Jg., S. 33 - 40, Wien.
- HAGN, H. (1971): Über Gosaugerölle mit Großforaminiferen der höchsten Oberkreide aus der subalpinen Molasse des bayerischen Alpenvorlandes. - Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol., 11, S. 17 - 32, Taf. 4, München.
- HAGN, H. (1972): Über kalkalpine paläozäne und untereozäne Gerölle aus dem bayerischen Alpenvorland. - Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol., 12, S. 113 - 124, 1 Abb., Taf. 7 - 8, München.
- HAGN, H. (1983): Die Kreide- und Alttertiärgerölle des Wachtberg-Schotters (Ottwang, Subalpine Molasse) N Salzburg. - Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol., 23, S. 125 - 147, Taf. 1 - 3, München.
- HAGN, H. & MOUSSAVIAN, E. (1980): Die Gosau- und Alttertiärgerölle des Westerbuchbergs (Unt. Eger, Subalpine Molasse, Chiemgau). - Mitt. Bayer. Staatslg. Paläont. hist. Geol., 20, S. 137 - 157, 2 Abb., Taf. 11 - 12, München.
- HAHNE, C., KIRCHMAYER, M. & OTTEMANN, J. (1968): »Höhlenperlen« (Cave pearls), besonders aus Bergwerken des Ruhrgebietes. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 130, 1, S. 1 - 46, Stuttgart.
- HASERODT, K. (1965): Untersuchungen zur Höhen- und Altersgliederung der Karstformen in den Nördlichen Kalkalpen. - Münchner Geogr. Hefte, 27, 18 Abb., 10 Fig., 2 Tab., 1 Kte., Regensburg.
- HELLER, F. (1967): Die Erforschung des Höhlendiluviums in der nördlichen und mittleren Frankenalb. - Jh. Karst- und Höhlenkunde, 7, S. 45 - 66, München.

- HENNIG, G. J., GRÜN, R., BRUNNACKER, K. & PECSI, M. (1983): Travertines, absolute age determination, ESR, 230Th/234U, Hungary. - Kurzfürer zur Exkursion der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Beilage 6, S. 1 - 11, 5 Abb., 3 Tab., Köln.
- HOHENEGGER, J. & PILLER, W. (1975): Ökologie und systematische Stellung der Foraminiferen im gebankten Dachsteinkalk (Obertrias) des nördlichen Toten Gebirges (Oberösterreich). - *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 18, S. 241 - 276, 5 Abb., 8 Taf., Amsterdam.
- JACOBESHAGEN, V (1965): Die Allgäu-Schichten (Jura-Fleckenmergel) zwischen Wettersteingebirge und Rhein. - *Jb. Geol. B. - A.*, 108, S. 1 - 114, 3 Abb., 2 Tab., 5 Phototaf., 8 Taf., Wien.
- JÖRESKOG, G. G., KLOVAN, J. E. & REYMENT, R. A. (1976): Geological Factor Analysis. - 178 S., Amsterdam (Elsevier Publ. Comp.)
- JURGAN, H. (1969): Sedimentologie des Lias der Berchtesgadener Kalkalpen. - *Geol. Rdsch.*, 58, S. 464 - 501, Stuttgart.
- KERNER, A. v.: Mündl. Mitt., zit. in GÖTZINGER (1913).
- KRIEG, W. (1954): Höhlen und Niveaus. - *Die Höhle*, 5, 1, S. 1 - 4, Wien.
- KRIEG, W. (1955): Zu »Höhlen und Niveaus«. - *Die Höhle*, 6, S. 74 - 77, Wien.
- LAIS, R. (1941): Über Höhlensedimente. - *Quartär*, 3, S. 56 - 108, Berlin.
- LEBLING, C., HABER, G., HOFFMANN, E., KÜHNEL, J. & WIRTH, E. (1935): Geologische Verhältnisse des Gebirges um den Königssee. - *Abh. d. geol. Landesuntersuchung am Bayer. Oberbergamt*, 20, S. 1 - 46, 7 Abb., 1 Taf., München.
- LECHNER, J. (1943): Morphologische Untersuchungen im Osterhorngebiet in den Salzburger Kalkalpen. - *Mitt. d. Geograph. Ges. München*, 34, S. 133 - 206, München.
- LECHNER, J. (1951): Geländestufen im Kalkgebirge. - *Mitt. d. Geograph. Ges. Wien*, 93, S. 44 - 51, Wien.
- LEIDLMAIR, A. (1956): Die Formenentwicklung im Mitterpinzgau. - *Forsch. dtsch. Landeskd.*, 89, 102 S. 13 Prof., 4 Karten, Bad Godesberg.
- LEMCKE, K. (1984): Geologische Vorgänge in den Alpen ab Obereozän im Spiegel vor allem der deutschen Molasse. - *Geol. Rdsch.*, 73, 1, S. 371 - 398, Stuttgart.
- LEUCHS, K. (1924): Augensteinschotter im Kaisergebirge. - *Verh. d. Geol. B. - A.*, 42, S. 1 - 4, Wien.
- LICHTENECKER, N. (1924): Das Bewegungsbild der Ostalpen. - *Die Naturwiss.*, 13, S. 739 - 743, Berlin.
- LICHTENECKER, N. (1926): Die Rax.-Geograph. *Jb. a. Österr.*, 13, S. 150 - 170, Wien.
- LICHTENECKER, N. (1938): Beiträge zur morphologischen Entwicklungsgeschichte der Ostalpen. 1. Teil: Die nordöstlichen Alpen. - *Geogr. Jber. Österr.*, 19, S. 1 - 82, Wien.
- MACHATSCHEK, F. (1922): Morphologische Untersuchungen in den Salzburger Kalkalpen. *Ostalpine Formenstudien*, 1, 4, 304 S., Berlin.
- MACKENBACH, R. & BRUNNACKER, K. (1983): Kurzfürer zur Exkursion der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Oberösterreich (Kobernauber Wald, Hausruck und Sauwald). 10 S., Köln (Lehrstuhl f. Eiszeitforschung).
- MIRSAL, I. & ZANKL, H. (1979): Petrography and Geochemistry of Carbonate Void-Filling Cements in Fossil Reefs. - *Geol. Rdsch.*, 68, 3, S. 920 - 951, Stuttgart.
- MOJSISSOVICS, E. v. (1889): zit. nach TOLLMANN (1968).
- MORAWETZ, S. (1950): Zur Oberflächengestaltung der Ostalpen. - *Mitt. d. Geogr. Ges. Wien*, 92, S. 3 - 17, Wien.
- MÜNCHNER HÖHLENGESCHICHTE (1982): Hrsg.: Verein für Höhlenkunde in München e.V., 218 S., 93 Abb., Beiträge von 17 Autoren, München.
- NEWSON, M. (1973): The Hydrology of Limestone Caves. - *Cave Science*, 50, S. 1 - 13, Settle.
- PATRO, B. C. & SAHU, B. K. (1974): Factor analysis of sphericity and roundness data of clastic quartz grains: Environmental significance. - *Sedimentary Geology*, 11, S. 59 - 78, Amsterdam.
- PENCK, A. (1885): Das Land Berchtesgaden: Die Oberflächengestaltung und ihre Entstehung. - *Ztschr. d. DÖAV*, 16, S. 217 - 265.
- PENCK, A. (1919): Die Gipfflur der Alpen. - *Sitzber. preuß. Akad. d. Wiss.*, 17, S. 256 - 268, Berlin.
- PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER, R. (1972): Sand and Sandstones. - 618, S., Berlin (Springer).
- PLÖCHINGER, B. (1983): Salzburger Kalkalpen. - *Sammlg. geol. Führer*, 73, Berlin, Stuttgart (Gebr. Bornträger).
- RATHJENS, C. (1939): Geomorphologische Untersuchungen in der Reiteralm und im Lattengebirge im Berchtesgadener Land. - *Mitt. geogr. Ges.*, 32, S. 15 - 86, 4 Abb., 2 Karten, München.
- RIEDL, H. (1966): Neue Beiträge zum Problem Raxlandschaft - Augensteinlandschaft. - *Mitt. österr. geogr. Ges.*, 108, S. 98 - 109, Wien.
- SALZBURGER HÖHLENBUCH, Bd. 2 (1977): Hrsg.: Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg, 348 S., Salzburg (Landesverein für Höhlenkunde).
- SALZBURGER HÖHLENBUCH, Bd. 3 (1979): Hrsg.: Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg, 487 S., Salzburg (Landesverein für Höhlenkunde).
- SCHAUBERGER, O. (1955): Über die vertikale Verteilung der nordalpinen Karsthöhlen. - *Mitt. d. Höhlenkommission*, 1, S. 21 - 28, Wien.
- SCHAUBERGER, O. (1961): Über falsche Höhlenschotter. - *Die Höhle*, 12, S. 12 - 14, Wien.
- SCHIEMENZ, S. (1960): Fazies und Paläogeographie der Subalpinen Molasse zwischen Bodensee und Isar. - *Beih. Geol. Jb.*, 38, 119 S., Hannover.
- SCHLAZ 42 (1984): Hrsg.: Verein für Höhlenkunde in München e.V., 60 S., München.
- SCHLAZ 44 (1984): Hrsg.: Verein für Höhlenkunde in München e.V., 60 S., München.
- SCHÖLL, W. U. & WENDT, J. (1971): Obertriadische und jurassische Spaltenfüllungen im Steinernen Meer (Nördliche Kalkalpen). - *N. Jb. Paläont. Abh.*, 139, 1, S. 82 - 98, 10 Abb., Stuttgart.
- SEEFELDNER, E. (1926): Zur Morphologie der Salzburger Alpen. - *Geogr. Jb. aus Österr.*, 13, S. 107 - 149, Wien.
- SEEFELDNER, E. (1933): Zur Altersfrage der Abtragungsflächen in den nördlichen Ostalpen. - *Mitt. d. Österr. Geogr. Ges.*, 76, S. 128 - 150, Wien.
- SEEFELDNER, E. (1934): Die alten Landoberflächen der Salzburger Alpen. - *Ztschr. f. Geomorph.*, 8, S. 157 - 198.

- SEEFELDNER, E. (1952): Die Entwicklung der Salzburger Alpen im Jungtertiär. - Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., 94, S. 179 - 194, Wien.
- SEEFELDNER, E. (1961): Salzburg und seine Landschaften: Eine geographische Landeskunde. - 573 S., 26 Abb., 67 Photos, Beil., Salzburg (Bergland-Verlag).
- SEEFELDNER, E. (1973): Zur Frage der Korrelation der kalkalpinen Hochfluren mit den Altformresten der Zentralalpen. - Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., 115, S. 106 - 123, Wien.
- SEEMANN, R. (1979): Mineralien und Sedimente. - Atlantis, Mitteilungsblatt des Landesvereins für Höhlenkunde in Salzburg e.V., S. 18 - 22, Salzburg.
- SEYFRIED, H. (1980): Über die Bildungsbereiche mediterraner Jurasedimente am Beispiel der Betischen Kordillere (Südost - Spanien). - Geol. Rdsch., 69, 1, S. 149 - 178, Stuttgart.
- SIMONY, F. (1851): Beobachtungen über das Vorkommen von Urgebirgsgeschieben auf dem Dachsteingebirge. - Jb. Geol. R. - A., 2, 2, S. 159 - 160, Wien.
- STAFF, H. v. (1912): Zur Morphologie der Präglaziallandschaft in den Westschweizer Alpen. - Ztschr. d. dtsh. Geol. Ges., 64, S. 1, Hannover.
- SUESS, E. (1860): Über die Spuren eigentümlicher Eruptionsercheinungen am Dachsteingebirge. - Sitzber. d. kais. Akad. d. Wiss., math. - nat. Kl., 40, S. 428 ff., Wien.
- TOLLMANN, A. (1960): Die Hallstätterzone des östlichen Salzkammergutes und ihr Rahmen. - Jb. Geol. B. - A., 103, S. 37 - 131, 4 Abb., Taf. 2 - 5, Wien.
- TOLLMANN, A. (1968): Die paläogeographische, paläomorphologische und morphologische Entwicklung der Ostalpen. - Mitt. d. Geogr. Ges., 110, S. 224 - 244, Wien.
- TOLLMANN, A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums - Stratigraphie, Fauna und Fazies der Nördlichen Kalkalpen. - 580 S., 256 Abb., 3 Taf., Wien (Deuticke).
- TOLLMANN, A. (1977): Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild. - N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 153, S. 1 - 27, Taf. 1, Stuttgart.
- TOUSSAINT, B. (1971): Hydrogeologie und Karstgenese des Tennengebirges (Salzburger Kalkalpen). - Steir. Beitr. z. Hydrogeol., 23, S. 5 - 115, Graz.
- TRAUB, F. (1948): Beitrag zur Kenntnis der miocänen Meeresmolasse ostwärts Laufen/Salzach unter besonderer Berücksichtigung des Wachtbergkonglomerats. - N. Jb. Mineral. etc. Mh., B, 1945 - 1948, S. 53 - 71, S. 161 - 174, 4 Abb., 1 Karte, Stuttgart.
- TRIMMEL, H. (1955): Höhlen und Niveaus. - Die Höhle, 6, 1, S. 5 - 8, Wien.
- TRIMMEL, H. (1965): Speläologisches Fachwörterbuch. - 109 S., Hrsg.: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich, Wien.
- TRIMMEL, H. (1967): Über einige Aufgaben und Probleme der Karst- und Höhlenforschung im Lande Salzburg. - Mitt. d. Geogr. Ges., 109, S. 66 - 87, Wien.
- TRIMMEL, H. (1968): Höhlenkunde. - 300 S., Braunschweig (Vieweg).
- TRÖGER, W. E. (1969): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2, Textband. - 822 S., 259 Abb., 16 Tab., 2. Aufl., Stuttgart (E. Schweizerbart).
- VERTES, L. (1959): Untersuchungen an Höhlensedimenten. - Rezsetzi Füzetéi, Ser. II, 7, S. 176 S., Budapest..
- VOLK, P. (1982): Möglichkeiten zur Erweiterung tektonischer Modelle mit Daten aus Karsthöhlen am Beispiel der Schlüsselloch-Höhle im Laubenstein/Chiemgau. - Unveröff. Dipl.-A., Teil 2, 43 S., Ludwig Maximilians-Univ. München.
- WEBER, E. (1974): Einführung in die Faktorenanalyse. - 192 S., Stuttgart (Gustav Fischer).
- WINKLER, A. (1928): Über Studien in den inneralpinen Tertiärlagerungen etc. - Sitzber. Akad. d. Wiss., math. - nat.wiss. Kl., 1, 137, S. 183 - 225, 6 Abb., Wien.
- WINKLER - HERMADEN, A. (1950): Zum Entstehungsproblem und zur Altersfrage der ostalpinen Oberflächenformen. - Mitt. Geogr. Ges., 92, S. 171 - 190, Wien.
- WINKLER - HERMADEN, A. (1957): Geologisches Kräftespiel und Landformung. - 822 S., 120 Abb., 5 Taf., Wien (Springer).
- WOLETZ, G. (1963): Charakteristische Abfolgen der Schwermineralgehalte in Kreide- und Alttertiärschichten der nördlichen Ostalpen. - Jb. d. Geol. B. - A., 106, S. 89 - 119, Wien.
- WOLETZ, G. (1967): Schwermineralvergesellschaftungen aus ostalpinen Sedimentationsbecken der Kreidezeit. - Geol. Rdsch., 56, S. 308 - 320, Stuttgart.
- ZANKL, H. (1969): Der Hohe Göll. Aufbau und Lebensbild eines Dachsteinkalkriffes in der Obertrias der Nördlichen Kalkalpen. - Abh. Senckenberg naturf. Ges. 519, S. 1 - 123, Frankfurt.
- ZANKL, H. (1971): Upper Traissic Carbonate Facies in the Northern Limestone Alps. - In: Hrsg.: MÜLLER, G. (1971): Sedimentology of Parts of Central Europe. S. 147 - 185, Frankfurt (N. Kramer).
- ZÖTL, J. (1960): Zur Frage der Niveaugebundenheit von Karstquellen und Höhlen. - Ztschr. f. Geomorph., Suppl. 2, S. 100 - 102.
- ZÖTL, J. (1974): Karsthydrogeologie. 291 S., Wien, New York (Springer).

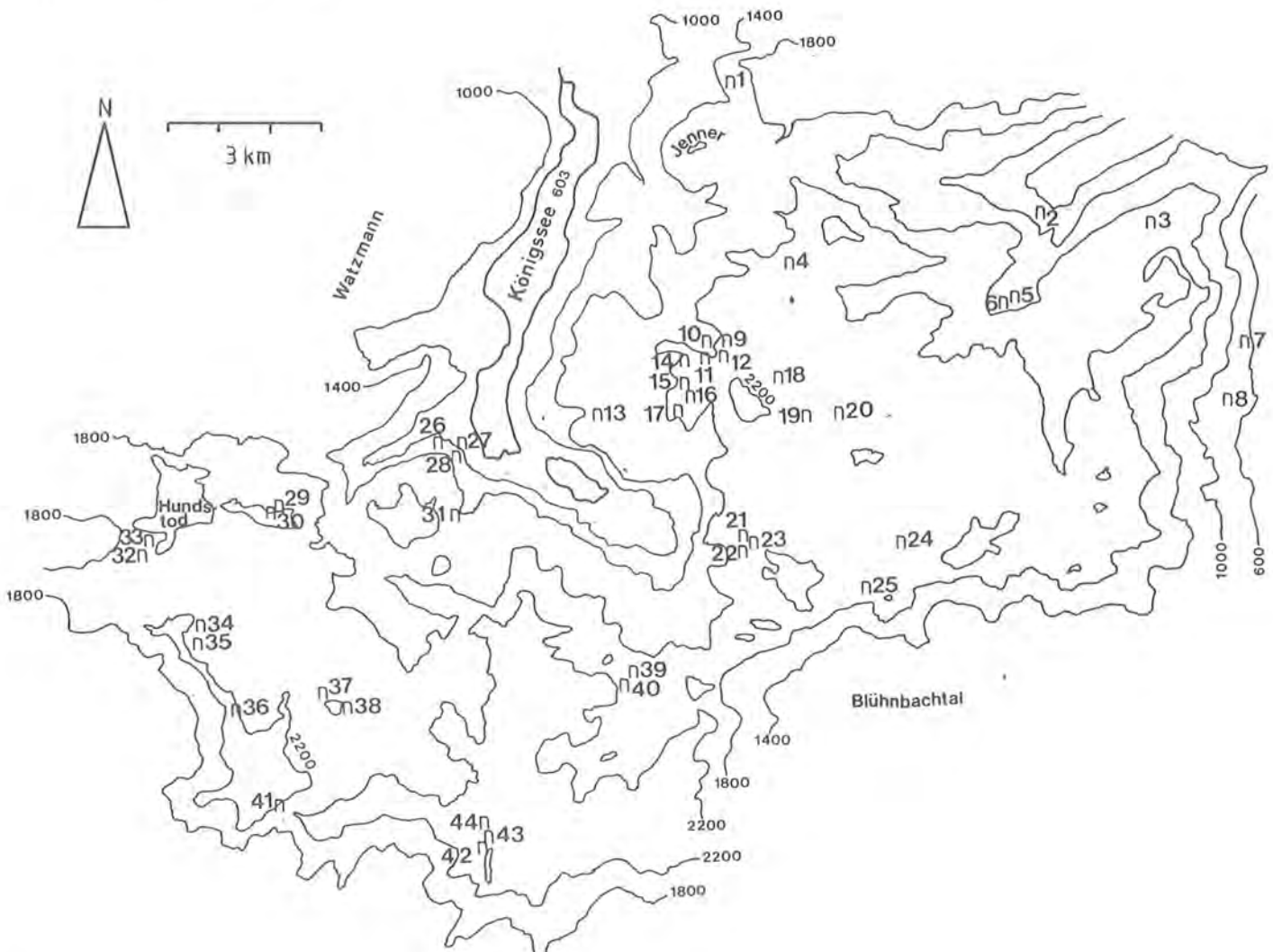
Vereinfachte Topographie Steineres Meer und Hagengebirge Lage der untersuchten Höhlen

Hagengebirge:

- 1 Loch bei der Krautkaseralm
- 2 Bärenloch
- 3 Labyrinth-Höhle
- 4 Reinersberghöhle
- 5 Gruber-Kalzit-Loch
- 6 Seealmlöcher
- 7 Brunnloch
- 8 Scheukofen
- 9 Höhlenruine w Bergwachthütte
- 10 Halbhöhle im oberen Stiergraben
- 11 Lindwurmhöhle
- 12 Fagsteinlöcher
- 13 Klufthöhle im Regenbergl
- 14 Laafeld 1
- 15 Laafeld 2
- 16 Laafeld 3
- 17 Laafeld 4
- 18 Höhlenruine e Hochseeleinscharte
- 19 Höhlenruine ese Kahlersberg
- 20 Schachthöhle w Lengtalscharte
- 21 Höhle in der Schreck 2
- 22 Höhle in der Schreck 1
- 23 Schreck laß nach
- 24 Allesda-Loch P4
- 25 Plymouth Cave

Steineres Meer:

- 26 Höhle am Moosensteig
- 27 Salzgrabenhöhle
- 28 Spindelhöhle
- 29 Gjaidgrabenhöhle
- 30 Canyonhöhle im Gjaidgraben
- 31 Halbhöhle bei der Sagereckalm
- 32 Hundsfottwandhöhle
- 33 Hundstodwandhöhle
- 34 Eggerstättenhöhle
- 35 Grünschartenhöhle
- 36 Achselhornhöhle
- 37 Rotwandhöhle
- 38 Sinterdeckenhöhle
- 39 Hocheggerhöhle
- 40 Fallgrube
- 41 Diebsloch
- 42 Höhle am Selbhorn 3
- 43 Höhle am Selbhorn 2
- 44 Höhle am Selbhorn 1



Die Verteilung der Altlandschaften

(zusammengestellt nach SEEFELDNER 1926, 1933, 1934, 1952, 1961)



In der Reihe der Forschungsberichte sind erschienen:

- Nr. 1 G. Enders
Theoretische Topoklimatologie
- Nr. 2 R. Bochter, W. Neuerburg, W. Zech
Humus und Humusschwund im Gebirge
- Nr. 3 Herausgeber Nationalparkverwaltung
Zur Situation der Greifvögel in den Alpen
- Nr. 4 G. Enders
Kartenteil: Theoretische Topoklimatologie
- Nr. 5 O. Siebeck
Der Königssee – eine limnologische Projektstudie
- Nr. 6 R. Bochter
Böden naturnaher Bergwaldstandorte auf carbonatreichen Substraten
- Nr. 7 Herausgeber Nationalparkverwaltung
Der Funtensee
- Nr. 8 H. Schmid-Heckel
Zur Kenntnis der Pilze in den Nördlichen Kalkalpen
- Nr. 9 R. Boller
Diplopoden als Streuzersetzer in einem Lärchenwald
- Nr. 10 E. Langenscheidt
Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen
- Nr. 11 Herausgeber Nationalparkverwaltung
Das Bärenseminar
- Nr. 12 H. Knott
Geschichte der Salinenwälder von Berchtesgaden
- Nr. 13 A. Manghabati
Einfluß des Tourismus auf die Hochgebirgslandschaft
- Nr. 14 A. Spiegel-Schmidt
Alte Forschungs- und Reiseberichte aus dem Berchtesgadener Land
- Nr. 15 H. Schmid-Heckel
Pilze in den Berchtesgadener Alpen
- Nr. 16 L. Spandau
Angewandte Ökosystemforschung im Nationalpark Berchtesgaden
- Nr. 17 W. Berberich
Das Raum-Zeit-System des Rotfuchses
- Nr. 18 U. Mäck, R. Bögel
Untersuchungen zur Ethologie und Raumnutzung von Gänse- und Bartgeier
- Nr. 19 B. Dittrich, U. Hermsdorf
Biomonitoring in Waldökosystemen
- Nr. 20 F. Kral, H. Rall
Wälder – Geschichte, Zustand, Planung
- Nr. 21 M. Klein, R.-D. Negele, E. Leuner, E. Bohl, R. Leyerer
Fischbiologie des Königssees: Fischereibiologie und Parasitologie
- Nr. 22 W. Traunspurger
Fischbiologie des Königssees: Nahrungsangebot und Nahrungswahl – Bd. I
- Nr. 23 R. Gerstmeier
Fischbiologie des Königssees: Nahrungsangebot und Nahrungswahl – Bd. II

